

**VASILE COJOCARU-FILIPCIUC  
NICANOR CIMPOEȘU**

**ELABORAREA FONTEI,  
ASISTATĂ DE CALCULATOR,  
ÎN CUPTOARE ELECTRICE CU ÎNCĂLZIRE  
PRIN INDUCȚIE, CU CREUZET, ACIDE**

Editura Universitas XXI

Tipărit

s.c. Print Color S.R.L.

Str. Ipsilante, nr. 19, 700040 – Iași

Tel.: 0232-262300, 210349

Autori:

VASILE COJOCARU-FILIPCIUC,

Dr.ing.prof.univ.

NICANOR CIMPOEȘU,

Dr.ing.asist.univ.

Contribuția autorilor:

VASILE COJOCARU-FILIPCIUC = pag.

NICANOR CIMPOEȘU = pag.

Referenți științifici:

GELU BARBU,

Dr.ing.prof.univ.

SERGIU STANCIU,

Dr.ing.prof.univ.

Coperta:

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

Procesare figuri:

CAMELIA LENA AIOANEI, Ing.

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

Tehnoredactare:

CAMELIA LENA AIOANEI, Ing.

**VASILE COJOCARU-FILIPCIUC  
NICANOR CIMPOEȘU**

**ELABORAREA FONTEI,  
ASISTATĂ DE CALCULATOR,  
ÎN CUPTOARE ELECTRICE CU ÎNCĂLZIRE  
PRIN INDUCȚIE, CU CREUZET, ACIDE**

**UNIVERSITAS XXI  
IAȘI – 2010**

## Prefață

Monografia prezintă proiectarea asistată de calculator a fluxului tehnologic de elaborare a unei fonte în cuptoare electrice cu încălzire prin inducție, cu creuzet, căptușite cu material refractar de natură chimică acidă.

În plan secundar, încărcătura metalică se calculează și analitic.

Proiectarea asistată de calculator ia în considerație calculul încărcăturii metalice în circumstanțele în care se ține seama de sorturile metalice existente în baza de șarjare a societății comerciale, după caz, un sort, două sau mai multe.

Corectarea compoziției chimice a băii metalice se realizează luând în considerație că se dispune de toată gama de materiale de aliere.

Încărcătura nemetalică este calculată avându-se în vedere că se dispune de materialele ce se impun a fi utilizate.

Fluxul tehnologic de elaborare este abordat până la evacuarea fontei din cuptor.

Modelarea elaborării fontei este realizată prin intermediul programului Matlab.

Această monografie face parte dintr-o triadă consacrată care ia în considerație aspecte multiple ale elaborării, respectiv triadă care conține și următoarele cărți:

– Aspecte ale elaborării și pachetul de programe pentru proiectarea asistată de calculator a elaborării fontei în cuptoare cu inducție, cu creuzet, Iași, Editura

Universitas XXI, 2010, autori, Nicanor Cimpoesu și Vasile Cojocaru-Filipiuc.

– Bilanțuri asistate de calculator pentru elaborarea fontei în cuptoare cu inducție. Zgura–Materiale–Bilanțul termic, Iași, Editura Universitas XXI, 2010, autori, Vasile Cojocaru-Filipiuc și Nicanor Cimpoesu.

Schema logică prezentată, permite procesarea complexă asistată de calculator a unei topituri, în așa fel, încât să se obțină orice marcă de fontă, având la dispoziție sorturi metalice adhoc în baza de șarjare.

Sunt luate în considerație cuptoarele ce funcționează la frecvență industrială și la frecvențe medii sau mari.

Monografia este structurată pe scheme logice și secvențe de rulare a programului Matlab.

#### Notă

Facilități de urmărire a imaginii monitorului au determinat ca secvențele reprezentând rularea programului să nu urmeze rigorile de punctuație, topică, sintaxă și stilistică ale limbii române.

Autorii

## Cuprins

	<b>Pag.</b>
Justificarea utilizării pentru elaborarea fontei a cuptorului electric cu încălzire prin inducție	13
1. Fluxul tehnologic	18
2. Pregătirea încărcăturii	19
2.1. Pregătirea încărcăturii metalice	19
2.1.1. Pregătirea încărcăturii metalice din punct de vedere al compozițiilor chimică și sortimentală – calculul încărcăturii metalice	19
2.1.1.1. Metodele analitică și practică de calcul ale încărcăturii metalice	19
2.1.1.1.a. Metodele analitică și practică de calcul ale încărcăturii metalice formate dintr-un sort metalic	19
2.1.1.1.a'. Calculul analitic al încărcăturii metalice formată dintr-un sort metalic	20
2.1.1.1.a'.1. Cuptoare ce funcționează cu frecvență medie sau mare	20
2.1.1.1.a'.2. Cuptoare ce funcționează cu frecvența rețelei	33
2.1.1.1.a". Calculul practic al încărcăturii metalice formată dintr-un sort metalic	96
2.1.1.1.a"1. Elaborare în cuptoare cu inducție cu creuzet ce funcționează cu frecvențe medie sau mare	98
2.1.1.1.a"1.a. Schema logică	98
2.1.1.1.a"1.b. Rularea programului	100
2.1.1.1.a"2. Elaborare în cuptoare cu inducție, cu creuzet, ce funcționează cu frecvența rețelei	108
2.1.1.1.a"2.a. Schema logică	108
2.1.1.1.a"2.b. Rularea programului	110
2.1.1.1.b. Calculele analitic și practic ale încărcăturii metalice formate din două sorturi metalice	118
2.1.1.1.b.1. Calculul analitic al proporțiilor sorturilor metalice, utilizându-se siliciul ca element chimic de referință	118

2.1.1.1.b.1.a. Cuptoare ce funcționează cu frecvență medie sau mare	118
2.1.1.1.b.1.b. Cuptoare ce funcționează cu frecvența rețelei	123
2.1.1.1.b.2. Calculul analitic al proporțiilor sorturilor metalice, utilizându-se siliciul și manganul ca elemente chimice de referință	125
2.1.1.1.b.2.a. Cuptoare ce funcționează cu frecvență medie sau mare	125
2.1.1.1.b.2.b. Cuptoare ce funcționează cu frecvența rețelei	129
2.1.1.1.b.3. Calculul practic al încălzirii metalice în cazul utilizării a două sorturi metalice	134
2.1.1.1.b.3.1. Elaborarea în cuptoare cu inducție ce funcționează cu frecvență medie sau mare	134
2.1.1.1.b.3.1.a. Schema logică	134
2.1.1.1.b.3.1.b. Rularea programului	136
2.1.1.1.b.3.2. Elaborarea în cuptoare cu inducție ce funcționează cu frecvența rețelei	136
2.1.1.1.b.3.2.a. Schema logică	136
2.1.1.1.b.3.2.b. Rularea programului	138
2.1.1.1.c. Calculele analitic și practic ale încălzirii metalice formată din trei sorturi metalice	154
2.1.1.1.c.1. Calculul analitic al proporțiilor de sorturi metalice, utilizându-se siliciul și manganul ca elemente chimice de referință	154
2.1.1.1.c.1.a. Cuptoare ce funcționează cu frecvență medie sau mare	154
2.1.1.1.c.1.b. Cuptoare ce funcționează cu frecvența rețelei	156
2.1.1.1.c.2. Calculul analitic al proporțiilor de sorturi metalice, utilizându-se siliciul, manganul și carbonul ca elemente chimice de referință	159
2.1.1.1.c.2.a. Cuptorul funcționează cu frecvență	159

medie sau mare	
2.1.1.1.c.2.b. Cuptoare ce funcționează cu frecvența rețelei	163
2.1.1.1.c.3. Calculul practic al încărcăturii metalice în cazul utilizării a trei sorturi metalice	167
2.1.1.1.c.3.1. Cazul elaborării în cuptoare cu inducție ce funcționează cu frecvență medie sau mare	167
2.1.1.1.c.3.1.a. Schema logică	167
2.1.1.1.c.3.1.b. Rularea programului	169
2.1.1.1.c.3.2. Cazul elaborării în cuptoare cu inducție ce funcționează cu frecvența rețelei	170
2.1.1.1.c.3.2.a. Schema logică	170
2.1.1.1.c.3.2.b. Rularea programului	171
2.1.1.1.d. Calculele analitic și practic ale încărcăturii metalice formate din patru sorturi metalice	172
2.1.1.1.d.1. Calculul analitic al încărcăturii metalice formate din patru sorturi metalice	172
2.1.1.1.d.1.a. Cuptoare ce funcționează cu frecvență medie sau mare	173
2.1.1.1.d.1.b. Cuptoare ce funcționează cu frecvența rețelei	175
2.1.1.1.d.2. Calculul practic al încărcăturii metalice în cazul utilizării a patru sau mai multe sorturi metalice	178
2.1.1.1.d.2.1. Elaborarea în cuptoare cu inducție ce funcționează cu frecvență medie sau mare	178
2.1.1.1.d.2.1.a. Schema logică	178
2.1.1.1.d.2.1.b. Rularea programului	179
2.1.1.1.d.2.2. Elaborarea în cuptoare cu inducție ce funcționează cu frecvența rețelei	180
2.1.1.1.d.2.2.a. Schema logică	180
2.1.1.1.d.2.2.b. Rularea programului	181
2.1.1.1.e. Calculul analitic al încărcăturii metalice formate din cinci sorturi metalice	182



2.1.1.1.f. Calculul analitic al încărcăturii metalice formate din șase sorturi metalice sau mai multe	191
2.1.1.2. Metoda grafică de calcul a încărcăturii metalice	191
2.1.1.2.1. Încăcătura metalică este formată din două sorturi metalice	191
2.1.1.2.1.a. Utilizarea ca bază de calcul a siliciului – metoda coordonatelor paralele	192
2.1.1.2.1.b. Utilizarea ca bază de calcul a siliciului și manganului – metoda coordonatelor	195
2.1.1.2.2. Încăcătura metalică este formată din trei sorturi metalice	199
2.1.1.2.2.1. Alegerea celor trei sorturi metalice – metoda coordonatelor	200
2.1.1.2.2.2. Calculul proporțiilor celor trei sorturi metalice prin metoda coordonatelor	201
2.1.1.2.2.3. Calculul celor trei sorturi metalice prin metoda coordonatelor paralele	203
2.1.1.2.3. Încăcătura metalică este formată din mai mult de trei sorturi metalice	205
2.1.1.2.4. Verificarea încărcăturii metalice în cazul calculului analitic al încărcăturii metalice	207
2.1.1.3. Metoda tatonării de calcul a încărcăturii metalice	207
2.1.2. Pregătirea încărcăturii metalice din punct de vedere calitativ	208
2.1.3. Pregătirea încărcăturii metalice din punct de vedere dimensional	210
2.1.4. Pregătirea încărcăturii metalice din punct de vedere al gradului de securitate	210
2.1.5. Pregătirea încărcăturii metalice din punct de vedere al temperaturii	211
2.1.6. Pregătirea încărcăturii din punct de vedere geometric	218
2.1.7. Pregătirea încărcăturii din punct de vedere al stării de agregare	218
2.2. Pregătirea încărcăturii nemetalice	222
2.2.1. Pregătirea încărcăturii nemetalice din punctul de vedere calitativ	222
2.2.2. Pregătirea încărcăturii nemetalice din punct de vedere dimensional	225

2.2.3. Pregătirea încărcăturii nemetalice din punct de vedere cantitativ	226
2.2.3.1. Calculul cantității de material de reducere	226
2.2.3.1.a. Schema logică	226
2.2.3.1.b. Rularea programului	232
2.2.3.2. Calculul cantității de material de formare a zgurii	234
2.2.3.2.a. Schema logică	234
2.2.3.2.b. Rularea programului	235
3. Pregătirea cuptorului	236
3.1. Principiul de funcționare al unui cuptor cu inducție	236
3.2. Agitarea electromagnetică a băii metalice	246
3.3. Cuptorul cu creuzet – prezentare generală	250
3.4. Inductorul	253
3.5. Creuzetul	255
3.6. Carcasa	257
3.7. Mecanismul de basculare	258
3.8. Conductoarele electrice de alimentare	258
3.9. Particularități ale cuptoarelor cu inducție ce funcționează cu frecvența rețelei	259
3.10. Particularități ale cuptoarelor cu inducție ce funcționează cu frecvență medie sau mare	265
3.11. Pregătirea căptușelii refractare	268
3.11.1. Sistem de avertizare prin închiderea unui circuit electric între baia metalică și electrozi implantați în căptușeala refractară	282
3.11.2. Sistem de avertizare prin variația rezistenței electrice a căptușelii refractare	283
3.11.3. Sistem de avertizare cu marcatori radioactivi	284
3.11.4. Sistem de avertizare cu șablon metalic	284
3.11.5. Sistem de avertizare cu aparate de măsură a rezistenței electrice a căptușelii refractare	285
3.11.6. Sistem de avertizare cu plasă de material termorezistent	285
3.11.7. Avertizare prin creșterea factorului de putere	286
3.12. Încărcarea cuptorului – a creuzetului	286
4. Topirea	287
4.1. Încărcătura metalică este constituită dintr-un sort metalic	287
4.1.1. Cuptoare ce funcționează cu frecvență medie sau mare	287
4.1.1.a. Schema logică	287

4.1.1.b. Rularea programului	289
4.1.2. Cuptoare ce funcționează cu frecvența rețelei	292
4.1.2.a. Schema logică	292
4.1.2.b. Rularea programului	293
4.2. Încărcătura metalică este constituită din două sau mai multe sorturi metalice	294
4.2.1. Cuptoare ce funcționează cu frecvență medie sau mare	294
4.2.1.a. Schema logică	294
4.2.1.b. Rularea programului	295
4.2.2. Cuptoare ce funcționează cu frecvența rețelei	297
4.2.2.a. Schema logică	297
4.2.2.b. Rularea programului	298
4.3. Aspecte ale topirii	299
4.3.1. Aspecte de supraveghere	299
4.3.2. Formarea zgurii	303
5. Supraîncălzirea fontei în stare lichidă	308
6. Tratamente metalurgice aplicate fontei în stare lichidă	315
6.a. Schema logică	315
6.1. Corectarea carbonului	318
6.2. Corectarea siliciului	331
6.3. Corectarea manganului	349
6.4. Corectarea fosforului	351
6.5. Corectarea sulfului	352
6.5.1. Desulfurarea prin diluare	352
6.5.2. Desulfurarea cu carbid	352
6.5.3. Desulfurarea cu cianamidă de calciu industrială	356
6.5.4. Desulfurarea cu amestecuri de agenți desulfuranți	357
6.6. Dezoxidarea fontei	358
6.7. Degazarea fontei	358
6.8. Măsurile de mărire a randamentului de asimilare a elementelor chimice în baia metalică	364
6.b. Rularea programului	364
7. Menținerea fontei în stare lichidă, în cuptor, în circumstanțele în care inductorul este decuplat de la rețeaua electrică	467
8. Evacuarea fontei și a zgurii	467
Bibliografie	470

## **Justificarea utilizării pentru elaborarea fontei a cuptorului electric cu încălzire prin inducție**

Elaborarea fontei în cuptorul cu inducție are ca argumente unele avantaje absolute în raport cu elaborarea în alte agregate metalurgice, dar și unele avantaje relative, în continuare prezentându-se succint respectivele particularități.

- omogenitatea chimică foarte mare pentru fonta elaborată datorită procesului de amestecare electromagnetică;

- omogenitatea termică foarte mare pentru fonta elaborată datorită procesului de amestecare electromagnetică;

- eliminarea eredității metalurgice, adică a fenomenului de transmitere a unor caracteristici ale fontelor brute fontei de a doua fuziune, fenomen foarte evident la elaborarea fontei în cubilou;

- randament mare de asimilare al elementelor chimice în baia metalică, elemente chimice introduse de către materialele de aliere, materialele de carburare și de unele materiale nemetalice;

- obținerea unor grade de supraîncălzire mari ale fontei în stare lichidă  $-150...200^{\circ}\text{C}$  peste temperatura liniei lichidus;

- reglarea facilă a temperaturii băii metalice;

- se permite utilizarea unei încărcături metalice foarte variate, inclusiv șpan;

- pierderile de elemente chimice prin oxidare sunt mici –  $0,5...3,0\%$  (în cazul elaborării fontei în cubilou pierderile respective prin oxidare sunt de  $8...10\%$  iar în cazul elaborării fontei în cuptoare electrice cu arc aceleași tipuri de pierderi sunt de  $2...3\%$ );

- condițiile de lucru sunt ecologice;

- cuptorul cu inducție este un cuptor flexibil;

- nivelul de zgomot în timpul funcționării este mic ( $70...80\text{ dB}$ ) – în cazul cuptorului electric cu arc, același nivel de zgomot este de  $90...120\text{ dB}$  în etapa de topire;

– cantitate mică de praf emisă în mediul ambiant (0,2...0,4 kg/t de fontă elaborată), față de cuptorul cu arc electric (2,5...8,0 kg/t de fontă elaborată) și față de cubilou (6...20 kg/t de fontă elaborată);

– se poate adapta la elaborarea în atmosferă depresurizată („în vid”);

– se pretează cu eficiență mare pentru elaborarea fontei sintetice – se asigură randamente mari de asimilare ale carbonului;

– se asigură viteze mari de topire;

– se asigură caracteristici mecanice de rezistență pentru fontele elaborate mai mari cu 15...20% decât cele ale fontelor elaborate în alte agregate de elaborare (în special, în cubilou și cuptorul rotativ cu flacăra) etc.;

– susceptibilitate la fisurare mai mică la piesele turnate datorită absenței procesului de sulfurare din timpul elaborării, în comparație cu alte agregate de elaborare la care se constată surse de sulfurare a fazei metalice în timpul elaborării, cum ar fi cocsul de turnătorie, păcura, chiar electrozii de grafit etc.;

– gradul de albire al fontei se micșorează la piesele cu pereți subțiri și în cazul în care gradul de saturație în carbon are valori cuprinse în intervalul 0,8...1,1, în comparație cu aceleași fonte obținute în cubilou – riscul de albire al fontei pentru pereții subțiri este diminuat;

– se asigură micșorarea proporției de rebut datorită gradului mare de uniformitate al proprietăților fizico-mecanice;

– se asigură mărirea sensibilă a caracteristicilor de plasticitate ale fontei elaborate, datorită conținutului mai mic de mangan – prin comparație, se menționează cazul elaborării fontei în cubilou, fontă care trebuie să aibă un conținut mai mare de mangan cu scopul combaterii influenței negative a sulfurului (manganul, cel puțin prin efectele perlitizante și de albire, micșorează proprietățile de plasticitate);

- se asigură obținerea unor conținuturi foarte mici de sulf și fosfor în cazul elaborării fontei sintetice;
- se obține o fontă cu un conținut mic de incluziuni nemetalice;
- este eliminat fenomenul de supraîncălzire locală a băii metalice;
- se obține o fontă cu grad mare de puritate;
- se obține o fontă cu un conținut mic de gaze (50...110 cm<sup>3</sup>/kg de fontă) față de fonta elaborată în cubilou (90...150 cm<sup>3</sup>/kg de fontă la cubiloul cu aer cald și 200...280 cm<sup>3</sup>/kg de fontă la cubiloul cu aer rece). Concret, în cuptorul cu inducție se constată 3...6 cm<sup>3</sup>/g H, 0,0015...0,006% O și 0,001...0,004% N. În fonta elaborată în cuptorul cu arc electric, se obțin 2,1...12,1 cm<sup>3</sup>/g H, 0,002...0,008% O și 0,001...0,005%N, în timp ce în cubilou se remarcă în fonta obținută 2,5...10,4% cm<sup>3</sup>/g H, 0,03...0,009% O și 0,001...0,006% N;
- se asigură dizolvarea grafitului remanent – de exemplu, la temperaturi mai mari de 1.400...1.420°C, nu se mai întâlnesc în matricea metalică lichidă separări de grafit cu lungimea mai mare de 3 μm;
- fonta se solidifică cu un grad de subrăcire mare (maximum 170°C), respectiv mai mare, de exemplu, cu 40...50°C decât gradul de subrăcire constatat în cazul elaborării fontei în cubilou;
- se obține o fontă cu o proporție mai mare de perlită în structură, adică o fontă cu o cantitate mai mare de carbon legat. De exemplu, cantitatea de carbon legat dintr-o fontă sintetică este mai mare cu 0,20...0,25% decât cantitatea de carbon legat din aceeași fontă sintetică, însă, elaborată în cubilou;
- se obține o fontă cu grafitul având gradul de finețe mai mare – grafitul lamelar, de exemplu, are lungimea și grosimea mai mici. Acest avantaj este asigurat de conținutul de sulf mai mic din fontă (sulful, în cantitate mai mică,

determină o tensiune interfazică grafit-matrice metalică mai mare, ceea ce conduce la dimensiuni mai mici ale separărilor de grafit);

- se asigură obținerea întregii game de mărci de fontă;
- fonta lichidă se obține cu o fluiditate mare datorită gradului de supraîncălzire mare și, de asemenea, datorită gradului de puritate mare;
- se obțin fonte de compoziție chimică foarte precisă – de exemplu,  $\pm 0,08\%$  C,  $\pm 0,06\%$  Si etc.;
- tehnologia de elaborare este condusă fără dificultăți etc., [6], [8], [10] și [30];
- este posibilă modificarea fontei lichide direct în cuptor etc.

Cuptorul cu inducție nu reprezintă un agregat de elaborare ideal din cauza unor dezavantaje, cum ar fi următoarele:

- încărcătura metalică trebuie să aibă conținuturi mici de P, S, gaze și incluziuni nemetalice;
- există susceptibilitatea de antrenare a zgurii în baia metalică;
- există riscul de apariție a cementitei libere în structură din cauza gradului de subrăcire mare dar și a conținuturilor relativ mari de elemente chimice antigrafitizante introduse în încărcătura metalică de către deșeurile de oțel care se utilizează în proporție mai mare în cazul cuptorului cu inducție – elementul chimic crom este reprezentativ din aceste punct de vedere;
- există riscul de apariție în structură a grafitului interdendritic din cauza supraîncălzirilor avansate în stare lichidă și a menținerii fontei în stare lichidă la temperaturi foarte mari;
- agitația electromagnetică a băii metalice conduce la antrenări de particule exogene de căptușeală refractară granulară în fonta lichidă;
- investițiile sunt mai mari cu circa 40% decât

investițiile pentru cubilou și mai mari cu circa 17% decât investițiile pentru cuptorul cu arc electric din cauza costurilor mari ale surselor de alimentare și bateriilor de condensatoare;

- căptușeala refractară granulară impune tratamente termice speciale în vederea sinterizării;

- căptușeala refractară granulară trebuie să aibă un grad de puritate foarte mare și trebuie păstrată în condiții speciale;

- cuptorul trebuie dotat cu sistem de avertizare a riscului de perforare a căptușelii refractare de către metalul lichid supraîncălzit;

- în cazul gradelor mari de supraîncălzire a fontei în stare lichidă, căptușeala refractară granulară de natură chimică acidă se implică semnificativ în schimbarea compoziției chimice a băii metalice – micșorarea conținutului de carbon și mărirea conținutului de siliciu, ceea ce atrage după sine micșorarea grosimii respectivei căptușeli refractare;

- zgura este inactivă din punct de vedere metalurgic din cauza viscozității mari – zgura este în contact direct și cu atmosfera, respectiv cu un spațiu ce nu este supraîncălzit;

- cuptoarele căptușite cu material refractar de natură chimică acidă – cele mai utilizate la scară industrială – nu pot asigura desulfurarea fontei lichide cu un randament mare din cauză că materialele desulfurante sunt de natură chimică bazică;

- câmpul electromagnetic variabil este indus parțial și în afara cuptorului propriu-zis, ceea ce poate afecta unele sisteme;

- se necesită consum relativ mare de apă pentru generatorul mecanic de frecvență, bateria de condensatoare și inductor, impunându-se un sistem propriu de recirculare a apei industriale;

- încărcătura metalică trebuie să aibă umiditatea foarte mică în cazul în care elaborarea se realizează în cuptoare ce funcționează la frecvența rețelei (50 Hz, în România și



Europa), cu scopul eliminării riscului de explozie – încărcătura metalică se introduce în baia metalică remanentă etc.

### 1. Fluxul tehnologic

Indiferent de calitatea fontei, elaborarea acesteia se realizează conform unui flux tehnologic ce conține mai multe etape, numărul acestora fiind în funcție de marca de fontă propusă a fi elaborată, calitatea încărcăturii, natura chimică a căptușelii refractare, tipul de cuptor în care se face elaborarea etc.

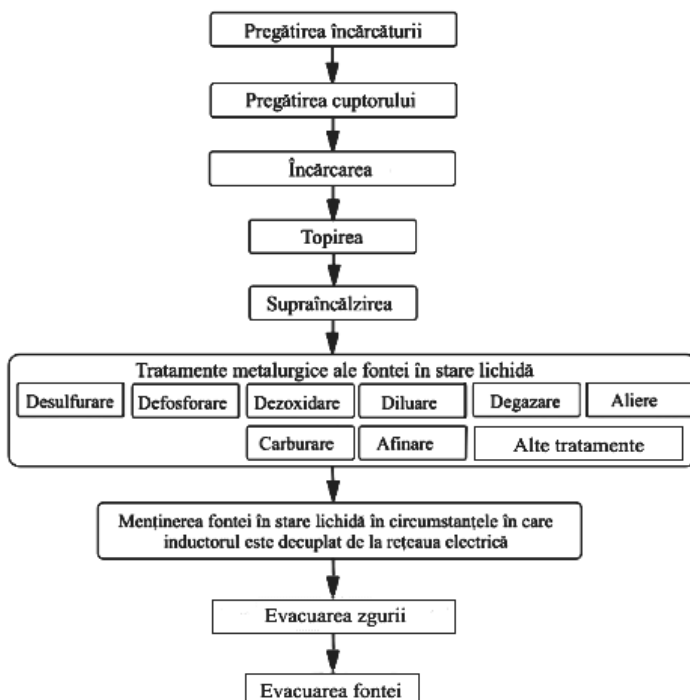


Fig.1. Schema fluxului tehnologic de elaborare a fontei în cuptoare electrice cu încălzire prin inducție, cu creuzet.

Schema fluxului tehnologic de elaborare în cuptorul electric cu încălzire prin inducție este prezentată în figura 1.

## **2. Pregătirea încărcăturii**

Încărcătura este de natură metalică și nemetalică.

### **2.1. Pregătirea încărcăturii metalice**

Încărcătura metalică este pregătită din următoarele puncte de vedere: compoziții chimică și sortimentală, geometric, calitativ, grad de securitate, temperatură, dimensional și stare de agregare.

#### **2.1.1. Pregătirea încărcăturii metalice din punct de vedere al compozițiilor chimică și sortimentală – calculul încărcăturii metalice**

Încărcătura metalică se calculează prin trei tipuri de metode, respectiv, analitică și practică, grafică și a tatonării.

##### **2.1.1.1. Metodele analitică și practică de calcul ale încărcăturii metalice**

###### **2.1.1.1.a. Metodele analitică și practică de calcul ale încărcăturii metalice formate dintr-un sort metalic**

Elementele chimice ce trebuie asigurate, în principal, sunt carbonul, siliciul și manganul. Celelalte elemente chimice din compoziția chimică a fontei propusă a fi elaborată se consideră că se asigură prin intervenții asupra băii metalice.

Încărcătura metalică este alcătuită din unul sau mai multe sorturi metalice, în funcție de disponibilitatea de sorturi metalice din baza de șarjare, calitatea sorturilor metalice de încărcătură, calitatea fontei propusă a fi elaborată etc.

### **2.1.1.1.a'. Calculul analitic al încărcăturii metalice formată dintr-un sort metalic**

#### **2.1.1.1.a'.1. Cuptoare ce funcționează cu frecvență medie sau mare**

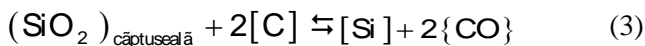
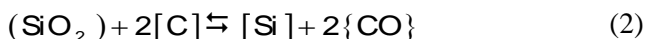
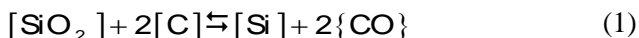
În acest caz, calculul analitic este o noțiune relativă deoarece încărcătura metalică este formată dintr-un sort metalic, acesta fiind în proporție de 100%.

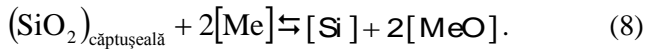
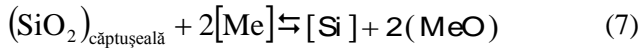
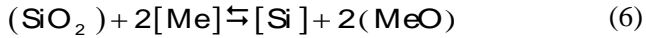
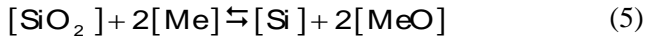
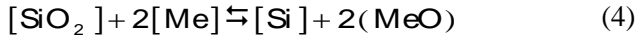
Elementul chimic ce determină alegerea sortului metalic este siliciul, însă, această situație este principială – de exemplu, în cazul elaborării fontei cu grafit nodular, se recomandă să se țină seama de toate elementele chimice însoțitoare de bază ale fierului (C, Si, Mn, P și S) dar și de oxigen împreună cu elementele chimice antimodificatoare (Ti, Pb, Sb, As și Al, în mod deosebit, dar și Bi, Te, Se etc., în unele cazuri, [6]);

Sortul metalic trebuie să asigure în încărcătură necesarul de siliciu, adică  $\langle \%Si \rangle$ .

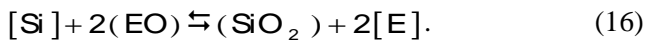
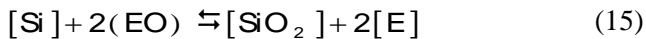
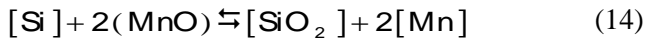
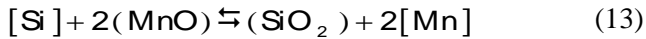
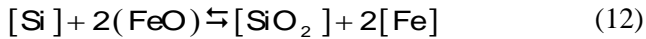
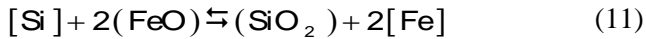
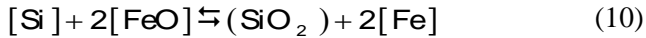
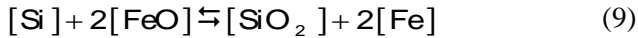
Proporția de siliciu din încărcătură se determină în funcție de pierderile de siliciu prin oxidare și de cantitatea de siliciu ce se regenerează din căptușeala refractară, în principal, dar și din zgură, dacă se intervine din exterior prin adaosuri de substanțe ce conțin siliciu, bioxid de siliciu etc.

Raportul dintre oxidarea siliciului și regenerarea siliciului este în funcție de modul de desfășurare al reacțiilor chimice (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7) și (8), de exemplu, precum și (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16) și (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23) și (24).





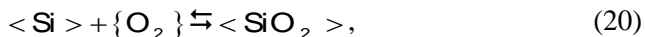
în care Me reprezintă un element chimic din baia metalică ce are afinitatea chimică față de oxigen mai mare decât a siliciului, în cazul reacțiilor chimice (4), (5), (6), (7) și (8) luându-se ca exemplu varianta de Me bivalent;



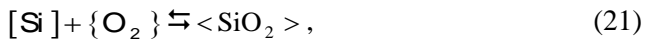
în care E reprezintă un element chimic ce are afinitatea chimică față de oxigen mai mică decât a siliciului și este considerat, ca exemplu, cu valența doi;



în cazul în care temperatura este mai mare de 1.986 K;



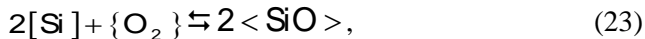
în cazul în care temperatura este mai mică de 1.687 K;



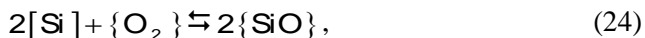
în cazul în care temperatura este cuprinsă în intervalul 1.687...1.986 K;



în cazul în care temperatura este mai mică de 1.687 K;



în cazul în care temperatura este cuprinsă în intervalul 1.687...2.173 K;



în cazul în care temperatura este mai mare de 2.173 K.

În cazul în care temperatura este mai mare de 1.500°C, oxidarea siliciului se realizează conform modalității (25).



Dacă temperatura este mai mică de 1.500°C, oxidarea siliciului se realizează conform modalității (26), [7].



Reacțiile chimice prezentate anterior arată că are importanță și natura chimică a căptușelii refractare deoarece aceasta “dictează disponibilitatea” de SiO<sub>2</sub> liber, nelegat chimic.

Dacă în timpul elaborării siliciul este oxidat, proporția de siliciu din încărcătură – <%Si> – se calculează cu relația (27).

$$\langle \% \text{Si} \rangle = \frac{[\% \text{Si}]}{100 \cdot \% a_{\text{Si}}} \cdot 100, \quad (27)$$

în care [%Si] reprezintă proporția de siliciu din fonta propusă să fie elaborată iar %a<sub>Si</sub> reprezintă proporția de siliciu ce se pierde prin oxidare în timpul elaborării.

Pierderile de siliciu prin ardere sunt, în general, cuprinse în intervalul 0...5%, [8]. De exemplu, dacă arderea siliciului este de 4% și dacă proporția de siliciu din fonta propusă a fi elaborată este de 2,2, proporția de siliciu din încărcătură are valoarea

$$\langle \% \text{Si} \rangle = \frac{2,2}{100 - 4} \cdot 100 = 2,29 \quad (28)$$

Pierderile de siliciu prin oxidare depind de următorii factori:

– **oxidarea directă.** Oxidarea directă este dată de oxigenul gazos din atmosfera gazoasă a cuptorului – de

deasupra băii metalice sau de deasupra încărcăturii metalice – și de oxigenul dizolvat în baia metalică. În timpul etapei de topire există un contact direct între bucățile de sort metalic și aerul ce conține oxigen, ceea ce generează interacțiuni de tipul (17), (20) și (22). Dacă, din motive obiective (de exemplu, defecțiuni de natură mecanică sau electrică), se realizează elaborarea în cuptor fără capacul de protecție, pierderile de siliciu prin oxidare sunt mai mari. Se apreciază că zgura nu este activă din punct de vedere metalurgic, așa, încât, nu se pune problema unui transfer de oxigen din atmosfera gazoasă a cuptorului în baia metalică prin intermediul zgurii – zgura are viscozitatea mare. În schimb, se pune problema contactului direct baie metalică-atmosferă gazoasă, ceea ce conduce la dizolvarea de oxigen în baia metalică. Se apreciază că în baia metalică oxigenul se află dizolvat sub formă de FeO. Cu cât durata de contact baie metalică-atmosferă gazoasă este mai mare, cu atât cantitatea de oxigen din baia metalică, sub formă de FeO, este mai mare. Oxidul feros din baia metalică oxidează siliciul din aceasta conform reacțiilor chimice (9) și (10). În cazul elaborării fontei în cuptoare ce funcționează la frecvența rețelei, brasajul (agitarea electromagnetică a băii metalice) este mare, ceea ce înseamnă că baia metalică, se “descoperă” de zgură și este în contact direct cu atmosfera o perioadă mai mare de timp. Așadar, în cazul elaborării fontei în cuptoare ce funcționează cu frecvența rețelei, pierderile de siliciu prin oxidare sunt mai mari;

– **oxidarea cu oxidul feros din zgură.** Reacțiile de oxidare a siliciului sunt de tipul (11) și (12). Cu cât activitatea termodinamică a FeO din zgură este mai mare, cu atât reacțiile chimice (11) și (12) se desfășoară mai intens de la stânga spre dreapta. În același timp, se precizează că o activitate termodinamică a FeO mai mare în zgură determină și un transfer mai mare de FeO din zgură în baia metalică, adică se intensifică de la stânga spre dreapta și reacțiile chimice (9) și (10). Cu cât zgura are aciditatea mai mică, cu atât activitatea

termodinamică a FeO din zgură este mai mare, adică, important fiind ca o cantitate mai mare de FeO să fie liberă, adică nelegată chimic. Într-o zgură acidă proporția de FeO alături de cea de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, variază în intervalul 5...30%, [8]. În cazul cuptoarelor prevăzute cu capac de protecție captușit cu material refractar, se consideră că activitatea FeO din zgură este mică iar pierderile de siliciu prin oxidare cu FeO din zgură sunt mici. Dacă agregatul de elaborare este prevăzut cu plasmatron (plasmatronul poate fi alimentat din punct de vedere electric de la aceeași sursă electrică cu inductorul), temperatura zgurii crește considerabil ceea ce înseamnă că va crește și activitatea termodinamică a FeO din zgură (crește coeficientul de activitate termodinamică al FeO din zgură). Activitatea termodinamică a FeO din zgură este cu atât mai mare cu cât și cantitatea de FeO din zgură este mai mare. Dacă nu se intervine cu adaosuri reducătoare în încărcătură, cantitatea de FeO din zgură depinde de suprafața specifică a bucăților de sort metalic din încărcătură, în tabelul 1 prezentându-se influența suprafeței specifice a bucăților de sort metalic din încărcătură asupra proporției de FeO din zgură și asupra arderilor totale (ale tuturor elementelor chimice din compoziția chimică). Cantitatea de FeO din zgură depinde și de gradul de oxidare al încărcăturii metalice, respectiv cu cât gradul de oxidare este mare, cu atât mai mari fiind pierderile de Si, dar și de C și Mn, așa cum se observă din tabelul 2;

– **conținutul de siliciu din încărcătură.** Cu cât conținutul de siliciu din încărcătură este mai mare, cu atât sunt mai mari pierderile de siliciu, prin oxidare. De exemplu, [8], pentru o fontă dată, se prezintă în tabelul 3 pierderile de siliciu prin oxidare în cazul a trei valori ale proporției de siliciu din încărcătură, pentru temperatura băii metalice de 1.300°C;

– **durata de topire.** Cu cât durata de topire este mai mare, cu atât pierderile de siliciu prin oxidare sunt mai mari. Pentru ca durata de topire să fie mică trebuie ca agregatul de



elaborare să se încarce o dată, conducerea elaborării din punct de vedere electric să se facă în mod corespunzător, grosimea căptușelii refractare să nu fie mică (uzura acesteia să nu fie avansată), ceea ce ar mări pierderile de căldură, dar nici să nu fie prea mare deoarece randamentul termic al cuptorului scade (scade intensitatea câmpului electromagnetic indus în încărcătura metalică solidă sau lichidă);

Tabelul 1

**Influența suprafeței specifice a bucăților de sort metalic din încărcătură asupra cantității de FeO din zgură și arderilor totale.**

<b>Structura încărcăturii metalice</b>	<b>Suprafața specifică a bucăților de sort metalic, în mm<sup>2</sup>/g</b>	<b>Cantitatea de FeO din zgură, în %</b>	<b>Arderile totale, în %</b>
Bucăți de cilindri de laminor	1,75...1,82	3,0...4,5	0,7...1,1
Table de oțel	23...32	5,0...6,8	1,8...3,2
Laminate de oțel carbon	52...84	5,4...13,9	2,0...5,5
Șpan	140...162	16,0...24,8	5,0...8,9
Pachete de tablă de oțel	265...280	24,0...36,0	8,8...12,0

Tabelul 2

**Influența gradului de oxidare al încărcăturii metalice asupra pierderilor prin oxidare de siliciu, carbon și mangan.**

<b>Gradul de oxidare pentru o încărcătură metalică cu până la 60% șpan</b>	<b>Pierderi prin oxidare, în %</b>		
	<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>
Neoxidată	10,7	8,2	6,3
Oxidată	23,0	21,5	18,0

Tabelul 3

**Arderea siliciului în funcție de proporția de siliciu din încărcătură, în cazul în care temperatura băii metalice este de 1.300°C, pentru o fontă dată.**

<%Si>	0,7	1,5	2,3
<b>Arderea siliciului, în %</b>	3,80	4,15	4,40

– **temperatura de menținere în stare lichidă.**

Temperatura de menținere în stare lichidă a fontei trebuie să se raporteze la temperatura de echilibru a reacțiilor chimice (1), (4) și (5), în principal. Pentru reacția chimică (1), se poate lua ca temperatură de echilibru orientativă valoarea de 1.450°C în cazul fontelor cenușii obișnuite, nealiate.

Pentru reacția chimică (1), constanta de echilibru are valoarea următoare:

$$K_{(1)} = \frac{f_{[Si]} \cdot [\%Si] \cdot p_{\{CO\}}^2}{f_{[SiO_2]} \cdot [\%SiO_2] \cdot f_{[C]}^2 \cdot [\%C]^2}, \quad (29)$$

în care  $K_{(1)}$  este constanta de echilibru;  $f_{[Si]}$  – coeficientul de activitate termodinamică al siliciului din baia metalică;  $p_{\{CO\}}$  – presiunea parțială a CO la echilibru;  $f_{[SiO_2]}$  – coeficientul de activitate termodinamică al  $SiO_2$  din baia metalică;  $f_{[C]}$  – coeficientul de activitate termodinamică al C din baia metalică;  $[\%Si]$  – concentrația de Si din baia metalică;  $[\%SiO_2]$  – concentrația de  $SiO_2$  din baia metalică;  $[\%C]$  – concentrația de C din baia metalică.

În același timp, constanta de echilibru depinde de temperatură conform relației (30).

$$\lg K_{(1)} = -\frac{\Delta H_{(1)}^0}{4,576 T} + \frac{\Delta S_{(1)}^0}{4,576}, \quad (30)$$

în care  $\Delta H_{(1)}^0$  este variația de entalpie a reacției chimice (1), în cal/mol;  $\Delta S_{(1)}^0$  – variația de entropie a reacției chimice (1), în cal/mol; T – temperatura, în K.

Sursa bibliografică [9] indică pentru relația (31), rezultată ca o explicitare dintre relațiile (29) și (30), relația (32) care este reprezentată grafic în figura 2, grafic ce permite aflarea temperaturii de echilibru pentru o gamă largă de concentrații de carbon și siliciu din baia metalică, evident, pentru reacția chimică (1) (reprezentarea grafică este realizată în cinci variante – după cinci autori).

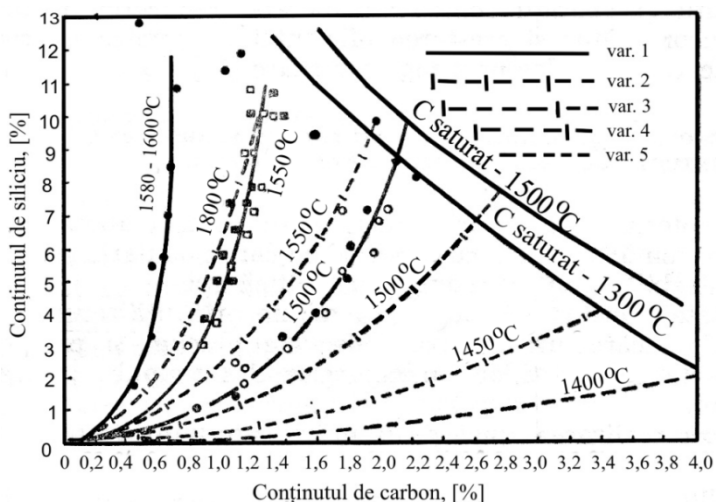
$$\lg \frac{[\% \text{Si}]}{[\% \text{C}]^2} = \frac{\Delta S_{(1)}^0}{4,576} - \frac{\Delta H_{(1)}^0}{4,567 T} - \lg \frac{f_{[\text{Si}]} \cdot p_{\{\text{Co}\}}^2}{f_{[\text{SiO}_2]} \cdot [\% \text{SiO}_2] \cdot f_{[\text{C}]}^2} \quad (31)$$

$$\lg \frac{[\% \text{Si}]}{[\% \text{C}]^2} = -\frac{27.486}{T} + 1.547 \quad (32)$$

Dacă temperatura de menținere a fontei în stare lichidă este mai mică decât temperatura de echilibru a reacției chimice (1), reacția chimică (1) se desfășoară de la dreapta spre stânga, adică există condiții de oxidare a siliciului – există pierderi de siliciu din baia metalică.

Dacă temperatura de menținere a fontei în stare lichidă este mai mare decât temperatura de echilibru a reacției chimice (1), reacția chimică (1) se desfășoară de la stânga spre dreapta, adică proporția de siliciu din baia metalică, ca atare (dizolvat), se mărește – siliciul se regenerează.

Regenerarea siliciului în baia metalică poate avea loc și ca urmare a desfășurării reacțiilor chimice (2), (3), (4), (5), (6), (7) și (8), de la stânga spre dreapta, aceste reacții chimice desfășurându-se de la stânga spre dreapta numai dacă temperatura băii metalice este mai mare decât temperatura de echilibru a respectivelor reacții chimice.



**Fig. 2. Temperaturi de echilibru pentru reacția chimică  $[\text{SiO}_2] + 2[\text{C}] \rightleftharpoons [\text{Si}] + 2\{\text{CO}\}$ , conform mai multor autori (var.1 ... var. 5 reprezintă variante corespunzătoare la cinci autori).**

–  **timpul de menținere a fontei în stare lichidă.**  
 Timpul de menținere este strict legat de temperatura băii metalice. Cu cât timpul de menținere în stare lichidă este mai mare, cu atât mai mari vor fi pierderile de siliciu prin oxidare dacă temperatura de menținere în stare lichidă este mai mică decât temperatura de echilibru a reacțiilor chimice de tipul (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7) și (8). Cu cât timpul de menținere în stare lichidă este mai mare, cu atât mai mare va fi cantitatea de

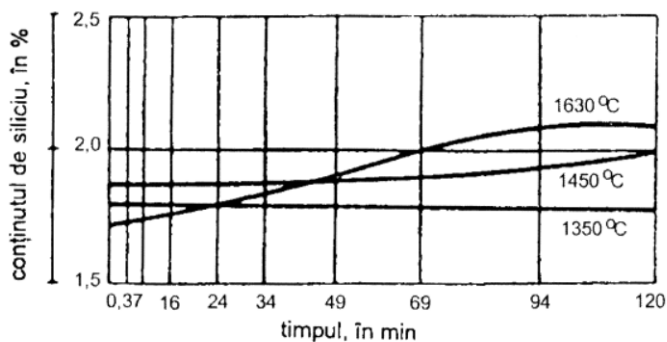
siliciu ce se regenerează din baie metalică, zgură și căptușeală refractară (din  $\text{SiO}_2$ ) dacă temperatura de menținere în stare lichidă este mai mare decât temperatura de echilibru a reacțiilor chimice menționate anterior. Așadar, într-un proces de elaborare a fontei, în atmosferă normală, în cazul în care temperatura fazei metalice este mai mică decât temperatura de echilibru a reacțiilor chimice (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7) și (8) există pierderi de siliciu din faza metalică prin oxidare. Din momentul în care temperatura băii metalice este mai mare decât temperatura de echilibru a reacțiilor chimice menționate anterior, încep să se desfășoare procesele chimice de reducere a  $\text{SiO}_2$  din zgură, căptușeală refractară și baie metalică, așa încât, în funcție de timpul de menținere a fontei în stare lichidă la temperaturi mai mari decât cea de echilibru, valoarea raportului dintre cantitatea de siliciu oxidat și cantitatea de siliciu regenerat variază. Așa este posibil ca proporția de siliciu regenerat în baia metalică să fie mai mare decât proporția de siliciu din baia metalică ce s-a oxidat. La durate de menținere a fontei în stare lichidă mari, la temperaturi mai mari decât cele de echilibru, procesele de regenerare ale siliciului în baia metalică pot determina creșterea conținutului de siliciu din baia metalică cu până la 8%. Variația conținutului de siliciu din baia metalică, în funcție de timpul de menținere la trei temperaturi (1.350°C, 1.450°C și 1.630°C) este prezentată în figura 3 (pentru o fontă dată).

Proporția de siliciu care arde în timpul elaborării se poate determina și cu relația (33).

$$\% a_{\text{Si}} = \% a_{\text{Si}, T < 1.350} + \tau \cdot \% a_{\text{Si}, 1.350 < T < 1.550}, \quad (33)$$

în care  $\% a_{\text{Si}, T < 1.350}$  reprezintă proporția de siliciu care arde în timpul topirii și în timpul supraîncălzirii fontei în stare lichidă până la temperatura de 1.350 °C;  $\tau$  – timpul de menținere în

stare lichidă a fontei în intervalul de temperaturi 1.350...1.550 °C, în h;  $\% a_{Si, 1350 < T < 1.550}$  – proporția de siliciu care se oxidează în timpul menținerii fontei în stare lichidă în unitatea de timp (într-o oră), în intervalul de temperaturi 1.350...1.550 °C.



**Fig. 3. Variația conținutului de siliciu din baia metalică în funcție de timpul de menținere în stare lichidă, pentru trei temperaturi de menținere – 1.350 °C, 1.450 °C și 1.630 °C.**

Pentru cinci temperaturi de menținere a fontei în stare lichidă se prezintă pierderile, respectiv regenerările, de siliciu, în timpul menținerii fontei în stare lichidă într-o oră, alături de pierderile prin ardere ale elementelor chimice C, Mn și Cr, în timpul elaborării, în tabelul 4 (valorile pentru temperaturi mai mici de 1.350 °C și pentru intervalul de temperaturi 1.350...1.550 °C), conform relației (33).

De exemplu, dacă fonta este supraîncălzită la temperatura de 1.450 °C iar durata de menținere la această temperatură este de 1,25 ore (în timpul menținerii s-au efectuat corectarea siliciului cu FeSi45, corectarea manganului cu feromangan, adăugarea de deșeuri proprii și evacuarea zgurii, cuptorul având capacitatea de 12 tone, [10]), proporția de

siliciu care a ars, conform relației (33), a fost cea dată de relația (34) și utilizând date din tabelul 4:

$$\% a_{Si} = 4,10 + 1,25 \cdot (-0,39) = 3,61 \quad (34)$$

Tabelul 4

**Pierderile, respectiv regenerările, de Si, C, Mn și Cr, în %, la temperaturi mai mici de 1.350°C și la temperaturi cuprinse în intervalul 1.350...1.550°C, în timp de o oră.**

Temperatura de supraîncălzire, în °C	Denumirea elementului chimic							
	C		Si		Mn		Cr	
	%a <sub>C</sub> , T<1.350	%a <sub>C</sub> , 1.350<T<1.550	%a <sub>Si</sub> , T<1.350	%a <sub>Si</sub> , 1.350<T<1.550	%a <sub>Mn</sub> , T<1.350	%a <sub>Mn</sub> , 1.350<T<1.550	%a <sub>Cr</sub> , T<1.350	%a <sub>Cr</sub> , 1.350<T<1.550
1.350	4,3	0,15	4,1	0	1,4	0,58	4,1	1,21
1.400	4,3	0,73	4,1	0	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

Așadar, 3,61% sunt pierderile de siliciu prin oxidare. Dacă proporția de siliciu din încărcătură a fost de 2,1, atunci pierderile de siliciu prin oxidare, exprimate în kg/100 kg încărcătură metalică, au fost de  $2,1 \cdot \frac{3,61}{100} = 0,08$  kg/100 kg înc.met., ceea ce pentru un cuptor cu capacitatea de 12 t ar înseamnă o pierdere de siliciu de  $12.000 \text{ kg} \cdot 0,08/100 = 9,6$  kg siliciu.

Dacă, de exemplu, fonta este supraîncălzită în stare lichidă la temperatura de  $1.550^{\circ}\text{C}$  și menținută la această temperatură două ore, aplicarea relației (33) indică următoarea valoare pentru  $\%a_{\text{Si}}$ :

$$\%a_{\text{Si}} = 4,8 + 2 \cdot (-3,77) = -2,74 \quad (35)$$

Prin urmare, conform relației (35), există regenerare de siliciu. În acest caz, proporția de siliciu din încărcătură –  $\langle \% \text{Si} \rangle$  – se calculează, de asemenea, cu relația (27), proporția de siliciu care se regenerează figurând în această relație cu valoarea minus. Concret, aplicând relația (27), în cazul exemplului (28), rezultă

$$\langle \% \text{Si} \rangle = \frac{2,2}{100 - (-2,74)} \cdot 100 = 2,14 \quad (36)$$

#### **2.1.1.1.a'.2. Cuptoare ce funcționează cu frecvența rețelei**

Cuptoarele ce se utilizează în mod curent la scară industrială funcționează la frecvența rețelei – 50 Hz (în Europa). Randamentul termic al acestor cuptoare este cu atât mai mare cu cât este mai mare cantitatea de fontă lichidă rămasă în cuptor de la elaborarea precedentă. Așadar, încărcarea sorturilor metalice se realizează într-o baie metalică numită baie metalică remanentă sau fontă lichidă remanentă (în jargon industrial “călcâi”). Cantitatea de fontă remanentă este în funcție de coeficientul de utilizare a puterii – notat de regulă, cu  $K$  – și de capacitatea cuptorului. În figura 4 se prezintă variația coeficientului de utilizare al puterii – al puterii absorbite de cuptor – cu cantitatea de fontă remanentă și capacitatea cuptorului, [10]. Din figura 4 rezultă că din punct de vedere al utilizării eficiente a energiei electrice,



cantitatea optimă a fontei remanente din cuptor este de 70% din capacitatea acestuia. Această situație nu este admisă de practică din cauza necesarului mare de fontă lichidă, apelându-se la valori de 30...40% din capacitatea cuptorului sau la valoarea de referință de 1/3 din capacitatea cuptorului. În cazul calculului încărcăturii cuptoarelor ce funcționează la frecvența rețelei intervin noțiuni noi față de cuptoarele la care frecvența curentului electric este medie sau înaltă. Așa, apare noțiunea de proporția de siliciu total din încărcătură –  $\langle \%Si_{total} \rangle$  – ce se determină cu relația (37).

$$\langle \%Si_{total} \rangle = \%FR \frac{\langle \%Si_{rem} \rangle}{100} + (100 - \%FR) \frac{\langle \%Si_{ad} \rangle}{100}, \quad (37)$$

în care  $\langle \%Si_{rem} \rangle$  reprezintă proporția de siliciu din baia remanentă,  $\langle \%Si_{ad} \rangle$  reprezintă proporția de siliciu din încărcătura adăugată în cuptor iar  $\%FR$  reprezintă proporția de fontă remanentă din cuptor.

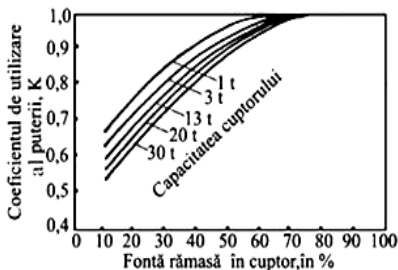
Proporția de siliciu total din încărcătură se determină cu relația (38).

$$\langle \%Si_{total} \rangle = \frac{[\%Si]}{100 - \%a_{Si}^*} \cdot 100, \quad (38)$$

simbolurile literare păstrându-și semnificațiile anterioare, iar  $\%a_{Si}^*$  calculându-se relativ cu formula (39).

$$\begin{aligned} \%a_{Si}^* = & \left( \frac{100 - \%FR}{100} \right) \cdot \%a_{Si, T < 1.350} \\ & + \tau' \cdot \%a_{Si, 1.350 < T < 1.550} \end{aligned} \quad (39)$$

în care  $\tau'$  reprezintă timpul de menținere în stare lichidă a fontei în intervalul de temperaturi 1.350 .. 1.550<sup>0</sup>C, în h.



**Fig.4. Variația coeficientului de utilizare a puterii (K) cu cantitatea de fontă remanentă și capacitatea cuptorului.**

De exemplu, dacă  $\tau' = 1h$ , temperatura de menținere este de  $1.450^{\circ}C$  și  $\%FR = 30$ ,  $\%a_{Si}^*$  are valoarea dată de relația (40).

$$\%a_{Si}^* = \left(\frac{100-30}{100}\right)4,1 + 1 \cdot (-0,39) = 2,48 \quad (40)$$

În relația (40) s-au folosit date ale arderilor din tabelul 4.

Formula (39) este relativă deoarece se ia în considerație că încărcătura metalică ce se introduce în baia metalică remanentă din cuptor se încălzește de la temperatura mediului ambiant la temperatura de supraîncălzire în stare lichidă a fontei iar baia metalică remanentă din cuptor se încălzește de la temperatura inițială corespunzătoare momentului introducerii încărcăturii metalice în ea, la temperatura de supraîncălzire în stare lichidă a fontei. Realitatea este, însă, alta, intervenind temperatura de preîncălzire a încărcăturii metalice ce se introduce în baia metalică remanentă, o temperatură a băii metalice remanente mai mică decât  $1.350^{\circ}C$ , o creștere a temperaturii încărcăturii metalice care se introduce în baia metalică remanentă, în momentele imediate după introducere în cuptor, sub influența contactului direct cu baia metalică remanentă – prin conducție – etc.

Proporția de siliciu din încărcătura adăugată în cuptor se determină cu relația (41) rezultă din relația (37).

$$\langle \%Si_{ad.} \rangle = \frac{\langle \%Si_{total} \rangle - \%FR \frac{\langle \%Si_{rem} \rangle}{100}}{100 - \%FR} \cdot 100 \quad (41)$$

Așadar, încărcătura metalică ce se introduce în cuptor trebuie să conțină o proporție de siliciu de  $\langle \%Si_{ad} \rangle$ .

În cuptoarele ce funcționează la frecvența rețelei nu este posibilă elaborarea de fontă sintetică în adevăratul sens al definiției acesteia deoarece încărcătura este formată din două componente, respectiv fonta remanentă și deșeurile de oțel. Așadar, în asemenea cuptoare, se elaborează fontă semisintetică, ce se obține din procesarea unei încărcături de oțel și fontă, ce se obține prin procesarea unei încărcături metalice formată, de exemplu, din fontă lichidă remanentă, deșeuri de oțel și fontă brută (de primă fuziune).

Se apreciază că fonta lichidă remanentă reprezintă deșeuri de fontă, așa încât, cu statutul de recomandare, fontă semisintetică se recomandă să fie obținută prin procesarea unei încărcături formată din 30...40% fontă lichidă remanentă și 60...70% deșeuri de oțel.

Paragraful 2.1.1.1.a', respectiv calculul analitic al încărcăturii metalice formată dintr-un sort metalic, se referă la asigurarea proporției de siliciu din încărcătură adăugată în cuptor.

Sortul metalic ce se introduce în baia de fontă remanentă poate fi deșeuri de oțel, fontă brută, fontă veche, deșeuri proprii și burete de fier (ca atare sau sub formă de pelete respectiv de brichete).

Dacă fonta lichidă remanentă are proporția de 30% din capacitatea cuptorului, proporția de siliciu din încărcătură adăugată în cuptor, dedusă din relația (41), are valoarea (42).

$$\langle \%Si_{ad.} \rangle = \frac{\langle \%Si_{total} \rangle - 0,3 \langle \%Si_{rem} \rangle}{0,7} \quad (42)$$

De exemplu, dacă fonta remanentă are conținutul de siliciu de 2,2%, proporția de siliciu total din încărcătură este de 2,14 iar proporția de fontă lichidă remanentă din cuptor este de 30, proporția de siliciu din încărcătura adăugată în cuptor are valoarea (43) – s-a aplicat relația (41).

$$\langle \%Si_{ad.} \rangle = \frac{2,14 - 30 \cdot \frac{2,2}{100}}{100 - 30} \cdot 100 = 2,11 \quad (43)$$

De regulă, toți beneficiarii, în cazul în care impun pentru piesele turnate din fontă o compoziție chimică, solicită ca elementele chimice din aceasta să se situeze în intervale de valori în ceea ce privește conținutul sau să nu depășească o limită maximă (după caz, să depășească o limită minimă), de asemenea, în ceea ce privește conținutul. Pentru conducerea calculului analitic al încărcăturii metalice, se calculează media aritmetică a limitelor de concentrație între care trebuie să se situeze un element chimic, De exemplu, un standard românesc recomandă pentru fonta cu grafit nodular, cu structură bainitică, un conținut de siliciu de 2,2...2,6%, cu abateri limită de  $\pm 0,2\%$ . În acest caz, proporția de siliciu din fonta propusă să fie elaborată – [%Si] – are valoarea  $\frac{2,2+2,6}{2} = 2,4 \pm 0,2 = 2,2...2,6$ , adică orice valoare în intervalul 2,2...2,6.

Chiar dacă nu toate standardele impun o compoziție chimică pentru o marcă de fontă, producătorul de fontă dispune de o corelație între compoziția chimică și proprietățile fontei propusă a fi elaborată, așa încât se poate conduce un calcul analitic de încărcătură (în general, pentru un producător intervine experiența ce impune cunoașterea corelației

compoziției chimică-proprietăți).

Alegerea sortului metalic din încărcătură se face ținând cont de proporția de siliciu din încărcătura adăugată în cazul elaborării fontei în cuptoare ce funcționează la frecvența rețelei și de proporția de siliciu din încărcătură în cazul elaborării fontei în cuptoare ce funcționează la frecvență medie și mare –  $\langle \%Si_{ad.} \rangle$ , respectiv  $\langle \%Si \rangle$ .

Sortul metalic se alege în așa fel încât proporția de siliciu din încărcătura adăugată (cazul cuptoarelor ce funcționează la frecvența rețelei) sau proporția de siliciu din încărcătură (cazul cuptoarelor ce funcționează la frecvență medie sau mare) să se încadreze între limitele minimă și maximă ale conținutului de siliciu al sortului metalic sau, după caz, în condițiile cantitative impuse de sortul metalic. De exemplu, dacă, respectiv, cantitatea de siliciu din încărcătura adăugată este de 2,11%, se va alege din tabelul 5 marca de fontă brută Pig -  $P_3Si$  ce conține 1,5...3,5% Si (fonta brută cu numărul de ordine 23).

Realitatea este, însă, mai complexă. Producătorul de fontă trebuie să asigure pe lângă caracteristicile fizico-mecanice impuse de utilizator și stipulate în clauzele contractuale și un cost de producție minim. Prin urmare, are importanță semnificativă compoziția chimică al încărcăturii metalice deoarece aceasta dictează și modul de procesare a băii metalice, respectiv, alierea, desulfurarea, defosforarea, diluarea, dezoxidarea, fierberea etc., adică dictează costul de producere al fontei. Iată de ce alegerea unui sort metalic din încărcătură nu trebuie să aibă în vedere doar conținutul de siliciu ci și celelalte elemente chimice, fiind de dorit ca și acestea să îndeplinească aceeași condiție ca și siliciul, respectiv proporțiile de elemente chimice din încărcătura adăugată și din încărcătură să se încadreze între limitele minimă și maximă ale concentrațiilor respectivelor elemente chimice din sortul vizat să fie ales (sau să se apropie cât mai mult de respectivele limite), respectiv să subscrie condițiilor

de maximum sau minimum pentru concentrații, impuse de unele elemente chimice din același sort metalic vizat.

În continuare se prezintă caracteristicile generale ale sorturilor metalice care pot sta la dispoziția producătorului de fontă.

#### **a. Fonta brută**

Tabelul 5 prezintă compoziții chimice pentru unele fonte brute, dar și unele recomandări de utilizare ale acestora, firma producătoare, țara producătoare etc. Se menționează că datele din tabelul 5 sunt caracteristice anului 2006, ca de alt fel și datele referitoare la alte materiale metalice sau nemetalice – acolo unde datele respective sunt mai vechi se specifică sursa bibliografică disponibilă (s-a considerat că datele luate de pe internet sunt de actualitate dacă se face referință la anul publicării monografiei). Tabelul 5 se referă la fonte brute de turnătorie, fonte brute de afinare, fonte brute aliate și fonte brute de înaltă puritate.

Fontele brute se utilizează în încărcătură în stările de agregare solidă, lichidă și combinată (solidă+lichidă). În stare solidă, fonta brută poate avea aspect de bloc denumit și calup și granule.

Fontele brute conform SR EN 10.001, reprezintă un aliaj de fier și carbon cu un conținut de carbon mai mare de 2% și cu următoarele restricții pentru conținuturile altor elemente chimice:  $Mn \leq 30\%$ ;  $Si \leq 8\%$ ;  $P \leq 3\%$ ;  $Cr \leq 10\%$ ; alte elemente chimice de aliere, în total,  $\leq 10\%$ , cu mențiunea recomandării ca  $\%Mo > 0,1\%$ ,  $\%Ni > 0,3\%$ ,  $\%Ti > 0,2\%$ ;  $\%V > 0,1\%$ ;  $\%W > 0,1\%$  etc.

La modul general, fonta brută poate fi clasificată în fontă brută de turnătorie, fontă brută de afinare, fontă brută aliată și fontă brută de mare puritate numită convențional și fontă de înaltă puritate (codificate FIP).

**Fonta brută de turnătorie** se fabrică în variantele obținute în furnal ce funcționează cu cocs metalurgic, obținute în furnal ce funcționează cu mangal și fonte brute sintetice

obținute în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric prin procesarea deșeurilor de oțel etc.

Fontele brute de turnătorie **obținute în furnal ce funcționează cu cocs metalurgic**, sunt, de regulă, fonte hipereutectice, sunt cenușii, nu conțin în structură cementită liberă iar ruptura recentă (proaspătă) este de culoare cenușie.

Grafitul din fontele brute de turnătorie este lamelar (lungimea lamelor poate ajunge până la 1.000  $\mu\text{m}$ ) sau nodular (în tabelul 5, în cazul în care grafitul este nodular, această particularitate este specificată în coloana 1). Se precizează și tendința de formare a unor aglomerări de grafit lamelar denumite “fulgi” sau “kish” ce cresc în timpul solidificării ca urmare a depunerii carbonului pe acestea datorită solubilității carbonului în faza metalică lichidă și ca urmare a procesului de coagulare a respectivilor “fulgi” (particulele de grafit se caracterizează prin fenomenul de flotare, viteza de ascensiune a particulelor de grafit fiind mai mare decât cea corespunzătoare legii lui Stokes din cauza faptului că în jurul separărilor de grafit viscozitatea lichidului este mai mică decât în zonele mai îndepărtate de acestea).

Fonta brută de turnătorie se consideră că are prețul de cost mult mai mare decât al deșeurilor de oțel, fontei vechi și deșeurilor proprii, acest aspect netrebuind să fie neglijat chiar dacă acest sort metalic conferă încărcăturii metalice următoarele particularități – avantaje:

- manopera de pregătire în vederea încărcării este minimă (cea mai mică față de toate celelalte sorturi metalice din încărcătură);

- are un conținut mic de sulf;

- determină inițierea cristalizării fontei de a doua fuziune cu grafit nodular în cazul în care grafitul este nodular;

- are un conținut de carbon mare;

- compensează pierderile de siliciu și mangan (pierderile prin oxidare) din timpul elaborării deoarece conține cele două elemente chimice în cantități relativ mari – de

asemenea, elimină deficitul de siliciu și mangan cauzat de celelalte sorturi metalice din încărcătură;

– are intervalul solidus-lichidus, din diagrama de echilibru, relativ mic în raport cu celelalte sorturi metalice din încărcătură, ceea ce determină un necesar caloric mai mic pentru topire;

– utilizarea fontei brute de turnătorie ca o soluție “extremis” în cazul în care turnătorie (producătorul de fontă) nu dispune la un moment dat de alte sorturi metalice etc.

În cazul alegerii fontei brute de turnătorie ca unic sort metalic pentru încărcătura metalică, nu trebuie neglijat aspectul că aceasta conține o cantitate semnificativă de incluziuni nemetalice, gaze și oligoelemente cum ar fi Pb, Bi, Al, Ti, As, Cr, Sb, Sn etc. De exemplu, dacă fonta ce este propusă a fi elaborată este cu grafit nodular, conform [6], cu excepția cromului, toate oligoelementele menționate anterior sunt considerate elemente chimice antimodificatoare, fiind, astfel, limitate cantitativ la valori maxime.

Tabelul 5

**Compozițiile chimice ale unor fonte brute**

Nr. crt.	Marca, producător, recomandare pentru destinație, caracteristici	Compoziția chimică, în %					
		C	Si	Mn	P, max.	S, max.	Alte elemente chimice
0	1	2	3	4	5	6	7
1	Calitatea 1, Pakistan, pentru f.g.n.*	2,8...3,0	max. 0,2	0,05	0,4	0,02	0,01 Ti
2	Calitatea 2, Pakistan, pentru f.g.n.	3,7..4,2	0,5... 1,0	0,05	0,04	0,02	0,01 Ti
3	Calitatea 1, India sau Ucraina	3,5...4,0	1,6... 1,8	0,3... 0,4	0,04	0,03	–



Tabelul 5–continuare

1	2	3	4	5	6	7	8
4	Z34, S.U.A.,Fontă brută de turnătorie pentru industria de automobile, piese de precizie etc.	min.3,4	3,2...3,6	max.0,5	0,6	0,03	-
				0,5...0,9	0,06...0,10	0,04	
				0,9...1,3	0,10...0,20	0,05	
					0,20...0,40		
					0,40...0,90		
max.0,5	0,6	0,03					
0,5...0,9	0,06...0,10	0,04					
5	Z30, S.U.A., Fonta brută de turnătorie pentru industria de automobile, piese de precizie etc.	min.3,4	2,8...3,2	0,9...1,3	0,10...0,20	0,05	
					0,20...0,40		
					0,40...0,90		
6	Z26, S.U.A., Fontă brută de turnătorie pentru industria de automobile, piese de precizie etc.	min.3,4	2,4...2,8	max.0,5	0,6	0,03	-
				0,5...0,9	0,06...0,10	0,04	
				0,9...1,3	0,10...0,20	0,05	
					0,20...0,40		
					0,40...0,90		
7	Z22, S.U.A., Fontă brută de turnătorie pentru industria de automobile, piese de precizie etc.	min.3,4	2,0...2,4	max.0,5	0,6	0,03	-
				0,5...0,9	0,06...0,10	0,04	
				0,9...1,3	0,10...0,20	0,05	
					0,20...0,40		
					0,40...0,90		
8	Z18, S.U.A., Fontă brută de turnătorie pentru industria de automobile, piese de precizie etc.	min.3,4	1,6...2,0	max.0,5	0,6	0,03	-
				0,5...0,9	0,06...0,10	0,04	
				0,9...1,3	0,10...0,20	0,05	
					0,20...0,40		
					0,40...0,90		

Tabelul 5–continuare

1	2	3	4	5	6	7	8
9	Z14, S.U.A., Fontă brută de turnătorie pentru industria de automobile, piese de precizie etc.	min.3,4	1,25... 1,60	max.0,5	0,6	0,04	-
				0,5...0,9	0,06... 0,10	0,04	
				0,9...1,3	0,10... 0,20	0,06	
					0,20... 0,40		
	0,40... 0,90						
10	Fontă brută sintetică, U.C.M. Reșița	3,15	0,47	0,14	0,017	0,040	0,09 Cu; 0,05 Cr
11	Fontă brută sintetică, U.C.M. Reșița. [1]	3,48	0,53	0,18	0,018	0,040	0,05 Cu; 0,07 Cr
12	Fontă brută sintetică, U.C.M. Reșița. [1]	3,15	0,47	0,14	0,017	0,040	0,09 Cu; 0,05 Cr
13	Sorelmetal, Canada, pentru f.g.n. feritic cu grosimea pereților de 12 mm	4,3	0,18	0,01	0,02	0,013	-
14	Sorelmetal, Can ada, [2]	4,20... 4,33	0,15	0,005... 0,025	0,013 ... 0,03	0,006	0,025 Ti, 0,08 Ni, max.0,01 Al,Cr,V, Cu,Mo
15	Sorelmetal, Can ada, [2], pentru f.g.n., [3]	4,20... 4,33	1,00	0,005 ... 0,025	0,013 ... 0,03	0,006	max.0,1Ti, Ni, Al,Cr,V, Cu,Mo

Tabelul 5–continuare

1	2	3	4	5	6	7	8
16	Sorelmetal, Canada, [2], pentru F.g.n., [3]	4,20... 4,33	max.0,4	max. 0,030	0,030	0,010	max.0,1Ti, Ni, Al,Cr,V, Cu,Mo
17	Sorelmetal, Canada, [2], pentru F.g.n., [3]	4,20... 4,33	0,15	max. 0,030	0,030	0,010	max.0,1Ti, Ni, Al,Cr,V, Cu,Mo
18	Sorelmetal, Canada, [2], pentru F.g.n., [3]	4,20... 4,33	0,75... 1,35	max. 0,030	0,030	0,010	max.0,1Ti, Ni, Al,Cr,V, Cu,Mo
19	Sorelmetal, Canada, [2], pentru F.g.n., [3]	4,20... 4,33	1,05	max. 0,030	0,030	0,010	max.0,1Ti, Ni, Al,Cr,Cu, Mo
20	cod 1.1, România, SR EN 10.001. Cu conținut mic de fosfor. Fontă de afinare. Simbol Pig-P2	3,3...4,8	max.1	0,5... 1,5	0,25	0,06	–
21	cod 1.2. Fontă de afinare. Cu conținut mare de fosfor. Simbol Pig-P20. România SR EN 10.001	3,0...4,5	max.1	max. 1,5	1,5... 2,5	0,08	–
22	cod 2.1. Fontă de turnătorie. Simbol Pig-P1Si. România SR EN 10.001	3,3...4,5	1,5...3,5	0,4... 1,5	0,12	0,06	–

Tabelul 5–continuare

1	2	3	4	5	6	7	8
23	cod 2.2. România SR EN 10.001. Simbol Pig- P3Si. Fontă de turnătorie.	3,3...4,5	1,5...3,5	0,4... 1,5	min. 0,12...0,5	0,06	–
24	cod 2.3.România.S R EN 10.001. Fontă de turnătorie.Simb ol Pig-P6Si.	3,3...4,5	1,5...3,5	0,4... 1,5	min. 0,5...0,7	0,06	–
25	cod.2.4. România.SR EN 10.001. Fontă de turnătorie. Simbol Pig-P1 2Si.	3,3...4,5	1,5...3,5	0,4... 1,5	min. 1,0...1,4	0,06	–
26	cod 2.5. România SR EN 10.001. Fontă de turnătorie. Simbol Pig-P1 7Si.	3,3...4,5	1,3...3,5	0,4... 1,5	min. 1,4...2,0	0,06	–
27	cod 3.1. România SR EN 10.001. Fontă de turnătorie. Simbol Pig- Nod. Fontă brută cu grafit nodular.	3,5...4,6	max.3	max. 0,1	0,08	0,03	–

Tabelul 5–continuare

1	2	3	4	5	6	7	8
28	cod 3.2. România SR EN 10.001. Fontă de turnătorie cu grafit nodular și conținut de mangan mare. Simbol Pig-Nod Mn. Fontă brută.	3,5... 4,6	max.4	min 0,1... 0,4 **	0,08	0,03	–
29	cod 3.3. România SR EN 10.001. Fontă de turnătorie cu conținut de carbon mic. Simbol Pig-LC. Fontă brută.	min. 2,0... 3,5	max.3	min. 0,4... 1,5	0,3	0,06	–
30	cod 5.1. România SR EN 10.001. Fontă Spiegel. Simbol Pig- Mn. Fontă brută aliată.	4,0... 6,5	max. 1,5	min. 6,0... 30,0	0,20	0,05	–
31	Kugra Z. Germania (produsă de Aug.Thyssen). Destinația recomandată – fontă cu grafit nodular.	3,8... 4,3	0,10... 0,25	0,02... 0,08	0,04	0,01	–
32	SPH. Germania (produsă de Metall). Destinația – fontă cu grafit nodular (recomandare).	3,8... 4,3	0,05... 2,5	0,02... 0,08	0,04	0,003... 0,020	–
33	W.C.I. Australia. Destinație recomandată – fontă cu grafit nodular.	2,4... 4,2	max. 0,05	max. 0,1	urme	urme	–
34	O.B. Norvegia (produsă de Bremenger). Destinație recomandată –fontă cu grafit nodular.	3,8... 4,2	0,05... 0,25	max. 0,05	0,05	0,025	–

Tabelul 5–continuare

1	2	3	4	5	6	7	8
35	Sorelmetal. Comandă F1. Destinația recomandată–fontă cu grafit nodular	2,4... 4,3	0,18	0,009	0,027	0,006	–
36	FIP-Mn-1.SR 12.592. Destinație recomandată – f.g.n. perlitică și fontă maleabilă.Clasa de calitate 1Mn, 1P și 1S	3,0... 4,5	max. 0,20	max. 0,20	0,03	0,015	–
37	FIP-Mn-2.SR 12.592. Destinație recomandată – f.g.n. perlitică și fontă maleabilă.Clasa de calitate 1Mn, 1P și 1S	3,0... 4,5	0,21... 0,50	max. 0,20	0,03	0,015	–
38	FIP-Mn-3.SR 12.592. Destinație recomandată– f.g.n.perlitică și fontă maleabilă.Clasa de calitate 1Mn, 1P și 1S	3,0... 4,5	0,51... 0,90	max.20	0,03	0,015	–
39	FIP-Mn-4.SR 12.592. Destinație recomandată– f.g.n. perlitică și fontă maleabilă.Clasa de calitate 3Mn, 1P și 1S	3,0... 4,5	0,91... 1,80	0,3...0,4	0,05	0,015	–
40	FIP 1. SR 12.592. Destinația recomandată – f.g.n. feritică. Clasa de calitate 1P și 1S	3,0... 4,5	max. 0,20	0,1	0,03	0,015	–
41	FIP 2. SR 12.592. Destinația recomandată – f.g.n. feritică. Clasa de calitate 1P și 1S	3,0... 4,5	0,21... 0,50	0,1	0,03	0,015	–

Tabelul 5–continuare

1	2	3	4	5	6	7	8
42	FIP 3. SR 12.592. Destinația recomandată – f.g.n. feritică. Clasa de calitate 1P și 1S	3,0... 4,5	0,51... 0,90	0,1	0,03	0,015	–
43	FIP 4. SR 12.592. Destinația recomandată – f.g.n. feritică. Clasa de calitate 2P și 3S	3,0... 4,5	0,91... 1,80	0,1	0,05	0,025	–
44	Sorelmetal S.100.Canada. Destinație recomandată – f.g.n., [5]	2,40... 4,06	1,05	0,009	0,027	0,007	–
45	FS. Fontă brută aliată cu siliciu	1,6... 2,5	8,0... 13,0	0,4... 0,7	0,16	0,02 ... 0,04	–
46	FSOg. Fontă brută aliată cu siliciu și mangan	2,5... 3,5	3,0... 3,5	4...5	0,12	0,04	–
47	FSOg. Fontă brută aliată cu siliciu și mangan	1,6... 2,5	9...13	18...24	0,40	0,04	–
48	Ni-hard.Fontă brută aliată cu nichel și crom. Destinație – piese rezistente la abraziune (nu se prelucrează mecanic)	3,3... 3,6	0,5... 0,7	0,6... 0,8	0,35	0,12	4,4... 4,6 % Ni; 2,2... 2,5 % Cr
49	Fontă brută aliată cu nichel, cupru și crom	circa 2,9	circa 2,8	circa 2	0,2	0,02	14% Ni;6 % Cu;2 %Cr
50	Kugra Z (societatea Aug.Thyssen Germania). Fontă de mare puritate	3,8...	0,1... 2,5	0,02 ... 0,08	0,04	0,01	–

Tabelul 5–continuare

1	2	3	4	5	6	7	8
51	SPH (societatea Metall, Germania) fontă de mare puritate	3,8...4,3	0,05...2,5	0,02 ... 0,08	0,04	0,003 ... 0,020	–
52	W.C.I. (Australia). Fontă de înaltă puritate	2,4...4,2	max.0,05	max. 0,1	urme	urme	–

\* – f.g.n. = fontă cu grafit nodular

\*\*– minimumul unui interval de valori este conform SR EN

10.001

În mod deosebit, se subliniază particularitățile **fontei brute de turnătorie elaborată în furnal ce funcționează cu mangal**, o asemenea fontă brută având următoarele particularități:

- conținut de sulf mic (0,02...0,03%);
- conținut mic de fosfor (max.0,3%, [7]);
- conținut mic de gaze – de 10 ori mai mic decât în cazul fontei brute elaborată în furnal ce funcționează cu cocs metalurgic;
- conținut mic de carbon (3,6...3,8%);
- conținut mic de incluziuni nemetalice – de 4...10 ori mai mic decât în cazul fontei brute elaborată în furnal ce funcționează cu cocs metalurgic;
- grafit fin. Se menționează că grafitul fin se dizolvă la temperaturi mai mici ale fazei metalice lichide etc.

Factorii ce stau la baza alegerii ca sort metalic unic a **fontei brute de afinare**, în principal, sunt următorii:

- dacă este pestriță, cantitatea de grafit este mică iar grafitul este fin;
- conținut de siliciu mic (de exemplu, maximum 1%);
- conținut mare de mangan (de exemplu, 0,5...1,5%);
- cost mai mic decât cel al fontei brute de turnătorie;
- se livrează în variantele pestriță și albă;



– conținut de gaze mic (de exemplu, 0,01000% N<sub>2</sub>, 0,00290% O<sub>2</sub> și 0,00032% H<sub>2</sub>).

În alegerea fontei brute de afinare trebuie avute în vedere și următoarele avertizări:

– susceptibilitatea de formare a crăpăturilor la cald pentru fonta de a doua fuziune;

– tendința mărită de cristalizare a fontei de a doua fuziune în sistemul metastabil;

– mărirea probabilității de apariție în structura metalografică a grafitului interdendritic;

– afectarea prelucrării mecanice a pieselor din fontă de a doua fuziune etc.

**Fonta brută aliată** se utilizează ca sort unic în încărcătură în variantele aliată cu crom, titan, vanadiu, nichel, molibden, cupru, siliciu, în combinații foarte diverse, pentru destinații consacrate – piese cu refractaritate moderată, piese supuse la uzare sau coroziune, lingotiere, organe de frânare, forme metalice pentru turnarea sticlei, cilindri de motoare cu ardere internă pentru nave maritime, arbori cotiți, roți dințate, arbori cu came, blindaje, cilindri duri de laminor, pompe și vane pentru lichide abrazive, piese calibrate, piese rezistente la coroziunea chimică la temperaturi mari (industriile alimentară, a petrolului, minieră, navală etc.) etc.

**Fonta brută de mare puritate** se recomandă pentru elaborarea fontei cu grafit nodular și fontei maleabile, calitatea fontei brute corelându-se cu matricea metalică a fontei de a doua fuziune.

Fonta brută de mare puritate, denumită convențional și fontă de înaltă puritate, are drept caracteristici conținuturi mici de siliciu și mangan, după caz (de exemplu, manganul poate exista și sub formă de urme etc.), conținuturi foarte mici de fosfor și sulf iar în cazul în care desulfurarea se efectuează cu magneziu, se caracterizează și printr-un conținut foarte mic de gaze (0,0010...0,0030% oxigen, 0,0002...0,0007% hidrogen și 0,0026...0,060% azot – pentru comparație, se prezintă și

conținutul de gaze de la o fontă brută obișnuită, respectiv 0,0049...0,0170% oxigen, circa 0,0009% hidrogen și 0,0088...0,0339% azot).

Din cauza destinației, fonta de mare puritate trebuie să aibă unele oligoelemente chimice limitate în ceea ce privește conținutul la valori maxime cu scopul necompromiterii compactizării grafitului. De exemplu, conținuturile maxime admisibile pot fi următoarele: 0,04% Cr, 0,05% Ni, 0,05% Al, 0,002% Pb, 0,001% Sb, 0,04% V, 0,03% Ti, 0,03% Cu, 0,03% Mo, 0,01% Sn, 0,002% Bi, 0,02% As, 0,002% B, 0,01% Zr, 0,002% Te etc.

#### **b. Fonta veche**

Fonta veche – piese de fontă ieșite din uz – se achiziționează de la societăți comerciale ce au ca obiect de activitate și colectarea de la populație și agenți industriali de materiale metalice reciclabile.

Bucățile de fontă veche calitatea I (masa/bucată mai mică de 46 kg), calitatea a II-a (masa/bucată cuprinsă în intervalul 46...60 kg), calitatea a III-a (masa/bucată cuprinsă în intervalul 60...100 kg) și calitatea a IV-a (masa/bucată cuprinsă în intervalul 100...2.000 kg), se preferă în încărcătura metalică deoarece sunt disponibile în cantități mari, au un cost de 60...80% din costul fontei brute de turnătorie și reprezintă de fapt o fontă de a doua fuziune. În tabelul 6 se prezintă compoziții chimice orientative pentru grupe de fontă veche, [11], [6].

Problemele ce le creează fonta veche sunt de tipul următor:

- piesele turnate din fontă elaborată în cubilou aduc în încărcătură o cantitate mare de sulf cauzată de cocsul de turnătorie;

- unele sorturi de fontă veche conțin grafit de dimensiuni mari, cantități mari de gaze și incluziuni nemetalice dar și de oligoelemente chimice;

– ansamblurile și subansamblurile pot conține metale și aliaje neferoase, oțel, componente nemetalice iar unele bucăți pot avea proveniență militară, aceste particularități necesitănd operații de sortare calitativă, inclusiv de asigurare a securității personalului ce deservește procesul de elaborare;

– bucățile de fontă veche impun și o sortare dimensională etc.

### **c. Deșeurile de oțel**

Deșeurile de oțel sunt deșeurile ce au ca proveniență piesele de oțel obținute prin turnare (maselote, adaosuri tehnologice rețele de turnare, rebuturi și piese ieșite din uz numite și oțel vechi), deformare plastică (șutaje, deșeuri de la ambutisare, laminare, forjare etc.), sudare etc.

Tabelul 6

### **Compoziții chimice orientative pentru grupe de fontă veche**

Nr. crt.	Denumirea grupei de fontă veche	Caracteristici suplimentare	Compoziția chimică, în %					Alte elemente chimice
			C	Si	Mn	P, max	S, max	
0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Construcții electrotehnice, mașini agricole, mașini de scris și calculat, mașini de cusut etc.	–	3,1... 3,6	1,50... 2,30	0,6...1,2	0,40 ... 0,60	0,10	–
2	Cilindri de automobile, motoare cu explozie etc.	–	2,8... 3,2	1,80... 2,20	0,7	0,25	0,08	–
3	Cilindri Diesel	–	3,0... 3,2	1,20... 1,50	0,8	0,20	0,08	–

Tabelul 6 – continuare

0	1	2	3	4	5	6	7	8
4	Cilindri locomotivă	–	3,0... 3,2	1,50... 1,80	0,9	0,20	0,10	–
5	Șasiuri de autovehicule	–	3,0... 3,5	1,75... 2,00	0,6...1,0	0,40. .. 0,50	0,10	–
6	Roți dințate mici	–	3,75	2,25	0,60	0,70	0,08	–
7	Roți dințate mijlocii	–	3,50	2,00	0,80	0,60	0,06	–
8	Roți dințate mari	–	3,25	1,50	1,00	0,50	0,06	–
9	Șaibe de transmisie mici	–	3,75	2,40	0,50	0,70	0,05	–
10	Șaibe de transmisie mijlocii	–	3,50	2,15	0,60	0,60	0,07	–
11	Șaibe de transmisie mari	–	3,25	1,90	0,70	0,50	0,09	–
12	Cilindri de abur mici	–	3,50	2,00	0,60	0,50	0,08	–
13	Cilindri de abur mijlocii	–	3,50	1,60	0,80	0,40	0,09	–
14	Cilindri de abur mari	–	3,50	1,25	1,00	0,30	0,10	–
15	Cilindri hidraulici mijlocii	–	3,25	2,00	0,80	0,40	0,05	–
16	Cilindri hidraulici mari	–	2,85	1,00	1,00	0,20	0,08	–
17	Volane	–	3,25	2,10	0,65	0,10	0,15	–
18	Pistoane	–	3,30	2,25	0,65	0,15	0,08	–
19	Segmenti de piston turnați individual	–	3,50	2,94	0,65	0,50	0,06	–
20	Piese obișnuite de automobil	–	3,40	2,60	0,65	0,30	0,10	–
21	Saboți de frână	–	3,30	1,90	0,65	0,15	0,08	–
22	Roți de vagoane	–	3,50	0,75	1,00... 1,20	0,20	0,06	–

Tabelul 6–continuare

1	2	3	4	5	6	7	8	9
23	Piese de construcție-coloane	–	3,3...3,6	2,0...2,5	0,5...0,8	0,8	0,10	–
24	Rame	–	3,3...3,6	2,4...2,6	0,5...0,6	1,0	0,10	–
25	Grinzi, plăci de sprijin,suportți	–	3,2...3,6	1,5...2,0	0,6...0,8	1,0	0,10	–
26	Radiatoare, țevi, aripi pentru cazane, mașini de călcat etc.	–	3,2...3,8	1,8...2,2	0,5...0,8	0,6 ... 1,2	0,10	–
27	Tuburi și armături	–	3,2...3,8	2,0...2,4	0,6...0,8	0,5.. .0,7	0,10	–
28	Țevi pentru alimentare cu apă	–	3,4	1,5...2,0	0,5	0,8	0,08	–
29	Bare de grătare	–	3,5	1,5...2,0	0,6	0,20	0,05	–
30	Diverse piese de artă cu grosimea de perete de 10 mm	–	3,5...4,2	2,4...2,6	0,6...0,9	1,0 ... 1,3	0,10	–
31	Diverse piese de artă cu grosimea de perete de 20 mm	–	3,5...4,2	2,2...2,4	0,6...0,9	0,8.. .1,0	0,10	–
32	Diverse piese de artă cu grosimea de perete de 30 mm	–	3,5...4,2	2,0...2,2	0,6...0,9	0,6 ... 0,8	0,10	–
33	Mese de trasaj	–	3,2	1,10	0,85	0,35	0,10	–
34	Lingotiere	–	3,5	1,0	0,9	0,20	0,07	–
35	Fontă pentru plane	–	3,8	2,0...3,0	0,8	0,30 ... 0,50	0,08	–
36	Matrițe	–	3,2	1,7...1,8	0,7	0,20	0,08	–
37	Grenade	–	2,8...3,2	1,2...2,0	0,8...1,5	0,3 ... 0,5	0,08	–
38	Piese mici rezistente la acizi slabi	–	3,25	2,0	0,75	0,20	0,05	–
39	Piese mijlocii rezistente la acizi slabi	–	3,25	1,5	1,0	0,20	0,05	–

Tabelul 6–continuare

1	2	3	4	5	6	7	8	9
40	Piese mari rezistente la acizi slabi	–	3,25	1,0	1,25	0,20	0,05	–
41	Vase de topit aluminiu și plumb	–	3,2	1,3... 1,5	0,5	0,20	0,08	–
42	Piese turnate în cochilă (articole de mare consum)	–	3,5... 4,2	2,0... 2,8	0,6	0,30	0,08	–
43	Piese pentru cuptoare (uși, plăci etc.)	–	3,5	2,0	0,8	0,30	0,08	–
44	Piese de fontă maleabilă	–	2,2... 3,0	0,8... 1,5	0,4	0,20	0,06	
45	Obuze de artilerie, mine, tuburi de presiune, piese antifricțiune	–	2,8... 3,3	1,5... 2,2	0,6... 1,0	0,1... 0,3	0,04 ... 0,15	–
46	Capace de canal, piese de ornamentație, tuburi de scurgere	–	3,2... 3,7	2,0... 3,0	0,5... 1,0	0,5... 1,0	0,08 ... 0,15	–
47	Poduri de turnare, pâlnii de turnare, maselotiere, funduri de turnare	–	3,2... 3,5	1,8... 2,0	0,5... 0,7	0,15	0,05	–
48	Bucșe, cămăși de cilindri, roți dințate, arbori cotiți, matrițe, tamburi de frânare, axe cu came, lagăre, piese pentru cuptoare, piese de legătură între organe în mișcare etc.	Fontă maleabilă albă	2,50... 3,25	0,50... 0,70	0,30 ... 0,50	0,20	0,15	–
		Fontă maleabilă neagră	2,20... 3,00	0,80... 1,40	0,30 ... 0,50	0,15	0,15	–
		Fontă maleabilă perlitică	2,20... 3,00	0,80... 1,40	0,30 ... 1,25	0,15	0,15	–

Tabelul 6–continuare

1	2	3	4	5	6	7	8	9
49	Piese turnate de mică însemnătate, organe de mașini ce lucrează fără frecare și la solicitări reduse pentru mașini unelte (capace, cutii, plăci de bază, suportii etc.), lingotiere mari etc. Piese pentru organe de mașini ce lucrează în condiții de solicitare medie (cărucioare, suportii etc.), piese cu pereții subțiri pentru mașini agricole și textile, mașini de cusut etc., piese cu compactitate mare (țevi, vane, ventile, fittinguri etc.), piese rezistente la temperaturi mari (lingotiere mari și mijlocii, cochile pentru piese turnate, cochile pentru industria prelucrării sticlei etc.)	Fontă cenușie 100 și 150, conform SR ISO 185	3,00 ... 3,80	2,10 ... 2,70	0,50 ... 0,80	0,65	0,15	–

Tabelul 6–continuare

1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	Lingotiere mici, blocuri de motor de tractoare și automobile, tamburi de frână, discuri de ambreiaj, cilindri pentru locomotive, clape, pistoane, segmenti pentru motoare cu benzină și Diesel mici, țevi de eșapament pentru autocamioane și autobuze, tuburi, fittinguri din industria petrolului etc.	Fontă cenușie 200 , conform SR ISO 185	3,00 ... 3,50	1,00 ... 2,30	0,50... 1,00	0,65	0,14	max. 0,15 crom
51	Cilindri de automobile, batiuri, corpuri, axe, blocuri de motor de tractor, automobile și autobuze, chiulase, pistoane, segmenti de pistoane, pistoane, cilindri de compresor și pompe, volanți, roți dințate, axe cu came, creuzete pentru elaborarea aliajelor neferoase, coșuri de evacuare a fumului, forme metalice pentru turnare etc.	Fontă cenușie 250, conform SR ISO 185	2,80 ... 3,40	1,40 ... 2,10	0,70 ... 1,50	0,30	0,12	max. 0,5 crom



Tabelul 6–continuare

1	2	3	4	5	6	7	8	9
52	Cilindri, batiuri, corpuri, axe etc. pentru automobile și motoare, blocuri de motor, chiulase, pistoane, cilindri, chiulase pentru motoare Diesel, corpuri de pompă din industria petroliferă și piese hidraulice, segmenti de piston pentru motoare cu benzină și Diesel, axe cu camă, mufe, matrițe pentru deformare plastică la rece, arbori cotiți etc.	Fontă cenușie 300, conform SR ISO 185	2,81 ... 3,20	1,00 ... 1,80	1,00 ... 1,50	0,35	0,12	0,2... 0,5 crom
53	Cilindri și capace pentru mașini cu abur, corpuri de pompe hidraulice, arbori cotiți mari, cilindri, batiuri, axe de la mașini și motoare de răspundere mare etc.	Fontă cenușie 350, conform SR ISO 185	2,70 ... 3,10	0,90 ... 1,70	1,00 ... 1,50	0,30	0,12	0,2... 0,5 crom
54	Arbori cotiți, segmenti de piston, pistoane, came de precizie, tamburi pentru trolii, inele pentru amortizoare, axe pentru automobile, piese							

Tabelul 6–continuare

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	pentru mașini agricole, piese pentru ambreiaje, pistoane pentru compresoare, batiuri pentru pompe, roți dințate, cremaliere, piese pentru angrenaje, suportți frână etc.	Fontă cu grafit nodular cu rezistență mecanică mare	3,40 ...	2,10 ...	0,60 ...		0,08 0,01	max. 0,1 Cr, max. 0,6 Cu 0,04 ...
55	Hidrodistribuitoare, corp de pompă, convertizoare de cuplare, rotoare de ventilație, corpuri de vane hidraulice, corp reductor, corpuri de reguloare hidraulice, rotoare pentru pompe de vid,corpul pompelor de presiune mare de la submarinele atomice, ventile, tuburi, autoclave, puntea din spatele autocamioanelor, traversa mașinii de frezat, tuburi de canalizare, corpuri de reductoare, suporturi de reductoare, piese de etanșare de la	Fontă cu grafit nodular cu tenacitate mare	3,60 ...	2,40 ...	max. 0,30		0,06 0,01	0,03 ...

Tabelul 6–continuare

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	centralele atomoelctrice, piese pentru nave (corpul cilindrului hidraulic pentru troliu, masa troliului, corpul interminatorului etc.)							
56	Lingotiere cu masa mai mare de 6 tone,chiulase și blocuri de motor pentru motoare Diesel, pistoane, segmenti de piston, volanți, distanțiere, piese de legătură, roți de lanț, saboți, pinioane, console, pârghii, corpuri de pompa, carcase de diferențial, capace de cutii de viteză, rotoare, angrenaje, tamburi de frână, corpuri de electromotoare, batiuri pentru mașini unelte, matrițe de forjare a oțelului, forme metalice pentru turnarea obiectelor de sticlă etc.	Fontă cu grafit vermicular	3,20 ... 3,90	2,00 ... 3,20	0,20 ... 1,20	0,08	0,03	0,015 ... 0,02 Mg
57	Șubăre de generatoare de gaz, grătare, piepteni și dinți de la cuptoare de pirită, țevi pentru recuperatoare, rame	Fontă refractară	3,00 ... 3,80	1,60 ... 3,00	max. 1,00	0,30	0,12	0,25... 2,00 Cr

Tabelul 6–continuare

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	de răcire pentru cuptoare etc.							
58	Retorte refractare, inele de strângere, tuburile cazanelor cu abur, cutii de cimentare, piese de legătură la cuptoarele cu benzi transportoare etc.	Fontă refractară aliată cu crom	1,60 ... 3,00	1,50 ... 2,20	max. 0,7	0,10	0,05	15,00 ... 32,00 Cr
59	Țevi pentru recuperatoare, supape, plăci de reflexie pentru focarele cuptoarelor, rame de răcire etc.	Fontă refractară aliată cu siliciu și crom	2,50 ... 3,20	4,50 ... 6,00	max. 0,8	0,30	0,12	0,70 ... 1,00 Cr
60	Țevi pentru recuperatoare și rame de golire ale cuptoarelor de ciment etc.	Fontă refractară cu grafit nodular aliată cu siliciu	2,70 ... 3,30	4,50 ... 5,50	max. 0,8	0,10	0,03	max. 0,2 Cr
61	Armături la cuptoare, plăci suport, grinzi de susținere a pieselor, role pentru platforma cuptoarelor tip cameră etc.	Fontă refractară aliată cu aluminiu	1,60 ... 2,50	1,00 ... 2,00	max. 0,8	0,20	0,08	19 ... 25 Al
62	Creuzete pentru topirea aliajelor, oale pentru cimentare, dinți pentru cuptoare de prăjire a piritei etc.	Fontă refractară cu grad de aliere mare pentru aluminiu	1,00 ... 1,20	max. 0,50	max. 0,7	0,04	0,10	29 ... 31 Al

Tabelul 6–continuare

1	2	3	4	5	6	7	8	9
63	Piese ce lucrează în condiții de uzare cu arbori tratați termic etc.	Fontă cenușie austenitică aliată cu mangan și aluminiu	3,5 ... 6,00	2,50 ... 3,50	7,50 ... 12,50	0,10	0,05	0,4 ... 0,8 Al
64	Palete, discuri, corpuri de măcinare, bile pentru mori cu bile, palete pentru instalații de sablare cu alice, piese pentru pompe, pompe, cilindri de fărâmare, cuțite pentru piese de fabricat cărămizi silicioase.	Fonte albe rezistente la uzare abrazivă aliate cu nichel și crom	2,50 ... 3,00	0,30 ... 0,80	0,30 ... 0,80	0,20	0,12	1,4 ... 2,5 Cr, 3,3 ... 5,0 Ni, max. 0,5 Mo
65	Pompe de șlam, blindaje de mori pentru măcinare, hidrocicloane, palete de instalații cu alice, cilindri de laminor	Fonte albe rezistente la uzare abrazivă aliate cu crom și molibden	2,40 ... 3,60	0,30 ... 0,80	0,40 ... 0,90	0,1	0,06	1,4 ... 18,0 Cr, 2,5 ... 3,0 Mo
66	Piese nemagnetice (carcase sub presiune pentru grupuri de generatoare cu turbină, carcase pentru întrerupători, flanșe, borne, bucșe pentru izolatori etc.)	Fontă austenitică nemagnetică aliată cu nichel și mangan	max. 3,00	1,50 ... 3,00	6,00 ... 7,00	0,08	0,10	12... 14 Ni, max. 0,2 Cr, max. 0,5 Cu

Tabelul 6–continuare

1	2	3	4	5	6	7	8	9
67	Pompe, robineti, piese pentru cuptoare, buçe, port segmenti pentru pistoane din aliaje uoare etc.	Fontă austenitică rezistentă la coroziune, aliată cu nichel, cupru și crom	max. 3,00	1,00 ... 2,80	0,50 ... 1,50	0,08	0,10	13,5 ...17, 5Ni, 2,5... 3,5Cr, 5,5... 7,5Cu
68	Pompe, cazane, robineti, piese de filtre, conducte de fum, carcase de turbocompresoare, piese rezistente la baze caustice, din industriile săpunului, alimentară, a mășii artificiale, a materialelor plastice etc.	Fonta austenitice rezistente la coroziune, aliate cu nichel și crom	max. 3,00	1,00 ... 2,80	0,50 ... 1,50	0,08	0,10	28... 32 Ni, 2,5... 3,5Cr, max. 0,5 Cu
69	Piese pentru pompe, robineti pentru cuptoare industriale etc.	Fontă austenitică rezistentă la coroziune, uzare și la cald aliată cu Ni, Si și Cr	max. 2,50	4,50 ... 6,00	0,50 ... 1,50	0,08	0,10	18... 32Ni, 4,5... 5,5Cr, max. 0,5 Cu
70	Piese pentru mașini unelte, instrumente științifice, matrițe pentru fabricarea articolelor de sticlă etc.	Fontă austenitică cu dilatare termică mică, aliată cu nichel	max. 2,40	1,00 ... 2,00	0,50 ... 1,50	0,08	0,10	34... 36Ni, max. 0,2Cr, max. 0,5Ni

Tabelul 6–continuare

1	2	3	4	5	6	7	8	9
71	Piese pentru industria frigorifică	Fontă austenitică rezistentă până la minus 196 <sup>0</sup> C, aliată cu nichel și mangan, cu grafit nodular	max. 2,60	1,50 ... 2,50	4,00 ... 4,50	0,08	0,10	22... 24Ni, max. 0,2 Cr, max. 0,5Cu, 0,04... 0,06Mg
72	Matrițe	Fonte pentru construcții de mașini aliate cu Ni	3,00 ... 3,50	1,00 ... 2,00	max. ... 0,7	max. ... 0,35	0,10	1,00... 1,25Ni, max. 0,8 Cr, 1,0... 1,5 Mo, max.0,6 V
73	Roți dințate	Fonte pentru construcții de mașini aliate cu Ni	3,15 ... 3,50	1,00 ... 1,60	0,7	0,20	0,10	1,5 Ni, 0,4 Cr, max.0,6 Mo
74	Arbori cotiți	Fonte pentru construcții de mașini aliate cu Ni și Mo	2,50 ... 3,00	1,80 ... 2,50	0,7	0,2	0,10	1,0...1,5Ni, 0,5...1,0Mo , 0,3...0,5Cr
75	Repere pentru pompe (cămăși pentru cilindrii pompelor de adâncime), carcase de pompe pentru nămol cu cărbune, repere pentru mori, inele	Fonte aciculare, mediu aliate cu nichel și molibden	2,80 ... 3,10	1,20 ... 2,50	0,50 ... 1,00	0,15	0,08	1,5...5,0Ni, 0,6...1,0 Mo

Tabelul 6–continuare

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	de măcinat, șuruburi de presare de la fărâmițarea trestiei de zahăr, cilindrii de la moara de cereale, plăci de căptușire pentru amestecătoarele de asfalt, discuri de debavurat, cuțite de tocat, bile pentru rulmenți, scule de tras la sârma de cupru, fălci pentru mașinile de îndreptat sârmă etc.							
76	Cuțite de plug, șenile, bușe antifricțiune, tuburi hidromonitoare etc.	Fontă maleabilă aliată cu mangan	3,00 ... 3,50	1,3	12 ... 15	0,10	0,005	–
77	Lingotiere, bare de grătare, țevi de eșapament etc., reprezentând fontă refractară rezistentă la temperaturi mari de 700°C	Fontă silicioasă	2,4	5,7	0,7	0,3	0,12	–
		Fontă Ni-Cr	3,2	2,1	0,6	0,8	0,12	0,67 Ni, 0,34 Cr
		Nicrosilal	1,8	4,4	0,6	0,04	0,05	18,7 Ni, 2,6 Cr
		Nirezist	2,4	1,1	0,8	0,3	0,12	16,6 Ni, 3,3 Cr, 7,3 Cu
78	Întreprătoare care lucrează în ulei (capace, carcase, bușe), transformatoare de forță (armături etc.), mașini electrice,	Fonte nemagnetice aliate cu nichel și mangan	2,60 ... 3,00	2,5	5,6	0,15	0,10	9...12 Ni



Tabelul 6–continuare

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	transformatoare de sudură (capace, sănii), separatoare etc.							
79	Pinioane hiperboloide, angrenaje planetare, cuplaje diferențiale (cruci sateliți), inele de asamblare segmentate, roți melcate, angrenaje conice automobile, sisteme de aprindere la motoarele Diesel Cummins, transmisii hiperboidale pentru autobuze, roți dințate pentru material rulant, roți dințate circulare cu dantură interioară etc.	Fonte cu grafit nodular bainitice	3,58	2,56	0,45	0,012	0,022	0,01 Mg, 0,97 Ni, 0,33 Mo
			3,40 ... 3,80	2,80 ... 3,00	max. ... 0,5	0,07	0,02	0,03...0 ,05Mg, 0,2 Mo, 0,5...0, 7 Cu, 0,02...0 ,04 pământu ri rare
			3,40 ... 3,80	2,30	0,5	0,07	0,02	0,03...0 ,05Mg, 0,3 Cu
80	Arbori pentru motoare–vehicule grele (firmele Volvo, Chrysler, Mercedes, Leyland, Dailer, General Motors), motoare V8, motoare cu turbină supraalimentată, motoare cu compresor, motoare Diesel pentru autocamioane și tractoare, motoare de	Fonte cu grafit nodular bainitice	3,40 ... 3,70	2,10 ... 2,70	max. ... 0,35	0,06	0,12	0,03... 0,06Mg, 1,1 Ni, 0,2... 0,4 Mo
			3,50 ... 3,80	2,40 ... 2,80	max. ... 0,50	0,06	0,02	0,03... 0,06Mg,

Tabelul 6–continuare

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	curse, arbori cotiți cu filete roluite adânc, motoare pentru unități frigorifice, motoare pentru unități de aer condiționat, motoare pentru compresoare, axe cu came etc.		3,47	2,30	0,36	0,03	0,1	0,06 Mg, 1,55 Ni, 0,14 Mo, 0,59 Cu
	Piese pentru autovehicule – amortizoare de viteză, fuzete, componente de direcție, furci, selectoare, cruci cardanice, suspensii, console, carcase de diferențial, papuci de șenile, brațe de suspensie, levier de comandă, butucul roții și axe pentru autoutilitare, scaune pentru arcuri la autocamioane, componente de ambreiaj etc.	Fonte cu grafit nodular bainitice	3,91	2,12	0,18	0,03	0,02	0,06 Mg
81			3,91	2,12	0,18	0,03	0,02	1,03 Ni, 0,06 Mg
			3,91	2,12	0,18	0,03	0,02	0,53Ni, 0,54Cu, 0,05Mg
82	Piese pentru utilaj feroviar – împingătoare pentru vagoane motor, carcasă adaptor pentru lagărul axei, dispozitive de frânare de la locomotiva de	Fonte cu grafit nodular bainitice	2,46	1,54	1,38	0,03	0,02	4,63 Ni, 0,92 Mo

Tabelul 6–continuare

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	manevrare, articulații pentru suspensii și lagăre, plăci pentru vagoane de turbă, blocuri de cuplare, pentru vagoane de minereu, elemente de susținere, boghiuri și roți pentru șină (vagoane de marfă, locomotive), saboți de frână și cale etc.							
83	Creuzete pentru topirea aluminiului	Fontă aliată cu aluminiu	2,50 ... 2,80	0,50 ... 3,00	0,6	0,1	0,8	0,5...1,5 Cr, 6 Al
84	Rezistențe electrice	Fontă aliată cu aluminiu	2,50 ... 3,00	0,50 ... 3,0	0,6	0,1	0,08	6 Al
85	Bile de sfărâmare a cărbunelui, ajutoaje de sablare, piese ce lucrează în condiții de uzare însoțite de șocuri mecanice	Fontă aliată cu vanadiu	3,3	0,60	0,58	0,1	0,08	11,54 V, 1,17 Cr, 0,92 Mo
			1,50 ... 4,80	max. 7	5 ... 17	0,1	0,08	2...15 V, max.7Cr, max.3 Ti
86	Lingotiere	Fontă cu grafit vermicular	3,7	1,99	0,18	0,04 7	0,005	0,01 Al, 0,015Cr, 0,048Cu,

Tabelul 6–continuare

1	2	3	4	5	6	7	8	9
								0,001Mo 0,010Sn 0,016V
87	Lingotiere	Fontă cu grafit vermicular	3,6 ... 5,0	1,45 ... 2,00	0,4 ... 1,0	0,05	0,001 ... 0,009	0,05 ... 0,12 Ce
88	Lingotiere	Fontă cu grafit vermicular	3,85 ... 3,90	2,59 ... 2,61	0,15 ... 0,25	0,078 ... 0,102	0,015 ... 0,025	–
89	Chiulase de motor Diesel	Fontă cu grafit vermicular	3,31 ... 3,47	2,37 ... 2,58	0,13 ... 0,15	0,06 ... 0,08	0,005	0,16 ... 0,025 Ce
90	Volante pentru motoarele de automobile	Fontă cu grafit vermicular	3,5	1,7	0,3	0,1	0,012	max.0,25 Cu, 0,0026... 0,025 Mg,0,02 ... 0,06 Ti

Deșeurile de oțel sunt acceptate în încărcătură datorită următoarelor avantaje:

– au conținut de carbon mic, ceea ce le fac foarte utile pentru elaborarea fontelor cu un conținut de carbon mic. De asemenea, deșeurile de oțel reprezintă unicul sort metalic din încărcătură în cazul elaborării fontei sintetice în cuptoare cu inducție ce funcționează la frecvențe mijlocii și mari și unicul sort metalic din încărcătura adăugată în cazul elaborării fontei semisintetice, însă, în cuptoare cu inducție ce funcționează la frecvența rețelei;

– determină obținerea de caracteristici mecanice de rezistență mai mari decât în cazul în care încărcătura metalică nu conține deșuri de oțel și este formată din fontă brută de turnătorie “clasică”, fontă brută elaborată în furnal ce

funcționează pe bază de mangal, fontă brută de afinare, fontă brută aliată și deșeuri proprii de fontă, după caz;

- fonta de a doua fuziune se obține cu un conținut mai mic de gaze, incluziuni nemetalice și oligoelemente. Această particularitate, printre altele, explică obținerea de caracteristici mecanice de rezistență superioare pentru fonta de a doua fuziune;

- conduc la obținerea unui grafit mai fin pentru fonta de a doua fuziune;

- sunt relativ ușor de procurat;

- micșorează costul fontei de a doua fuziune deoarece au un cost mai mic decât cel al fontei brute, în general.

De asemenea, proporția de deșeuri de oțel din încărcătura metalică depinde și de următorii factori:

- importanța pieselor vizate a fi obținute. Cu cât importanța pieselor este mai mare – de exemplu, piese pentru centrale electrice nucleare, etaloane etc. –, cu atât proporția de deșeuri de oțel în încărcătura metalică este mai mare;

- cantitatea de fontă brută și fontă veche prezentă la un moment dat în depozitele turnătoriei. Cu cât disponibilul de asemenea sorturi este mai mic, cu atât proporția de deșeuri de oțel în încărcătură este mai mare;

- sistemul ecologic de captare a gazelor și prafului (a noxelor) ce rezultă ca produse secundare ale procesului de carburare. Dacă sistemul ecologic respectiv este corespunzător, proporția de deșeuri de oțel din încărcătură se poate mări;

- conținutul de carbon al deșeurilor de oțel. Cu cât conținutul de carbon al deșeurilor de oțel este mai mic, cu atât proporția de deșeuri de oțel din încărcătură poate fi mai mare;

- costul materialelor de carburare. Cu cât costul materialelor de carburare este mai mic, cu atât proporția de deșeuri de oțel din încărcătură poate fi mai mare;

- gradul de asimilare al carbonului în fonta lichidă (gradul de carburare). Cu cât gradul de carburare este mai

mare, cu atât proporția de deșeuri de oțel din încărcătură poate fi mai mare;

- gradul de agitare al băii metalice. Cu cât gradul de agitare al băii metalice este mai mare, cu atât proporția de deșeuri de oțel din încărcătură poate fi mai mare;

- gradul de supraîncălzire în stare lichidă al fontei. Cu cât gradul de supraîncălzire respectiv este mai mare, cu atât proporția de deșeuri de oțel din încărcătură poate fi mai mare etc.

În balanța calculului rentabilității obținerii fontei de a doua fuziune trebuie să aibă în vedere și următoarele considerente:

- baia metalică trebuie carburată în mai multe situații, cu atât mai mult în cazul elaborării fontei sintetice. Așa, durata de elaborare se prelungește, afectând costul fontei elaborate (este nevoie și de asigurarea unei temperaturi mai mari a băii metalice);

- cantitatea de energie ce se consumă pentru topirea și supraîncălzirea deșeurilor de oțel este mai mare decât cea corespunzătoare topirii și supraîncălzirii fontelor brute, fontei vechi și deșeurilor proprii;

- costul deșeurilor de oțel ocazionat de diferite circumstanțe (furnizor, distanță, import, perioade critice, capacitatea bazei de șarjare, stabilitate monetară etc.) etc.

În tabelul 7 se prezintă compozițiile chimice ale unor deșeuri de oțel.

În categoria deșeurilor de oțel intră și așchiile (șpanul) rezultate în urma prelucrărilor mecanice cu mașini unelte.

#### **d. Deșeurile proprii**

În principiu, deșeurile proprii se referă la marca de fontă propusă a fi elaborată, dar se pot referi și la alte mărci de fontă decât cea propusă a fi elaborată mărci de fontă din programul curent.

Deșeurile proprii reprezintă rețelele de turnare, maselotele, adaosurile tehnologice, rebuturile, șpanul și

scoarțele și resturile de la turnare.

Dacă deșeurile proprii reprezintă mai multe mărci de fontă, pentru a afla compoziția chimică a lor, se face media ponderată. De exemplu, dacă se utilizează 30% deșeuri proprii ce conțin 2,1% Si, 60% deșeuri proprii ce conțin 2,8% Si și 10% deșeuri proprii ce conțin 2% Si, conținutul de siliciu al deșeurilor proprii este de

$$Si_{DP} = 30 \cdot \frac{2,1}{100} + 60 \cdot \frac{2,8}{100} + 10 \cdot \frac{2}{100} = 2,51\%, \quad (44)$$

în care  $Si_{DP}$  reprezintă conținutul de siliciu al deșeurilor proprii, în %.

În categoria deșeurilor proprii intră și așchiile (șpanul) rezultate în urma prelucrărilor mecanice cu mașinile unelte.

#### **e. Buretele de fier**

Buretele de fier reprezintă produsul rezultat prin reducerea minereului de fier cu carbonul, hidrogenul, monoxidul de carbon, metanul și alți reducători și este sub formă de bulgări de formă neregulată cu porozitate mare, pelete sferice și pulbere fină, [14].

În tabelul 8 se prezintă compoziții chimice de burete de fier, sub formă de burete, ca atare, pelete și brichete.

Buretele de fier intră în atenție ca sort metalic în încărcătură datorită următoarelor aspecte:

- costul este inferior fontei brute de turnătorie;
- este omogen chimic și dimensional;
- se pretează pentru obținerea de fontă cu grafit nodular deoarece nu conține elemente chimice antimodificatoare;
- asigură pentru fonta de a doua fuziune caracteristici mecanice de rezistență stabile și mai mari decât în cazul utilizării în încărcătură de fontă brută și deșeuri de oțel etc.

Utilizarea buretelui de fier trebuie să țină seama și de următoarele inconveniente:

- crește cantitatea de zgură din cauza sterilului ce-l conține;

- obligă la utilizare în încărcătură de fondanți de natură chimică bazică pentru legarea chimică a sterilului acid;

- în timpul topirii, există interacțiunea chimică C-FeO, ceea ce determină degajarea de CO – gaz toxic;

- masa specifică în vrac este relativ mică – 1,5...1,8 g/cm<sup>3</sup>, ceea ce impune încărcarea de mai multe ori a cuptorului, așa încât crește durata de topire (în practică, este posibil ca masa specifică a fontei vechi să fie mai mică decât cea a buretelui de fier);

- prezența oxigenului în buretele de fier impune măsuri de reducere a acestuia, de exemplu, prin introducerea în încărcătură de materiale carbonice;

- dacă buretele de fier se achiziționează din import, de la distanțe foarte mari, costul lui poate deveni un obstacol în calea utilizării în încărcătură etc.

#### **f. șpan (strunjitură – așchii) și deseuri de oțel ușoare**

Indiferent dacă o secție de turnătorie de fontă care elaborează fonta în cuptoare cu inducție este asociată sau nu cu o secție de prelucrări mecanice la o societate comercială, trebuie să ia în considerație și varianta de utilizare în încărcătura metalică de șpan/ strunjitură de fontă și oțel.

Utilizarea de șpan în încărcătură este dictată de mai multe considerente, dintre care se precizează următoarele:

- suprafața șpanului este foarte mare ceea ce atrage după sine mărirea suprafeței de contact cu aerul din atmosfera cuptorului, adică cu oxigenul din respectivul aer, ceea ce mărește considerabil pierderile prin oxidare. Introducerea șpanului în baia metalică diminuează semnificativ pierderile



Tabelul 7

**Compoziții chimice orientative pentru unele  
deșeuri de oțel, [31].**

Nr. crt.	Grupa de deșeuri de oțel	Compoziția chimică, în %					
		C	Si	Mn	P, max.	Si, max.	Alte elemente chimice
0	1	2	3	4	5	6	7
1	Șutaje de la laminarea profilurilor (din țagle și brame)	0,12... 0,50	max. 0,2	0,55... 0,80	0,05	0,05	–
2	Deșeuri de la ambutisare, table, benzi laminate la rece etc.	max. 0,10	max. 0,08	0,20... 0,45	0,05	0,05	–
3	Deșeuri de oțel laminat la cald	max. 0,19	0,15... 0,50	0,30... 0,80	0,045	0,045	–
4	Deșeuri de oțel laminat la cald	0,15... 0,22	0,15... 0,50	0,75... 1,15	0,045	0,045	0,020... 0,035 Al
5	Deșeuri de oțel laminat la cald	max. 0,20	0,15... 0,50	1,05... 1,65	0,040	0,040	max.0,15 V
6	Deșeuri de oțel laminat la cald	max. 0,19	0,13... 0,37	0,38... 0,84	0,045	0,045	0,68...1,04 Cr; 0,38...0,62 Mo.
7	Oțel carbon de calitate	0,07... 0,13					
8	Oțel laminat la cald slab aliat, [12]	0,08... 0,15	0,17... 0,37	0,4... 0,7	0,30	0,025	0,9...1,2 Cr; 0,25...0,35 Mo; 0,15...0,30 V; 0,015...0,035 Al

Tabelul 7 – continuare

0	1	2	3	4	5	6	7
9	Oțel carbon de calitate, [13]	0,06... 0,13	0,15... 0,37	0,3... 0,5	0,04	0,05	–
10	Oțel carbon de calitate	0,19... 0,30	0,15... 0,37	0,4... 0,8	0,04	0,05	–
11	Oțel carbon de calitate	0,30... 0,40	0,15... 0,37	0,4... 0,8	0,04	0,05	–
12	Oțel carbon de calitate	0,40... 0,50	0,15... 0,37	0,4... 0,8	0,04	0,05	–
13	Oțel carbon de calitate	0,50... 0,62	0,15... 0,37	0,4... 0,8	0,04	0,05	–
14	Oțel carbon turnat sub formă de piese	0,10... 0,20	0,20... 0,45	0,50... 0,90	0,04... 0,06	0,04... 0,06	–
15	Oțel carbon turnat sub formă de piese	0,15... 0,25	0,20... 0,45	0,50... 0,90	0,04... 0,06	0,04... 0,06	–
16	Oțel carbon turnat sub formă de piese	0,20... 0,30	0,20... 0,45	0,50... 0,90	0,04... 0,06	0,04... 0,06	–
17	Oțel carbon turnat sub formă de piese	0,25... 0,35	0,20... 0,45	0,50... 0,90	0,04... 0,06	0,04... 0,06	–
18	Oțel carbon turnat sub formă de piese	0,35... 0,45	0,20... 0,45	0,50... 0,90	0,04... 0,06	0,04... 0,06	–
19	Oțel beton rotund	max. 0,20	max. 0,50	1,2... 1,5	0,06	0,66	max. 0,55 Cu
20	Oțel carbon obișnuit prelucrat la cald	0,07... 0,15	0	0,35... 0,50	0,06	0,06	–
21	Oțel carbon obișnuit prelucrat la cald	0,12... 0,22	0,12... 0,35	0,35... 0,60	0,06	0,06	–
22	Oțel carbon obișnuit prelucrat la cald	0,18... 0,27	0,17... 0,35	0,40... 0,70	0,06	0,06	–
23	Oțel carbon obișnuit prelucrat la cald	0,28... 0,37	0,17... 0,35	0,50... 0,80	0,06	0,06	–
24	Oțel carbon obișnuit prelucrat la cald	0,38... 0,50	0,17... 0,35	0,50... 0,80	0,06	0,06	–
25	Oțel carbon obișnuit prelucrat la cald	0,50... 0,63	0,17... 0,35	0,55... 0,80	0,06	0,06	–

Tabelul 7 – continuare

0	1	2	3	4	5	6	7
26	Oțeluri pentru țevi fără sudură	0,09 ... 0,16	0,17 ... 0,37	0,40 ... 0,80	0,040	0,045	–
27	Oțeluri pentru țevi fără sudură	0,17 ... 0,24	0,17 ... 0,37	0,40 ... 0,80	0,040	0,045	–
28	Oțeluri pentru țevi fără sudură	0,40 ... 0,50	0,17... 0,37	0,70 ... 1,00	0,040	0,045	–
29	Oțeluri pentru țevi fără sudură	0,09... 0,16	0,17 ... 0,37	0,40 ... 0,80	0,040	0,045	–
30	Oțeluri pentru țevi fără sudură	0,17... 0,24	0,17 ... 0,37	0,40 ... 0,80	0,040	0,045	–
31	Oțeluri pentru țevi fără sudură	0,40 ... 0,50	0,17... 0,37	0,70 ... 1,00	0,040	0,045	–
32	Elemente portante pentru construcții metalice sudate sau îmbinate prin alte procedee, ferme, poduri de șosea și cale ferată, rezervoare, stâlpi, elemente de structuri portante, de mașini și utilaje, batiuri sudate, organe de mașini supuse la solicitări moderate, lanțuri de tracțiune, sârme și plăci sudate pentru beton armat, flanșe	max. 0,20	max. 0,40	max. 0,80	0,06	0,06	–
33	Stâlpi pentru linii electrice aeriene, căi de rulare, macarale, șasiuri	max. 0,20	max. 0,5	max. 1,6	0,06	0,06	–

Tabelul 7 – continuare

0	1	2	3	4	5	6	7
	de autovehicule, rezervoare de mare capacitate, lanțuri de tracțiune						
34	Țevi și conducte pentru utilizări curente precum și în industria petrolieră, energetică, flanșe, ștuțuri, construcții metalice pentru macarale, turle de foraj	0,17... 0,24	0,17 ... 0,37	0,40 ... 0,80	0,06	0,06	–
35	Țevi fără sudură pentru presiuni mari pentru industria petrolieră și chimică, acționări hidrostatice	0,40... 0,50	0,17 ... 0,37	0,70 ... 1,00	0,06	0,06	–
36	Țevi sudate pentru conducte de apă, gaz și țitei	max. 0,30	–	max. 1,35	0,06	0,06	–
37	Table groase pentru elemente principale ale viaductelor, podurilor de șosea și de cale ferată	0,12 ... 0,18	max. 0,50	max. 1,60	0,06	0,06	min. 0,025 Al,max. 0,009 N <sub>2</sub> , max. 0,055 Ti
38	Stâlpi de înaltă tensiune, vagoane, macarale, structuri portante și elemente de închidere a halelor industriale	max. 0,10	0,15 ... 0,30	max. 0,40	0,06	0,06	0,50... 0,80Cr, 0,60 Cu, max. 0,015 N <sub>2</sub> , min. 0,025 Al
39	Căi de rulare la macarale grele, poduri rulante pentru siderurgie, ferme și	max. 0,20	max. 0,40	1,10 ... 1,65	0,06	0,06	min. 0,020Al,

Tabelul 7 – continuare

0	1	2	3	4	5	6	7
	stâlpi pentru hale cu deschidere mare						max.0,70 Ni, min.0,05 V, min.0,005 Ti
40	Profile laminate la cald destinate susținerii galeriilor de mină	0,14 ... 0,19	max. 0,45	1,20 ... 1,60	0,06	0,06	0,10...0,19V, min.0,02 Al
41	Longeroane pentru autovehicule grele	max. 0,20	0,20 ... 0,40	0,90 ... 1,50	0,06	0,06	max.0,025Al, 0,10...0,15 Ti
42	Elemente și structuri din beton armat și beton precomprimat	0,15 ... 0,23	max. 0,07	0,40 ... 0,75	0,06	0,06	–
43	Plase și carcase sudate, etrieri	max. 0,25	max. 0,40	max. 0,80	0,06	0,06	–
44	Piese pentru cazane energetice, schimbătoare de căldură	max. 0,17	0,15 ... 0,35	0,40 ... 0,90	0,05	0,05	0,020...0,045A 1
45	Recipienți sub presiune, cazane energetice, conducte, schimbătoare de căldură	0,12 ... 0,20	0,15 ... 0,35	0,50 ... 0,80	0,05	0,05	0,25...0,40 Mo, 0,010...0,030A 1
46	Conducte de abur viu, cazane energetice de mare randament, organe de asamblare	0,17 ... 0,23	0,10 ... 0,50	0,30 ... 0,80	0,040	0,035	11,0...12,5Cr, 0,30...0,80Ni, 0,80...1,20Mo, 0,25...0,35 V
47	Mantale și funduri de recipienți, fascicule tubulare, colectoare, conducte	0,80 ... 0,15	0,17 ... 0,37	0,40 ... 0,70	0,040	0,035	0,90...1,20Cr, 0,25...0,35Mo, 0,15...0,30V, 0,015...0,045 Al

Tabelul 7 – continuare

0	1	2	3	4	5	6	7
48	Construcții navale – elemente sudate de structuri portante ale navelor fluviale și maritime de mic tonaj	max. 0,23	max. 0,35	min. 2,5 %C	0,04	0,04	–
49	Construcții navale – elemente sudate de structuri portante ale navelor maritime de tonaj mediu	max. 0,18	0,10 ... 0,50	0,90 ... 1,60	0,04	0,04	max.0,35 Cu, min.0,02 Al, max.0,20 Cr, 0,20...0,40Ni, max.0,08Mo
50	Construcții navale – elemente de rezistență din zona centrală a navelor maritime de mare tonaj	max. 0,18	0,10 ... 0,50	0,90 ... 1,60	0,04	0,04	max.0,35Cu, max.0,08 Al, max.0,05Nb, max.0,10 V, max. 0,20Cr, 0,40...0,70Ni, max. 0,08 Mo
51	Rondele, cuie, capace, nituri, coliere de strângere	max. 0,23	max. 0,07	–	0,06	0,06	–
52	Suportți, rame, carcase și capace, tiranți, piese ambutisate la cald și la rece, armături	max. 0,12	max. 0,07	max. 0,55	0,06	0,06	–
53	Structuri portante de mașini agricole, tiranți, suportți, clicheti, organe de asamblare, armături, piese ambutisate la cald și la rece	max. 0,15	max. 0,07	max. 0,55	0,06	0,06	–
54	Biele, manivele, axe, arbori, roți dințate, piese canelate și filetate, flanșe	max. 0,25	max. 0,07	max. 0,80	0,06	0,06	–

Tabelul 7 – continuare

0	1	2	3	4	5	6	7
55	Bare de tracțiune, arbori drepți și cotiți, arbori pentru pompe și turbine, volanți, roți dințate pentru viteze periferice mici	0,30	max. 0,40	max. 0,80	0,06	0,06	–
56	Arbori canelați, pene, cuplaje, roți dințate, melci pentru transport, fusuri pentru prese, cuie de centrare, roți de lanț	0,50	max. 0,40	max. 0,80	0,06	0,06	–
57	Șaibe, clicheti, furci, tije, pene de ghidare, culbutoare, supape, discuri, eclise, bușe și role pentru lanțuri de tracțiune	0,07 ... 0,14	0,17 ... 0,37	0,35 ...0,65	0,04	0,05	–
58	Bolțuri, șuruburi de mișcare, piulițe, pârghii, chei, pene de ghidare	0,12 ... 0,18	0,17 ... 0,37	0,35 ... 0,65	0,08	0,05	–
59	Axe, buloane, manșoane, arbori, șuruburi, flanșe, cârlige forjate pentru macarale	0,22 ... 0,29	0,17 ... 0,37	0,40 ... 0,70	0,04	0,05	–
60	Discuri de turbină, arbori cotiți, biele, coroane dințate, roți cu clichet, piese de ghidaj, melci, piese	0,42 ... 0,50	0,17 ... 0,37	0,50 ... 0,80	0,04	0,05	–
61	Pinioane, tije, came, aparate de legare pentru vehicule de cale ferată	0,52 ... 0,60	0,17 ... 0,37	0,60 ... 0,90	0,04	0,05	–
62	Excentrice, bandaje, bușe elastice, roți dințate, cârlige de tracțiune pentru vehicule de cale ferată	0,57 ... 0,65	0,17 ... 0,37	0,60 ... 0,90	0,04	0,05	–

Tabelul 7 – continuare

0	1	2	3	4	5	6	7
63	Axe, arbori, roți, came, lonjeroane, piese solicitate la torsiune	0,32 ... 0,40	0,17 ... 0,37	1,40 ... 1,80	0,04	0,035	max.0,3 Cu
64	Profile de șenile pentru tractoare	0,37 ... 0,45	0,17 ... 0,37	0,70 ... 1,00	0,04	0,035	max.0,30 Cr, max.0,30 Ni, max.0,30 Cu
65	Angrenaje mici, arbori, articulații cardanice, piese de comandă	0,14 ... 0,19	0,17 ... 0,37	1,00 ... 1,30	0,04	0,035	0,80...1,10Cr
66	Piese de uzură pentru utilaje miniere	0,23 ... 0,29	1,20 ... 1,60	1,20 ... 1,60	0,04	0,035	max.0,30Cr, 0,30...0,50 Ni, 0,15...0,25 Mo
67	Bolțuri pentru pinioane, culbutori, arbori cu came, axe planetare, bușe, roți dințate, melci	0,12 ... 0,18	0,17 ... 0,37	0,40 ... 0,70	0,04	0,035	0,70...1,00Cr
68	Piese pentru automobile	0,29 ... 0,35	max. 0,40	0,60 ... 0,90	0,40	0,035	0,85...1,15 Cr, max.0,25 Ni, max.0,20 Cu
69	Roți de antrenare, arbori, tije de pistoane, discuri de fricțiune, supape de admisie	0,36 ... 0,44	0,17 ... 0,37	0,50 ... 0,80	0,04	0,035	0,80...1,10 Cr
70	Roți dințate pentru mașini grele, arbori cu came	0,17 ... 0,23	0,17 ... 0,37	0,80 ... 1,10	0,04	0,035	1,00...1,30Cr, 0,030...0,090 Ti
71	Roți dințate și roți de lanț pentru automobile	0,14 ... 0,19	0,17 ... 0,37	0,40 ... 0,60	0,04	0,035	1,40...1,70Cr, 1,40...1,70 Ni



Tabelul 7 – continuare

0	1	2	3	4	5	6	7
72	Rotori de turbină, arbori pentru motoare cu arde internă	0,38 ... 0,45	0,17 ... 0,37	0,60 ... 0,90		0,04 0,035	0,90...1,20 Cr, 0,15...0,30 Mo
73	Sape de foraj	0,17 ... 0,23	0,20 ... 0,35	0,60 ... 0,90		0,04 0,035	0,35...0,65Cr, 0,35...0,65Ni, 0,20...0,30 Mo
74	Piese pentru automobile Dacia 1300 prelucrate prin aşchiere pe maşini-unelte automate	max. 0,40	max. 0,30	max. 0,80	0,05	0,05	0,18...0,25 Pb
75	Bucşe, bolţuri, ştifturi de centrare (prelucrate pe maşini-unelte automate)	0,25 ... 0,35	0,15 ... 0,35	0,70 ... 1,00	0,06	0,08 ... 0,15	–
76	Axe, tije, şaibe de presiune şuruburi şi piuliţe cu demontare frecventă (prelucrate pe maşini-unelte automate),	0,15 ... 0,25	0,15 ... 0,35	0,60 ... 0,90	0,06	0,08 ... 0,15	–
77	Şuruburi conducătoare pentru maşini-unelte, axe canelate, axe, cuplaje cu gheară (prelucrate pe maşini-unelte automate)	0,35 ... 0,45	0,15 ... 0,35	1,20 ... 1,60	0,06	0,18 ... 0,30	–
78	Rulmenţi la sapele de foraj	0,50 ... 0,60	0,80 ... 1,10	0,30 ... 0,60	0,04	0,035	max.0,25 Cr, max.0,30 Ni, max.0,02 Ti, max.0,30 Cu, 0,40...0,60 Mo

Tabelul 7 – continuare

0	1	2	3	4	5	6	7
79	Filiere, alezoare, dornuri pentru perforare, broșe mici, calibre de filet, supape, instrumente de măsură, rulmenți	0,95... 1,10	0,17... 0,37	0,2 ... 0,45	0,027	0,02	1,30...1,65Cr, max.0,30 Ni, max. 0,25 Cu
80	Arcuri de tip spiral, elicoidal și în foi, inele de fixare pentru rulmenți	0,82 ... 0,90	0,17... 0,37	0,50... 0,80	0,05	0,05	max.0,30 Cr, max.0,30 Ni, max.0,25Cu
82	Arcuri pentru automobile	0,55 ... 0,65	1,50... 1,90	0,60... 1,00	0,05	0,05	0,25...0,45 Cr
83	Arcuri inelare pentru tampoane la vagoane și locomotive de cale ferată	0,55 ... 0,65	1,00... 1,30	0,90... 1,10	0,05	0,05	0,40...0,70 Cr, max. 0,30 Ni, max. 0,25 Cu
84	Piese obținute prin ambutisare la rece cu grad mediu de deformare utilizate în industria de autovehicule, mașini agricole, articole de menaj, piese tubulare îndoite, jenți de autovehicule, piese de ambutisare medie	max. 0,080	max. 0,030	0,20... 0,40	0,030	0,035	–

Tabelul 7 – continuare

0	1	2	3	4	5	6	7
85	Piese obținute prin ambutisare foarte adâncă pentru caroserii auto, vase și articole de menaj, cuplaje electromagnetice	max. 0,08	max. 0,10	max. 0,40	0,025	0,030	–
86	Ambalaje metalice pentru produse chimice	max. 0,10	max. 0,030	0,20... 0,45	0,050	0,050	–
87	Piese obținute prin îndoire și ambutisare la rece, cu grad moderat de deformare, utilizate în industria de autovehicule, mașini agricole, articole de menaj	max. 0,10	max. 0,030	0,20... 0,45	0,040	0,040	–
88	Ciocane de forjare la cald, ciocane de lăcătușerie, baroase, matrițe, căpuitoare, dălți, șurubelnițe, vârfuri de strung, foarfece de mână pentru tăierea tablelor, poansoane pentru oțel moale, burghie, instrumente chirurgicale neascuțite, scule de tâmplărie, scule de modelat, coase, seceri, clești, patent, matrițe mici pentru materiale plastice	0,65... 0,74	0,15... 0,35	0,15... 0,38	0,08	0,025	–

Tabelul 7 – continuare

0	1	2	3	4	5	6	7
89	Matrițe pentru forme simple, cuțite și foarfece pentru metale moi, scule de tâmplărie, scule pneumatice perforatoare, penetratoare, scule pentru fabricarea șuruburilor și cuielor, burghie pentru material de duritate medie, scule de tăiere și îndoire la cald, clește	0,75... 0,84	0,15... 0,35	0,15... 0,35	0,08	0,025	–
90	Ferăstraie circulare sau în benzi pentru lemn, dălți pentru cărbune și cioplirea pietrelor, sârme de rezistență mare, matrițe pentru injectat materiale plastice	0,80... 0,90	0,15... 0,35	0,35... 0,80	0,08	0,025	–
91	Filiere, burghie pentru roci dure, burghie, matrițe pentru monede, scule pentru fabricarea șuruburilor și acelor, scule pentru extrudare, inel de tras, inel de ambutisare, dornuri, cuțite de tăiat cauciuc, ferăstraie mecanice, calibre de forme simple	0,95... 1,04	0,15... 0,35	0,15... 0,35	0,08	0,025	–
92	Cuțite pentru prelucrarea metalelor, brice, scule de trefilare, sfredele, dălți, scule pentru prelucrarea pietrei dure, cuțite cu viteze mici de așchiere	1,26... 1,45	0,15... 0,35	0,15... 0,35	0,08	0,025	–

Tabelul 7– continuare

0	1	2	3	4	5	6	7
93	Burghie, tarozi, alezoare, freze, scule de gravat	1,10 ... 1,25	0,15 ... 0,30	0,20 ... 0,40		0,04 0,04	0,500,80 Cr, max.0,35 Ni, 0,07...0,12 V, max.0,30 Cu
94	Alezoare, freze, cilindri, poansoane, lame pentru foarfeci, matrițe de refulare la rece, scule pentru lemn, matrițe pentru tragere	0,80 ...1, 00	0,15 ... 0,40	0,20 ... 0,60		0,04 0,04	0,80...1,50Cr, 0,20 V
95	Filiere, calibre, șabloane, matrițe, ștanțe la rece	0,80 ... 0,95	0,10 ... 0,40	1,80 ... 2,20		0,04 0,04	max.0,35 Cr, max.0,35 Ni, 0,05...0,20 V, max.0,30Cu
96	Tarozi, bancuri de filiere, burghie, broșe	1,00 ... 1,10	0,10 ... 0,40	0,80 ... 1,10		0,04 0,04	0,90...1,10Cr, max.0,35 Ni, 1,00...1,30 W, max. 0,30 Cu
97	Matrițe mici pentru tragerea țevelor și a sârmei, calibre, scule, așchietoare pentru alamă	1,25 ... 1,40	0,10 ... 0,40	0,10 ... 0,40		0,04 0,04	0,5...1,0 Cr, 3,50...4,00 W
98	Ferăstraie pentru metale, ștanțe de îndoit pentru foarfeci de tăiere la rece, matrițe de debavurat, scule pentru rulat filete, scule pentru extruziune	1,50 ... 1,60	0,10 ... 0,40	0,15 ... 0,45		0,04 0,04	11,0...12,0Cr, max.0,35Ni, 0,60...0,80Mo, 0,90...1,10 V, max.0,30 Cu
99	Echipamente de sablare cu alice, matrițe pentru ambutisare foarte adâncă, matrițe pentru	2,15 ... 2,50	0,30 ... 0,80	0,30 ... 0,80		0,04 0,04	0,80...1,30Mo, 3,75...5,00V, 0,95...1,30W

Tabelul 7– continuare

0	1	2	3	4	5	6	7
	extrudarea materialelor ceramice, scule pentru polizare						
100	Dălți manuale și pneumatice, poansoane, scule de nituit, scule de tăiat în industria carboniferă, matrițe pentru debavurare și forjare, chei de piulițe, lame pentru foarfeci	0,52 ... 0,60	1,40 ... 2,00	0,60 ... 1,00	0,04	0,04	max.0,30 Cr, max.0,30Ni, max.0,25Cu
101	Buterole, dălți pneumatice, ștanțe, matrițe, scule pentru prelucrarea lemnului, matrițe pentru turnarea metalelor și aliajelor neferoase	0,40 ... 0,50	0,80 ... 1,10	0,20 ... 0,40	0,04	0,04	0,90...1,20 Cr, max.0,35 Ni, 0,15...0,20 V, 1,80...2,20 W, max. 0,30 Cu

Tabelul 7– continuare

0	1	2	3	4	5	6	7
102	Lame de cuțit	0,42 ... 0,50	max. 1,00	max. 1,00	0,035	0,03	13,8...15,0Cr, 0,45...0,60 Mo, 0,10...0,15 V
103	Scule pentru prelucrări la rece, cuțite de balanță, instrumente medicale, rulmenți, piese supuse la uzură în mediu coroziv din industria minieră și petrolieră	0,85 ... 0,95	max. 1,00	max. 1,00	0,035	0,035	17,0...19,0 Cr, 0,9...1,3 Mo, 0,07...0,12 V
104	Scule de tăiere și instrumente chirurgicale	0,35 ... 0,42	max. 1,00	max. 1,00	0,035	0,035	12,5...14,5Cr
105	Pile pentru prelucrarea materialelor nemetalice	0,40 ... 0,65	0,30 ... 0,50	0,50 ... 0,70	0,05	0,05	–
106	Pile pentru prelucrarea metalelor	1,40 ... 1,60	0,15 ... 0,35	0,20 ... 0,40	0,04	0,04	0,60...0,80 Cr
107	Pile pentru prelucrarea metalelor	1,30 ... 1,50	0,15 ... 0,30	0,20 ... 0,40	0,04	0,04	–
108	Matrițe de turnare sub presiune a metalelor ușoare	0,36 ... 0,42	0,90 ... 1,20	0,30 ... 0,50	0,04	0,04	4,80...5,50 Cr, max.0,35 Ni, 1,10...1,40 Mo, 0,25...0,50 V, max. 0,30 Cu

Tabelul 7– continuare

0	1	2	3	4	5	6	7
109	Matrițe mari, matrițe pentru injectat mase plastice, nicovale mari, cilindri de laminor	0,50 ... 0,60	0,10 ... 0,40	0,50 ... 0,80	0,04	0,04	0,50...0,80 Cr, 1,40...1,80Ni, 0,15...0,30 Mo, max.0,30 Cu
110	Matrițe și dornuri pentru lucru la temperaturi de maximum 700 <sup>0</sup> C, foarfeci și cuțite pentru tăiat la cald, scule de refulare la cald, elemente de matriță pentru turnare sub presiune	0,25 ... 0,35	0,15 ... 0,30	0,20 ... 0,40	0,04	0,04	2,50...2,80Cr, max.0,35 Ni, 0,30...0,40 V, 8,00...9,00 W, max.0,30 Cu
111	Matrițe mari care lucrează în condiții foarte grele	0,52 ... 0,62	0,15 ...0,35	0,60 ... 0,80	0,04	0,04	1,00...1,20 Cr, 1,60...1,90 Ni, 0,30...0,60 Mo, 0,10...0,20 V, max.0,30 Cu
112	Burghie, scule de filetat, freze	0,70 ... 0,78	max. 0,45	max. 0,40	0,04	0,04	3,80...4,50 Cr, 17,50...18,50W max.0,60 Mo, 1,00...1,20 V
113	Cazane de abur cu presiunea sub 300 N/cm <sup>2</sup>	0,08 ... 0,15	–	0,30 ... 0,60	0,04	0,04	max.0,30 Cr



Tabelul 8

## Compoziții de burete de fier

Nr. crt.	Varianta	Compoziția chimică, în %							Alte elemente chimice
		gangă (componentă minerală)	oxizi de fier reduși	C	S	P	Si	Mn	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Burete redus cu cărbune, India, [4]	4,7	4...12	0,15 ... 0,20	0,01	0,05	0,14 ... 0,25	0,35 ... 0,40	Cu+Si+ Ni+Cr+ Mo=0,02
2	Pelete reduse cu gaz metan, India, [4]	1,8...4,0	4...12	1,0 ... 2,5	0,005 ... 0,015	0,02 ... 0,04	0,14 ... 0,25	0,35 ... 0,40	
3	Brichete reduse cu gaz metan, India, [4]	3,5...4,0	4...12	0,9 ... 1,5	0,002 ... 0,006	0,02 ... 0,02	0,14 ... 0,25	0,35 ... 0,40	
4	Burete de fier, Spania	ld***	ld	0,6	0,036	ld	ld	ld	Fe <sup>*</sup> <sub>tot.</sub> =87,17; Fe <sup>**</sup> <sub>met.</sub> =81,17
5	Pulbere de fier, Ucraina	ld	ld	0,06 ... 0,08	0,005 ... 0,008	0,010 ... 0,013	0,14 ... 0,18	0,35 ... 0,40	Fe=98,5...98,8; O <sub>2</sub> =0,4...0,5
6	Pulbere de fier, Ucraina	ld	ld	0,08 ... 0,12	0,005 ... 0,008	0,010 ... 0,013	0,16 ... 0,20	0,35 ... 0,40	Fe=98,0...98,5 O <sub>2</sub> =0,5...0,7
7	Pulbere de fier, Ucraina	ld	ld	0,12 ... 0,15	0,005 ... 0,008	0,010 ... 0,013	0,16 ... 0,25	0,35 ... 0,40	Fe=98,0...98,3
8	Pulbere de fier, Ucraina	ld	ld	max. 0,25	0,005 ... 0,008	0,010 ... 0,013	0,20 ... 0,40	0,35 ... 0,40	Fe=min.96,0

Tabelul 8 – continuare

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
9	Pulbere de fier, Ucraina	ld	ld	max. 0,40	0,005 ... 0,008	0,010 ... 0,013	0,20 ... 0,40	0,35 ... 0,40	Fe=min.95,0
10	Burete de fier	ld	ld	0,06 ...0,4	0,005 ... 0,008	0,010 ... 0,015	0,14 ... 0,25	0,35 ... 0,40	Fe=95...98,8; O <sub>2</sub> =max.0,7
11	Brichete de fier (din pulbere de fier)	ld	ld	1,78	0,012	0,017	ld	ld	Fe <sub>tot.</sub> =92,4; Fe <sub>met.</sub> =88,3

\* = Fe<sub>tot.</sub><sup>\*</sup> = fier total = fier redus+fier rezidual (neredus);\*\* = Fe<sub>met.</sub><sup>\*\*</sup> = fier metalic = fier redus;\*\*\* = ld\*\*\*\* = lipsă de date.

prin oxidare, dar nu le elimină. O dată șpanul introdus în baia metalică, există și oxidarea elementelor chimice din compoziția chimică a șpanului cu oxidul feros dizolvat în baia metalică, dar și cu alți oxizi dizolvați în aceasta;

– șpanul de oțel are aspect lânos, ceea ce creează dificultăți la manevrare, impunându-se, în mod obligatoriu, presarea lui, adică existența unei instalații de presare – de balotare;

– șpanul conține, inevitabil, impurități a căror proveniență trebuie căutată în crusta aderentă de la suprafața pieselor turnate obținute prin turnare în forme temporare, uleiuri sau emulsii utilizate la mașinile unelte, substanțele utilizate pentru marcarea pieselor sau semifabricatelor ce urmează a fi prelucrate mecanic etc.;

– masa specifică este relativ mică, prin comparație cu fonta brută, fonta veche și deșeurile de fontă sau oțel, această situație însemnând prelungirea duratei de elaborare deoarece

este nevoie de mai multe încărcări, astfel, crescând consumul de energie electrică – măriindu-se costul fontei obținute;

- valorificarea de către societatea comercială a șpanului prin vânzare poate fi costisitoare sau, din contra, poate fi eficientă;

- achiziționarea de către societatea comercială poate fi eficientă sau, din contra, ineficientă;

- cantitatea mare de șpan rezultată într-o societate comercială, prin costul corespunzător, poate determina micșorarea costului fontei obținute;

- cantitatea mică de șpan rezultată într-o societate comercială, nu justifică costul unei instalații de prelucrare a șpanului – prelucrare termică, chimică, geometrică etc.

Deșeurile de oțel ușoare reprezintă o noțiune relativă și se referă la fracțiunea de 800...1.300 kg/m<sup>3</sup>.

Împachetarea sau formarea de baloți a deșeurilor de oțel ușoare, [21], se face prin intermediul preselor hidraulice ale căror forțe de presare variază în intervalul 1.000...16.000 kN – sunt exploatate și treptele intermediare de forțe de presare de 2.500, 4.000 și 10.000 kN. În mod curent se utilizează presele cu forțele de presare de 4.000 kN. Astfel, se obțin 10...20 pachete/h, cu masa de 1.000...3.000 kg/bucată – masă specifică de 2.000...3.000 kg/m<sup>3</sup>.

O presă hidraulică are în dotare o cuvă de alimentare în care se introduc deșeurile de oțel ușoare. Prin intermediul unor pistoane acționate de pompe hidraulice, deșeurile de oțel ușoare sunt preluate din cuva de alimentare și sunt comprimate succesiv pe cele trei direcții până la dimensiunile finite ale balotului. O asemenea presă poate prelucra și strunjituri lungi.

Împachetarea deșeurilor de oțel ușoare se poate realiza și cu prese mecanice, masa unui balot fiind de minimum 200 kg/bucată, [32].

Scopul împachetării este de a se evita încărcarea cuptorului în mai multe reprize, protejarea căptușelii refractare de impactul cu bucățile de deșeuri de oțel sub formă de proeminente ascuțite, eliminarea riscului cauzat de bucățile sub formă de recipiente închise etc.

Strunjiturile lungi de oțel – masa specifică 200...300 kg/m<sup>3</sup> – se sortează cu ajutorul unui tambur rotativ înclinat, prevăzut cu orificii, în așchii scurte având lungimea de maximum 50 mm și așchii lungi. Așchiile scurte sunt dirijate spre centrele siderurgice iar așchiile lungi sunt dirijate la împachetare cu deșeurile de oțel ușoare.

Pentru cuptoarele cu inducție cea mai indicată tehnologie de pregătire a strunjiturii de oțel este mărunțirea – cod P4 – 01, conform STAS 6058-78, [37], masa unei brichete fiind de maximum 2 kg/bucată.

Pentru mărunțirea strunjiturii de oțel se folosesc mori cu ciocane ce au productivitatea de 1...20 t/h.

Brichetele de strunjitură de oțel se obțin cu prese care au o productivitate de 1,5...10,0 t/h. Cu asemenea prese se obțin brichete cu masa în afara celei reglementate de STAS 6058-78, respectiv 3...20 kg/bucată (masa specifică a unei brichete depășește chiar 4.000 kg/m<sup>3</sup>), asemenea brichete pretându-se pentru elaborarea în cuptoare cu inducție.

În timpul depozitării șpanului în aer are loc oxidarea lui deoarece suprafața lui este foarte mare iar aerul este umed (umiditatea medie, în România este de 10 g/m<sup>3</sup>N) – șpanul ruginește. Conform [19], rugina este formată din FeO·OH, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> și Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> iar conform [8] rugina este Fe(OH)<sub>3</sub>, adică se

are în vedere că cea mai mare stabilitate chimică o au combinațiile fierului trivalent.

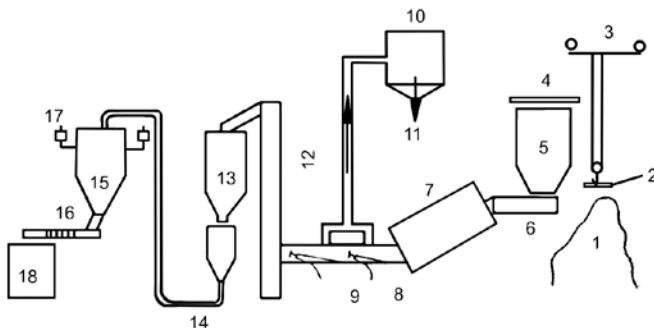
Rugina –  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  – se transformă în aer în  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  iar în cuptor, datorită temperaturii mari,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  se disociază în  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  și  $\text{O}_2$  iar ulterior,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  se disociază în  $\text{FeO}$  și  $\text{Fe}$ ,  $\text{FeO}$  fiind periculos deoarece interacționează cu  $\text{SiO}_2$  din căptușeala acidă a cuptorului, distrugând-o treptat. Micșorarea durabilității căptușelii impuse ca șpanul de fontă să suporte o procesare complexă, conform unui flux tehnologic asigurat de o instalație ca aceea prezentată în figura 5.

Procesarea șpanului de fontă determină eliminarea oxizilor de fier din el. Concret, rugina de transformă în  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  în aerul atmosferic iar  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  este disociat, în cuptorul 7 din figura 5, în  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  și  $\text{O}_2$ .  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  se desprinde ușor de partea metalică prin intermediul unui jet de aer. După o asemenea procesare, conținutul de oxizi de fier din șpanul de fontă se situează în intervalul 0,1...1,5%.

Dacă șpanul de fontă nu este procesat ca mai sus, rezultă o cantitate mare de  $\text{FeO}$  în zgură – 16,0...24,8%, conform [8], pentru o situație dată –, situație în care pierderile totale prin oxidare, în timpul elaborării, se situează în intervalul 0,5...8,9%, asemenea dezavantaj, însă, eliminându-se în mare parte prin utilizarea în încărcătură de materiale reducătoare, așa cum se va prezenta în această monografie.

Așadar, încărcătura metalică poate avea un sort metalic în cazul în care cuptorul electric funcționează la frecvență medie și mare. În cazul în care cuptorul electric funcționează la frecvența rețelei, încărcătura metalică este formată din două sorturi, unul fiind fonta lichidă remanentă iar celălalt fiind sortul metalic adăugat. În ambele situații, criteriul de alegere a unicului sort metalic este proporția de siliciu din

încărcătură sub formele  $\langle \%Si \rangle$  – relația (27) –, în cazul cuptoarelor cu frecvență medie și mare, respectiv  $\langle \%Si_{ad} \rangle$  – (41) –, în cazul cuptoarelor cu frecvența rețelei, trebuind ca  $\langle \%Si \rangle$  și  $\langle \%Si_{ad} \rangle$  să se încadreze între limitele minimă și maximă ale conținutului de siliciu ale sortului metalic vizat.



**Fig. 5. Schema unei instalații complexe de procesare a șpanului de fontă: 1 – șpan brut; 2 – disc magnetic; 3 – pod rulant; 4 – ciur; 5 – siloz de depozitare; 6 – alimentator; 7 – cuptor de uscarea rotativ; 8, 9 – conveiere de răcire; 10 – siloz de stocare îndelungată; 11 – conveior de evacuare; 12 – elevator; 13 – siloz de serviciu pentru șpan uscat; 14 – transportor pneumatic către cuptorul cu inducție; 15 – siloz de recepție și cântărire; 16 – dozator; 17 – instalație de cântărire; 18 – cuptor cu inducție.**

Tipurile de sorturi metalice propuse a fi alese – tabelele 5, 6, 7 și 8 – sunt orientative, cu scop didactic. La scară industrială se va ține seama de oferta existentă pe piață, ofertă posibilă prin reclamă de diverse tipuri, pe internet etc.

Calculul analitic rămâne în toate cazurile orientativ, deoarece compoziția chimică a fontei propusă a fi elaborată este certificată doar de efectuarea analizei compoziției chimice prin metode fizice și chimice. Dacă un agent economic nu dispune de o modalitate de determinare rapidă a compoziției chimice, el nu poate aborda elaborarea unei fonte într-o

competiție atât de acerbă cum este cea în care își desfășoară activitatea societățile comerciale. Prin urmare, determinarea compoziției chimice a băii metalice în momentele oportune, rămâne singurul factor care validează compoziția chimică a fontei elaborată în cuptor.

#### **2.1.1.1.a". Calculul practic al încărcăturii metalice formată dintr-un sort metalic**

Calculul practic pleacă de la considerentul de circumstanță conform căruia în baza de șarjare a turnătoriei se află doar un sort metalic. Prin urmare, nu se mai pune problema alegerii unui sort metalic ca în cazul paragrafului 2.1.1.1.a", deoarece sortul metalic există în baza de șarjare.

Compoziția chimică a sortului metalic este cunoscută, fiind, fie cea din certificatul de calitate emis de producător, fie cea pe care o stabilește beneficiarul – turnătorii –, prin analiză chimică proprie.

Posibile sorturi metalice care să se afle în baza de șarjare sunt prezentate în tabelele 5,6,7 și 8 dar pot fi și deșeuri proprii etc.

Dacă producătorul sortului metalic a specificat în certificatul de calitate intervale de valori pentru conținuturile elementelor chimice, trebuie să se facă media aritmetică a valorilor maximă și minimă. De exemplu dacă este vorba despre sortul metalic Fontă de Turnătorie, simbol Pig – P12Si – poziția 25 din tabelul 5 – conținutul de siliciu este cuprins între limitele 1,5% și 3,5%, ceea ce înseamnă că în calcule se va lua în considerație conținutul de siliciu de  $(1,5+3,5)/2=2,5\%$ .

Dacă, din diverse motive, compoziția chimică a sortului metalic din baza de șarjare nu este cunoscută, se stabilește compoziția chimică de către beneficiar prin realizarea de minimum trei determinări, luându-se în considerație media aritmetică a concentrațiilor determinate.

Dacă, de exemplu, s-au determinat conținuturile de siliciu de 2,3% alături de 3.1% și 2% se va lua în calcule media aritmetică  $(2,3+3,1+2)/3=2,5\%$ .

Deoarece există mărci de fontă pentru care se impun restricții referitoare la unele oligoelemente (impurități), trebuie să se cunoască compoziția chimică a sortului metalic în totalitate, adică inclusiv oligoelementele chimice, elementele chimice în stare gazoasă - în principal, hidrogenul, azotul și oxigenul – și elementele chimice de aliere.

De exemplu, pentru mărcile de fontă cu grafit nodular, deși standardul românesc SR ISO 1083 nu prevede restricții pentru compoziția chimică a fontei cu grafit nodular și cu atât mai mult pentru cantitatea de oligoelemente chimice, literatura de specialitate, [8], [39], [40], [41], recomandă valori maxime ale conținuturilor unor elemente chimice, numite elemente chimice antimodificatoare. Astfel, în cazul în care modificarea se face cu modificatori pe bază de magneziu (magneziu, ca atare, feroaliaje și prealiaje) și în absența ceriului, fonta ce se supune modificării trebuie să conțină elemente chimice antimodificatoare în cantități maxime, ca în tabelul 9.1.

Tabelul 9.1

**Conținuturile maxime ale elementelor chimice antimodificatoare, din fontă lichidă care urmează să fie supusă modificării, în cazul în care modificatorul conține magneziu și în absența ceriului.**

Denumirea elementului chimic antimodificator	Al	Sb	As	Bi	Pb	Se	Te	Sn	Ti
Cantitatea de element chimic antimodificator, în %, maximum	0,0800	0,0100	0,0500	0,0020	0,0020	0,0300	0,0100	0,0800	0,0400



### **2.1.1.1.a"1. Elaborare în cuptoare cu inducție cu creuzet ce funcționează cu frecvențe medie sau mare**

#### **2.1.1.1.a"1.a. Schema logică**

Cuptoarele ce funcționează cu frecvență medie, sunt dotate cu generatoare de frecvență care debitează frecvențe de 100 ... 10.000 Hz.

Cuptoarele ce funcționează cu frecvență mare – cunoscute în literatura de specialitate și sub denumirea cu frecvență înaltă – sunt dotate cu generatoare de frecvență ce debitează frecvențe de 10 kHz ... 10 MHz, conform [42] sau frecvențe mai mari de 10 kHz, conform [43].

Materialele de aliere – de corectare a compoziției chimice – se introduc în cuptor în diferite etape, momentul introducerii în cuptor – tabelul 10 – fiind în funcție de afinitatea chimică față de oxigen a elementelor chimice vizate să fie corectate, influența elementelor chimice, vizate să fie corectate, asupra solubilității altor elemente chimice din faza metalică, compoziția chimică și natura materialelor de aliere etc.

Conform tabelului 10, literatura de specialitate recomandă introducerea în încărcătura metalică solidă – în încărcătură – a materialelor de aliere cu baza Ni sau Cu, introducerea în baia metalică – după topire – a materialelor de aliere cu baza, după caz, Ni, Mo, Si, V, W și Cu și introducerea în baia metalică cu puțin timp înainte de evacuarea fontei lichide din cuptor a materialelor de aliere cu baza, după caz, P, Ni, Mo, Cr, Mn, Si, V, Ti, W, Al și Cu. Prin urmare, relativ toate materialele de aliere se pot introduce în baia metalică cu puțin timp înainte de evacuarea fontei lichide din cuptor, iar unele după topire.

Având în vedere că reacțiile chimice de oxidare sunt exoterme, temperaturile mici accelerează aceste reacții chimice. Prin urmare, în timpul topirii au loc cele mai mari pierderi de elemente chimice, din încărcătura metalică, motiv

pentru care se recomandă evitarea introducerii în cuptor, în încărcătura metalică solidă, a materialelor de aliere. Având în vedere pierderile, prin oxidare de elemente chimice, se consideră introducerea în cuptor doar a sortului metalic avut la dispoziție în baza de șarjare.

Fie că unicul sort metalic avut la dispoziție – s.m.1 – are compoziția chimică conform relației (44.1). Încărcătura metalică este aceeași ca unicul sort metalic.

Sortul metalic 1 = Încărcătura metalică =

$$\langle \% E_{i,s.m.1} \rangle = \langle \% E_{1,s.m.1} \rangle, \langle \% E_{2,s.m.1} \rangle, \langle \% E_{13,s.m.1} \rangle, \dots \quad (44.1)$$

Încărcătura metalică are aceeași compoziție chimică cu a unicului sort metalic – relația (44.1).

Tabelul 10

**Momentele de introducere, recomandate, ale materialelor de aliere în cuptoarele cu inducție.**

Elementul chimic de aliere principal din materialul de aliere	Momentul introducerii în cuptor		
	O dată cu încărcătura metalică	Imediat după topire	Cu puțin timp înainte de evacuarea fontei din cuptor
P	Nu	Nu	Da
Ni	Da	Da	Da
Mo	Nu	Da	Da
Cr	Nu	Nu	Da
Mn	Nu	Nu	Da
Si	Nu	Da	Da
V	Nu	Da	Da
Ti	Nu	Nu	Da
W	Nu	Da	Da
Al	Nu	Nu	Da
Cu	Da	Da	Da

Cantitatea de sort metalic 1 ce se încarcă în cuptor este

egală cu capacitatea efectivă a cuptorului care poate fi egală mai mică sau puțin mai mare decât capacitatea nominală a cuptorului.

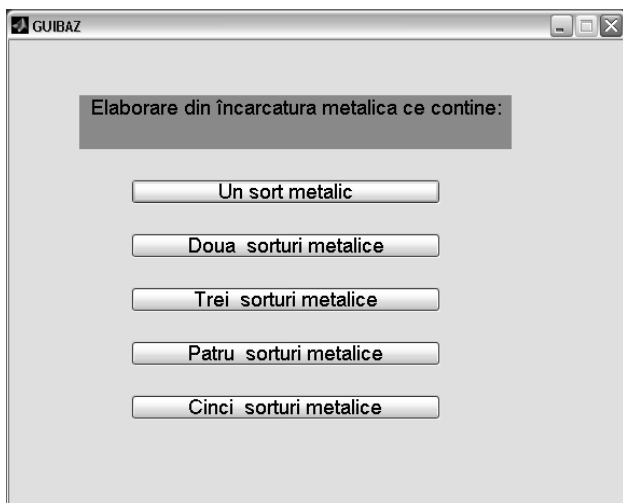
### **2.1.1.1.a".1.b. Rularea programului**

În vederea proiectării unui procedeu de obținere a aliajelor feroase, s-a alcătuit în limbajul de programare Matlab o colecție de programe și interfețe grafice care să vină în ajutorul studentului pentru realizarea planului propus ținând cont de proiectul de elaborare alcătuit anterior.



Inițializarea interfeței grafice a proiectului de elaborare a fontei

Realizând pornirea software-ului Matlab, o noua interfață, legată de datele inițiale ale proiectului, va porni, ca cea din figura următoare, creând oportunitatea utilizatorului de a alege un caz din cele menționate în tema de proiectare.



Interfața grafică utilizată pentru alegerea numărului de sorturi din baza de șarjare



Interfața grafică pentru selectarea frecvenței de lucru a cuptorului cu inducție (înaltă este sinonim cu mare)

Pentru familiarizarea utilizatorului cu soft-ware-ul de aplicații este prezentat în continuare un caz particular de aplicație ce vine în ajutorul utilizatorului de proiect.

#### CALCULUL PRACTIC AL INCARCATURII METALICE FORMATA DINTR-UN SORT METALIC IN CAZUL ELABORARII IN CUPTOARE CAPTUSITE ACID

##### ELABORARE IN CUPTOARE CU INDUCTIE, CU CREUZET, CE FUNCTIONEAZA CU % FRECVENTE MEDIE SAU MARE

Calculul practic pleacă de la considerentul de circumstanță conform căruia în baza de șarjare a turnătoriei se află doar un sort metalic.

Compoziția chimică a sortului metalic este cunoscută, fiind, fie cea din certificatul de calitate emis de producător, fie cea pe care o stabilește beneficiarul – turnătoria -, prin analiză chimică proprie.

Cuptoarele ce funcționează cu frecvență medie, sunt dotate cu generatoare de frecvență care debitează frecvențe de 100 ... 10.000 Hz.

Cuptoarele ce funcționează cu frecvență mare – cunoscute în literatura de specialitate și sub denumirea cu frecvență înaltă – sunt dotate cu generatoare de frecvență ce debitează frecvențe de 10 kHz ... 10 MHz, conform [42] sau frecvențe mai mari de 10 kHz, conform [43]

Materialele de aliere – de corectare a compoziției chimice – se introduc în cuptor în diferite etape, momentul introducerii în cuptor – tabelul 10 –

fiind în funcție de afinitatea chimică față de oxigen a elementelor chimice vizate să fie corectate de influența elementelor chimice, vizate să fie corectate, asupra solubilității altor elemente chimice din faza metalică,

compoziția chimică și natura materialelor de aliere etc

Elementul chimic de aliere principal din materialul de aliere

Momentul introducerii în cuptor

Conform tabelului 10, literatura de specialitate recomandă introducerea în încărcătura metalică solidă – în încărcătură – a materialelor de aliere ce conțin Ni sau Cu,

introducerea în baia metalică – după topire – a materialelor de aliere ce conțin, după caz, Ni, Mo, Si, V, W și Cu și  
introducerea în baia metalică cu puțin timp înainte de evacuarea fontei lichide din cuptor a materialelor de aliere ce conțin, după caz, P, Ni, Mo, Cr, Mn, Si, V, Ti, W, Al și Cu.

Prin urmare, relativ toate materialele de aliere se pot introduce în baia metalică cu puțin timp înainte de evacuarea fontei lichide din cuptor, iar unele după topire.

Introducerea datelor referitoare la Sortul Metalic existent în baza de sarjare

Se introduc, din tabele 5,6,7 sau 8, valorile minime și maxime pentru elementele din compoziția chimică a

sortului metalic aflat în baza de sarjare, pentru valori maxime sau unice se introduce aceeași valoare de două ori Carbon (C), Siliciu (Si), Mangan (Mn), Fosfor (Pmax)

Sulf maxim (Smax), Vanadiu (V), Titan (Ti), Nichel (Ni), Crom (Cr), Cupru (Cu), Molibden (Mo), Magneziu (Mg), Aluminiu (Al) sau Wolfram (W)

și Alte elemente (A) ale sortului metalic din baza de sarjare

Pentru elementele care nu se regăsesc în compoziția chimică a sortului metalic se introduce valoarea zero (0)

Introduceți procentul de CARBON minim și maxim,

$C_{minsm}$  și  $C_{maxsm}$  ale sortului metalic din baza de sarjare de ex: 3.1...3.6, valorile cu parte fracționară se scriu 1.2 sau 3.2

În cazul în care în tabel procentul de element este dat sub formă de valoare fixă,

ex. 2.3 și nu sub formă de interval se introduce această valoare și pentru minimum și pentru maximum

$C_{minsm}$ : 3.3

$C_{maxsm}$ : 4.5

$C_{sm} = 3.9000$

Introduceți procentul de SILICIU minim și maxim,

$Si_{minsm}$  și  $Si_{maxsm}$  al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 1.5...2.3:

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 1.3 (si nu sub forma de interval) se introduce valoarea din tabel si pentru minimum si pentru maximum

Siminsm:1.5

Simaxsm:3.5

Sism = 2.5000

Introduceti procentul de MANGAN minim si maxim,

Mnminsm si Mnmaxsm al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 0.4...1.6:

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 0.8 si nu sub forma de interval se introduce valoarea si pentru minimum si pentru maximum

Mnminsm:0.4

Mnmaxsm:1.5

Mnsm = 0.9500

Introduceti procentul de FOSFOR minim si maxim,

Pminsm si Pmaxsm al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 0.5...0.8:

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 0.3 si nu sub forma de interval se introduce valoarea si pentru minimum si pentru maximum

Pminsm:1.0

Pmaxsm:1.4

Pmax = sm: 1.2000

Introduceti procentul de SULF minim si maxim,

Sminsm si Smaxsm al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 0.6...1.2:

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 0.1 si nu sub forma de interval se introduce valoarea si pentru minimum si pentru maximum

Sminsm:0.06

Smaxsm:0.06

Smax = sm: 0.0600

Introduceti procentul de VANADIU minim si maxim,

Vminsm si Vmaxsm al sortului metalic din baza de sarjare de ex:

1.1...1.6, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 2.3 si nu sub forma de interval se introduce această valoare si pentru minimum si pentru maximum

Vminsm:0

Vmaxsm:0

Vsm = 0

Introduceti procentul de TITAN minim si maxim,

Timinsm si Timaxsm al sortului metalic din baza de sarjare de ex:

2.1...2.6, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 0.3 si nu sub forma de interval se introduce această valoare si pentru minimum si pentru maximum

Timinsm:0

Timaxsm:0

Tism = 0

Introduceti procentul de NICHEL minim si maxim,

Niminsm si Nimaxsm al sortului metalic din baza de sarjare de ex:

1.2...1.9, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 2.2 si nu sub forma de interval se introduce această valoare si pentru minimum si pentru maximum

Niminsm:0

Nimaxsm:0

Nism = 0

Introduceti procentul de CROM minim si maxim,

Crminsm si Crmaxsm al sortului metalic din baza de sarjare de ex:

3.1...3.6, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2



In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 2.3 si nu sub forma de interval se introduce această valoare si pentru minimum si pentru maximum

Crminsm:0

Crmaxsm:0

Crsm = 0

Introduceti procentul de CUPRU minim si maxim,

Cuminsm si Cumaxsm al sortului metalic din baza de sarjare de ex:

3.1...3.6, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 2.3 si nu sub forma de interval se introduce această valoare si pentru minimum si pentru maximum

Cuminsm:0

Cumaxsm:0

Cusm = 0

Introduceti procentul de MOLIBDEN minim si maxim,

Mominsm si Momaxsm al sortului metalic din baza de sarjare de ex:

4.1...4.6, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 1.3 si nu sub forma de interval se introduce această valoare si pentru minimum si pentru maximum

Mominsm:0

Momaxsm:0

Mosm = 0

Introduceti procentul de MAGNEZIU minim si maxim,

Mgminsm si Mgmaxsm al sortului metalic din baza de sarjare de ex:

3.1...3.6, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

În cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 2.3 si nu sub forma de interval se introduce această valoare si pentru minimum si pentru maximum

Mgminsm:0

Mgmaxsm:0

Mgsm = 0

Introduceti procentul de ALUMINIU minim si maxim,

Alminsm si Almaxsm al sortului metalic din baza de sarjare de ex:  
1.8...2.1, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de  
valoare fixa,

ex. 3.3 si nu sub forma de interval se introduce această valoarea si  
pentru minimum si pentru maximum

Alminsm:0

Almaxsm:0

Alsm = 0

Introduceti procentul de WOLFRAM minim si maxim,

Wminsm si Wmaxsm al sortului metalic din baza de sarjare de ex:  
3.3...3.6, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de  
valoare fixa,

ex. 2.8 si nu sub forma de interval se introduce această valoarea si  
pentru minimum si pentru maximum

Wminsm:0

Wmaxsm:0

Wsm = 0

Se introduc si alte elemente de aliere daca este cazul continute de  
sortul metalic,

Introduceti procentul de element chimic de aliere minim si maxim,

Aminsm si Amaxsm al sortului metalic din baza de sarjare de ex:  
0.8...2.6:

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de  
valoare fixa,

ex. 1.8 si nu sub forma de interval se introduce valoarea si pentru  
minimum si pentru maximum

Aminsm:0

Amaxsm:0

Asm = 0

A1minsm:0

A1maxsm:0

A1sm = 0

A2minsm:0

A2maxsm:0

A2sm = 0

Încărcătura metalică are aceeași compoziție chimică cu a unicului sort metalic – relația (44.1).

Cantitatea de sort metalic 1 ce se încarcă în cuptor este egală cu capacitatea efectivă a cuptorului

care poate fi egală sau puțin mai mare sau mai mică decât capacitatea nominală a cuptorului.

INTRODUCETI CAPACITATEA EFECTIVA A CUPTORULUI

Qefectiv=

Qefectiv=12500

Qsm =12500

ETAPA PREGATIREA INCARCATURII A LUAT SFARSIT

### **2.1.1.1.a"2. Elaborare în cuptoare cu inducție, cu creuzet, ce funcționează cu frecvența rețelei**

#### **2.1.1.1.a".2.a. Schema logică**

În acest caz, se lucrează cu baia metalică remanentă care reprezintă o treime din capacitatea cuptorului, la modul general. Practic se lucrează cu 30% din capacitatea nominală a cuptorului.

Compoziția chimică a băii metalice remanente se cunoaște, fiind aceea a ultimii șarje de fontă evacuată și este cea prezentată în relația (44.2).

$$\left. \begin{array}{l} \text{Baia metalică} \\ \text{remanentă} \end{array} \right\} : [\%E_i]_{\text{rem}} = [\%E_1]_{\text{rem}} , \\ [\%E_2]_{\text{rem}} , [\%E_3]_{\text{rem}} , \dots \quad (44.2)$$

Pentru 100 kg de încărcătură metalică, structura încărcăturii metalice este următoarea: 30% fontă remanentă și 70% sort metalic 1.

Sortul metalic 1, de preferat preîncălzit, se introduce în cuptor, în baia remanentă.

După încărcarea în cuptor a sortului metalic 1, fiecare element chimic din încărcătura metalică are concentrația dată de relația (44.3).

$$\left. \begin{array}{l} \text{Încărcătura} \\ \text{metalică} \end{array} \right\} : \langle \%E_i \rangle = 0,30([\%E_i]_{\text{rem}} - \langle \%E_{i,s,m.1} \rangle) + \langle \%E_{i,s,m.1} \rangle \quad (44.3)$$

De exemplu, dacă  $[\%E_i]_{\text{rem}} = 2,1$  iar  $\langle \%E_{i,s,m.1} \rangle = 2,4$ ,  
 $\langle \%E_i \rangle = 0,30(2,1 - 2,4) + 2,4 = 2,31$  – s-a aplicat relația (44.3).

Dacă  $[\%E_i]_{\text{rem}} = 0$  iar  $\langle \%E_{i,s,m.1} \rangle = 2,4$ ,

$$\langle \%E_i \rangle = 0,30(0 - 2,4) + 2,4 = 1,68$$

Dacă  $[\%E_i]_{\text{rem}} = 2,1$  iar  $\langle \%E_{i,s,m.1} \rangle = 0$ ,

$$\langle \%E_i \rangle = 0,30(2,1 - 0) + 0 = 0,63$$

Relația (44.3) se aplică pentru toate elementele chimice din compoziția chimică a fontei remanente și a sortului metalic 1.

Cantitatea de sort metalic 1 ce se încarcă în cuptor se calculează cu relația (44.4).

$$Q_{s,m.1} = \frac{70}{100} Q_{\text{nominal}} , \quad (44.4)$$

în care  $Q_{s,m.1}$  reprezintă cantitatea de sort metalic ce se încarcă în cuptor;  $Q_{\text{nominal}}$  – capacitatea nominală a cuptorului.

De exemplu, dacă există o capacitate nominală a cuptorului de 12.500 kg,  $Q_{s,m.1} = \frac{70}{100} \cdot 12.500 = 8.750$  kg.

Realizând un nou caz de proiectare virtuală a unui material metalic se consideră și prezintă cazul utilizării unui cuptor ce funcționează cu frecvență medie sau mare.

### **2.1.1.1.a".2.b. Rularea programului**

CALCULUL PRACTIC AL INCARCATURII METALICE FORMATA DINTR-UN SORT METALIC IN CAZUL ELABORARII IN CUPTOARE CAPTUSITE ACID

ELABORARE IN CUPTOARE CU INDUCTIE, CU CREUZET, CE FUNCTIONEAZA CU FRECVENTA RETELEI

Materialele de aliere – de corectare a compoziției chimice – se introduc în cuptor în diferite etape, momentul introducerii în cuptor – tabelul 10 –

fiind în funcție de afinitatea chimică față de oxigen a elementelor chimice vizate să fie corectate de influența elementelor chimice, vizate să fie corectate, asupra solubilității altor elemente chimice din faza metalică,

**compoziția chimică și natura materialelor de aliere etc**

Elementul chimic de aliere principal din materialul de aliere

Conform tabelului 10, literatura de specialitate recomandă introducerea în încărcătura metalică solidă – în încărcătură – a materialelor de aliere ce conțin Ni sau Cu, introducerea în baia metalică – după topire – a materialelor de aliere ce conțin, după caz, Ni, Mo, Si, V, W, Cu și

introducere în baia metalică cu puțin timp înainte de evacuarea fontei lichide din cuptor a materialelor de aliere ce conțin, după caz, P, Ni, Mo, Cr, Mn, Si, V, Ti, W, Al și Cu.

Prin urmare, relativ toate metarialele de aliere se pot introduce în baia metalică cu puțin timp înainte de evacuarea fontei lichide din cuptor, iar unele după topire.

În acest caz, se lucrează cu baia metalică remanentă care reprezintă o treime din capacitatea cuptorului, la modul general.

Practic se lucrează cu 30% din capacitatea efectivă a cuptorului. Compoziția chimică a băii metalice remanente se cunoaște, fiind aceea a ultimei șarje de fontă evacuată

SE INTRODUC VALORILE PROCENTUALE ALE ELEMENTELOR  
CHIMICE DIN BAIA METALICA REMANENTA

Pentru elementele care nu se regasesc in compozitia chimica a băii  
remanente se introduce valoarea zero (0)

Introduceti procentul de CARBON din  
baia remanenta

Crem=1.2

Introduceti procentul de SILICIU  
din baia remanenta

Sirem=0.1

Introduceti procentul de MANGAN din  
baia remanenta

Mnrem=0.2

Introduceti procentul de FOSFOR din  
baia remanenta

Pmax.rem=1.2

Introduceti procentul de SULF din  
baia remanenta

Smax.rem=1

Introduceti procentul de VANADIU  
din baia remanenta

Vrem=0.2

Introduceti procentul de TITAN din  
baia remanenta

Tirem=0.3

Introduceti procentul de NICHEL din  
baia remanenta

Nirem=0.4

Introduceti procentul de CROM din  
baia remanenta

Crrem=0.2

Introduceti procentul de CUPRU din  
baia remanenta

Curem=0.1

Introduceti procentul de MOLIBDEN din

baia remanenta

Morem=1

Introduceti procentul de MAGNEZIU din

baia remanenta

Mgrem=0.2

Introduceti procentul de ALUMINIU din

baia remanenta

Alrem=1

Introduceti procentul de WOLFRAM din

baia remanenta

Wrem=0.2

Se introduc si alte elemente de aliere daca  
este cazul continute de sortul metalic,

Introduceti procentul de element chimic de aliere

Arem=0

A1rem=0

A2rem=0

INTRODUCETI VALORILE PROCENTUALE ALE ELEMENTELOR  
CHIMICE DIN UNICUL SORT METALIC EXISTENT IN BAZA DE  
SARJARE:

Introduceti procentul de CARBON minim si maxim,

Cminsm si Cmaxsm al sortului metalic din baza de sarjare de ex:

3.1...3.6, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de  
valoare fixa,

ex. 2.3 si nu sub forma de interval se introduce **această**

valoarea si pentru minimum si pentru maximum

Cminsm:2.1

Cmaxsm:2.9

Csm = 2.5000

Introduceti procentul de SILICIU minim si maxim,

Siminsm si Simaxsm al sortului metalic din baza de sarjare de ex:

1.5...2.3:

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de  
valoare fixa,

ex. 1.3 (si nu sub forma de interval) se introduce valoarea din tabel si pentru minimum si pentru maximum

Siminsm:1

Simaxsm:1

Sism = 1

Introduceti procentul de MANGAN minim si maxim,

Mnminsm si Mnmaxsm al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 0.4...1.6:

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 0.8 si nu sub forma de interval se introduce valoarea si pentru minimum si pentru maximum

Mnminsm:1.2

Mnmaxsm:1.4

Mnsm = 1.3000

Introduceti procentul de FOSFOR minim si maxim,

Pminsm si Pmaxsm al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 0.5...0.8:

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 0.3 si nu sub forma de interval se introduce valoarea si pentru minimum si pentru maximum

Pminsm:0.1

Pmaxsm:0.2

Pmax =

rem: 1.2000

sm: 0.1500

Introduceti procentul de SULF minim si maxim,

Sminsm si Smaxsm al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 0.6...1.2:

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 0.1 si nu sub forma de interval se introduce valoarea si pentru minimum si pentru maximum

Sminsm:0.1



Smaxsm:0.2

Smax =

rem: 1

sm: 0.1500

Introduceti procentul de VANADIU minim si maxim,

Vminsm si Vmaxsm al sortului metalic din baza de sarjare de ex:

1.1...1.6, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 2.3 si nu sub forma de interval se introduce această valoare si pentru minimum si pentru maximum

Vminsm:1

Vmaxsm:1

Vsm = 1

Introduceti procentul de TITAN minim si maxim,

Timinsm si Timaxsm al sortului metalic din baza de sarjare de ex:

2.1...2.6, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 0.3 si nu sub forma de interval se introduce această valoare si pentru minimum si pentru maximum

Timinsm:0.1

Timaxsm:0.4

Tism = 0.2500

Introduceti procentul de NICHEL minim si maxim,

Niminsm si Nimaxsm al sortului metalic din baza de sarjare de ex:

1.2...1.9, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 2.2 si nu sub forma de interval se introduce această valoare si pentru minimum si pentru maximum

Niminsm:0

Nimaxsm:0

Nism = 0

Introduceti procentul de CROM minim si maxim,

Crminsm si Crmaxsm al sortului metalic din baza de sarjare de ex:  
3.1...3.6, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de  
valoare fixa,

ex. 2.3 si nu sub forma de interval se introduce această valoarea si  
pentru minimum si pentru maximum

Crminsm:0

Crmaxsm:0

Crsm = 0

Introduceti procentul de CUPRU minim si maxim,

Cuminsm si Cumaxsm al sortului metalic din baza de sarjare de ex:  
3.1...3.6, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de  
valoare fixa,

ex. 2.3 si nu sub forma de interval se introduce această valoarea si  
pentru minimum si pentru maximum

Cuminsm:1

Cumaxsm:2

Cusm = 1.5000

Introduceti procentul de MOLIBDEN minim si maxim,

Mominsm si Momaxsm al sortului metalic din baza de sarjare de ex:  
4.1...4.6, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de  
valoare fixa,

ex. 1.3 si nu sub forma de interval se introduce această valoarea si  
pentru minimum si pentru maximum

Mominsm:2

Momaxsm:2

Mosm = 2

Introduceti procentul de MAGNEZIU minim si maxim,

Mgminsm si Mgmaxsm al sortului metalic din baza de sarjare de ex:  
3.1...3.6, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de  
valoare fixa,

ex. 2.3 si nu sub forma de interval se introduce această valoarea si pentru minimum si pentru maximum

Mgminsm:1

Mgmaxsm:1.2

Mgsm = 1.1000

Introduceti procentul de ALUMINIU minim si maxim,

Alminsm si Almaxsm al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 1.8...2.1, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 3.3 si nu sub forma de interval se introduce această valoarea si pentru minimum si pentru maximum

Alminsm:1

Almaxsm:1

Alsm = 1

Introduceti procentul de WOLFRAM minim si maxim,

Wminsm si Wmaxsm al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 3.3...3.6, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 2.8 si nu sub forma de interval se introduce această valoarea si pentru minimum si pentru maximum

Wminsm:0

Wmaxsm:0

Wsm = 0

Se introduc si alte elemente de aliere, daca este cazul, continute de sortul metalic,

Introduceti procentul de element chimic de aliere minim si maxim,

Aminsm si Amaxsm al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 0.8...2.6:

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 1.8 si nu sub forma de interval se introduce valoarea si pentru minimum si pentru maximum

Aminsm:0

Amaxsm:0

Asm = 0

A1minsm:0

A1maxsm:0

A1sm = 0

A2minsm:0

A2maxsm:0

A2sm = 0

Pentru 100 kg de încărcătură metalică, structura încărcăturii metalice este următoarea: 30% fontă remanentă și 70% sort metalic 1.

Sortul metalic 1, de preferat preîncălzit, se introduce în cuptor, în baia remanentă.

După încărcarea în cuptor a sortului metalic 1, fiecare element chimic din încărcătura metalică are concentrația dată de relația (44.3).

Cim = 2.1100

Siim = 0.7300

Mnim = 0.9700

Pmaxim = 0.5000

Smaxim = 0.4400

Vim = 0.7600

Tiim = 0.2650

Niim = 0.1200

Crim = 0.0600

Cuim = 1.0800

Moim = 1.7000

Mgim = 0.8300

Alim = 1

Wim = 0.0600

Aim = 0

A1im = 0

A2im = 0

Cantitatea de sort metalic 1 ce se încarcă în cuptor se calculează cu relația (44.4)

INTRODUCETI CAPACITATEA EFECTIVA A CUPTORULUI -  
Qefectiv:

De exemplu, dacă există o capacitate efectivă a cuptorului de 12500 kg,  $Q(s.m.1)=70/100 \cdot 12500=8.750$  kg.

$Q_{\text{defectiv}}=12500$

$Q_{sm1} = 8750$

ETAPA PREGATIREA INCARCATURII A LUAT SFARSIT

#### **2.1.1.1.b. Calcululele analitic și practic ale încărcăturii metalice formate din două sorturi metalice**

Se notează cu A și B cele două sorturi metalice din încărcătură.

În cazul în care cuptorul funcționează la frecvența rețelei, adică dispune de o baie de fontă lichidă remanentă, se consideră că cele două sorturi metalice A și B se imersează în baia remanentă.

Există două modalități de calcul, respectiv considerându-se siliciul ca element chimic ce determină calculul proporțiilor din încărcătură al celor două sorturi metalice și considerându-se siliciul împreună cu manganul pentru același calcul.

#### **2.1.1.1.b.1. Calculul analitic al proporțiilor sorturilor metalice, utilizându-se siliciul ca element chimic de referință**

Calculul proporțiilor de sorturi metalice se face distinct, după cum cuptorul funcționează la frecvență medie sau mare și după cum cuptorul funcționează la frecvența rețelei.

#### **2.1.1.1.b.1.a. Cuptoare ce funcționează cu frecvență medie sau mare**

Calculul proporțiilor de sorturi A și B – %A și %B – se realizează prin rezolvarea sistemului (45), sistem de două ecuații și două necunoscute – prima ecuație reprezentând o ecuație de bilanț a siliciului iar cea de a doua ecuație reprezentând suma proporțiilor de A și B care este de 100.

$$\begin{cases} \%A \cdot \%Si_A + \%B \cdot \%Si_B = 100 < \%Si > \\ \%A + \%B = 100 \end{cases} \quad (45)$$

în care  $\%Si_A$  reprezintă proporția de siliciu din sortul metalic A;  $\%Si_B$  – proporția de siliciu din sortul metalic B;  $<\%Si>$  – proporția de siliciu din încărcătură.

Proporția de siliciu din încărcătură se calculează cu relația (27).

Sorturile metalice se aleg din tabelele 5, 6, 7 și 8 sau din alte surse, menționându-se, încă o dată, că deșeurile proprii reprezintă fonta propusă a fi elaborată sau combinații de fonte ce intră, în programul de fabricație al turnătoriei, așa cum s-a prezentat un exemplu la paragraful 2.1.1.1.a.

Criteriile de alegere sunt următoarele:

– Conținuturile de siliciu ale sorturilor metalice A și B nu trebuie să fie, amândouă, mai mici decât proporția de siliciu din încărcătură, adică nu trebuie îndeplinită asocierea de inegalități (46);

$$\%Si_A < <\%Si> \text{ și } \%Si_B < <\%Si> \quad (46)$$

– Conținuturile de siliciu ale sorturilor metalice A și B nu trebuie să fie, amândouă, mai mari decât proporția de siliciu din încărcătură, adică nu trebuie îndeplinită asocierea de inegalități (47);

$$\%Si_A > <\%Si> \text{ și } \%Si_B > <\%Si> \quad (47)$$

– Sistemul trebuie să aibă soluție numere reale și pozitive;

– Literatura de specialitate indică o influență mică a fenomenului de ereditate metalurgică în cazul elaborării fontei în cuptoare electrice cu încălzire prin inducție, atât datorită

curenților din baia metalică cauzăți de forțele de atracție electrodinamică cât și datorită gradului mare de supraîncălzire în stare lichidă ce se poate obține. Însă, unele caracteristici ale sorturilor metalice se transmit fontei de a doua fuziune și în cazul elaborării în cuptoare cu inducție –cazul unor incluziuni nemetalice greu fuzibile sau chiar al gazelor etc. Prin urmare, se recomandă să se aibă în vedere și fenomenul de ereditate metalurgică;

– Costul sorturilor metalice. Matricea concurențială și a sectorului de piese turnate de fontă obligă la măsuri de eficientizare a elaborării fontei, la alegerea de sorturi metalice cu costuri minime;

– Sorturile metalice nu trebuie să determine cheltuieli mari cu procesarea băii metalice în cuptor sau în afara cuptorului. Concret, trebuie să se evite, atât cât este posibil, desulfurarea, defosforarea, afinarea, diluarea, corectarea prin adaos a unor elemente chimice însoțitoare de bază, carburarea etc.;

– Sorturile metalice nu trebuie să determine cheltuieli mari cu corectarea structurii metalografice, prin tratament termic secundar, a pieselor turnate etc.;

În toate cazurile de calcul analitic, chiar dacă rezultă proporțiile de sorturi metalice ce se introduc în încărcătură, determinarea compoziției chimice a băii metalice rămâne singura modalitate de confirmare a compoziției chimice, evacuarea fontei din cuptor realizându-se numai atunci când compoziția chimică corespunde.

$\%Si_A$  și  $\%Si_B$  se calculează ca fiind media aritmetică a limitelor minimă și maximă ale conținuturilor respective. Dacă proporția de siliciu ar fi reprezentată printr-un maximum, se recomandă, de exemplu, să se considere 1/2 din valoarea maximă respectivă.

De exemplu, dacă  $\%Si_A = 1,8$ ,  $\%Si_B = 2,3$  și  $\langle \%Si \rangle = 2$ , sistemul (45) capătă forma (48), cu soluția  $\%A = 60$  și  $\%B = 40$ .

$$\begin{cases} \% A \cdot 1,8 + \% B \cdot 2,3 = 100 \cdot 2 \\ \% A + \% B = 100 \end{cases} \quad (48)$$

În cuptoarele cu creuzet se pot elabora toate categoriile de fontă din punctul de vedere al carburării, adică se pot elabora fonte normale, sintetice și semisintetice.

În cazul elaborării fontelor normale, cantitatea de deșeuri de oțel în încărcătura metalică, conform [10], este de 40...70%, ceea ce înseamnă, de exemplu, că unul din sorturile A și B este reprezentat de deșeurile de oțel. Fiindcă proporția de deșeuri de oțel se cunoaște, înseamnă că sistemul (45) se rezumă la alegerea sortului A din punctul de vedere al conținutului de siliciu – al asigurării proporției de siliciu total din încărcătură.

Proporția de deșeuri de oțel se alege către limita minimă în cazul în care conținutul de carbon din fonta propusă a fi elaborată are valori mari și se alege către limita maximă dacă proporția de carbon din fonta propusă a fi elaborată are valori mici. De exemplu, dincolo de ceea ce reglementează standardul român SR ISO 185 pentru fonta cenușie, standard care nu reglementează compoziția chimică și standard care definește mărcile 100, 150, 200, 250, 300 și 350 doar în funcție de rezistența la tracțiune determinată pe probe turnate separat sau atașate la piesă, trebuie să se apeleze la literatura de specialitate – de exemplu, [32] – care prezintă orientativ, compoziții chimice. Concret, pentru marca de fontă cenușie 200, pentru piese cu pereți a căror grosime este mai mică sau egală de 20 mm, sursa [32] recomandă următoarea compoziție chimică: 3,2...3,5%C, 2,0...2,3%Si, 0,5...0,8%Mn, max. 0,65%P și max. 0,14%S. O asemenea fontă este considerată ca având un conținut mare de carbon, așa încât se va stabili proporția de deșeuri de oțel de 40%, adică minimă față de intervalul recomandat de literatura de specialitate.

Ca regulă, aproape generală, utilizarea în încărcătură de minimum 40% deșeuri de oțel impune obligativitatea



carburării încărcăturii metalice – a fontei –, indiferent de tipul cuptorului cu inducție, indiferent de mărimea frecvenței curentului.

Utilizarea de minimum 40% deșeuri de oțel în încărcătura metalică determină obținerea de caracteristici mecanice de rezistență superioare, respectiv, cu atât mai mult se vor îndeplini condițiile impuse de standarde, condiții care vizează mai mult caracteristicile mecanice de rezistență, proprietățile de plasticitate și structura metalografică. Există și standarde care reglementează și compoziția chimică. O asemenea proporție de deșeuri de oțel impune asigurarea condițiilor ecologice pe care le reclamă carburarea fontei, adică dotarea cuptorului – a platformei pe care sunt amplasate cuptoarele – cu hote de aspirație corespunzătoare și prevăzute cu instalații de filtrare a gazelor care se degajă în cantitate mare.

Proporția de deșeuri de oțel în încărcătură se asigură relativ ușor deoarece și disponibilitatea pe piața de deșeuri metalice a deșeurilor de oțel este mare. În plus, există disponibile materiale de carburare ce au influențe multiple în ceea ce privește mărirea calității fontei obținute – a pieselor turnate obținute. Aceste două specificații recomandă de la sine, utilizarea pentru elaborarea fontelor normale (nu sintetice, nu semisintetice) a deșeurilor de oțel în încărcătura metalică, în proporție de 40...70%.

Proporția de deșeuri de oțel se poate alege în încărcătura metalică și sub limita inferioară de 40%, adică se poate calcula prin rezolvarea sistemului (45) și, mai mult, încărcătura metalică se poate alcătui în absența deșeurilor de oțel. Dacă se face referință la marca de fontă 200 – SR ISO 185 – aceasta se poate obține și din încărcături metalice fără deșeuri de oțel sau cu deșeuri de oțel în proporție mai mică de 40%.

Așa cum se poate impune cantitatea de deșeuri de oțel în încărcătură, și cantitatea de deșeuri de fontă – așa numitele

deșuri proprii – se poate impune, existând aceleași simplificări ale calculului încărcăturii metalice.

### **2.1.1.1.b.1.b. Cuptoare ce funcționează cu frecvența rețelei**

Păstrându-se notațiile anterioare, proporțiile de sorturi A și B se determină prin rezolvarea sistemului (49).

$$\begin{cases} \%A \cdot \%Si_A + \%B \cdot \%Si_B + \%FR \cdot <\%Si_{rem.}> = \\ 100 \cdot <\%Si_{total}> \%A + \%B + \%FR = 100 \end{cases} \quad (49)$$

În cazul în care proporția de fontă lichidă remanentă este de 30% din capacitatea cuptorului, sistemul (49) devine de forma (50).

$$\begin{cases} \%A \cdot \%Si_A + \%B \cdot \%Si_B + 30 \cdot <\%Si_{rem.}> = \\ 100 <\%Si_{total}> \%A + \%B = 70 \end{cases} \quad (50)$$

Sorturile metalice A și B se aleg ținând cont de următoarele condiții:

– conținuturile de siliciu ale sorturilor metalice A și B nu trebuie să fie, amândouă, mai mici decât  $\left( <\%Si_{total}> - \frac{\%FR \cdot <\%Si_{rem.}>}{100} \right)$ , adică nu trebuie îndeplinită asocierea de inegalități (51);

$$\begin{aligned} \%S_A << <\%Si_{total}> - \frac{\%FR \cdot <\%Si_{rem.}>}{100} \\ \text{și} \\ \%S_B << <\%Si_{total}> - \frac{\%FR \cdot <\%Si_{rem.}>}{100}. \end{aligned} \quad (51)$$

În cazul în care %FR = 30, conținuturile de siliciu ale sorturilor metalice A și B nu trebuie să fie, amândouă, mai mici decât  $\langle \%Si_{total} \rangle - 0,3 \langle \%Si_{rem.} \rangle$ ;

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

$$\left[ \langle \%Si_{total} \rangle - \frac{\%FR \cdot \langle \%Si_{rem.} \rangle}{100} \right], \text{adică nu trebuie îndeplinită}$$

asocierea de inegalități (52);

$$\%Si_A \gg \langle \%S_{total} \rangle - \frac{\%FR \cdot \langle \%Si_{rem.} \rangle}{100}$$

și (52)

$$\%Si_B \gg \langle \%S_{total} \rangle - \frac{\%FR \cdot \langle \%Si_{rem.} \rangle}{100}.$$

În cazul în care %FR = 30, conținuturile de siliciu ale sorturilor metalice A și B nu trebuie să fie amândouă mai mari decât  $\langle \%Si_{total} \rangle - 0,3 \langle \%Si_{rem.} \rangle$ ;

– sistemul (49) trebuie să aibă soluție numere reale și pozitive;

– celelalte condiții sunt cele prezentate la paragraful 2.1.1.1.b.1.a.

Dacă se impune cantitatea de deșeuri de oțel în încărcătura metalică, rezolvarea sistemelor (49) sau (50) se rezumă la alegerea unui sort metalic, avându-se la bază asigurarea proporției de siliciu din încărcătura adăugată în cuptor calculată cu relațiile (41) sau (42).

Utilizarea sau nu a deșeurilor de oțel în încărcătura metalică adăugată în baia metalică remanentă generează aceleași aspecte ca acelea prezentate la paragraful 2.1.1.1.b.1.a.

Și cantitatea de deșeuri de fontă – deșeurile proprii – poate fi impusă, ceea ce creează o situație echivalentă cu aceea în care se impune cantitatea de deșeuri de oțel.

### **2.1.1.1.b.2. Calculul analitic al proporțiilor sorturilor metalice, utilizându-se siliciul și manganul ca elemente chimice de referință**

În cazul în care calculul analitic al proporțiilor de A și B se face luându-se siliciul ca element chimic de referință, una din condițiile pe care trebuia să le îndeplinească cele două sorturi metalice A și B era ca cheltuielile de procesare a băii metalice să fie minime, Dacă pe lângă siliciu se consideră și manganul ca element chimic de referință, rezultă că crește probabilitatea de a se micșora cheltuielile de procesare a băii metalice deoarece nu mai trebuie asigurată corectarea conținutului de mangan, conținutul de mangan fiind asigurat de către cele două sorturi metalice din încărcătură.

Dacă în cazul în care se lua siliciul ca referință, sistemul ce trebuia rezolvat era format dintr-o ecuație ce reprezenta bilanțul siliciului și dintr-o ecuație ce reprezenta suma proporțiilor celor două sorturi metalice, în cazul în care se consideră ca referință elementele chimice siliciul și manganul, proporțiile de sorturi metalice A și B se determină prin rezolvarea unui sistem format din două ecuații reprezentând bilanțurile siliciului și manganului.

Calculul analitic se face în mod distinct, după cum cuptorul funcționează cu frecvență medie sau mare, pe de o parte, și cu frecvență mică, pe de altă parte.

#### **2.1.1.1.b.2.a. Cuptoare ce funcționează cu frecvență medie sau mare**

Calculul analitic al proporțiilor de sorturi A și B – %A și %B – se realizează prin rezolvarea sistemului (53).

$$\begin{cases} \%A \cdot \%Si_A + \%B \cdot \%Si_B = 100 < \%Si > \\ \%A \cdot \%Mn_A + \%B \cdot \%Mn_B = 100 < \%Mn >, \end{cases} \quad (53)$$

în care %Mn<sub>A</sub> reprezintă proporția de mangan din sortul

metalic A; % Mn<sub>B</sub> – proporția de mangan din sortul metalic B; <%Mn> – proporția de mangan din încărcătură.

Proporția de mangan din încărcătură se calculează cu relația (54).

$$\langle \% \text{Mn} \rangle = \frac{[\% \text{Mn}]}{100 - \% a_{\text{Mn}}} \cdot 100, \quad (54)$$

în care [%Mn] reprezintă proporția de mangan din fonta propusă a fi elaborată iar %a<sub>Mn</sub> reprezintă proporția de mangan ce se pierde prin oxidare în timpul elaborării.

Pierderile de mangan prin oxidare sunt, în general, cuprinse în intervalul 2...15%, [8]. De exemplu, dacă arderea manganului este de 11% și dacă proporția de mangan din fonta propusă a fi elaborată este de 1,3, proporția de mangan din încărcătură are valoarea

$$\langle \% \text{Mn} \rangle = \frac{1,3}{100 - 11} \cdot 100 = 1,46 \quad (55)$$

Proporția de mangan care arde în timpul elaborării se poate determina cu relația (56).

$$\% a_{\text{Mn}} = \% a_{\text{Mn}, T < 1.350} + \tau \cdot \% a_{\text{Mn}, 1.350 < T < 1.550}, \quad (56)$$

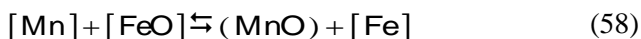
în care %a<sub>Mn, T < 1.350</sub> reprezintă proporția de mangan care arde în timpul topirii și în timpul supraîncălzirii fontei în stare lichidă până la temperatura de 1.350°C; τ – timpul de menținere a fontei în stare lichidă în intervalul de temperaturi 1.350...1.550°C, în h; %a<sub>Mn, 1.350 < T < 1.550</sub> – proporția de mangan ce se oxidează în timpul menținerii fontei în stare lichidă în unitatea de timp (într-o oră), în intervalul de temperaturi 1.350...1.550°C. Pentru cinci temperaturi sunt consemnate

pierderile prin oxidare în timpul menținerii fontei în stare lichidă într-o oră, în tabelul 4 (de asemenea, în tabelul 4 se prezintă și pierderile de mangan prin oxidare în timpul topirii și supraîncălzirii fontei în stare lichidă până la temperatura de 1.350°C). De exemplu, dacă fonta este supraîncălzită în stare lichidă la temperatura de 1.450°C iar durata de menținere la această temperatură este de 1,25 ore, proporția de mangan ce se pierde prin oxidare, conform tabelului 4, este următoarea:

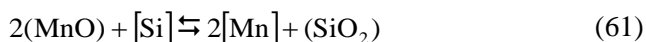
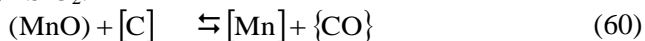
$$\% a_{\text{Mn}} = 1,4 + 1,25 \cdot 0,61 = 2,16. \quad (57)$$

Pierderile de mangan prin oxidare depind, în principal, de următorii factori:

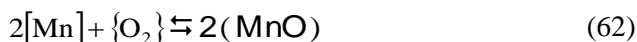
– conținutul de FeO din baia metalică și zgură. Afinitatea chimică față de oxigen a manganului este mai mare decât cea a fierului, ceea ce înseamnă că oxidarea manganului are loc conform reacțiilor chimice (58) și (59). În condiții normale de lucru, reacția chimică (59) se desfășoară mai puțin intens deoarece zgura este mai puțin activă din punct de vedere metalurgic.



Deoarece zgura are temperatura mică, este relativ inactivă din punct de vedere metalurgic, așa încât reacții chimice de tipul (60) și (61) nu au loc. În plus, în zgura acidă MnO este legat chimic de SiO<sub>2</sub> sub formă de silicați de tipul x(MnO) · SiO<sub>2</sub>.



– gradul de agitare al băii metalice (brasajul). Cu cât brasajul este mai mare, cu cât baia metalică este descoperită mai mult de zgură, ceea ce înseamnă că intră în contact cu o cantitate mai mare de oxigen, este posibilă oxidarea manganului conform reacției chimice (62) și este posibilă oxidarea unei cantități mai mari de fier, ceea ce influențează desfășurarea unor reacții chimice de tipul (58) și (59);



– conținutul de mangan din încărcătura metalică. Cu cât conținutul de mangan din încărcătura metalică este mai mare, cu cât mai mari sunt pierderile prin oxidare, reacțiile chimice (58) și (59), de exemplu, desfășurându-se mai intens;

– conținutul de siliciu din încărcătura metalică. Siliciul are afinitatea chimică față de oxigen mai mare decât a manganului, așa încât el poate fi considerat un element chimic “protector” al manganului împotriva oxidării acestuia, în cazul în care este în cantitate mai mare în faza metalică;

– bazicitatea zgurii. Cu cât bazicitatea zgurii este mai mică, cu atât proporția de MnO, nelegată chimic în zgură de SiO<sub>2</sub> este mai mică, ceea ce diminuează intensitatea de desfășurare a reacțiilor chimice (60) și (61) sau le inhibă, chiar dacă se asigură printr-un mijloc consacrat micșorarea viscozității zgurii;

– dimensiunile bucățile de metal ale sorturilor metalice din încărcătură. Cu cât dimensiunile respective sunt mai mari, cu atât suprafața specifică a bucăților este mai mică și cu atât suprafața dintre reactanții reacțiilor chimice (58), (59) și (62), de exemplu, se micșorează, pierderile de mangan prin oxidare fiind mai mici. Dacă o încărcătură metalică ce conține bucăți de sorturi metalice de dimensiuni obișnuite are o suprafață specifică de 2...80 mm<sup>2</sup>/g, o încărcătură metalică constituită din șpan are suprafața specifică de 140...170 mm<sup>2</sup>/g;

– gradul de oxidare al încărcăturii metalice. Cu cât gradul de oxidare este mai mare, cu atât mai mare este cantitatea de FeO din baia metalică și din zgură și cu atât mai mari sunt pierderile de mangan prin oxidare. Din tabelul 2 se observă că, pentru o fontă dată, în cazul unei încărcături metalice cu până la 60% șpan, dacă încărcătura metalică este neoxidată, pierderile de mangan prin oxidare sunt de 6,3% iar dacă încărcătura este oxidată, pierderile de mangan prin oxidare sunt de 18%, adică de circa trei ori mai mari decât în cazul în care încărcătura metalică era neoxidată;

– temperatura băii metalice. Cu cât temperatura băii metalice este mai mare cu atât pierderile de mangan prin oxidare sunt mai mari. Creșterea temperaturii băii metalice determină și creșterea temperaturii zgurii, ceea ce o face mai activă din punct de vedere metalurgic, reacția chimică (59) având condiții de desfășurare mai bune.

Mărirea pierderilor de mangan prin oxidare o dată cu mărirea temperaturii de supraîncălzire se constată din tabelul 4;

– durata de menținere în stare lichidă a fontei. Cu cât durata de menținere în stare lichidă a fontei este mai mare, cu atât mai mari sunt pierderile de mangan prin oxidare. Influența duratei de menținere în stare lichidă se observă din relația (56) și este dată de produsul  $\tau \cdot \%a_{Mn, 1.350 < T < 1.550}$  ce exprimă proporția de mangan ce se pierde prin oxidare în timpul de menținere în stare lichidă a fontei  $\tau$ .

Creșterea pierderilor de mangan este justificată de creșterea timpului de contact din reactanții reacțiilor chimice (58), (59) și (62), de exemplu etc.

#### **2.1.1.1.b.2.b. Cuptoare ce funcționează cu frecvența rețelei**

Calculul analitic al proporțiilor de sorturi A și B – %A și %B – se realizează prin rezolvarea sistemului (65).



$$\begin{cases} \%A \cdot \%Si_A + \%B \cdot \%Si_B + FR \cdot \%Si_{rem.} \geq 100 \cdot \%Si_{total} > \\ \%A \cdot \%Mn_A + \%B \cdot \%Mn_B + \%FR \cdot \%Mn_{rem.} \geq 100 \cdot \%Mn_{total} > \end{cases} \quad (65)$$

în care  $\%Mn_{rem.}$  reprezintă proporția de mangan din fonta lichidă remanentă;  $\%Mn_{total}$  – proporția de mangan total din încărcătură ce se determină cu relația (66).

$$\%Mn_{total} \geq \%FR \frac{\%Mn_{rem.}}{100} + (100 - \%FR) \frac{\%Mn_{ad.}}{100}, \quad (66)$$

în care  $\%Mn_{ad.}$  reprezintă proporția de mangan din încărcătura adăugată în cuptor.

Proporția de mangan total din încărcătură se determină cu relația (67).

$$\%Mn_{total} \geq \frac{[\%Mn]}{100 - \%a_{Mn}^*}, \quad (67)$$

$\%a_{Mn}^*$  calculându-se relativ cu formula (68).

$$\%a_{Mn}^* = \left( \frac{100 - \%FR}{100} \right) \cdot \%a_{Mn, T < 1.350} + \tau' \cdot \%a_{Mn, 1.350 < T < 1.550}, \quad (68)$$

de această dată  $\tau'$  făcând referință la timpul de menținere în stare lichidă a fontei lichide provenită din topirea și supraîncălzirea sorturilor metalice A și B adăugate (imersate) în baia de fontă remanentă, în intervalul de temperaturi 1.350...1.550°C, în h. De exemplu, dacă  $\tau' = 2h$ ,  $\%FR = 30$  iar temperatura de menținere în stare lichidă este de 1.450°C, conform tabelului 4,  $\%a_{Mn}$  are valoarea dată de relația (69).

$$\% a_{Mn}^* = \left( \frac{100 - 30}{100} \right) 0,58 + 1 \cdot 0,61 = 1,02 \quad (69)$$

Sursa bibliografică [8] indică pentru un cuptor cu căptușeală neutră (42% disten-silimanit cu granulația 0,1...0,16 mm, 42% corund – corindon – granulația mai mare de 1,25 mm și 16% disten – silimanit sub formă de praf), capacitatea de 2,5 t, în cazul unei mențineri de 3 h la temperatura fontei lichide de 1.500°C, o ardere a manganului de 2,7%. În aceleași circumstanțe de parametri, însă, în cazul unei căptușeli acide, datele din tabelul 4 conduc prin intermediul relației (70) la următoarele pierderi de mangan prin oxidare:

$$\% a_{Mn}^* = \left( \frac{100 - 30}{100} \right) 0,58 + 3 \cdot 1,35 = 4,46 \quad (70)$$

adică mai mari decât în cazul căptușelii neutre.

Se precizează că  $\langle \%Si_{total} \rangle$  se calculează cu relația (38), menționându-se că  $\tau$  reprezintă timpul de menținere în stare lichidă a fontei lichide provenită din topirea și supraîncălzirea celor două sorturi metalice adăugate (imersate) în baia de fontă remanentă, în intervalul de temperaturi 1.350...1.550°C.

Sorturile metalice A și B se aleg ținând cont de următoarele restricții:

– conținuturile de siliciu ale sorturilor metalice A și B nu trebuie să fie, amândouă, mai mici decât

$$\langle \%Si_{total} \rangle - \frac{\%FR \cdot \langle \%Si_{rem.} \rangle}{100}, \text{ adică nu trebuie îndeplinită}$$

asocierea de inegalități (71);

$$\%Si_A \ll \%Si_{total} > - \frac{\%FR \cdot \%Si_{rem.}}{100}$$

și

$$\%Si_B \ll \%Si_{total} > - \frac{\%FR \cdot \%Si_{rem.}}{100} \quad (71)$$

– conținuturile de siliciu ale sorturilor metalice A și B nu trebuie să fie, amândouă, mai mari decât  $\%Si_{total} > - \frac{\%FR \cdot \%Si_{rem.}}{100}$ , adică nu trebuie îndeplinită asocierea de inegalități (72);

$$\%Si_A \gg \%Si_{total} > - \frac{\%FR \cdot \%Si_{rem.}}{100}$$

și

$$\%Si_B \gg \%Si_{total} > - \frac{\%FR \cdot \%Si_{rem.}}{100} \quad (72)$$

– conținuturile de mangan ale sorturilor metalice A și B nu trebuie să fie, amândouă, mai mici de  $\%Mn_{total} > - \frac{\%FR \cdot \%Mn_{rem.}}{100}$ , adică nu trebuie îndeplinite asocierea de inegalități (73);

$$\%Mn_A \ll \%Mn_{total} > - \frac{\%FR \cdot \%Mn_{rem.}}{100}$$

și

$$\%Mn_B \ll \%Mn_{total} > - \frac{\%FR \cdot \%Mn_{rem.}}{100} \quad (73)$$

– conținuturile de mangan ale sorturilor metalice A și

B nu trebuie să fie, amândouă, mai mari de  $\langle \% Mn_{total} \rangle - \frac{\% FR \cdot \langle \% Mn_{rem.} \rangle}{100}$ , adică nu trebuie îndeplinită asocierea de inegalități (74);

$$\begin{aligned} \% Mn_A >> \% Mn_{total} > - \frac{\% FR \cdot \langle \% Mn_{rem.} \rangle}{100} \\ \text{și} \\ \% Mn_B >> \% Mn_{total} > - \frac{\% FR \cdot \langle \% Mn_{rem.} \rangle}{100} \end{aligned} \quad (74)$$

– cele două ecuații ale sistemului (65) nu trebuie să fie identice;

$$- \% A + \% B = 100;$$

– soluția sistemului (65) trebuie să fie numere reale și pozitive;

– celelalte restricții – condiții – ce se pun sunt cele de la rezolvarea sistemului (45).

În cazul în care calculul celor două sorturi metalice se face prin intermediul sistemului (65), este dificil de impus o anumită cantitate de deșuri de oțel în încărcătura metalică adăugată, deoarece mărește gradul de dificultate al rezolvării respectivului sistem.

Calitatea deșeurilor de oțel se poate alege în așa fel încât sistemul (65) să se poată rezolva în condițiile prezentate anterior, astfel, făcându-se posibil ca în încărcătura metalică adăugată în baia metalică remanentă să existe și deșuri de oțel.

Este, de asemenea, dificil de impus o anumită cantitate de deșuri de fontă – deșuri proprii – din aceleași motive ca și în cazul impunerii unei cantități de deșuri de oțel.

Deșurile de fontă pot figura în sistemul (65).

Este posibil ca încărcătura metalică adăugată în baia metalică remanentă să fie formată din deșuri de oțel și deșuri de fontă.

### **2.1.1.1.b.3. Calculul practic al încărcăturii metalice în cazul utilizării a două sorturi metalice**

În acest caz, în baza de șarjare există două sorturi metalice – sortul metalic 1 – s.m.1 – și sortul metalic 2 – s.m.2.

#### **2.1.1.1.b.3.1. Elaborarea în cuptoare cu inducție ce funcționează cu frecvență medie sau mare**

##### **2.1.1.1.b.3.1.a. Schema logică**

Compoziția chimică a sortului metalic 1 este cea dată de relația (44.1) și poate fi, de exemplu, cu compoziția chimică prezentată în tabelele 5, 6, 7 și 8.

Compoziția chimică a sortului metalic 2 este dată de relația (74.1).

$$\left. \begin{array}{l} \text{Sortul metalic 1} \\ \text{Sortul metalic 2} \end{array} \right\} : < \%E_{i_{s.m.2}} > = < \%E_{1_{s.m.2}} >, < \%E_{2_{s.m.2}} > \\ < \%E_{3_{s.m.3}} >, \dots \quad (74.1)$$

Proporțiile din încărcătura metalică ale sorturilor metalice 1 și 2 se pot calcula sau se pot alege în funcție de mai mulți factori, cum ar fi compoziția chimică a fontei propuse să fie elaborată, fenomenul de ereditate metalurgică, cantitatea disponibilă etc.

De exemplu, dacă se urmărește asigurarea conținutului de siliciu în încărcătură, trebuie să se calculeze proporția de siliciu din încărcătură și dacă aceasta este mai mare decât proporția de siliciu dintr-un sort metalic și este mai mică decât proporția de siliciu din celălalt sort metalic, se calculează proporțiile celor două sorturi metalice apelând la rezolvarea unui sistem de ecuații și două necunoscute, în care o ecuație se referă la bilanțul de siliciu iar cea de a doua ecuație se referă la valoarea de 100% a sumei proporțiilor celor două sorturi metalice.

Se recomandă să se stabilească cota de participare la încărcătură având în vedere toți factorii implicați, inclusiv, de exemplu, capacitatea mică de desulfurare și defosforare a cuptoarelor cu inducție.

Fie că s-au stabilit cele două proporții de sorturi metalice 1 și 2, acestea fiind  $\%p_1$  și  $\%p_2$ , adică  $\%p_1 + \%p_2 = 100$ .

Proporția unui element chimic din încărcătură se determină cu relația (74.2).

$$\langle \%E_i \rangle = \langle \%E_{i_{s.m.1}} \rangle \cdot \frac{\%p_1}{100} + \langle \%E_{i_{s.m.2}} \rangle \cdot \frac{\%p_2}{100}, \quad (74.2)$$

în care  $\langle \%E_i \rangle$  prezintă proporția de element chimic  $E_i$  din încărcătură;  $\langle \%E_{i_{s.m.1}} \rangle$  – proporția de element chimic  $E_i$  din sortul metalic 1;  $\%p_1$  – proporția de sort metalic 1 din încărcătură;  $\langle \%E_{i_{s.m.2}} \rangle$  – proporția de element chimic  $E_i$  din sortul metalic 2;  $\%p_2$  – proporția de sort metalic 2 din încărcătură.

Relația (74.2) se aplică pentru toate elementele chimice, din ambele sorturi metalice.

De exemplu, dacă  $\langle \%E_{i_{s.m.1}} \rangle = 2,4$ ;  $\%p_1 = 30$ ;  $\langle \%E_{i_{s.m.2}} \rangle = 2,8$ ;  $\%p_2 = 70$ ;  $\langle \%E_i \rangle = 2,4 \cdot \frac{30}{100} + 2,8 \cdot \frac{70}{100} = 2,68$ .

Dacă  $\langle \%E_{i_{s.m.1}} \rangle = 2,4$ ;  $\%p_1 = 30$ ;  $\langle \%E_{i_{s.m.2}} \rangle = 0$ ;  $\%p_2 = 70$ ;  $\langle \%E_i \rangle = 2,4 \cdot \frac{30}{100} + 0 \cdot \frac{70}{100} = 0,72$  etc.

Compoziția chimică a încărcăturii coroborată cu relația (74.2) este de forma (74.3).

$$\left. \begin{array}{l} \text{Compoziția chimică} \\ \text{a încărcăturii} \\ \text{metalice} \end{array} \right\} : \langle \%E_i \rangle = \langle \%E_1 \rangle, \langle \%E_2 \rangle, \\ \langle \%E_3 \rangle, \dots \quad (74.3)$$

Cantitatea de sort metalic 1 ce se încarcă în cuptor,  $Q_{s.m.1}$ , în kg, se calculează cu relația (74.4) iar cantitatea de sort metalic 2 ce se încarcă în cuptor,  $Q_{s.m.2}$ , în kg, se calculează cu relația (74.5).

$$Q_{s.m.1} = \frac{\%P_1}{100} Q_{\text{efectiv}} , \quad (74.4)$$

$$Q_{s.m.2} = \frac{\%P_2}{100} Q_{\text{efectiv}} , \quad (74.5)$$

în care  $Q_{\text{efectiv}}$  reprezintă capacitatea efectivă a cuptorului, în kg.

#### **2.1.1.1.b.3.1.b. Rularea programului**

Rularea programului se realizează similar cazului încărcăturii formate dintr-un sort metalic – paragraful 2.1.1.1.a”.1.b.

#### **2.1.1.1.b.3.2. Elaborarea în cuptoare cu inducție ce funcționează cu frecvența rețelei**

##### **2.1.1.1.b.3.2.a. Schema logică**

Compoziția chimică a băii remanente este dată de relația (44.2).

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

Întotdeauna, proporția fontei remanente este de 30% din capacitatea nominală a cuptorului iar dacă raportarea se face la 100 kg, proporția respectivă este de 30 kg.

Criteriile de stabilire a proporțiilor de sorturi metalice 1 și 2 sunt aceleași cu cele prezentate la paragraful 2.1.1.1.b.3.1., în plus, apărând cel de al treilea component al încărcăturii – baia remanentă.

Fie că se stabilesc cotele de participare la încărcătură ale sorturilor metalice 1 și 2, de  $\%q_1$  și  $\%q_2$ , în așa fel încât 30

$$+ \%q_1 + \%q_2 = 100.$$

După încărcarea în cuptor a sorturilor metalice 1 și 2, fiecare element chimic  $E_i$  din încărcătura metalică are concentrația dată de relația (74.6).

$$\begin{aligned} < \%E_i > = 0,30 \left\{ - \left( < \%E_{i_{s.m.1}} > \cdot \frac{\%q_1}{100} + < \%E_{i_{s.m.2}} > \cdot \frac{\%q_2}{100} \right) \right\} + \\ < \%E_{i_{s.m.1}} > \cdot \frac{\%q_1}{100} + < \%E_{i_{s.m.2}} > \cdot \frac{\%q_2}{100} \end{aligned} \quad (74.6)$$

în care  $< \%E_i >$  este proporția de element chimic  $E_i$  din încărcătura metalică;  $[\%E_i]_{rem}$  – proporția de element chimic  $E_i$  din fonta remanentă;  $< \%E_{i_{s.m.1}} >$  – proporția de element chimic  $E_i$  din sortul metalic 1;  $\%q_1$  – proporția de sort metalic 1 din încărcătură;  $< \%E_{i_{s.m.2}} >$  – proporția de element chimic  $E_i$  din sortul metalic 2;  $\%q_2$  – proporția de sort metalic 2 din încărcătură.

$< \%E_i >$  din relația (74.6) se calculează pentru fiecare element chimic din baia remanentă, sortul metalic 1 și sortul metalic 2.

De exemplu, dacă  $[\%E_i]_{rem} = 2,4$ ;  $< \%E_{i_{s.m.1}} > = 1,7$ ;  $\%q_1 = 20$ ;  $< \%E_{i_{s.m.2}} > = 2$ ;  $\%q_2 = 50$ ;  $< \%E_i > = 0,30 \left[ 2,4 - 1,7 \cdot 20/100 + 2 \cdot 50/100 + 1,7 \cdot 20/100 + 2 \cdot 50/100 \right] = 1,65$ .

Dacă  $[\%E_i]_{rem} = 2,4$ ;  $< \%E_{i_{s.m.1}} > = 1,7$ ;  $\%q_1 = 20$ ;  $< \%E_{i_{s.m.2}} > = 0$ ;  $\%q_2 = 50$ ;  $< \%E_i > = 0,30 \left[ 2,4 - \left( 1,7 \cdot \frac{20}{100} + 0 \cdot 50/100 \right) + 1,7 \cdot 20/100 + 0 \cdot 50/100 \right] = 0,96$ .

Cantitatea de sort metalic 1 ce se încarcă în cuptor, se calculează cu relația (74.7).

$$Q_{\text{sort } 1} = \frac{\%q_1}{100} Q_{\text{nominal}} , \quad (74.7)$$

în care  $Q_{\text{sort } 1}$  reprezintă cantitatea de sort metalic 1 ce se



încarcă în cuptor, în kg;  $Q_{\text{nominal}}$  – capacitatea nominală a cuptorului, în kg.

Cantitatea de sort metalic 2,  $Q_{\text{sort } 2}$ , ce se încarcă în cuptor, se calculează cu relația (74.8).

$$Q_{\text{sort } 2} = \frac{\%q_2}{100} Q_{\text{nominal}} , \quad (74.8)$$

în care  $Q_{\text{sort } 2}$  și  $Q_{\text{nominal}}$  se exprimă în kg.

De exemplu, dacă  $\%q_1 = 20$  și  $Q_{\text{nominal}} = 12500$  kg,

$$Q_{\text{sort } 1} = \frac{20}{100} \cdot 12500 = 2500 \text{ kg.}$$

În practică, este posibilă și supraîncărcarea cuptoarelor peste capacitatea nominală, după cum este posibilă și încărcarea sub capacitatea nominală a cuptorului.

#### **2.1.1.1.b.3.2.b. Rularea programului**

În cazul în care în baza de șarjare se găsesc două sorturi metalice, interfața PC-utilizator care se deschide este prezentată în figura următoare.

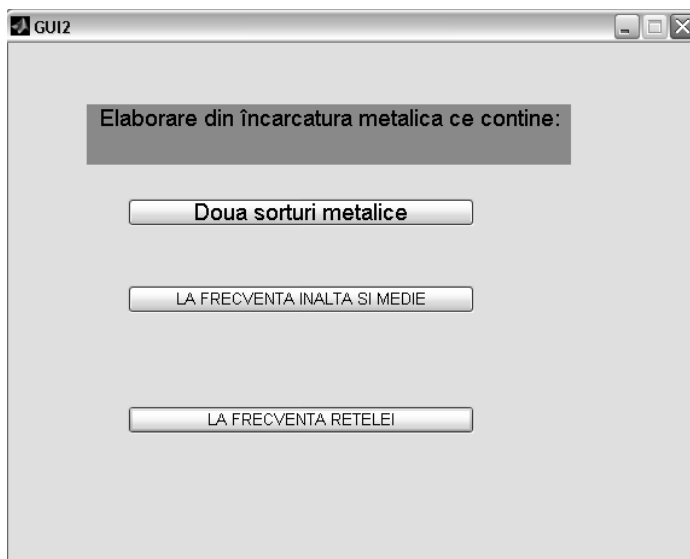
Utilitatea și viteza de opțiune a programului este reprezentată prin utilitatea interfețelor grafice ușurând munca utilizatorilor prin simple apelări de click.

Pentru exemplificare este prezentat în continuare cazul calculului practic al încărcăturii metalice format din două sorturi metalice în cazul elaborării în cuptoare cu inducție, căptușite acid și cu creuzet, ce funcționează la frecvența rețelei.

CALCULUL PRACTIC AL INCARCATURII METALICE FORMATA DIN DOUA SORTURI METALICE IN CAZUL ELABORARII IN CUPTOARE CU INDUCȚIE, CU CREUZET, CAPTUSITE ACID  
ELABORARE IN CUPTOARE CU INDUCTIE, CU CREUZET, CE  
FUNCTIONEAZA CU FRECVENTA RETELEI

Compoziția chimică a băii remanente este dată de relația (44.2)

Materialele de aliere – de corectare a compoziției chimice – se introduc în cuptor în diferite etape, momentul introducerii în cuptor – tabelul 10



Interfață grafică pentru cazul a două sorturi metalice aflate în baza de șarjare

fiind în funcție de afinitatea chimică față de oxigen a elementelor chimice vizate să fie corectate de influența elementelor chimice, vizate să fie corectate, asupra solubilității altor elemente chimice din faza metalică,

compoziția chimică și natura materialelor de aliere etc

Conform tabelului 10, literatura de specialitate recomandă introducerea în încărcătura metalică solidă – în încărcătură – a materialelor de aliere ce conțin Ni sau Cu,

introducerea în baia metalică – după topire – a materialelor de aliere ce conțin, după caz, Ni, Mo, Si, V, W și Cu și

introducerea în baia metalică cu puțin timp înainte de evacuarea fontei lichide din cuptor a materialelor de aliere ce conțin, după caz, P, Ni, Mo, Cr, Mn, Si, V, Ti, W, Al și Cu.

Prin urmare, relativ toate materialele de aliere se pot introduce în baia metalică cu puțin timp înainte de evacuarea fontei lichide din cuptor, iar unele după topire.

În acest caz, se lucrează cu baia metalică remanentă care reprezintă o treime din capacitatea cuptorului, la modul general.

Practic se lucrează cu 30% din capacitatea nominală a cuptorului. Compoziția chimică a băii metalice remanente se cunoaște, fiind aceea a ultimei șarje de fontă evacuată

#### SE INTRODUC VALORILE PROCENTUALE ALE ELEMENTELOR CHIMICE DIN BAIA METALICA REMANENTA

Pentru elementele care nu se regasesc in compozitia chimica a baii remanente se introduce valoarea zero (0)

Introduceti procentul de CARBON din baia remanenta

$C_{rem}=3.1$

Introduceti procentul de SILICIU din baia remanenta

$S_{rem}=1.3$

Introduceti procentul de MANGAN din baia remanenta

$Mn_{rem}=0.8$

Introduceti procentul de FOSFOR din baia remanenta

$P_{rem}=0.1$

Introduceti procentul de SULF din baia remanenta

$S_{rem}=0.09$

Introduceti procentul de VANADIU din baia remanenta

$V_{rem}=0$

Introduceti procentul de TITAN din baia remanenta

$Ti_{rem}=0$

Introduceti procentul de NICHEL din baia remanenta

$Ni_{rem}=1.4$

Introduceti procentul de CROM din baia remanenta

$Cr_{rem}=0.3$

Introduceti procentul de CUPRU din baia remanenta

$Cu_{rem}=0$

Introduceti procentul de MOLIBDEN din baia remanenta

$Mo_{rem}=0.3$

Introduceti procentul de MAGNEZIU din baia remanenta

Mgrem=0

Introduceti procentul de ALUMINIU din baia remanenta

Alrem=0

Introduceti procentul de WOLFRAM din baia remanenta

Wrem=0

Se introduc si alte elemente de aliere daca este cazul continute de  
baia remanentă,

Introduceti procentul de element chimic de aliere

Arem=0

A1rem=0

A2rem=0

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

Introducerea datelor referitoare la Primul Sort Metalic, sm1 existent in  
baza de sarjare

Se introduc, din tabele 5,6,7 sau 8, valorile minime si maxime pentru  
elementele din compozitia chimica a

primului sort metalic aflat in baza de sarjare, pentru valori maxime  
sau unice se introduce aceeasi valoare de doua ori Carbon (C),  
Siliciu (Si), Mangan (Mn), Fosformax (Pmax)

Sulf maxim (Smax), Vanadiu (V), Titan (Ti), Nichel(Ni), Crom(Cr),  
Cupru(Cu), Molibden(Mo), Magneziu(Mg), Aluminiu (Al) sau Wolfram  
(W)

Sulf max(Smax) si Alte elemente (A) ale sortului metalic din baza de  
sarjare

Pentru elementele care nu se regasesc in compozitia chimica a  
sortului metalic se introduce valoarea zero (0)

Introduceti procentul de CARBON minim si maxim din primul sort  
metalic,

Cminsm1 si Cmaxsm1 al sortului metalic din baza de sarjare de ex:  
3.1...3.6, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de  
valoare fixa,

ex. 2.3 si nu sub forma de interval se introduce această valoare si  
pentru minimum si pentru maximum

Cminsm1:3.3

Cmaxsm1:4.5

Csm1 = 3.9000

Introduceti procentul de SILICIU minim si maxim din primul sort metalic,

Siminsm1 si Simaxsm1 al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 1.5...2.3:

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 1.3 (si nu sub forma de interval) se introduce valoarea din tabel si pentru minimum si pentru maximum

Siminsm1:1.5

Simaxsm1:3.5

Sism1 = 2.5000

Introduceti procentul de MANGAN minim si maxim din primul sort metalic,

Mnminsm1 si Mnmaxsm1 al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 0.4...1.6:

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 0.8 si nu sub forma de interval se introduce valoarea si pentru minimum si pentru maximum

Mnminsm1:0.4

Mnmaxsm1:1.5

Mnsm1 = 0.9500

Introduceti procentul de FOSFOR minim si maxim din primul sort metalic,

Pminsm1 si Pmaxsm1 al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 0.5...0.8:

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 0.3 si nu sub forma de interval se introduce valoarea si pentru minimum si pentru maximum

Pminsm1:0.12

Pmaxsm1:0.12

Pmax =

rem: 0.1000

sm1: 0.1200

Introduceti procentul de SULF minim si maxim din primul sort metalic, Sminsm1 si Smaxsm1 al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 0.6...1.2:

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 0.1 si nu sub forma de interval se introduce valoarea si pentru minimum si pentru maximum

Sminsm1:0.06

Smaxsm1:0.06

Smax =

rem: 0.0900

sm1: 0.0600

Introduceti procentul de VANADIU minim si maxim din primul sort metalic,

Vminsm1 si Vmaxsm1 al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 1.1...1.6, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 2.3 si nu sub forma de interval se introduce această valoare si pentru minimum si pentru maximum

Vminsm1:0

Vmaxsm1:0

Vsm1 = 0

Introduceti procentul de TITAN minim si maxim din primul sort metalic,

Timinsm1 si Timaxsm1 al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 2.1...2.6, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 0.3 si nu sub forma de interval se introduce această valoare si pentru minimum si pentru maximum

Timinsm1:0

Timaxsm1:0

Tism1 = 0

Introduceti procentul de NICHEL minim si maxim din primul sort metalic,

Niminsm1 si Nimaxsm1 al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 1.2...1.9, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 2.2 si nu sub forma de interval se introduce această valoare si pentru minimum si pentru maximum

Niminsm1:0

Nimaxsm1:0

Nism1 = 0

Introduceti procentul de CROM minim si maxim din primul sort metalic,

Crminsm1 si Crmaxsm1 al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 3.1...3.6, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 2.3 si nu sub forma de interval se introduce această valoare si pentru minimum si pentru maximum

Crminsm1:0

Crmaxsm1:0

Crsm1 = 0

Introduceti procentul de CUPRU minim si maxim din primul sort metalic,

Cuminsm1 si Cumaxsm1 al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 3.1...3.6, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 2.3 si nu sub forma de interval se introduce această valoare si pentru minimum si pentru maximum

Cuminsm1:0

Cumaxsm1:0

Cusm1 = 0

Introduceti procentul de MOLIBDEN minim si maxim din primul sort metalic,

Mominsm1 si Momaxsm1 al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 4.1...4.6, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 1.3 si nu sub forma de interval se introduce această valoare si pentru minimum si pentru maximum

Mominsm1:0

Momaxsm1:0

Mosm1 = 0

Introduceti procentul de MAGNEZIU minim si maxim din primul sort metalic,

Mgminsm1 si Mgmaxsm1 al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 3.1...3.6, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 2.3 si nu sub forma de interval se introduce această valoare si pentru minimum si pentru maximum

Mgminsm1:0

Mgmaxsm1:0

Mgsm1 = 0

Introduceti procentul de ALUMINIU minim si maxim din primul sort metalic,

Alminsm1 si Almaxsm1 al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 1.8...2.1, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 3.3 si nu sub forma de interval se introduce această valoare si pentru minimum si pentru maximum

Alminsm1:0

Almaxsm1:0

Alsm1 = 0

Introduceti procentul de WOLFRAM minim si maxim din primul sort metalic,



Wminsm1 si Wmaxsm1 al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 3.3...3.6, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 2.8 si nu sub forma de interval se introduce această valoare si pentru minimum si pentru maximum

Wminsm1:0

Wmaxsm1:0

Wsm1 = 0

Se introduc si alte elemente de aliere daca este cazul continute de primul sort metalic,

Introduceti procentul de element chimic de aliere minim si maxim,

Aminsm1 si Amaxsm1 al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 0.8...2.6:

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 1.8 si nu sub forma de interval se introduce valoarea si pentru minimum si pentru maximum

Aminsm1:0

Amaxsm1:0

Asm1 = 0

A1minsm1:0

A1maxsm1:0

A1sm1 = 0

A2minsm1:0

A2maxsm1:0

A2sm1 = 0

Introducerea datelor referitoare la al doilea sort metalic existent in baza de sarjare

Se introduc, din tabele 5,6,7 sau 8, valorile minime si maxime pentru elementele din compozitia chimica a

sortului metalic aflat in baza de sarjare, pentru valori maxime sau unice se introduce aceeasi valoare de doua ori Carbon (C), Siliciu (Si), Mangan (Mn), Fosformax (Pmax)

Sulf maxim (Smax), Vanadiu (V), Titan (Ti), Nichel(Ni), Crom(Cr), Cupru(Cu), Molibden(Mo), Magneziu(Mg), Aluminiu (Al) sau Wolfram (W)

Sulf max(Smax) si Alte elemente (A) ale celui de al doilea sort metalic din baza de sarjare

Pentru elementele care nu se regasesc in compozitia chimica a sortului metalic se introduce valoarea zero (0)

Introduceti procentul de CARBON minim si maxim pentru al doilea sort metalic existent in baza de sarjare ,

Cminsm2 si Cmaxsm2 al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 3.1...3.6, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 2.3 si nu sub forma de interval se introduce această valoare si pentru minimum si pentru maximum

Cminsm2:2.81

Cmaxsm2:3.2

Csm2 = 3.0050

Introduceti procentul de SILICIU minim si maxim pentru al doilea sort metalic existent in baza de sarjare ,

Siminsm2 si Simaxsm2 al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 1.5...2.3:

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 1.3 (si nu sub forma de interval) se introduce valoarea din tabel si pentru minimum si pentru maximum

Siminsm2:1

Simaxsm2:1.8

Sism2 = 1.4000

Introduceti procentul de MANGAN minim si maxim pentru al doilea sort metalic existent in baza de sarjare ,

Mnminsm2 si Mnmaxsm2 al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 0.4...1.6:

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 0.8 si nu sub forma de interval se introduce valoarea si pentru minimum si pentru maximum

Mnminsm2:1

Mnmaxsm2:1.5

Mnsm2 = 1.2500

Introduceti procentul de FOSFOR minim si maxim pentru al doilea sort metalic existent in baza de sarjare ,

Pminsm2 si Pmaxsm2 al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 0.5...0.8:

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 0.3 si nu sub forma de interval se introduce valoarea si pentru minimum si pentru maximum

Pminsm2:0.35

Pmaxsm:0.35

Pmax =

rem: 0.1000

sm1: 0.1200

sm2: 0.3500

Introduceti procentul de SULF minim si maxim pentru al doilea sort metalic existent in baza de sarjare ,

Sminsm2 si Smaxsm2 al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 0.6...1.2:

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 0.1 si nu sub forma de interval se introduce valoarea si pentru minimum si pentru maximum

Sminsm2:0.12

Smaxsm2:0.12

Smax =

rem: 0.0900

sm1: 0.0600

sm2: 0.1200

Introduceti procentul de VANADIU minim si maxim pentru al doilea sort metalic existent in baza de sarjare ,

Vminsm2 si Vmaxsm2 al sortului metalic din baza de sarjare de ex:  
1.1...1.6, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de  
valoare fixa,

ex. 2.3 si nu sub forma de interval se introduce această valoarea si  
pentru minimum si pentru maximum

Vminsm2:0

Vmaxsm2:0

Vsm2 = 0

Introduceti procentul de TITAN minim si maxim pentru al doilea sort  
metalic existent in baza de sarjare ,

Timinsm2 si Timaxsm2 al sortului metalic din baza de sarjare de ex:  
2.1...2.6, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de  
valoare fixa,

ex. 0.3 si nu sub forma de interval se introduce această valoarea si  
pentru minimum si pentru maximum

Timinsm2:0

Timaxsm2:0

Tism2 = 0

Introduceti procentul de NICHEL minim si maxim pentru al doilea sort  
metalic existent in baza de sarjare ,

Niminsm2 si Nimaxsm2 al sortului metalic din baza de sarjare de ex:  
1.2...1.9, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de  
valoare fixa,

ex. 2.2 si nu sub forma de interval se introduce această valoarea si  
pentru minimum si pentru maximum

Niminsm2:0

Nimaxsm2:0

Nism2 =0

Introduceti procentul de CROM minim si maxim pentru al doilea sort  
metalic existent in baza de sarjare ,

Crminsm2 si Crmaxsm2 al sortului metalic din baza de sarjare de ex:  
3.1...3.6, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 2.3 si nu sub forma de interval se introduce această valoare si pentru minimum si pentru maximum

Crminsm2:0.2

Crmaxsm2:0.5

Crsm2 = 0.3500

Introduceti procentul de CUPRU minim si maxim pentru al doilea sort metalic existent in baza de sarjare ,

Cuminsm2 si Cumaxsm2 al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 3.1...3.6, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 2.3 si nu sub forma de interval se introduce această valoare si pentru minimum si pentru maximum

Cuminsm2:0

Cumaxsm2:0

Cusm2 = 0

Introduceti procentul de MOLIBDEN minim si maxim pentru al doilea sort metalic existent in baza de sarjare ,

Mominsm2 si Momaxsm2 al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 4.1...4.6, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 1.3 si nu sub forma de interval se introduce această valoare si pentru minimum si pentru maximum

Mominsm2:0

Momaxsm2:0

Mosm2 = 0

Introduceti procentul de MAGNEZIU minim si maxim pentru al doilea sort metalic existent in baza de sarjare ,

Mgminsm2 si Mgmaxsm2 al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 3.1...3.6, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 2.3 si nu sub forma de interval se introduce această valoarea si pentru minimum si pentru maximum

Mgminsm2:0

Mgmaxsm2:0

Mgsm2 = 0

Introduceti procentul de ALUMINIU minim si maxim pentru al doilea sort metalic existent in baza de sarjare ,

Alminsm2 si Almaxsm2 al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 1.8...2.1, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 3.3 si nu sub forma de interval se introduce această valoarea si pentru minimum si pentru maximum

Alminsm2:0

Almaxsm2:0

Alsm2 = 0

Introduceti procentul de WOLFRAM minim si maxim pentru al doilea sort metalic existent in baza de sarjare ,

Wminsm2 si Wmaxsm2 al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 3.3...3.6, valorile cu parte fractionara se scriu 1.2 sau 3.2

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 2.8 si nu sub forma de interval se introduce această valoarea si pentru minimum si pentru maximum

Wminsm2:0

Wmaxsm2:0

Wsm2 = 0

Se introduc si alte elemente de aliere daca este cazul , elemente continute de sortul metalic al doilea,

Introduceti procentul de element chimic de aliere minim si maxim,

Aminsm2 si Amaxsm2 al sortului metalic din baza de sarjare de ex: 0.8...2.6:

In cazul in care in tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixa,

ex. 1.8 si nu sub forma de interval se introduce valoarea si pentru minimum si pentru maximum

Aminsm2:0

Amaxsm2:0

Asm2 = 0

A1minsm2:0

A1maxsm2:0

A1sm2 = 0

A2minsm2:0

A2maxsm2:0

A2sm2 = 0

Proporțiile din încărcătura metalică ale sorturilor metalice 1 și 2 se pot calcula sau se pot alege în funcție de mai mulți factori, cum ar fi compoziția chimică a fontei propuse să fie eliberată, fenomenul de ereditate metalurgică, cantitatea disponibilă etc.

De exemplu, dacă se urmărește asigurarea conținutului de siliciu în încărcătură, trebuie să se calculeze proporția de siliciu din încărcătură și dacă aceasta

este mai mare decât proporția de siliciu dintr-un sort metalic și este mai mică decât proporția de siliciu din celălalt sort metalic, se calculează proporțiile celor două sorturi metalice apelând la rezolvarea unui sistem de ecuații și două necunoscute, în care o ecuație se referă la bilanțul de siliciu iar cea de a doua ecuație se referă la valoarea de 100% a sumei proporțiilor celor două sorturi metalice.

Se recomandă să se stabilească cota de participare la încărcătură având în vedere toți factorii implicați, inclusiv, de exemplu, capacitatea mică de desulfurare și defosforare a cuptoarelor cu inducție.

Întotdeauna, proporția fontei remanente este de 30% din capacitatea nominală a cuptorului iar dacă raportarea se face la 100 kg, proporția respectivă este de 30 kg. Criteriile de stabilire a proporțiilor de sorturi metalice 1 și 2 sunt aceleași cu cele prezentate la paragraful 2.1.1.1.b.3.1., în plus, apărând cel de al treile component al încărcăturii – baia remanentă.

Fie că se stabilesc cotele de participare la încărcătură ale sorturilor metalice 1 și 2, de %q1 și %q2, în așa fel încât  $30 + \%q1 + \%q2 = 100$ .

INTRODUCETI PROPORȚIILE CELOR DOUA SORTURI AFLATE IN BAZA DE SARJARE:

$$q1=47$$

$$q2=23$$

Se calculează automat cu ajutorul relației 74.6 compoziția chimică a încărcăturii metalice a elementelor existente notate sub forma Cim, Sim, Siim,...etc unde im reprezintă încărcătura metalică

$$Cim = 2.6969$$

$$Siim = 1.4379$$

$$Mnim = 0.7538$$

$$Pmaxim = 0.1258$$

$$Smaxim = 0.0661$$

$$Vim = 0$$

$$Tiim = 0$$

$$Niim = 0.4200$$

$$Crim = 0.1463$$

$$Cuim = 0$$

$$Moim = 0.0900$$

$$Mgim = 0$$

$$Alim = 0$$

$$Wim = 0$$

$$Aim = 0$$

$$A1im = 0$$

$$A2im = 0$$

Cantitatea de sort metalic 1 ce se încarcă în cuptor, se calculează cu relația (74.7).

INTRODUCETI CAPACITATEA NOMINALA A CUPTORULUI, in kg, Qnominal

$$Qnominal=12000$$

se calculează automat cantitatea de sort metalic 1 care se încarcă în cuptor Qsort1



Qsort1 = 5640

Cantitatea de sort metalic 2, Q (sort 2), ce se încarcă în cuptor, se calculează cu relația (74.8)

Qsort2 = 2760

în care Qsort2 și Qnominal se exprimă în kilograme [kg]

ETAPA PREGATIREA INCARCATURII A LUAT SFARSIT

### **2.1.1.1.c. Calcululele analitic și practic ale încărcăturii metalice formată din trei sorturi metalice**

#### **2.1.1.1.c.1. Calculul analitic al proporțiilor de sorturi metalice, utilizându-se siliciul și manganul ca elemente chimice de referință**

Se notează cu A, B și C cele trei sorturi metalice.

Calculul analitic al proporțiilor de sorturi A, B și C din încărcătură – %A, %B și %C – se realizează prin a se considera ca referință elementele chimice siliciu și mangan, pe de o parte, și elementele chimice siliciu, mangan și carbon, pe de altă parte.

Calculul proporțiilor de sorturi metalice A, B și C se face în mod distinct, după cum cuptorul funcționează cu frecvență medie sau mare și după cum cuptorul funcționează cu frecvența rețelei.

#### **2.1.1.1.c.1.a. Cuptoare ce funcționează cu frecvență medie sau mare**

Calculul proporțiilor de sorturi metalice A, B și C se realizează prin rezolvarea sistemului (75).

$$\begin{cases} \%A \cdot \%Si_A + \%B \cdot \%Si_B + \%C \cdot \%Si_C = 100 < \%Si > \\ \%A \cdot \%Mn_A + \%B \cdot \%Mn_B + \%C \cdot \%Mn_C = 100 < \%Mn > \\ \%A + \%B + \%C = 100 \end{cases} \quad (75)$$

în care %Si<sub>C</sub> reprezintă proporția de siliciu din sortul metalic

C;  $\%Mn_C$  – proporția de mangan din sorul metalic C.

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

– conținuturile de siliciu ale celor trei sorturi metalice A, B și C nu trebuie să fie, toate, mai mici decât proporția de siliciu din încărcătură, adică nu trebuie îndeplinită asocierea de inegalități (76);

$$\%Si_A << \%Si >, \%Si_B << \%Si > \text{ și } \%Si_C << \%Si > \quad (76)$$

– conținuturile de siliciu ale sorturilor metalice A, B și C nu trebuie să fie, toate, mai mari decât proporția de siliciu din încărcătură, adică nu trebuie îndeplinită asocierea de inegalități (77);

$$\%Si_A >> \%Si >, \%Si_B >> \%Si > \text{ și } \%Si_C >> \%Si > \quad (77)$$

– conținuturile de mangan ale sorturile metalice A, B și C nu trebuie să fie, toate, mai mici decât proporția de mangan din încărcătură, adică nu trebuie îndeplinită asocierea de inegalități (78);

$$\%Mn_A << \%Mn >, \%Mn_B << \%Mn > \quad (78) \\ \text{și } \%Mn_C << \%Mn >$$

– conținuturile de mangan ale sorturilor metalice A, B și C nu trebuie să fie, toate, mai mari decât proporția de mangan din încărcătură, adică nu trebuie îndeplinită asocierea de inegalități (79);

$$\%Mn_A >> \%Mn >, \%Mn_B >> \%Mn > \quad (79) \\ \text{și } \%Mn_C >> \%Mn >$$

– ecuațiile de bilanț ale siliciului și manganului – primele două ecuații ale sistemului (75) nu trebuie să fie identice;

– celelalte criterii de alegere sunt cele prezentate la rezolvarea sistemului (45).

Dacă proporția de deșuri de oțel se impune în încărcătura metalică, sistemul (75) se rezumă la un sistem de două ecuații cu două necunoscute de tipul (53) sau de tipul (45).

Dacă proporția de deșuri de fontă – deșuri proprii – se impune, de asemenea, sistemul (75) se rezumă la un sistem de două ecuații cu două necunoscute de tipul (53) sau (45).

Este posibil ca să fie impuse și proporția de deșuri de oțel și proporția de deșuri de fontă, în acest caz sistemul (75) rezumându-se la calculul încărcăturii cu un sort metalic.

Din încărcătura metalică pot lipsi deșeurile de oțel și fontă.

#### **2.1.1.1.c.1.b. Cuptoare ce funcționează cu frecvența rețelei**

Proporțiile de sorturi A, B și C se determină prin rezolvarea sistemului (80).

$$\begin{cases} \%A \cdot \%Si_A + \%B \cdot \%Si_B + \%C \cdot \%Si_C + \%FR \cdot \%Si_{rem.} \geq 100 \cdot \%Si_{total} > \\ \%A \cdot \%Mn_A + \%B \cdot \%Mn_B + \%C \cdot \%Si_C + \%FR \cdot \%Mn_{rem.} \geq 100 \cdot \%Mn_{total} > \\ \%A + \%B + \%C + \%FR = 100 \end{cases} \quad (80)$$

În cazul în care proporția de fontă lichidă remanentă este de 30% din capacitatea cuptorului (capacitatea nominală), sistemul (80) devine (81).

$$\begin{cases} \%A \cdot \%Si_A + \%B \cdot \%Si_B + \%C \cdot \%Si_C + 30 \cdot \%Si_{rem.} \geq 100 \cdot \%Si_{total} > \\ \%A \cdot \%Mn_A + \%B \cdot \%Mn_B + \%C \cdot \%Mn_C + 30 \cdot \%Mn_{rem.} \geq 100 \cdot \%Mn_{total} > \\ \%A + \%B + \%C = 70 \end{cases} \quad (81)$$

Sorturile A, B și C se aleg ținând cont de următoarele condiții:

– conținuturile de siliciu ale sorturilor metalice A, B și C nu trebuie să fie, toate, mai mici decât ( $\langle \%Si_{total} \rangle - \frac{\%FR \cdot \langle \%Si_{rem.} \rangle}{100}$ ), adică nu trebuie îndeplinită asocierea de inegalități (82);

$$\begin{aligned} \%Si_A < \langle \%Si_{total} \rangle - \frac{\%FR \cdot \langle \%Si_{rem.} \rangle}{100}, \quad \%Si_B < \%Si_{total} - \frac{\%FR \cdot \langle \%Si_{rem.} \rangle}{100} \quad (82) \\ \text{și } \%Si_C < \langle \%Si_{total} \rangle - \frac{\%FR \cdot \langle \%Si_{rem.} \rangle}{100} \end{aligned}$$

– conținuturile de siliciu ale sorturilor metalice A, B și C nu trebuie să fie, toate, mai mari decât ( $\langle \%Si_{total} \rangle - \frac{\%FR \cdot \langle \%Si_{rem.} \rangle}{100}$ ), adică nu trebuie îndeplinită asocierea de inegalități (83);

$$\begin{aligned} \%Si_A > \langle \%Si_{total} \rangle - \frac{\%FR \cdot \langle \%Si_{rem.} \rangle}{100}, \quad \%Si_B > \%Si_{total} - \frac{\%FR \cdot \langle \%Si_{rem.} \rangle}{100} \quad (83) \\ \text{și } \%Si_C > \langle \%Si_{total} \rangle - \frac{\%FR \cdot \langle \%Si_{rem.} \rangle}{100} \end{aligned}$$

– conținuturile de mangan ale sorturilor metalice A, B și C nu trebuie să fie, toate, mai mici decât ( $\langle \%Mn_{total} \rangle - \frac{\%FR \cdot \langle \%Mn_{rem.} \rangle}{100}$ ), adică nu trebuie

îndeplinită asocierea de inegalități (84);

$$\begin{aligned} \% Mn_A \ll \% Mn_{total} > - \frac{\% FR \cdot \% Mn_{rem. >}}{100}, \% Mn_B \ll \% Mn_{total} - \frac{\% FR \cdot \% Mn_{rem. >}}{100} \quad (84) \\ \text{și } \% Mn_C \ll \% Mn_{total} > - \frac{\% FR \cdot \% Mn_{rem. >}}{100} \end{aligned}$$

– conținuturile de mangan ale sorturilor A, B și C nu trebuie să fie, toate, mai mari decât ( $\% Mn_{total} > - \frac{\% FR \cdot \% Mn_{rem. >}}{100}$ ), adică nu trebuie

îndeplinită asocierea de inegalități (85);

$$\begin{aligned} \% Mn_A >> \% Mn_{total} > - \frac{\% FR \cdot \% Mn_{rem. >}}{100}, \% Mn_B >> \% Mn_{total} - \frac{\% FR \cdot \% Mn_{rem. >}}{100} \quad (85) \\ \text{și } \% Mn_C >> \% Mn_{total} > - \frac{\% FR \cdot \% Mn_{rem. >}}{100} \end{aligned}$$

– sistemul (80) trebuie să aibă soluție numere reale și pozitive;

– ecuațiile de bilanț ale siliciului și manganului nu trebuie să fie identice;

– celelalte condiții sunt cele prezentate pentru rezolvarea sistemului (45).

În încărcătura metalică adăugată în baia metalică remanentă, sortul C poate fi sub formă de deșeuri de oțel sau deșeuri de fontă – deșeuri proprii – impuse, situație în care sistemul (80) se transformă într-un sistem cu două ecuații și două necunoscute de forma (49) sau (65).

Sorturile B și C din încărcătura metalică adăugată pot reprezenta deșeuri de oțel impuse, respectiv deșeuri de fontă impuse, în acest caz sistemul (80) transformându-se în alegerea încărcăturii metalice adăugate formate dintr-un sort

metalic.

Deșeurile de oțel și fontă pot lipsi din încărcătura metalică.

### **2.1.1.1.c.2. Calculul analitic al proporțiilor de sorturi metalice, utilizându-se siliciul, manganul și carbonul ca elemente chimice de referință**

Calculul proporțiilor de sorturi metalice A, B și C se realizează în mod diferit, după cum cuptorul funcționează cu frecvență medie sau mare, pe de o parte, sau cu frecvența rețelei, pe de altă parte.

#### **2.1.1.1.c.2.a. Cuptorul funcționează cu frecvență medie sau mare**

Calculul proporțiilor de sorturi metalice A, B și C se realizează prin rezolvarea sistemului (86).

$$\begin{cases} \%A \cdot \%C_A + \%B \cdot \%C_B + \%C \cdot \%C_C = 100 \cdot <\%C> \\ \%A \cdot \%Si_A + \%B \cdot \%Si_B + \%C \cdot Si_C = 100 \cdot <\%Si> \\ \%A \cdot \%Mn_A + \%B \cdot Mn_B + \%C \cdot \%Mn_C = 100 \cdot <Mn> \end{cases} \quad (86)$$

în care  $\%C_A$  reprezintă proporția de carbon din sortul metalic A;  $\%C_B$  – proporția de carbon din sortul metalic B;  $\%C_C$  – proporția de carbon din sortul metalic C;  $<\%C>$  - proporția de carbon din încărcătură.

Metoda ce apelează la rezolvarea sistemului (86) prezintă o notă de relativitate dacă în încărcătura cuptorului se utilizează materiale carbonice necesare reducerii unor oxizi din încărcătura metalică, materiale ce se introduc de regulă în exces față de calculele stoechiometrice și care carburează faza metalică.

Proporția de carbon din încărcătură se calculează cu relația (87).

$$\langle \%C \rangle = \frac{[\%C]}{100 - \%a_C} \cdot 100, \quad (87)$$

în care  $[\%C]$  reprezintă proporția de carbon din fonta propusă a fi elaborată iar  $\%a_C$  reprezintă proporția de carbon ce se pierde prin oxidare în timpul elaborării.

Conform [8], pierderile de carbon prin oxidare variază în intervalul 1...12%, depind de o serie de factori, inclusiv de natura chimică a căptușelii refractare.

Principali factori ce influențează oxidarea carbonului sunt următorii:

– **temperatura de menținere în stare lichidă și timpul de menținere în stare lichidă a fontei.** Influența acestor doi parametri se deduce din relația (88) care servește pentru determinarea proporției de carbon care arde în timpul elaborării.

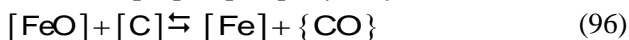
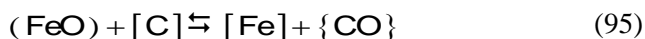
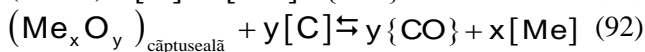
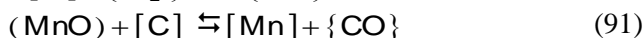
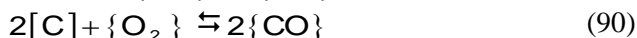
$$\%a_C = \%a_{C,T < 1.350} + \tau \cdot \%a_{C,1.350 < T < 1.550}, \quad (88)$$

în care  $\%a_{C,T < 1.350}$  reprezintă proporția de carbon care se oxidează în timpul topirii și în timpul supraîncălzirii fontei în stare lichidă până la temperatura de  $1.350^{\circ}\text{C}$  iar  $\%a_{C,1.350 < T < 1.550}$  reprezintă proporția de carbon care se oxidează în timpul menținerii fontei în stare lichidă în unitatea de timp (într-o oră), în intervalul de temperaturi  $1.350...1.550^{\circ}\text{C}$ . Pentru temperaturile de supraîncălzire  $1.350^{\circ}\text{C}$ ,  $1.400^{\circ}\text{C}$ ,  $1.450^{\circ}\text{C}$ ,  $1.500^{\circ}\text{C}$  și  $1.550^{\circ}\text{C}$  se prezintă  $\%a_{C,1.350 < T < 1.550}$  în tabelul 4, în acest tabel prezentându-se și  $\%a_{C,T < 1.350}$ .

O dată cu creșterea temperaturii de supraîncălzire în stare lichidă a fontei cresc și pierderile de carbon prin oxidare, respectivele pierderi fiind mai mari cu cât timpul de menținere

la respectivele temperaturi de supraîncălzire este mai mare.

Oxidarea carbonului în timpul elaborării poate avea loc conform reacțiilor chimice (1), (2), (3), (89), (90), (91), (92), (93), (94), (95), (96) etc., importanță având și temperatura zgurii care, dacă este mică, inhibă reacțiile chimice de tipul (2), (91), (94) și(95);



– **gradul de oxidare al încărcăturii.** Cu cât încărcătura metalică este mai oxidată cu atât pierderile de carbon prin oxidare sunt mai mari din cauza oxidului feros, de exemplu. Din tabelul 2 reiese că în cazul încărcăturilor metalice ce conțin până la 60% șpan, pierderile de carbon, prin oxidare cresc de la 10,7% în cazul unei încărcături metalice neoxidate la 23,0%, în cazul unei încărcături metalice oxidate, pentru o fontă dată;

– **conținutul de siliciu din încărcătură.** Cu cât conținutul de siliciu din încărcătura metalică este mai mic, cu cât sunt mai mari pierderile de carbon prin oxidare, deoarece variația de entalpie liberă pentru reacția de oxidare a siliciului este mai mică decât variația de entalpie liberă a reacției de oxidare a carbonului cu formare de monooxid de carbon, în cazul temperaturilor mai mici de circa 1.650<sup>0</sup>C, [16], [17] și [18] – siliciul protejează carbonul împotriva oxidării prin faptul că el însuși “consumă” oxigenul ce ar fi oxidat carbonul.



În figura 6 se prezintă pentru o fontă dată, [6], dependența pierderilor de carbon prin oxidare de temperatura de supraîncălzire a fontei în stare lichidă, în funcție de trei conținuturi de siliciu din încărcătura metalică.

Și din figura 6 se observă că pierderile de carbon prin oxidare cresc apreciabil o dată cu creșterea temperaturii de supraîncălzire în stare lichidă a fontei datorită desfășurării intense a reacțiilor chimice de tipul (1), (2) și (3);

– **conținutul de carbon din încărcătura metalică.**

Cu cât conținutul de carbon din încărcătura metalică este mai mare cu atât pierderile de carbon prin oxidare sunt mai mari;

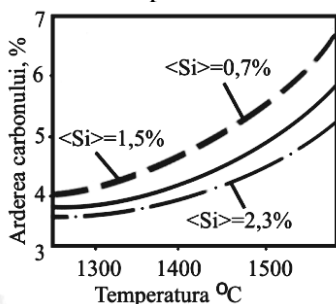


Fig. 6. Dependența pierderilor de carbon prin oxidare de temperatura de supraîncălzire în stare lichidă a fontei și conținutul de siliciu din încărcătură.

– **suprafața specifică a bucăților metalice din încărcătură.** Cu cât suprafața specifică respectivă este mai mare, cu atât mai mult crește suprafața de contact dintre reactanți (carbon și oxigen) și cu atât mai mult cresc pierderile de carbon prin oxidare. Această situație este sugerată și de tabelul 1, de unde se observă creșterea cantității de FeO din zgură și a arderilor totale o dată cu mărirea suprafeței specifice a bucăților de sort metalic (pierderile maxime de elemente chimice prin oxidare se constată în cazul în care încărcătura este formată din pachete de tablă subțire de oțel);

– **durata de topire.** Cu cât durata de topire este mai mică, cu atât pierderile de carbon prin oxidare sunt mai mici. Această situație este valabilă pentru toate elementele chimice din încărcătura metalică;

– **bazicitatea zgurii.** Cu cât bazicitatea zgurii este mai

mică, cu atât crește cantitatea de SiO<sub>2</sub> liber, nelegat chimic, ceea ce înseamnă mărirea disponibilului de oxigen care oxidează carbonul la temperaturi mari. Așadar, micșorarea bazicității zgurii determină mărirea pierderilor de carbon prin oxidare etc.

### **2.1.1.1.c.2.b. Cuptoare ce funcționează cu frecvența rețelei**

Calculul proporțiilor de sorturi metalice A, B și C se realizează prin rezolvarea sistemului (99).

$$\begin{cases} \%A \cdot \%C_A + \%B \cdot \%C_B + \%C \cdot \%C_C + \%FR \cdot \%C_{rem.} \geq 100 \cdot \%C_{total} > \\ \%A \cdot \%Si_A + \%B \cdot \%Si_B + \%C \cdot \%Si_C + \%FR \cdot \%Si_{rem.} \geq 100 \cdot \%Si_{total} > \\ \%A \cdot \%Mn_A + \%B \cdot \%Mn_B + \%C \cdot \%Mn_C + \%FR \cdot \%Mn_{rem.} \geq 100 \cdot \%Mn_{total} > \end{cases} \quad (99)$$

În cazul în care proporția de fontă lichidă remanentă este de 30% din capacitatea cuptorului, sistemul (99) devine (100).

$$\begin{cases} \%A \cdot \%C_A + \%B \cdot \%C_B + \%C \cdot \%C_C + 30 \cdot \%C_{rem.} \geq 100 \cdot \%C_{total} > \\ \%A \cdot \%Si_A + \%B \cdot \%Si_B + \%C \cdot \%Si_C + 30 \cdot \%Si_{rem.} \geq 100 \cdot \%Si_{total} > \\ \%A \cdot \%Mn_A + \%B \cdot \%Mn_B + \%C \cdot \%Mn_C + 30 \cdot \%Mn_{rem.} \geq 100 \cdot \%Mn_{total} > \end{cases} \quad (100)$$

în care  $\langle C_{rem} \rangle$  reprezintă proporția de carbon din baia remanentă de fontă din cuptor;  $\langle \%C_{total} \rangle$  – proporția de carbon total din încărcătură ce se determină cu relația (101).

$$\langle C_{total} \rangle \geq \%FR \frac{\langle \%C_{rem.} \rangle}{100} + (100 - \%FR) \frac{\langle \%C_{ad} \rangle}{100}, \quad (101)$$

în care  $\langle \%C_{ad} \rangle$  reprezintă proporția de carbon din încărcătura adăugată în cuptor.

Proporția de carbon total din încărcătură se determină cu relația (102).

$$\langle \%C_{\text{total}} \rangle = \frac{[\%C]}{100 - \%a_C^*}, \quad (102)$$

$\%a_C^*$  calculându-se relativ cu formula (103), în cazul în care căptușeala este de natură chimică acidă.

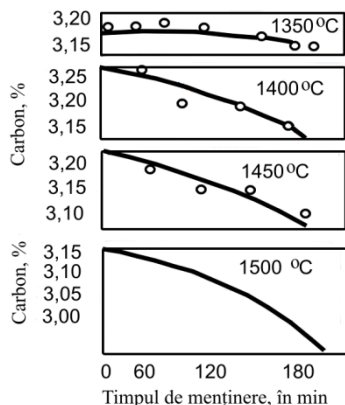
$$\%a_C^* = \left( \frac{100 - \%Fr}{100} \right) \cdot \%a_{C, T < 1.350} + \tau' \cdot \%a_{C, 1.350 < T < 1.550} \quad (103)$$

de această dată  $\tau'$  făcând referință la timpul de menținere în stare lichidă a fontei provenite din topirea și supraîncălzirea sorturilor metalice A, B și C adăugate (introduse) în baia de fontă remanentă, în intervalul de temperaturi  $1.350^{\circ}\text{C} \dots 1.550^{\circ}\text{C}$ , în h;  $a_{C, 1.350 < T < 1.550}$  – proporția de carbon care se oxidează în timpul menținerii fontei în stare lichidă în unitatea de timp (într-o oră), în intervalul de temperaturi  $1.350^{\circ}\text{C} \dots 1.550^{\circ}\text{C}$  (din tabelul 4);  $a_{C, T < 1.350}$  – proporția de carbon care se oxidează în timpul topirii și în timpul supraîncălzirii fontei în stare lichidă până la temperatura de  $1.350^{\circ}\text{C}$  (din tabelul 4).

În cazul în care căptușeala refractară este neutră, componentul predominant din aceasta este  $\text{Al}_2\text{O}_3$  care poate fi redus de către carbon, în cazul în care este în stare pură la temperaturi mai mari de circa  $2.000^{\circ}\text{C}$ , [16]. În cazul unui cuptor cu creuzet, căptușit cu disten-silimanit (58%) și corindon (42%), având capacitatea de 2,5 t, variația conținutului de carbon din baia metalică, pentru o fontă dată, cu timpul de menținere în stare lichidă la patru temperaturi ( $1.350^{\circ}\text{C}$ ,  $1.400^{\circ}\text{C}$ ,  $1.450^{\circ}\text{C}$  și  $1.500^{\circ}\text{C}$ ), este prezentată în figura 7, [8] și [6]. Din figura 7 se observă că în cazul menținerii fontei în stare lichidă la temperatura de  $1.350^{\circ}\text{C}$ , timp de circa 3 h, arderea carbonului este practic nulă, pentru ca în cazul menținerii fontei în stare lichidă la temperaturi

cuprinse în intervalul 1.400...1.500°C viteza de oxidare a carbonului să fie de 0,04...0,06% C/h.

Indiferent de natura chimică a căptușelii, în cazul elaborării fontei în cuptoare ce funcționează la frecvența rețelei, din cauza brasajului mai mare, suprafața de contact dintre reactanți este mai mare – suprafața de contact dintre baia metalică, pe de o parte, și căptușeala refractară, zgură și atmosferă gazoasă, pe de altă parte –, ceea ce înseamnă o mărire a pierderilor prin oxidare, de exemplu, a elementelor chimice din baia metalică.



**Fig.7. Variația conținutului de carbon din fontă lichidă cu timpul de menținere în stare lichidă a fontei, pentru o fontă dată, la diverse temperaturi.**

Considerația asupra pierderilor de carbon prin oxidare în cazul căptușelii bazice este de aceeași natură ca aceea de la cuptoarele ce funcționează la frecvență medie și înaltă.

Sorturile A, B și C se aleg ținându-se seama de următoarele condiții:

– conținuturile de carbon ale sorturilor metalice A, B și C nu trebuie să fie, toate, mai mici decât ( $\langle C_{total} \rangle - \frac{\%FR \cdot \langle C_{rem.} \rangle}{100}$ ), adică nu trebuie îndeplinită asocierea de inegalități (104);

$$\% C_A << \% C_{total} > - \frac{\% FR \cdot < \% C_{rem.} >}{100}, \% C_B << \% C_{total} > \quad (104)$$

$$- \frac{\% FR \cdot < \% C_{rem.} >}{100} \text{ și } \% C_C << \% C_{total} > - \frac{\% FR \cdot < \% C_{rem.} >}{100}$$

– conținuturile de carbon ale sorturilor metalice A, B și C nu trebuie să fie, toate, mai mari decât ( $< \% C_{total} > - \frac{\% FR \cdot < \% C_{rem.} >}{100}$ ), adică nu trebuie îndeplinită asocierea de inegalități (105);

$$\% C_A >> \% C_{total} > - \frac{\% FR \cdot < \% C_{rem.} >}{100}, \% C_B >> \% C_{total} > \quad (105)$$

$$- \frac{\% FR \cdot < \% C_{rem.} >}{100} \text{ și } \% C_C >> \% C_{total} > - \frac{\% FR \cdot < \% C_{rem.} >}{100}$$

– ecuațiile de bilanț ale carbonului, siliciului și manganului nu trebuie să fie identice;

– sistemul (99) trebuie să aibă soluție numere reale și pozitive;

– celelalte condiții ce trebuie îndeplinite sunt cele prezentate pentru rezolvarea sistemului (80).

Sortul C poate fi reprezentat de deșeuri de oțel impuse sau de deșeuri de fontă – deșeuri proprii – impuse, situație în care sistemul (99) se transformă într-un sistem cu două ecuații și două necunoscute.

Sorturile B și C pot fi reprezentate de deșeuri de oțel impuse, respectiv de deșeuri de fontă impuse, ceea ce transformă sistemul (99) în alegerea doar a unui sort metalic – încărcătura metalică adăugată este formată dintr-un sort metalic.

Deșeurile de oțel și fontă pot lipsi din încărcătură.

### **2.1.1.1.c.3. Calculul practic al încărcăturii metalice în cazul utilizării a trei sorturi metalice**

În acest caz în baza de șarjare există trei sorturi metalice – sortul metalic 1 – s.m.1 –, sortul metalic 2 – s.m.2 – și sortul metalic 3 – s.m.3.

#### **2.1.1.1.c.3.1. Cazul elaborării în cuptoare cu inducție ce funcționează cu frecvență medie sau mare**

##### **2.1.1.1.c.3.1.a. Schema logică**

Compoziția chimică a sortului metalic 1 este dată de relația (44.1), cea a sortului metalic 2 este dată de relația (74.1) iar a sortului metalic 3 este dată de relația (105.1).

$$\left. \begin{array}{l} \text{Sortul metalic} \\ \text{metalic 3} \end{array} \right\} : < \%E_{i_{s.m.3}} = < \%E_{1_{s.m.3}} >, < \%E_{2_{s.m.3}} >, \\ < \%E_{3_{s.m.3}} >, \dots & \quad (105.1)$$

Proporțiile sorturilor metalice 1, 2 și 3, în încărcătură, se stabilesc în mod similar cu metodologia prezentată la paragraful 2.1.1.1.b.3.1.

Fie că s-au stabilit cele trei proporții de sorturi metalice 1, 2 și 3, acestea fiind  $\% \varepsilon_1$ ,  $\% \varepsilon_2$  și respectiv,  $\% \varepsilon_3$ , adică  $\% \varepsilon_1 + \% \varepsilon_2 + \% \varepsilon_3 = 100$ .

Proporția unui element chimic din încărcătură se determină cu relația (105.2).

$$\left( \%E_i \right) = \left( \%E_{i_{s.m.1}} \right) \cdot \frac{\% \varepsilon_1}{100} + \left( \%E_{i_{s.m.2}} \right) \cdot \frac{\% \varepsilon_2}{100} + \left( \%E_{i_{s.m.3}} \right) \cdot \frac{\% \varepsilon_3}{100} \quad (105.2)$$

în care  $\langle \%E_i \rangle$  reprezintă proporția de element chimic  $E_i$  din încărcătură;  $\langle \%E_{i,s.m.1} \rangle$  – proporția de element chimic  $E_i$  din sortul metalic 1;  $\% \varepsilon_1$  – proporția de sort metalic 1 din încărcătură;  $\langle \%E_{i,s.m.2} \rangle$  – proporția de element chimic  $E_i$  din sortul metalic 2;  $\% \varepsilon_2$  – proporția de sort metalic 2 din încărcătură;  $\langle \%E_{i,s.m.3} \rangle$  – proporția de element chimic  $E_i$  din sortul metalic 3;  $\% \varepsilon_3$  – proporția de sort metalic 3 din încărcătură.

Relația (105.2) se aplică pentru toate elementele chimice din sorturile metalice 1, 2 și 3.

De exemplu, dacă  $\langle \%E_{i,s.m.1} \rangle = 2,4$ ;  $\% \varepsilon_1 = 30$ ;  $\langle \%E_{i,s.m.2} \rangle = 3$ ;  $\% \varepsilon_2 = 25$ ;  $\langle \%E_{i,s.m.3} \rangle = 2,6$ ;  $\% \varepsilon_3 = 45$ ;  $\langle \%E_i \rangle = 2,4 \cdot \frac{30}{100} + 3 \cdot \frac{25}{100} + 2,6 \cdot \frac{45}{100} = 2,64$ .

Dacă  $\langle \%E_{i,s.m.1} \rangle = 2,4$ ;  $\% \varepsilon_1 = 30$ ;  $\langle \%E_{i,s.m.2} \rangle = 0$ ;  $\% \varepsilon_2 = 25$ ;  $\langle \%E_{i,s.m.3} \rangle = 0$ ;  $\% \varepsilon_3 = 45$ ;  $\langle \%E_i \rangle = 2,4 \cdot \frac{30}{100} + 0 \cdot \frac{25}{100} + 0 \cdot \frac{45}{100} = 0,72$ .

Compoziția chimică a încărcăturii este de forma (74.3), coroborată cu relația (105.2).

Cantitatea de sort metalic 1 ce se încarcă în cuptor,  $Q_{s.m.1}$ , în kg, se calculează cu relația (105.3), cea de sort metalic 2,  $Q_{s.m.2}$ , în kg, se calculează cu relația (105.4) iar cea de sort metalic 3,  $Q_{s.m.3}$ , în kg, se calculează cu relația (105.5).

$$Q_{s.m.1} = \frac{\% \varepsilon_1}{100} Q_{\text{efectiv}} , \quad (105.3)$$

$$Q_{s.m.2} = \frac{\% \varepsilon_2}{100} Q_{\text{efectiv}} , \quad (105.4)$$

$$Q_{s.m.3} = \frac{\% \epsilon_3}{100} Q_{\text{efectiv}} , \quad (105.5)$$

în care  $Q_{\text{efectiv}}$  reprezintă capacitatea efectivă a cuptorului, în kg.

### **2.1.1.1.c.3.1.b. Rularea programului**

Pentru mai multe sorturi metalice, trei, patru sau mai multe se deschid deasemenea interfețe de lucru cu utilizatorul, interfețe intuitive ce pornesc programul de lucru efectiv.

Programele corespunzătoare sunt prezentate în anexă.

Rularea programului, în cazurile în care încărcătura metalică este alcătuită din trei sau mai multe sorturi metalice se realizează similar celor prezentate la paragrafele 2.1.1.1.b.3.1.b. și 2.1.1.1.b.3.2.b.



Interfețe grafice pentru diferite numere de sorturi din baza de șarjare

Exemplificarea desfășurării efective a proiectului pentru cazurile în care sunt analizate un sort metalic, inițial, din baza de șarjare atât la frecvență medie și mare cât și la frecvență înaltă dar și prezentarea cazului cu două sorturi metalice în baza de șarjare este considerată suficientă pentru înțelegerea proiectului de elaborare, cazurile cu 3, 4 sau mai multe sorturi introducând doar aceeași rutină de 3, 4 sau mai multe ori în funcție de caz.



### 2.1.1.1.c.3.2. Cazul elaborării în cuptoare cu inducție ce funcționează cu frecvența rețelei

#### 2.1.1.1.c.3.2.a. Schema logică

Compoziția chimică a băii remanente este dată de relația (44.2).

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

Criteriile de stabilire a proporțiilor de sorturi metalice 1, 2 și 3 sunt aceleași cu cele prezentate la paragraful 2.1.1.1.b.3.1., în plus, apărând cel de al patrulea component al încărcăturii – baia remanentă.

Fie că se stabilesc cotele de participare la încărcătură ale sorturilor metalice 1, 2 și 3, de  $\%w_1$ ,  $\%w_2$  și, respectiv,  $\%w_3$ , în așa fel încât  $30 + \%w_1 + \%w_2 + \%w_3 = 100$ .

După încărcarea în cuptor a sorturilor metalice 1, 2 și 3, fiecare element chimic  $E_i$  din încărcătura metalică are concentrația dată de relația (105.6).

$$\begin{aligned} \langle \%E_i \rangle = & 0,30 \left\{ [\%E_i]_{\text{rem}} - (\langle \%E_{i.s.m.1} \rangle \cdot \frac{\%w_1}{100} + \langle \%E_{i.s.m.2} \rangle \cdot \frac{\%w_2}{100} + \langle \%E_{i.s.m.3} \rangle \cdot \frac{\%w_3}{100}) \right. \\ & \left. + \langle \%E_{i.s.m.1} \rangle \cdot \frac{\%w_1}{100} + \langle \%E_{i.s.m.2} \rangle \cdot \frac{\%w_2}{100} + \langle \%E_{i.s.m.3} \rangle \cdot \frac{\%w_3}{100} \right\} \end{aligned} \quad (105.6)$$

în care  $\langle \%E_i \rangle$  reprezintă proporția de element chimic  $E_i$  din încărcătura metalică;  $[\%E_i]_{\text{rem}}$  – proporția de element chimic  $E_i$  din fonta remanentă;  $\langle \%E_{i.s.m.1} \rangle$  – proporția de element chimic  $E_i$  din sortul metalic 1;  $\%w_1$  – proporția de sort metalic 1 din încărcătură;  $\langle \%E_{i.s.m.2} \rangle$  – proporția de element chimic

$E_i$  din sortul metalic 2;  $\%w_2$  – proporția de sort metalic 2 din încărcătură;  $\langle \%E_{i.s.m.3} \rangle$  proporția de element chimic  $E_i$  din sortul metalic 3;  $\%w_3$  – proporția de sort metalic 3 din încărcătură.

$\langle \%E_i \rangle$  din relația (105.6) se calculează pentru fiecare element chimic din fonta remanentă, sortul metalic 1, sortul metalic 2 și sortul metalic 3.

Cantitatea de sort metalic 1 ce se încarcă în cuptor,  $Q_{\text{sort } 1}$ , în kg, se calculează cu relația (105.7), cea de sort metalic 2,  $Q_{\text{sort } 2}$ , în kg, se calculează cu relația (105.8) iar ce de sort metalic 3,  $Q_{\text{sort } 3}$ , în kg, se calculează cu relația (105.9).

$$Q_{\text{sort } 1} = \frac{\%w_1}{100} Q_{\text{nominal}} , \quad (105.7)$$

$$Q_{\text{sort } 2} = \frac{\%w_2}{100} Q_{\text{nominal}} , \quad (105.8)$$

$$Q_{\text{sort } 3} = \frac{\%w_3}{100} Q_{\text{nominal}} , \quad (105.9)$$

în care  $Q_{\text{nominal}}$  se exprimă în kg.

#### **2.1.1.1.c.3.2.b. Rularea programului**

Pentru mai multe sorturi metalice, trei, patru sau mai multe, se deschid, de asemenea, interfețe de lucru cu utilizatorul, interfețe intuitive ce pornesc programul de lucru efectiv.

Programele corespunzătoare sunt prezentate în [64].

Rularea programului, în cazurile în care încărcătura metalică este alcătuită din trei sau mai multe sorturi metalice se realizează similar celor prezentate la paragrafele 2.1.1.1.b.3.1.b. și 2.1.1.1.b.3.2.b.

Exemplificarea desfășurării efective a proiectului pentru cazurile în care sunt analizate un sort metalic, inițial, din

baza de șarjare atât la frecvență medie și mare cât și la frecvență înaltă dar și prezentarea cazului cu două sorturi metalice în baza de șarjare este considerată suficientă pentru înțelegerea proiectului de elaborare, cazurile cu 3, 4 sau mai multe sorturi introducând doar aceeași rutină de 3, 4 sau mai multe ori în funcție de caz.



Interfețe grafice pentru diferite numere de sorturi din baza de șarjare

#### **2.1.1.1.d. Calculele analitic și practic ale încărcăturii metalice formate din patru sorturi metalice**

##### **2.1.1.1.d.1. Calculul analitic al încărcăturii metalice formate din patru sorturi metalice**

Se notează cu A, B, C și D cele patru sorturi metalice.

Calculul analitic se realizează folosind ca bază de calcul elementele chimice siliciu, mangan și carbon.

Calculul proporțiilor de sorturi metalice A, B, C și D se face în mod diferit, în funcție de frecvența la care funcționează cuptorul – medie sau mare și cea a rețelei.

### 2.1.1.1.d.1.a. Cuptoare ce funcționează cu frecvență medie sau mare

Calculul proporțiilor de sorturi A, B, C și D se realizează prin rezolvarea sistemului (106).

$$\begin{cases} \%A \cdot \%C_A + \%B \cdot \%C_B + \%C \cdot \%C_C + \%D \cdot \%C = 100 \cdot <\%C> & (106) \\ \%A \cdot \%Si_A + \%B \cdot \%Si_B + \%C \cdot \%Si_C + \%D \cdot \%Si_D = 100 \cdot <\%Si> \\ \%A \cdot \%Mn_A + \%B \cdot \%Mn_B + \%C \cdot \%Mn_C + \%D \cdot \%Mn_D = 100 \cdot <\%Mn> \\ \%A + \%B + \%C + \%D = 100 \end{cases}$$

în care  $\%C_D$  reprezintă proporția de carbon din sortul metalic D;  $\%Si_D$  – proporția de siliciu din sortul metalic D;  $\%Mn_D$  – proporția de mangan din sortul metalic D;  $\%D$  – proporția de sort metalic D din încărcătură.

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

– conținuturile de carbon ale celor patru sorturi metalice A, B, C și D nu trebuie să fie, toate, mai mici decât proporția de carbon din încărcătură, adică nu trebuie îndeplinită asocierea de inegalități (107);

$$\begin{aligned} \%C_A <<\%C>, \%C_B <<\%C>, \\ \%C_C <<\%C> \text{ și } \%C_D <<\%C> \end{aligned} \quad (107)$$

– conținuturile de carbon ale celor patru sorturi metalice A, B, C și D nu trebuie să fie, toate, mai mari decât proporția de carbon din încărcătură, adică nu trebuie îndeplinită asocierea de inegalități (108);

$$\begin{aligned} \%C_A > <\%C>, \%C_B > <\%C>, \\ \%C_C > <\%C> \text{ și } \%C_D > <\%C> \end{aligned} \quad (108)$$

– conținuturile de siliciu ale celor patru sorturi metalice A, B, C și D nu trebuie să fie, toate, mai mici decât proporția de siliciu din încărcătură, adică nu trebuie îndeplinită asocierea de inegalități (109);

$$\%Si_A <<\%Si >, \%Si_B <<\%Si >, \\ \%Si_C <<\%Si > \text{ și } \%Si_D <<\%Si > \quad (109)$$

– conținuturile de siliciu ale celor patru sorturi metalice A, B, C și D nu trebuie să fie, toate, mai mari decât proporția de siliciu din încărcătură, adică nu trebuie îndeplinită asocierea de inegalități (110);

$$\%Si_A > <\%Si >, \%Si_B > <\%Si >, \%Si_C > <\%Si > \\ \text{și } \%Si_D > <\%Si > \quad (110)$$

– conținuturile de mangan ale celor patru sorturi metalice A, B, C și D nu trebuie să fie, toate, mai mici decât proporția de mangan din încărcătură, adică nu trebuie îndeplinită asocierea de inegalități (111);

$$\%Mn_A <<\%Mn >, \%Mn_B <<\%Mn >, \\ \%Mn_C <<\%Mn > \text{ și } \%Mn_D <<\%Mn > \quad (111)$$

– conținuturile de mangan ale celor patru sorturi metalice A, B, C și D nu trebuie să fie, toate, mai mari decât proporția de mangan din încărcătură, adică nu trebuie îndeplinită asocierea de inegalități (112);

$$\%Mn_A > <\%Mn >, \%Mn_B > <\%Mn >, \\ \%Mn_C > <\%Mn > \text{ și } \%Mn_D > <\%Mn > \quad (112)$$

– ecuațiile de bilanț ale carbonului, siliciului și manganului nu trebuie să fie identice;

– soluția sistemului (106) trebuie să fie numere reale și pozitive;

– celelalte criterii de alegere sunt cele prezentate la rezolvarea sistemului (45).

Sortul metalic D poate fi reprezentat de deșeuri de

oțel impuse sau deșuri de fontă – deșuri proprii – impuse, sistemul (106) transformându-se într-un sistem cu trei ecuații și trei necunoscute.

Sorturile metalice C și D pot fi reprezentate de deșuri de oțel impuse, respectiv de deșuri de fontă impuse, sistemul (106) transformându-se într-un sistem cu două ecuații și două necunoscute.

Sorturile metalice de deșuri de oțel și fontă pot lipsi din încărcătura metalică.

### **2.1.1.1.d.1.b. Cuptoare ce funcționează cu frecvența rețelei**

Proporțiile de sorturi A, B, C și D se determină prin rezolvarea sistemului (113).

$$\begin{cases} \%A \cdot \%C_A + \%B \cdot \%C_B + \%C \cdot \%C_C + \%D \cdot \%C_D + \%FR \cdot \%C_{rem.} \geq 100 < \%C_{total} > \\ \%A \cdot \%Si_A + \%B \cdot \%Si_B + \%C \cdot \%Si_C + \%D \cdot \%Si_D + \%FR \cdot \%Si_{rem.} \geq 100 < \%Si_{total} > \\ \%A \cdot \%Mn_A + \%B \cdot \%Mn_B + \%C \cdot \%Mn_C + \%D \cdot \%Mn_D + \%FR \cdot \%Mn_{rem.} \geq 100 < \%Mn_{total} > \\ \%A + \%B + \%C + \%D + \%FR = 100 \end{cases} \quad (113)$$

Sorturile metalice A, B, C și D se aleg ținându-se seama de următoarele criterii.

– conținuturile de carbon ale sorturilor metalice A, B, C și D nu trebuie să fie, toate, mai mici decât ( $< \%C_{total} > - \frac{\%FR \cdot \%C_{rem.}}{100}$ ), adică nu trebuie îndeplinită asocierea de inegalități(114);

$$\begin{aligned} \%C_A << \%C_{total} > - \frac{\%FR \cdot \%C_{rem.}}{100}, \%C_B << \%C_{total} > - \frac{\%FR \cdot \%C_{rem.}}{100}, \\ \%C_C << \%C_{total} > - \frac{\%FR \cdot \%C_{rem.}}{100} \text{ și } \%C_D << \%C_{total} > - \frac{\%FR \cdot \%C_{rem.}}{100} \end{aligned} \quad (114)$$

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

( $\langle \%C_{total} \rangle - \frac{\%FR \cdot \langle \%C_{rem.} \rangle}{100}$ ), adică nu trebuie îndeplinită asocierea de inegalități (115);

$$\%C_A > \langle \%C_{total} \rangle - \frac{\%FR \cdot \langle \%C_{rem.} \rangle}{100}, \%C_B > \langle \%C_{total} \rangle - \frac{\%FR \cdot \langle \%C_{rem.} \rangle}{100}, \quad (115)$$

$$\%C_C > \langle \%C_{total} \rangle - \frac{\%FR \cdot \langle \%C_{rem.} \rangle}{100} \text{ și } \%C_D > \langle \%C_{total} \rangle - \frac{\%FR \cdot \langle \%C_{rem.} \rangle}{100}$$

– conținuturile de siliciu ale sorturilor metalice A, B, C și D nu trebuie să fie, toate, mai mici decât ( $\langle \%Si_{total} \rangle - \frac{\%FR \cdot \langle \%Si_{rem.} \rangle}{100}$ ), adică nu trebuie îndeplinită asocierea de inegalități (116);

$$\%Si_A < \langle \%Si_{total} \rangle - \frac{\%FR \cdot \langle \%Si_{rem.} \rangle}{100}, \%Si_B < \langle \%Si_{total} \rangle - \frac{\%FR \cdot \langle \%Si_{rem.} \rangle}{100}, \quad (116)$$

$$\%Si_C < \langle \%Si_{total} \rangle - \frac{\%FR \cdot \langle \%Si_{rem.} \rangle}{100} \text{ și } \%Si_D < \langle \%Si_{total} \rangle - \frac{\%FR \cdot \langle \%Si_{rem.} \rangle}{100}$$

– conținuturile de siliciu ale sorturilor metalice A, B, C și D nu trebuie să fie, toate, mai mari decât ( $\langle \%Si_{total} \rangle - \frac{\%FR \cdot \langle \%Si_{rem.} \rangle}{100}$ ), adică nu trebuie îndeplinită asocierea de inegalități (117);

$$\%Si_A > \langle \%Si_{total} \rangle - \frac{\%FR \cdot \langle \%Si_{rem.} \rangle}{100}, \%Si_B > \langle \%Si_{total} \rangle - \frac{\%FR \cdot \langle \%Si_{rem.} \rangle}{100}, \quad (117)$$

$$\%Si_C > \langle \%Si_{total} \rangle - \frac{\%FR \cdot \langle \%Si_{rem.} \rangle}{100} \text{ și } \%Si_D > \langle \%Si_{total} \rangle - \frac{\%FR \cdot \langle \%Si_{rem.} \rangle}{100}$$

– conținuturile de mangan ale sorturilor metalice A, B, C și D nu trebuie să fie, toate, mai mici decât ( $\langle \%Mn_{total} \rangle - \frac{\%FR \cdot \langle \%Mn_{rem.} \rangle}{100}$ ), adică nu trebuie îndeplinită asocierea de inegalități (118);

$$\begin{aligned} \%Mn_A << \%Mn_{total} > - \frac{\%FR \cdot <\%Mn_{rem.}>}{100}, \%Mn_B << \%Mn_{total} > - \frac{\%FR \cdot <\%Mn_{rem.}>}{100}, \\ \%Mn_C << \%Mn_{total} > - \frac{\%FR \cdot <\%Mn_{rem.}>}{100} \text{ și } \%Mn_D << \%Mn_{total} > - \frac{\%FR \cdot <\%Mn_{rem.}>}{100} \end{aligned} \quad (118)$$

– conținuturile de mangan ale sorturilor metalice A, B, C și D nu trebuie să fie, toate, mai mari decât ( $<\%Mn_{total} > - \frac{\%FR \cdot <\%Mn_{rem.}>}{100}$ ), adică nu trebuie îndeplinită asocierea de inegalități (119);

$$\begin{aligned} \%Mn_A >> \%Mn_{total} > - \frac{\%FR \cdot <\%Mn_{rem.}>}{100}, \%Mn_B >> \%Mn_{total} > - \frac{\%FR \cdot <\%Mn_{rem.}>}{100}, \quad (119) \\ \%Mn_C >> \%Mn_{total} > - \frac{\%FR \cdot <\%Mn_{rem.}>}{100} \text{ și } \%Mn_D >> \%Mn_{total} > - \frac{\%FR \cdot <\%Mn_{rem.}>}{100} \end{aligned}$$

– ecuațiile de bilanț ale carbonului, siliciului și manganului nu trebuie să fie identice;

– sistemul (113) trebuie să aibă soluție numere reale și pozitive;

– celelalte criterii de alegere sunt cele prezentate la rezolvarea sistemului (45);

Dacă un agent industrial are la dispoziție puține sorturi metalice, sistemul (113) este dificil de rezolvat – ca de alt fel toate sistemele prezentate în acest capitol. De fapt, calculul analitic sugerează și stabilește cu ce sorturi metalice trebuie să se aprovizioneze o societate comercială – un agent economic –, adică un calcul analitic reprezintă o problemă de proiectare.

Sortul metalic D poate fi reprezentat de deșuri de oțel impuse sau deșuri de fontă – deșuri proprii – impuse, sistemul (113) transformându-se într-un sistem cu trei ecuații și trei necunoscute.

Sorturile metalice C și D pot fi reprezentate de deșuri de oțel impuse, respectiv de deșuri de fontă impuse, sistemul (113) transformându-se într-un sistem cu două ecuații și două necunoscute.



Deșeurile de oțel și fontă pot lipsi din încărcătura metalică adăugată în baia metalică remanentă.

### **2.1.1.1.d.2. Calculul practic al încărcăturii metalice în cazul utilizării a patru sau mai multe sorturi metalice**

În acest caz, în baza de șarjare există patru sau mai multe sorturi metalice – sortul metalic 1 – s.m.1 –, sortul metalic 2 – s.m.2 –, sortul metalic 3 – s.m.3. –, sortul metalic 4 – s.m.4, sortul metalic j – s.m.j.

#### **2.1.1.1.d.2.1. Elaborarea în cuptoare cu inducție ce funcționează cu frecvență medie sau mare**

##### **2.1.1.1.d.2.1.a. Schema logică**

Compoziția chimică a sortului metalic 1 este dată de relația (44.1), cea a sortului metalic 2 este dată de relația (74.1), cea a sortului metalic 3 este dată de relația (105.1), cea a sortului metalic 4 este dată de relația (119.1) iar cea a sortului metalic j este dată de relația (119.2).

$$\left. \begin{array}{l} \text{Sortul} \\ \text{metalic 4} \end{array} \right\} : < \%E_{i_{s.m.4}} > = < \%E_{1_{s.m.4}} >, < \%E_{2_{s.m.4}} >, < \%E_{3_{s.m.4}} >, \dots \quad (119.1)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Sortul} \\ \text{metalic j} \end{array} \right\} : < \%E_{i_{s.m.j}} > = < \%E_{1_{s.m.j}} >, < \%E_{2_{s.m.j}} >, < \%E_{3_{s.m.j}} >, \dots \quad (119.2)$$

Proporțiile sorturilor metalice 1, 2, 3, 4 și j, în încărcătură, se stabilesc în mod similar cu metodologia prezentată la paragraful 2.1.1.1.b.3.1.

Fie că s-au stabilit proporțiile de sorturi metalice din încărcătură, acestea fiind  $\%z_1$ ,  $\%z_2$ ,  $\%z_3$ ,  $\%z_4$  și, respectiv,  $\%z_j$ , adică  $\%z_1 + \%z_2 + \%z_3 + \%z_4 + \dots + \%z_j = 100$ .

Proporția unui element chimic din încărcătură se determină cu relația (119.3).

$$\begin{aligned} < \%E_i > = < \%E_{i.s.m.1} > \cdot \frac{\%z_1}{100} + < \%E_{i.s.m.2} > \cdot \frac{\%z_2}{100} + < \%E_{i.s.m.3} > \cdot \\ \frac{\%z_3}{100} + < \%E_{i.s.m.4} > \cdot \frac{\%z_4}{100} + \dots + < \%E_{i.s.m.j} > \cdot \frac{\%z_j}{100}, \end{aligned} \quad (119.3)$$

în care simbolurile literare au semnificațiile anterioare.

Relația (119.3) se aplică pentru toate elementele chimice din sorturile metalice 1, 2, 3, 4, ...j.

Compoziția chimică a încărcăturii este de forma (74.3), coroborată cu relația (119.3).

Cantitatea de sort metalic j ce se încarcă în cuptor,  $Q_{s.m.j}$ , în kg, se calculează cu relația (119.4).

$$Q_{s.m.j} = \frac{\%z_j}{100} Q_{\text{efectiv}} \quad (119.4)$$

în care  $Q_{\text{efectiv}}$  se exprimă în kg.

#### **2.1.1.1.d.2.1.b. Rularea programului**

Pentru mai multe sorturi metalice, trei, patru sau mai multe, se deschid, de asemenea, interfețe de lucru cu utilizatorul, interfețe intuitive ce pornesc programul de lucru efectiv.

Programele corespunzătoare sunt prezentate în [64].



Interfețe grafice pentru diferite numere de sorturi din baza de șarjare

Rularea programului, în cazurile în care încărcătura metalică este alcătuită din trei sau mai multe sorturi metalice se realizează similar celor prezentate la paragrafele 2.1.1.1.b.3.1.b. și 2.1.1.1.b.3.2.b.

Exemplificarea desfășurării efective a proiectului pentru cazurile în care sunt analizate un sort metalic, inițial, din baza de șarjare atât la frecvență medie și mare cât și la frecvență înaltă dar și prezentarea cazului cu două sorturi metalice în baza de șarjare este considerată suficientă pentru înțelegerea proiectului de elaborare, cazurile cu 3, 4 sau mai multe sorturi introducând doar aceeași rutină de 3, 4 sau mai multe ori în funcție de caz.

#### **2.1.1.1.d.2.2. Elaborarea în cuptoare cu inducție ce funcționează cu frecvența rețelei**

##### **2.1.1.1.d.2.2.a. Schema logică**

Compoziția chimică a băii remanente este dată de relația (44.2).

Încărcătura metalică este formată din cinci componente sau mai multe, respectiv, fonta remanentă, sortul metalic 1, sortul metalic 2, sortul metalic 3, sortul metalic 4 și sortul metalic j.

Criteriile de stabilire a proporțiilor de sorturi metalice 1,2 3,4 și j sunt aceleași cu cele prezentate la paragraful 2.1.1.1.b.3.1., în plus, apărând cel de al cincilea component al încărcăturii – baia remanentă și sortul metalic j.

Fie că se stabilesc cotele de participare la încărcătură ale sorturilor metalice 1,2,3,4 și j, de  $\%h_1$ ,  $\%h_2$ ,  $\%h_3$ ,  $\%h_4$  și, respectiv,  $\%h_j$ , în așa fel încât  $30 + \%h_1 + \%h_2 + \%h_3 + \%h_4 + \dots + \%h_j = 100$ .

După încărcarea în cuptor a sorturilor metalice 1,2,3,4 și j, fiecare element chimic  $E_i$  din încărcătura metalică are concentrația dată de relația (119.5).

$$\begin{aligned} < \%E_i > = 0,30 \left\{ [\%E_i]_{\text{rem}} - (< \%E_{i_{s.m.1}} > \cdot \frac{\%h_1}{100} + < \%E_{i_{s.m.2}} > \cdot \%h_{2100} + < \%E_{i_{s.m.3}} > \cdot \%h_{3100} + < \%E_{i_{s.m.4}} > \cdot \%h_{4100} + \dots + < \%E_{i_{s.m.j}} > \cdot \%h_j) \right\} + < \%E_{i_{s.m.1}} > \cdot \%h_{1100} + < \%E_{i_{s.m.2}} > \cdot \%h_{2100} + < \%E_{i_{s.m.3}} > \cdot \%h_{3100} + < \%E_{i_{s.m.4}} > \cdot \%h_{4100} + \dots + < \%E_{i_{s.m.j}} > \cdot \%h_j, \\ (119.5) \end{aligned}$$

în care semnificațiile simbolurilor literare sunt cele anterioare.

$< \%E_i >$  din relația (119.5) se calculează pentru fiecare element chimic din fonta remanentă, sortul metalic 1, sortul metalic 2, sortul metalic 3, sortul metalic 4 și sortul metalic j.

Cantitatea de sort metalic j ce se încarcă în cuptor,  $Q_{\text{sort } j}$ , în kg, se calculează cu relația (119.6).

$$Q_{\text{sort } j} = \frac{\%h_{1j}}{100} Q_{\text{nominal}}, \quad (119.6)$$

în care  $Q_{\text{nominal}}$  se exprimă în kg.

#### **2.1.1.1.d.2.2.b. Rularea programului**

Pentru mai multe sorturi metalice, trei, patru sau mai multe, se deschid, de asemenea, interfețe de lucru cu utilizatorul, interfețe intuitive ce pornesc programul de lucru efectiv. Programele corespunzătoare sunt prezentate în [64].

Rularea programului, în cazurile în care încărcătura metalică este alcătuită din trei sau mai multe sorturi metalice se realizează similar celor prezentate la paragrafele 2.1.1.1.b.3.1.b. și 2.1.1.1.b.3.2.b.

Exemplificarea desfășurării efective a proiectului pentru cazurile în care sunt analizate un sort metalic, inițial, din baza de șarjare atât la frecvență medie și mare cât și la frecvență înaltă dar și prezentarea cazului cu două sorturi metalice în baza de șarjare este considerată suficientă pentru înțelegerea proiectului de elaborare,

cazurile cu 3, 4 sau mai multe sorturi introducând doar aceeași rutină de 3, 4 sau mai multe ori în funcție de caz.



Interfețe grafice pentru diferite numere de sorturi din baza de șarjare

#### **2.1.1.1.e. Calculul analitic al încărcăturii metalice formate din cinci sorturi metalice**

Un sistem cu cinci ecuații și cinci necunoscute este relativ dificil de rezolvat.

Prin raportare la sistemul (106), cea de a cincea ecuație ar trebui să fie ecuația de bilanț pentru un element chimic din compoziția chimică a fontei propusă a fi elaborată, de preferință sulfurul sau fosforul. Așa s-ar putea crea un sistem de cinci ecuații cu cinci necunoscute, corespunzător ambelor tipuri de cuptoare în ceea ce privește frecvența de funcționare. Un asemenea sistem s-ar putea rezolva alegând cele cinci sorturi metalice după criteriile echivalente cu acelea utilizate pentru alegerea a mai puțin de cinci sorturi metalice.

Se recomandă, în practică, utilizarea ca al cincilea sort metalic a deșeurilor de fontă, denumite și **deșeuri proprii**, deșeuri proprii care oricum trebuie să fie utilizate în încărcătura metalică, în caz contrar crescând depozitul de acest material. În felul acesta rezolvarea sistemului cu cinci ecuații și cinci necunoscute se rezumă la rezolvarea unui sistem cu patru ecuații și patru necunoscute, respectiv la rezolvarea sistemului (106) sau a sistemului (113), după caz.

Se poate accepta existența unui calcul pentru proporția de deșeuri proprii.

În funcție de tipul de piese din programul de fabricație se determină ponderea deșeurilor proprii corespunzătoare fiecărei mărci de fontă și fiecărui tip de piesă.

Deșeurile proprii se preferă să se utilizeze în încărcătură datorită următoarelor avantaje:

- dacă sunt aliate, aduc în încărcătură elemente chimice de aliere, ceea ce înseamnă economisire de feroaliaje, prealiaje, elemente brute de aliere și elemente rafinate de aliere;

- dacă sunt aliate, se caracterizează printr-un randament de asimilare mare – acceptabil;

- au compoziția chimică bine determinată;

- au compoziția chimică identică cu aceea a fontei propusă a fi elaborată;

- au conținuturile de sulf și fosfor corespunzătoare, înclinând balanța spre situația de a nu se efectua desulfurări și defosforări avansate sau chiar spre a se evita asemenea procesări;

- se micșorează proporția de fontă brută din încărcătură;

- se micșorează costul fontei elaborate;

- există chiar tehnologii de elaborare a unor fonte speciale – de exemplu, cele cu grad de aliere mare pentru aluminiu, [20] – care impun utilizarea în încărcătura metalică doar de deșeuri proprii, circumstanțe în care s-ar obține un randament de asimilare al elementelor de aliere acceptabil și un conținut mic de gaze etc.

Deșeurile proprii prezintă și următoarele dezavantaje:

- dacă au proveniență eterogenă, reprezentând mai multe mărci de fontă, măresc riscul de procesare complexă a băii metalice;

- reprezintă sursă de impurificare a fontei elaborate cu incluziuni nemetalice exogene, în special din cauza

amestecului de formare și a amestecului de miez sinterizate pe rețele de turnare, adaosuri tehnologice speciale, maselote și rebuturi. Nisipul ce intră în componența amestecului de formare, amestecului de miez și, în unele cazuri, și a vopselelor refractare – în stare prăfoasă – este de natură cuarțoasă (minimum 97% SiO<sub>2</sub>), cromitică (minimum 45% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), zirconică (minimum 60% ZrO<sub>2</sub>), olivinică (40...50% MgO, 35...45% SiO<sub>2</sub> și maximum 8% FeO), șamotică granulară (minimum 66% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ TiO<sub>2</sub>), etc., [19];

– reprezintă sursă de erodare chimică a căptușelii refractare dacă există diferență de caracter chimic între căptușeala refractară și nisipul sinterizat pe suprafața deșeurilor proprii etc.

Pentru un sort de fontă dat și un tip de piesă sau un grup de piese, proporția de deșeuri proprii se determină cu relația (120).

$$\%DP = \%RT + \%ATS + \%M + \%PR + \%R, \quad (120)$$

în care %DP reprezintă proporția de deșeuri proprii; %RT – proporția de rețele de turnare; %ATS – proporția de adaosuri tehnologice speciale; %M – proporția de maselote; %PR – proporția de pierderi recuperabile; %R – proporția de rebut.

Proporția de rețele de turnare depinde de metoda de turnare, tipul fontei, mărimea pieselor, numărul de piese ce se toarnă într-o formă, natura formei etc.

Proporția de adaosuri tehnologice speciale depinde de geometria pieselor care se toarnă, grosimea de perete a pieselor, destinația pieselor, temperatura de turnare, marca de fontă etc. Adaosurile tehnologice speciale au, în general, scopul de a se evita deformarea pieselor, de a se dirija procesul de solidificare, de a se elimina retasura din piese etc.

Proporția de maselote depinde de masa pieselor, geometria pieselor, grosimea de perete a pieselor, calitatea amestecului de formare, natura formei, marca de fontă, tipul

de maselotă etc.

Suma proporțiilor de rețele de turnare, adaosuri tehnologice speciale și maselote se notează cu RAM – relația (121) – și pentru proiectare se poate admite că are valorile din tabelul 11.

$$\%RAM = \%RT + \%ATS + \%M \quad (121)$$

Pierderile recuperabile se referă la fonta recuperată din scurgeri prin canale generate de neetanșeitarea asamblării semiformelor, exces de metal turnat în forme, stropi, fontă solidificată pe pereții oalelor de turnare și jgheabul de evacuare al cuptorului etc. Se apreciază că pierderile recuperabile sunt de 3...4%.

Proporția de rebut depinde de calitatea amestecului de formare, natura formei, calitatea amestecului de miez, sistemul de armare a formelor și miezurilor, metoda de turnare, calitatea maselotelor, calitatea vopselelor refractare, calitatea utilajelor de formare, gradul de mecanizare a operației de formare, calitatea fontei, modul de aerisire a ramelor de formare, temperatura de turnare, calitatea formelor etc. Proporția de rebut variază între limite foarte largi din cauza numărului mare de factori de care depinde. Proporția de rebut minimă poate avea valori sub 1 iar proporția de rebut maximă poate depăși valoarea de 75. Estimativ, se prezintă în tabelul 12 câteva valori ale proporției de rebut în funcție de destinația pieselor.

În tabelul 11 se prezintă valorile estimative ale proporției de deșeuri proprii pentru diverse grupe de masă ale pieselor.

Proporția de deșeuri proprii se poate determina și din relația (122).

$$\%DP = 100 - I_S, \quad (122)$$

în care  $I_S$  reprezintă indicele de scoatere.



Tabelul 11

**Valori estimative ale sumei proporțiilor de rețele de turnare, adaosuri tehnologice speciale și maselote – %RAM – împreună cu ale proporției deșeurilor proprii – %DP – în funcție de grupa de masă a pieselor.**

Grupa de masă a pieselor	Proporția de RAM	Proporția de deșeuri proprii – %DP
Piese foarte mari	10	18
Piese mari	20	26
Piese mici de serie mare	25	33
Piese mici de serie mică și unicat	40	48

Tabelul 12

**Valori estimative ale proporțiilor de rebut în funcție de destinația pieselor.**

Destinația pieselor	Proporția de rebut
Mașini agricole, mașini și aparate electrotehnice	3
Utilaje energetice clasice	4
Utilaje de transport (vagoane, automobile, tractoare)	5
Utilaje de ridicat	6
Utilaje pentru centrale atomoelectrice	7...8

Indicele de scoatere este o noțiune relativă și reprezintă, de exemplu, raportul dintre masa piesei sau a pieselor obținute dintr-o formă și masa de fontă lichidă care se toarnă în respectiva formă – relația (123).

$$I_s = \frac{m_p}{m_{fl}} \cdot 100, \quad (123)$$

în care  $m_p$  reprezintă masa unei piese brute bună sau a pieselor brute bune obținute dintr-o formă;  $m_{fl}$  – masa fontei lichide turnate în formă.

Prin extensie,  $m_p$  din relația (123) reprezintă masa pieselor brut turnate bune obținute dintr-o șarjă iar  $m_{fl}$

reprezintă masa de fontă lichidă evacuată din cuptor.

Proporția de deșeuri proprii se determină cu relația (124) dacă se ia în considerație și relația (123).

$$\%DP = 100 - \frac{m_p}{m_{fl}} \cdot 100 \quad (124)$$

Dacă, de exemplu, masa pieselor brut turnate, obținute dintr-o șarjă, este de 5.500 kg iar masa de fontă lichidă evacuată din cuptor este de 8.000 kg, proporția de deșeuri proprii are valoarea (125).

$$\%DP = 100 - \frac{5.500}{8.000} \cdot 100 = 31,25 \quad (125)$$

Indicele de scoatere depinde de masa pieselor, tehnologia de formare și turnare, marca de fontă etc., în tabelul 13 prezentându-se valori ale indicelui de scoatere, denumit și coeficient de scoatere sau coeficient de utilizare, pentru patru categorii de fontă, și ale proporției de deșeuri proprii.

Relația (124) nu ține seama de pierderile nerecuperabile ce reprezintă fonta lichidă care este antrenată în zgură în timpul evacuării ei din cuptor, în principal. Asemenea pierderi nerecuperabile sunt de 1...3 kg/t.

Tabelul 13

**Valori ale indicelui de scoatere pentru patru tipuri de fontă și ale proporției de deșeuri proprii calculate cu relația (124).**

Tipul de fontă	Fontă cenușie, conform SR ISO 185	Fontă cu grafit nodular	Fontă maleabilă	Fontă albă
Indicele de scoatere, $I_s$	60...70	50...65	45...55	48...60
Proporția de deșeuri proprii, %DP	30...40	35...50	45...55	40...52

În cazul în care într-o turnătorie se elaborează mai multe mărci de fontă, compoziția chimică a deșeurilor proprii se determină ținând seama de participația procentuală a fiecărui sort de fontă prin prisma deșeurilor proprii. De exemplu, proporția elementului chimic  $E_i$  se determină cu relația (126).

$$\%E_{i_{DP}} = \sum_{j=1}^n \%DP_j \frac{\%E_{i,DP_j}}{100}, \quad (126)$$

în care  $\%E_{i_{DP}}$  reprezintă proporția de element chimic  $E_i$  din deșeurile proprii;  $i$  – numărul de elemente chimice din compoziția chimică a deșeurilor proprii;  $n$  – numărul de sorturi de deșuri proprii ( de mărci de fontă sub formă de deșuri proprii);  $DP_j$  – proporția de deșuri proprii de sort  $j$ ;  $\%E_{i,DP_j}$  – proporția de element chimic  $E_i$  din sortul  $j$  de deșuri proprii.

În general,  $E_i$  reprezintă C, Si, Mn, P, S și elemente chimice de aliere (Ni, Mo, Cr, Mn, Si, V, Ti, W, Al, Cu etc.);  $i$  reprezintă numărul de elemente chimice din compoziția chimică a deșeurilor proprii.

De exemplu, dacă există patru sorturi de deșuri proprii (patru mărci de fontă) –  $n = 4$  – proporția de mangan din deșeurile proprii ( $E_i = Mn$ ) –  $\%Mn_{DP}$  – se calculează cu relația (127), considerând  $\%DP_1 = 10$ ,  $\%DP_2 = 40$ ,  $\%DP_3 = 25$  și  $\%DP_4 = 25$  iar conținuturile de mangan ale celor patru sorturi  $j$  de deșuri proprii fiind:

$$\%Mn_{DP_1} = 0,9, \quad \%Mn_{DP_2} = 1,1, \quad \%Mn_{DP_3} = 1 \text{ și } \%Mn_{DP_4} = 1,3.$$

$$\%Mn_{DP} = 10 \frac{0,9}{100} + 40 \frac{1,1}{100} + 25 \frac{1}{100} + 25 \frac{1,3}{100} = 1,11 \quad (127)$$

Prin urmare, calculându-se proporția de deșuri proprii

prin intermediul relației (120) sau al tabelului 11, al relației (124) sau al tabelului 13, determinarea proporțiilor de sorturi metalice A, B, C și D se realizează prin rezolvarea sistemului (128) în cazul elaborării fontei în cuptoare ce funcționează cu frecvență medie sau mare și prin rezolvarea sistemului (129) în cazul elaborării fontei în cuptoare ce funcționează la frecvența rețelei.

$$\left\{ \begin{array}{l} \%A \cdot \%C_A + \%B \cdot \%C_B + \%C \cdot \%C_C + \%D \cdot \%C_D + \%DP \cdot \%C_{DP} = 100 \cdot < \%C > \\ \%A \cdot \%Si_A + \%B \cdot \%Si_B + \%C \cdot \%Si_C + \%D \cdot \%Si_D + \%DP \cdot \%Si_{DP} = 100 \cdot < \%Si > \\ \%A \cdot \%Mn_A + \%B \cdot \%Mn_B + \%C \cdot \%Mn_C + \%D \cdot \%Mn_D + \%DP \cdot \%Mn_{DP} = 100 \cdot < \%Mn > \\ \%A + \%B + \%C + \%D + \%DP = 100 \end{array} \right. \quad (128)$$

în care  $\%C_{DP}$  reprezintă proporția de carbon din deșeurile proprii;  $\%Si_{DP}$  – proporția de siliciu din deșeurile proprii;  $\%Mn_{DP}$  – proporția de mangan din deșeurile proprii.

$$\left\{ \begin{array}{l} \%A \cdot \%C_A + \%B \cdot \%C_B + \%C \cdot \%C_C + \%D \cdot \%C_D + \%DP \cdot \%C_{DP} + \%FR \cdot \%C_{rem} \geq 100 \cdot < \%C > \\ \%A \cdot \%Si_A + \%B \cdot \%Si_B + \%C \cdot \%Si_C + \%D \cdot \%Si_D + \%DP \cdot \%Si_{DP} + \%FR \cdot \%Si_{rem} \geq 100 \cdot < \%Si > \\ \%A \cdot \%Mn_A + \%B \cdot \%Mn_B + \%C \cdot \%Mn_C + \%D \cdot \%Mn_D + \%DP \cdot \%Mn_{DP} + \%FR \cdot \%Mn_{rem} \geq 100 \cdot < \%Mn > \\ \%A + \%B + \%C + \%D + \%DP + \%FR = 100 \end{array} \right. \quad (129)$$

Sistemele (128) și (129) se rezolvă conform regulilor echivalente rezolvării sistemelor (106), respectiv (113).

Așa cum s-a prezentat anterior, proporția de deșeuri proprii din încărcătură se poate calcula separat de rezolvarea sistemelor (128) și (129).

Ca și deșeurile proprii și **deșeurile de oțel** se pot condiționa într-o încărcătură metalică avându-se în vedere avantajele și dezavantajele utilizării acestora, prezentate la paragraful 2.1.1.a.1. Ținând cont de implicațiile deșeurilor de oțel asupra calității fontei propusă a fi obținută, în tabelul 14 se prezintă câteva recomandări de încărcături metalice pentru fontele obișnuite, semisintetice și sintetice, din care rezultă valori pentru proporția de deșeuri de oțel din încărcătura metalică (situație valabilă pentru cuptoarele cu creuzet), [8].

În cazul în care se calculează sau se adoptă proporțiile

de deșuri proprii – %DP – și de deșuri de oțel – %DO – calculul celorlalte trei proporții de sorturi metalice din încărcătura metalică se face prin rezolvarea unui sistem de trei ecuații și trei necunoscute de tipurile (75) sau (80) și (99), adică sistemele (130) sau (131) pentru cazul în care cuptorul funcționează cu frecvență medie sau mare și sistemele (132) sau (133) pentru cazul în care cuptorul funcționează la frecvența rețelei.

Tabelul 14

**Recomandări de componență a încărcăturii metalice pentru fontele normale, semisintetice și sintetice.**

Tipul de fontă ce se elaborează	Componența încărcăturii metalice, în %
normală	5...25% fontă brută, 30...60% deșuri proprii și 40...70% deșuri de oțel
semisintetică	10...40% deșuri proprii și 60...90% deșuri de oțel
sintetică	100% deșuri de oțel

$$\begin{cases} \%A \cdot \%Si_A + \%B \cdot \%Si_B + \%C \cdot \%Si_C + \%DP \cdot \%Si_{DP} + \%DO \cdot \%Si_{DO} = 100 \cdot \%Si > \\ \%A \cdot \%Mn_A + \%B \cdot \%Mn_B + \%C \cdot \%Mn_C + \%DP \cdot \%Mn_{DP} + \%DO \cdot \%Mn_{DO} = 100 \cdot \%Mn > \\ \%A + \%B + \%C + \%D + \%DP + \%DO = 100 \end{cases} \quad (130)$$

în care %DO reprezintă proporția de deșuri de oțel; %Si<sub>DO</sub> – proporția de siliciu din deșuri de oțel; %Mn<sub>DO</sub> – proporția de mangan din deșurile de oțel.

$$\begin{cases} \%A \cdot \%C_A + \%B \cdot \%C_B + \%C \cdot \%C_C + \%DP \cdot \%C_{DP} + \%DO \cdot \%C_{DO} = 100 \cdot \%C > \\ \%A \cdot \%Si_A + \%B \cdot \%Si_B + \%C \cdot \%Si_C + \%DP \cdot \%Si_{DP} + \%DO \cdot \%Si_{DO} = 100 \cdot \%Si > \\ \%A \cdot \%Mn_A + \%B \cdot \%Mn_B + \%C \cdot \%Mn_C + \%DP \cdot \%Mn_{DP} + \%DO \cdot \%Mn_{DO} = 100 \cdot \%Mn > \end{cases} \quad (131)$$

în care %C<sub>DO</sub> reprezintă proporția de carbon din deșurile de oțel.

$$\begin{cases} \%A \cdot \%Si_A + \%B \cdot \%Si_B + \%C \cdot \%Si_C + \%DP \cdot \%Si_{DP} + \%DO \cdot \%Si_{DO} + \%FR \cdot \%Si_{rem.} \geq 100 < \%Si_{total} > \\ \%A \cdot \%Mn_A + \%B \cdot \%Mn_B + \%C \cdot \%Mn_C + \%DP \cdot \%Mn_{DP} + \%DO \cdot \%Mn_{DO} + \%FR \cdot \%Mn_{rem.} \geq 100 < \%Mn_{total} > \\ \%A + \%B + \%C + \%DP + \%DO + \%FR = 100 \end{cases}$$

(132)

$$\begin{cases} \%A \cdot \%C_A + \%B \cdot \%C_B + \%C \cdot \%C_C + \%DP \cdot \%C_{DP} + \%DO \cdot \%C_{DO} + \%FR \cdot \%C_{rem.} \geq 100 < \%C_{total} > \\ \%A \cdot \%Si_A + \%B \cdot \%Si_B + \%C \cdot \%Si_C + \%DP \cdot \%Si_{DP} + \%DO \cdot \%Si_{DO} + \%FR \cdot \%Si_{rem.} \geq 100 < \%Si_{total} > \\ \%A \cdot \%Mn_A + \%B \cdot \%Mn_B + \%C \cdot \%Mn_C + \%DP \cdot \%Mn_{DP} + \%DO \cdot \%Mn_{DO} + \%FR \cdot \%Mn_{rem.} \geq 100 < \%Mn_{total} > \end{cases}$$

(133)

### **2.1.1.1.f. Calculul analitic al încărcăturii metalice formate din șase sorturi metalice sau mai multe**

În acest caz, de regulă se condiționează proporțiile de deșeuri proprii și de deșeuri de oțel, ceea ce înseamnă că determinarea celorlalte patru sorturi metalice se rezumă la rezolvarea unui sistem cu patru ecuații și patru necunoscute, de exemplu, iar dacă sunt mai mult de șase sorturi metalice în încărcătură, se condiționează proporțiile de deșeuri proprii, de deșeuri de oțel și, după caz, unul sau mai multe sorturi metalice. Așadar, calculul analitic se rezumă, de asemenea, la rezolvarea unui sistem cu patru ecuații și patru necunoscute sau chiar a unui sistem cu trei ecuații și trei necunoscute.

### **2.1.1.2. Metoda grafică de calcul a încărcăturii metalice**

Metoda grafică este consacrată calcului proporțiilor de sorturi metalice în cazul în care încărcătura metalică conține două sau trei asemenea sorturi.

#### **2.1.1.2.1. Încărcătura metalică este formată din două sorturi metalice**

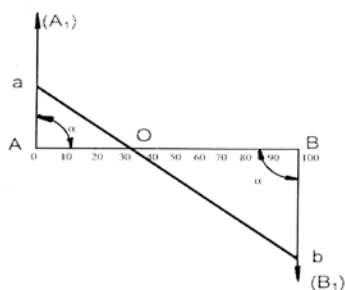
Ca bază de calcul se utilizează elementele chimice siliciul, pe de o parte, și siliciul alături de mangan, pe de altă parte.

### **2.1.1.2.1.a. Utilizarea ca bază de calcul a siliciului – metoda coordonatelor paralele**

Fie A și B cele două sorturi metalice și %A și %B proporțiile respective din încărcătură.

În vederea calculului grafic se determină proporția de siliciu din încărcătură, așa cum s-a prezentat la paragrafele 2.1.1.1.a.1, 2.1.1.1.a.2 și 2.1.1.1.a.3. – <%Si>.

Ulterior, se trasează un segment de dreaptă AB ce se împarte într-o sută de părți egale, ca în figura 8.



**Fig.8. Metoda grafică a coordonatelor paralele de determinare a încărcăturii formată din două sorturi metalice, utilizând ca bază de calcul siliciul.**

Prin punctele A și B se trasează semidreptele  $A(A_1)$  și  $B(B_1)$ , paralele între ele și care formează cu segmentul de dreaptă AB unghiul  $\alpha$ . În figura 8, de exemplu, unghiul  $\alpha$  are 90 grade.

Pe semidreapta  $A(A_1)$  se trasează, la o scară oarecare, segmentul de dreaptă Aa ce reprezintă diferența, în modul, dintre proporția de siliciu a sortului metalic A – %Si<sub>A</sub> – și proporția de siliciu din încărcătură – <%Si>.

Sorturile A și B se aleg în așa fel încât proporțiile de siliciu %Si<sub>A</sub> și %Si<sub>B</sub> să nu fie amândouă mai mici sau amândouă mai mari decât proporția de siliciu din încărcătură. Dacă această condiție nu este îndeplinită, metoda coordonatelor paralele nu se poate utiliza.

Pe semidreapta  $B(B_1)$  se trasează, la aceeași scară la care s-a reprezentat și segmentul de dreaptă  $A(A_1)$ , segmentul de dreaptă Bb ce reprezintă diferența, în modul, dintre

proporția de siliciu a sortului metalic B –  $\%Si_B$  – și proporția de siliciu din încărcătură –  $\langle \%Si \rangle$ .

Se unesc punctele a și b și se notează cu O intersecția segmentului de dreaptă ab cu segmentul de dreaptă AB.

Segmentul de dreaptă AO reprezintă proporția de sort B din încărcătură –  $\%B$  – iar segmentul de dreaptă OB reprezintă proporția de sort A din încărcătură –  $\%A$ .

Dacă sorturile A și B nu se aleg corespunzător în ceea ce privește conținutul de siliciu, segmentul de dreaptă ab nu intersectează segmentul de dreaptă AB și astfel, nu se poate determina componența încărcăturii .

Această metodă se aplică în cazul elaborării fontei în cuptoare ce funcționează la frecvență medie sau mare. În cazul în care elaborarea se realizează în cuptoare ce funcționează la frecvența rețelei, această metodă grafică servește doar la alegerea sortului metalic ce se adaugă în baia metalică remanentă, deoarece proporția din încărcătură a sortului metalic adăugat este diferența dintre 100 și  $\%FR$  (se amintește că  $\%FR$  reprezintă proporția de fontă remanentă lichidă din cuptor).

În cazul în care elaborarea se realizează în cuptoare ce funcționează la frecvența rețelei, modul de lucru este următorul:

- se trasează segmentul de dreaptă AB și se împarte într-o sută de părți egale între ele;

- prin punctele A și B se trasează semidreptele  $A(A_1)$  și  $B(B_1)$ , paralele între ele;

- pe semidreapta  $A(A_1)$  se trasează segmentul de dreaptă Aa ce reprezintă diferența, în modul, dintre proporția de siliciu total din încărcătură –  $\langle \%Si_{total} \rangle$  și proporția de siliciu din fonta remanentă –  $\langle \%Si_{rem} \rangle$ ;

- deoarece proporția de fontă remanentă din încărcătură se cunoaște, se amplasează punctul O pe segmentul de dreaptă AB în așa fel încât



$$BO = \%FR, \quad (134)$$

în care BO este un segment de dreaptă. În mod curent, BO = 30;

– se unesc între ele punctele a și O și se prelungește segmentul de dreaptă aO înspre semidreapta B(B<sub>1</sub>) până ce întâlnește această semidreaptă, notându-se intersecția respectivă cu b;

– pe o aceeași scară ca segmentul de dreaptă Aa, se măsoară segmentul de dreaptă Bb ce reprezintă diferența dintre proporția de siliciu total din încărcătură și proporția de siliciu din sortul metalic ce trebuie adăugat în fonta lichidă remanentă dacă proporția de siliciu din fonta remanentă – %Si<sub>rem.</sub> – este mai mare decât proporția de siliciu total din încărcătură – <%Si<sub>total</sub>> – și reprezintă diferența dintre proporția de siliciu din sortul metalic ce trebuie adăugat în fonta lichidă remanentă și proporția de siliciu total din încărcătură dacă proporția de siliciu din fonta remanentă este mai mică decât proporția de siliciu total din încărcătură;

$$Bb = \langle \%Si_{total} \rangle - \%Si_{sort\ metalic}$$

dacă <%Si<sub>rem.</sub>> > <%Si<sub>total</sub>>, (135)

în care %Si<sub>sort metalic</sub> reprezintă proporția de siliciu din sortul metalic ce trebuie adăugat în fonta lichidă remanentă;

$$Bb = \%Si_{sort\ metalic} - \langle \%Si_{total} \rangle$$

dacă <%Si<sub>rem.</sub>> << <%Si<sub>total</sub>>, (136)

– determinarea proporției de siliciu din sortul metalic ce se adaugă în fonta lichidă remanentă. Astfel, dacă <%Si<sub>rem.</sub>> > <%Si<sub>total</sub>>, %Si<sub>sort metalic</sub> se determină cu relația (137) iar dacă <%Si<sub>rem.</sub>> << <%Si<sub>total</sub>>, %Si<sub>sort metalic</sub> se determină cu relația (138).

$$\begin{aligned} \%Si_{\text{sort metalic}} &= \langle \%Si_{\text{total}} \rangle - Bb, \\ \text{dacă } \langle \%Si_{\text{rem.}} \rangle &> \langle \%Si_{\text{total}} \rangle \end{aligned} \quad (137)$$

$$\begin{aligned} \%Si_{\text{sort metalic}} &= Bb + \langle \%Si_{\text{total}} \rangle, \\ \text{dacă } \langle \%Si_{\text{rem.}} \rangle &< \langle \%Si_{\text{total}} \rangle \end{aligned} \quad (138)$$

Metoda coordonatelor paralele poate fi utilizată și pentru determinarea proporțiilor a două sorturi metalice ce se adaugă în baia de fontă remanentă, în cazul elaborării fontei în cuptoare ce funcționează la frecvența rețelei, dacă se înlocuiește  $\langle \%Si \rangle$ , utilizat la elaborarea fontei în cuptoare ce funcționează la frecvență medie sau mare, cu  $\langle \%Si_{\text{ad}} \rangle$  calculat cu relația (41) și utilizându-se același mod de lucru ca în cazul utilizării  $\langle \%Si \rangle$ .

#### **2.1.1.2.1.b. Utilizarea ca bază de calcul a siliciului și manganului – metoda coordonatelor**

De această dată, se calculează, pe lângă proporția de siliciu din încărcătură –  $\langle \%Si \rangle$  – și proporția de mangan din încărcătură –  $\langle \%Mn \rangle$  –, așa cum s-a prezentat la paragraful 2.1.1.1.b.2.

Se trasează un sistem de axe rectangulare, considerând pe abscisă proporția de siliciu iar pe ordonată proporția de mangan – figura 9.

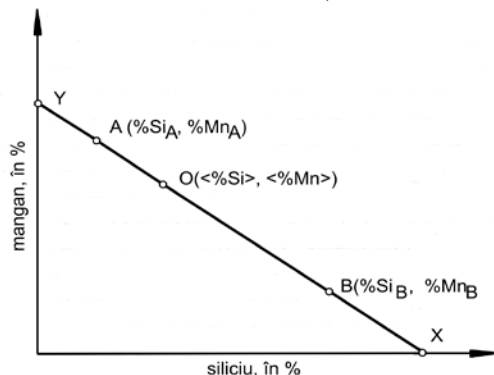
Metoda coordonatelor permite alegerea unui sort metalic – de exemplu B – în funcție de un sort metalic – de exemplu A – deja existent, asigurând și calculul proporțiilor celor două sorturi metalice din încărcătură.

În sistemul rectangular menționat anterior se reprezintă punctul O de coordonate  $\langle \%Si \rangle$ ,  $\langle \%Mn \rangle$  și punctul A de coordonate  $\%Si_A$ ,  $\%Mn_A$ , în care  $\%Si_A$  reprezintă proporția de siliciu din sortul metalic A, sort metalic ales conform criteriilor prezentate la paragraful 2.1.1.1., iar  $\%Mn_A$  reprezintă proporția de mangan din sortul metalic A.

Se unesc punctele A și O și se prelungește segmentul

de dreaptă AO dincolo de punctul O până la intersecția cu abscisa (punctul X).

Punctul A poate fi amplasat și pe ordonată, adică punctul Y, ceea ce înseamnă un sort metalic ce nu are siliciu (de exemplu, fonta brută W.C.I., produsă în Australia ce are max. 0,1% Si – a se consulta tabelul 5).



**Fig.9. Metoda grafică a coordonatelor, de determinare a proporțiilor de două sorturi metalice din încărcătură utilizând ca bază de calcul siliciul și manganul.**

Pe segmentul de dreaptă OX se amplasează punctul B de coordonate  $\%Si_B$ ,  $\%Mn_B$ , în care  $\%Si_B$  reprezintă proporția de siliciu din sortul metalic B iar  $\%Mn_B$  reprezintă proporția de mangan din sortul metalic B. Așadar, conform metodei coordonatelor, sortul metalic B trebuie să aibă conținuturile de siliciu și mangan în așa fel încât punctul B de coordonate  $\%Si_B$ ,  $\%Mn_B$  să fie situat pe segmentul de dreaptă OX. Punctul B poate fi situat și pe abscisă adică poate fi identic cu punctul X, ceea ce ar însemna ca proporția de mangan din sortul metalic B să fie zero, ceea ce practic rămâne doar o tendință (există, însă, fonte brute, cum ar fi, de exemplu, varianta Sorelmetal S100 produsă în Canada – a se consulta tabelul 5 – care are conținutul de mangan foarte mic, respectiv 0,009% pentru cazul exemplificat). Practic, un sort metalic care să aibă

conținuturile de siliciu și mangan ce să facă posibilă amplasarea punctului B de coordonate  $\%Si_B$ ,  $\%Mn_B$  pe segmentul de dreaptă OX este dificil de aflat. De aceea punctul B poate fi amplasat și în apropierea segmentului de dreaptă OX.

Ca și la metoda coordonatelor paralele și la metoda coordonatelor, așa cum s-a specificat și la paragraful 2.1.1.1, valorile proporțiilor de siliciu și mangan ale sorturilor metalice A și B se consideră ca fiind media aritmetică a limitelor minimă și maximă ale intervalelor din standarde, norme de fabricație, fișe de prezentare etc., iar acolo unde valorile sunt prezentate prin minimum sau maximum se aleg valori ce să se încadreze în situațiile respective.

Proporțiile de sorturi metalice A și B –  $\%A$  și  $\%B$  – se determină prin rezolvarea sistemului (139).

$$\begin{cases} \%B = \frac{AO}{BO} \\ \%A + \%B = 100 \end{cases} \quad (139)$$

în care AO reprezintă lungimea segmentului de dreaptă AO iar BO reprezintă lungimea segmentului de dreaptă BO.

Din sistemul (139) rezultă că punctul B nu poate să fie identic cu punctul O deoarece prima ecuație a respectivului sistem nu are sens practic.

Metoda coordonatelor are aplicabilitate practică deoarece, în cazul în care încărcătura metalică este formată din două sorturi metalice și dacă turnătorul dispune doar de un sort metalic, se poate afla foarte ușor cu ce fel de sort metalic trebuie să se realizeze aprovizionarea pentru ca cheltuielile să fie minime în ceea ce privește asigurarea, în fonta propusă a fi elaborată, a conținuturilor de siliciu și mangan. Este evident că achiziționarea sortului metalic trebuie să aibă în vedere și asigurarea conținuturilor de carbon, fosfor și sulf și chiar și a

unor elemente chimice de aliere cu scopul ca cheltuielile cu procesarea băii metalice să fie minime.

Metoda coordonatelor prezentată anterior, la acest paragraf, se referă la elaborarea fontei în cuptoare ce funcționează la frecvența medie sau mare.

În cazul în care elaborarea se realizează în cuptoare ce funcționează la frecvența rețelei, metoda coordonatelor are scopul doar de a afla conținuturile de siliciu și mangan ale sortului metalic ce se imersează în fonta lichidă remanentă deoarece proporțiile celor două sorturi metalice din încărcătură se cunosc (%FR și  $100 - \%FR$ ), iar modul de lucru este următorul:

– în sistemul de axe rectangulare din figura 11 se prezintă punctul O de coordonate  $\langle \%Si_{total}, \%Mn_{total} \rangle$  și punctul A de coordonate  $\langle \%Si_{rem.}, \%Mn_{rem.} \rangle$ ;

– se unesc punctele A și O între ele obținându-se segmentul de dreaptă AO și apoi se prelungește segmentul de dreaptă AO înspre abscisă până la intersecția cu aceasta, notându-se cu X respectiva intersecție;

– pe segmentul de dreaptă OX se reprezintă punctul B de coordonate  $\%Si_{Sm}, \%Mn_{Sm}$ , în așa fel încât să fie îndeplinită relația (140).

$$BO = AO \frac{\%FR}{100 - \%FR} \quad (140)$$

Fiindcă, în mod curent,  $\%FR = 30$  rezultă că relația (140) devine (141).

$$BO = 0,43 AO \quad (141)$$

$\%Si_{Sm}$  reprezintă proporția de siliciu din sortul metalic ce trebuie adăugat în baia de fontă remanentă iar  $\%Mn_{Sm}$  reprezintă proporția de mangan din același sort metalic.

Așadar, în felul acesta, rezultă proporțiile de siliciu și mangan ale sortului metalic ce trebuie adăugat în baia de fontă remanentă, sort metalic ce este puțin probabil să se afle în baza de șarjare a turnătoriei sau chiar să se poată achiziționa prin colaborare. Ca și în cazul prezentat la elaborarea în cuptoare ce funcționează la frecvență medie sau mare, se va prezenta (alege) punctul B cât mai aproape de segmentul de dreaptă OB și în circumstanțele respectării relațiilor (140) și (141).

Dacă se face referință la relația (41), adică la proporția de siliciu din încărcătura adăugată și la relația (142), adică la proporția de mangan din încărcătura adăugată, prin metoda coordonatelor se pot determina proporțiile a două sorturi metalice ce se imersează în baia de fontă remanentă împreună cu conținuturile lor de siliciu și mangan. Concret, punctul O are coordonatele  $\langle \%Si_{ad.} \rangle$ ,  $\langle \%Mn_{ad.} \rangle$  iar modul de lucru este echivalent cu cel prezentat la elaborarea în cuptoare ce funcționează la frecvență medie sau mare.

$$\langle Mn_{ad.} \rangle = \frac{\langle \%Mn_{total} \rangle - \%FR \frac{\langle Mn_{rem.} \rangle}{100}}{100 - \%FR} \cdot 100, \quad (142)$$

în care  $\langle \%Mn_{ad.} \rangle$  reprezintă proporția de mangan din încărcătura adăugată iar  $\langle Mn_{rem.} \rangle$  reprezintă proporția de mangan din baia de fontă remanentă.

#### **2.1.1.2.2. Încărcătura metalică este formată din trei sorturi metalice**

Ca bază de calcul se utilizează elementele chimice siliciu și mangan.

Metoda grafică servește la alegerea tipurilor de sorturi metalice și la calculul proporțiilor de sorturi metalice din încărcătură.

### 2.1.1.2.2.1. Alegerea celor trei sorturi metalice – metoda coordonatelor

Fie că se propune alegerea sorturilor metalice A, B și C.

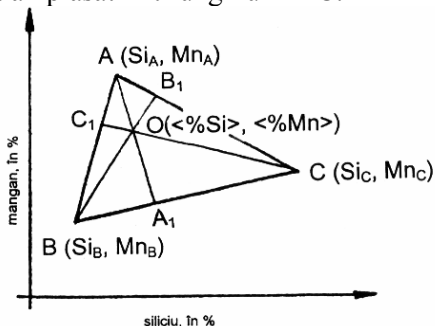
Se consideră un sistem de axe rectangulare – figura 10 – în care se reprezintă pe abscisă proporția de siliciu iar pe ordonată se reprezintă proporția de mangan.

Se reprezintă în sistemul de axe rectangulare menționat punctul O de coordonate  $\langle \%Si \rangle$ ,  $\langle \%Mn \rangle$ , adică coordonate reprezentând proporțiile de siliciu și de mangan din încărcătură, calculate ca la paragrafele 2.1.1.1.a și 2.1.1.1.b.

În jurul punctului O se amplasează punctele A, B și C de coordonatele următoare: A( $\%Si_A$ ,  $\%Mn_A$ ), B( $\%Si_B$ ,  $\%Mn_B$ ) și C( $\%Si_C$ ,  $\%Mn_C$ ). Simbolurile literare au semnificațiile prezentate anterior, în această monografie, adică respectivele coordonate ale punctelor A, B și C reprezintă proporțiile de siliciu și mangan din sorturile metalice A, B și C.

Se unesc, între ele, punctele A, B și C, obținându-se triunghiul ABC.

Cele trei sorturi metalice A, B și C sunt valide dacă punctul O se află amplasat în triunghiul ABC.



**Fig. 10. Metoda grafică a coordonatelor de alegere a trei sorturi metalice și de determinare a proporțiilor a trei sorturi metalice, utilizând ca bază de calcul siliciul și manganul.**

Această metodă, aşadar, permite să se aleagă din baza de şarjare a turnătoriei cele trei sorturi metalice A, B, C, dacă încărcătura metalică este formată din trei sorturi sau să se achiziţioneze prin colaborare cele trei sorturi metalice.

Situaţia prezentată anterior este valabilă pentru elaborarea fontei în cuptoare ce funcţionează la frecvenţă medie sau mare.

În cazul în care fonta se elaborează în cuptoare ce funcţionează la frecvenţa reţelei iar unul din sorturile metalice ale încărcăturii este reprezentat de fonta remanentă în sistemul rectangular din figura 10 se reprezintă mai întâi punctul O de coordonate  $\langle \%Si_{total}, \%Mn_{total} \rangle$ . Ulterior, când se amplasează punctele A, B şi C, unul dintre acestea este cunoscut, deoarece reprezintă coordonatele  $\langle \%Si_{rem}, \%Mn_{rem} \rangle$ , urmând ca celelalte două puncte să fie alese în aşa fel încât punctul O de coordonate  $\langle \%Si_{total}, \%Mn_{total} \rangle$  să se situeze în interiorul triunghiului ABC.

În cazul în care fonta se elaborează în cuptoare ce funcţionează la frecvenţa reţelei iar în baia de fontă remanentă se adaugă trei sorturi metalice, în sistemul rectangular din figura 10 se reprezintă mai întâi punctul O de coordonate  $\langle \%Si_{ad}, \%Mn_{ad} \rangle$ , după care se aleg cele trei sorturi metalice A, B şi C în aşa fel încât punctul O menţionat să se situeze în interiorul triunghiului ABC, punctele A, B şi C fiind de coordonatele următoare: A( $\%Si_A, \%Mn_A$ ), B( $\%Si_B, \%Mn_B$ ) şi C ( $\%Si_C, \%Mn_C$ ).

#### **2.1.1.2.2.2. Calculul proporţiilor celor trei sorturi metalice prin metoda coordonatelor**

În cazul elaborării fontei în cuptoare ce funcţionează la frecvenţă medie sau mare, trebuie să se respecte procedura ce se prezintă în continuare.

Se unesc vârfurile triunghiului ABC cu punctul O şi se prelungesc respectivele segmente de dreaptă (AO, BO şi CO)



până întâlnesc laturile opuse vârfurilor respective, notându-se respectivele intersecții cu punctele  $A_1$ ,  $B_1$  și  $C_1$ , ca în figura 10.

Proporțiile sorturilor metalice A, B și C, respectiv %A, %B și %C, se determină prin rezolvarea sistemului (143).

$$\begin{cases} \frac{\%A}{\%B} = \frac{C_1B}{C_1A} \\ \frac{\%A + \%B}{\%C} = \frac{OC}{OC_1} \\ \%A + \%B + \%C = 100 \end{cases} \quad (143)$$

în care  $C_1B$ ,  $C_1A$ ,  $OC$  și  $OC_1$  reprezintă lungimea respectivelor segmente de dreaptă.

Soluția sistemului (143) este (144).

$$\%A = \frac{OA_1}{AA_1} \cdot 100, \%B = \frac{OB_1}{BB_1} \cdot 100 \text{ și } \%C = \frac{OC_1}{CC_1} \cdot 100 \quad (144)$$

În cazul în care fonta ce se elaborează în cuptoare ce funcționează la frecvența rețelei iar unul din cele trei sorturi metalice din încărcătură este reprezentat de fonta remanentă (de exemplu, sortul A se consideră ca fiind fonta remanentă) prin coroborare cu paragraful 2.1.1.2.2.1., celelalte două proporții de sorturi metalice se determină cu relațiile (145) și (146), la modul general, sau cu relațiile (147) și (148), în cazul în care proporția de fontă remanentă – %FR – este de 30.

$$\%B = \%FR \frac{C_1A}{C_1B} \quad (145)$$

$$\%C = 100 - \%FR \left(1 - \frac{C_1A}{C_1B}\right) \quad (146)$$

$$\%B = 30 \frac{C_1A}{C_1B} \quad (147)$$

$$\%C = 70 - 30 \frac{C_1A}{C_1B} \quad (148)$$

În cazul în care fonta se elaborează în cuptoare ce funcționează la frecvența rețelei iar cele trei sorturi metalice – A, B și C – se adaugă în baia de fontă remanentă, prin coroborare cu paragrafele 2.1.1.2.2.1., proporțiile de sorturi metalice din încărcătură – %A, %B și %C – se determină prin rezolvarea sistemului echivalent cu sistemul (142) a cărui soluție este cea echivalentă relațiilor (143) (se reamintește că în acest caz punctul O are coordonatele <%Si<sub>ad.</sub>>, <%Mn<sub>ad.</sub>>).

### **2.1.1.2.2.3. Calculul celor trei sorturi metalice prin metoda coordonatelor paralele**

În cazul elaborării fontei în cuptoare ce funcționează la frecvență medie sau mare, calculul proporțiilor de sorturi metalice A, B și C, respectiv %A, %B și %C, se realizează apelându-se la modul de lucru ce se prezintă în continuare.

Se trasează un segment de dreaptă EF ce se împarte într-o sută de părți egale – figura 11.

Prin punctele E și F se trasează semidreptele E(E<sub>1</sub>) și F(F<sub>1</sub>), paralele între ele și făcând unghiul α cu segmentul de dreaptă EF.

Pe semidreapta E(E<sub>1</sub>) se amplasează punctele A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub> și C<sub>1</sub>, în așa fel încât EA<sub>1</sub> = OA<sub>1</sub>, EB<sub>1</sub> = OB<sub>1</sub> și EC<sub>1</sub> = OC<sub>1</sub>, OA<sub>1</sub>, OB<sub>1</sub> și OC<sub>1</sub> fiind segmente de dreaptă luate din figura 10.

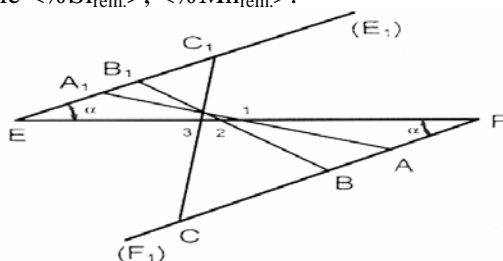
Pe semidreapta F(F<sub>1</sub>) se amplasează punctele A, B și C, în așa fel încât FA = OA, FB = OB și FC = OC, OA, OB și OC fiind segmente de dreaptă luate din figura 10.

Se unesc punctele trasate pe semidreapta E(E<sub>1</sub>) cu punctele trasate pe semidreapta F(F<sub>1</sub>) în modul următor: A<sub>1</sub> cu A, B<sub>1</sub> cu B și C<sub>1</sub> cu C.

Se notează intersecția segmentului de dreaptă  $A_1A$  cu segmentul de dreaptă  $EF$  cu cifra 1, intersecția segmentului de dreaptă  $B_1B$  cu segmentul de dreaptă  $EF$  cu cifra 2 și intersecția segmentului de dreaptă  $C_1C$  cu segmentul de dreaptă  $EF$  cu cifra 3.

Segmentul de dreaptă  $E1$  reprezintă proporția de sort  $A$ , segmentul de dreaptă  $E2$  reprezintă proporția de sort  $B$  iar segmentul de dreaptă  $E3$  reprezintă proporția de sort  $C$ .

În cazul în care elaborarea se realizează în cuptoare ce funcționează la frecvența rețelei, iar, unul din cele trei sorturi metalice din încărcătură este reprezentat de fonta remanentă, pentru determinarea celorlalte două proporții de sorturi metalice, proporția de fontă remanentă fiind cunoscută, se va considera același mod de lucru ca în cazul cuptoarelor ce funcționează la frecvență medie sau mare, cu precizarea că punctul  $O$  din figura 12 are coordonatele  $\langle \%Si_{total} \rangle$ ,  $\langle \%Mn_{total} \rangle$  iar unul din punctele  $A$ ,  $B$  și  $C$  ca avea coordonatele  $\langle \%Si_{rem.} \rangle$ ,  $\langle \%Mn_{rem.} \rangle$ .



**Fig.11. Metoda grafică a coordonatelor paralele de determinare a proporțiilor a trei sorturi metalice, utilizând ca bază de calcul siliciul și manganul.**

În cazul în care elaborarea se realizează în cuptoare ce funcționează la frecvența rețelei iar cele trei sorturi metalice  $A$ ,  $B$  și  $C$  se adaugă în baia de fontă remanentă, pentru determinarea proporțiilor de sorturi metalice  $A$ ,  $B$  și  $C$  –  $\%A$ ,  $\%B$  și  $\%C$  – se va considera același mod de lucru ca în cazul cuptoarelor ce funcționează la frecvență medie sau mare, cu

precizarea că punctul O din figura 12 va avea coordonatele  $\langle \%Si_{ad.} \rangle$ ,  $\langle \%Mn_{ad.} \rangle$ .

### **2.1.1.2.3. Încărcătura metalică este formată din mai mult de trei sorturi metalice**

Calculul proporțiilor de sorturi metalice prin metoda coordonatelor și prin metoda coordonatelor paralele, este posibil pentru maximum trei sorturi metalice.

Metoda coordonatelor și metoda coordonatelor paralele se poate utiliza atât pentru calculul ca atare al proporțiilor celor trei sorturi metalice (după caz, două sorturi) cât și pentru verificarea proporțiilor celor trei sorturi metalice dintr-o încărcătură pentru care calculul s-a efectuat analitic. Mai mult, verificarea prin metoda grafică se poate face pentru proporțiile a trei sorturi metalice în cazul în care încărcătura conține patru sorturi metalice sau mai multe. De exemplu, dacă încărcătura metalică este alcătuită din cinci sorturi metalice – A, B, C, D și DP – ale căror proporții în încărcătura metalică, determinate pe cale analitică sau alte metode decât cea grafică, sunt %A, %B, %C, %D și %DP, verificarea grafică a proporțiilor de sorturi metalice A, B și C, se realizează luând în considerație specificațiile care se prezintă în continuare. Așa, punctul O de coordonate  $\langle \%Si \rangle$ ,  $\langle \%Mn \rangle$ , din figura 10 va avea coordonatele  $Si_{mediu}$ ,  $Mn_{mediu}$ ,  $Si_{mediu}$ ,  $Mn_{mediu}$  fiind conținuturile medii de siliciu și mangan ale celor trei sorturi necunoscute, respectiv %A, %B și %C, adică în triunghiul ABC se va reprezenta punctul O de coordonate

$$\left( \frac{\langle \%Si \rangle}{100} > \left( \frac{\%D \cdot \%Si_D + \%DP \cdot \%Si_{DP}}{100} \right), \frac{\langle \%Mn \rangle}{100} > \left( \frac{\%D \cdot \%Mn_D + \%DP \cdot \%Mn_{DP}}{100} \right) \right),$$

$$\left( \frac{\%A + \%B + \%C}{100} \right), \left( \frac{\%A + \%B + \%C}{100} \right).$$

De asemenea, se precizează că în figura 11, segmentul de dreaptă EF nu se va împărți într-o sută de părți egale, ci în  $(100 - \%D - \%DP)$  de părți egale, ceea ce, prin coroborare cu punctul O de coordonate  $Si_{mediu}$ ,  $Mn_{mediu}$ , va determina obținerea prin metoda grafică a proporțiilor de sorturi metalice A, B și

C, adică %A, %B și %C, respectându-se metodologia de la paragraful 2.1.1.2.2.3. Proporțiile de sorturi metalice A, B și C – %A, %B și %C – se pot obține și aplicând metodologia prezentată la paragraful 2.1.1.2.2.2.

Dacă încărcătura metalică este formată din patru sorturi metalice – A, B, C și DP – ale căror proporții în încărcătura metalică, determinate pe cale analitică sau alte metode decât cea grafică, sunt %A, %B, %C și %DP (de exemplu, sortul A poate fi o fontă brută, sortul B poate fi o altă fontă brută, sortul C poate fi o fontă veche iar sortul DP poate fi reprezentat de deșeurile proprii – în exemplul anterior, corespunzător unei încărcături metalice formate din cinci sorturi metalice, sortul D putea fi reprezentat, de exemplu, de deșeuri de oțel), verificarea grafică a proporțiilor de sorturi metalice A, B și C, se realizează luând în considerație specificațiile ce se prezintă în continuare. Trebuie să se considere în figura 10 punctul O de coordonate  $S_{i\text{mediu}}$ ,  $M_{i\text{mediu}}$ , adică în triunghiul ABC se va reprezenta punctul O de coordonate

$$\left( \frac{\langle \%Si \rangle - \frac{\%DP \cdot \%Si_{DP}}{100}}{\frac{\%A + \%B + \%C}{100}}, \frac{\langle \%Mn \rangle - \frac{\%DP \cdot \%Mn_{DP}}{100}}{\frac{\%A + \%B + \%C}{100}} \right), \text{ adică nu}$$

se va reprezenta punctul O de coordonate  $\langle \%Si \rangle$ ,  $\langle \%Mn \rangle$ . De asemenea, în figura 11, segmentul de dreaptă EF nu se va împărți într-o sută de părți egale, ci se va împărți în  $(100 - \%DP)$  de părți egale. În felul acesta, prin metoda coordonatelor paralele, prin coroborare cu punctul O de coordonate  $S_{i\text{mediu}}$ ,  $M_{i\text{mediu}}$ , se vor determina proporțiile de sorturi metalice A, B și C (conform paragrafului 2.1.1.2.2.3.). Proporțiile de sorturi metalice A, B și C se pot obține aplicând metodologia prezentată la paragraful 2.1.1.2.2.2.

#### **2.1.1.2.4. Verificarea încărcăturii metalice în cazul calculului analitic al încărcăturii metalice**

În funcție de tipul de încărcătură metalică – numărul de sorturi metalice din încărcătură – există situații ca încărcătura metalică să asigure pentru fonta propusă a fi elaborată un element chimic (de obicei, siliciul), două elemente chimice (de obicei, siliciul și manganul) sau trei elemente chimice (de obicei, siliciul, manganul și carbonul). Prin urmare, se pune întrebarea dacă celelalte elemente chimice din compoziția chimică a fontei propusă să fie elaborată sunt asigurate – se încadrează între limitele impuse de standarde, norme, contracte etc.

Deoarece sistemele prezentate la paragraful 2.1.1.1. conțineau ecuații de bilanț ale siliciului, manganului și carbonului, după caz, este evident că pentru asemenea elemente chimice nu se mai pune problema verificării calculului încărcăturii. În schimb, se pune problema verificării fosforului, sulfului, elementelor chimice de aliere, și, după caz, a carbonului și manganului.

#### **2.1.1.3. Metoda tatonării de calcul a încărcăturii metalice**

Metoda tatonării este dictată de considerente practice.

Proporțiile de sorturi metalice ale încărcăturii metalice se stabilesc în funcție de experiența acumulată la elaborarea șarjelor anterioare, disponibilul de deșeuri proprii – cantitate și calitate –, situația existentă a stocurilor de la baza de șarjare, condițiile de aprovizionare, condițiile temporare de asigurare a dimensiunilor optime ale bucăților de sorturi metalice, condițiile speciale de calitate impuse fontei propusă a fi elaborată etc.

După stabilirea proporțiilor de sorturi din încărcătura metalică, urmează calcularea compoziției chimice a fontei ce se obține prin scăderea din proporțiile de elemente chimice din încărcătură (aportul în elementul chimice respectiv al

sorturilor metalice propuse în încărcătura metalică) a proporțiilor de elemente chimice respective care se pierd prin oxidare, sau după caz, luându-se în considerație regenerarea siliciului dacă se impun temperaturi mari de supraîncălzire în stare lichidă în paralel cu mențineri de durată la respectivele temperaturi.

Dacă elementele chimice din compoziția chimică a fontei ce se obține cu încărcătura metalică propusă au conținutul mai mare decât conținuturile de elemente chimice din fonta propusă a fi obținută, de regulă, se reface propunerea de încărcătură metalică. Apelarea la diluarea băii metalice cu oțel este costisitoare.

Dacă elementele chimice din compoziția chimică a fontei ce se obține cu încărcătura metalică propusă au conținutul mai mic decât conținuturile de elemente chimice din fonta propusă a fi obținută, se acceptă componenta propusă pentru încărcătura metalică, urmând ca să se facă corectarea compoziției chimice prin adaos de materiale – feroaliaje, prealiaje, metale brute de aliere, metale rafinate de aliere, materiale carbonice, după caz. Cantitatea de materiale de corectare a compoziției chimice se calculează urmând ca eventualele ajustări să se realizeze în urma determinării compoziției chimice.

### **2.1.2. Pregătirea încărcăturii metalice din punct de vedere calitativ**

Din punct de vedere calitativ trebuie să se aibă în vedere următoarele aspecte:

- depozitarea în condiții necorespunzătoare și de lungă durată determină impurificarea cu pământ, rugină etc. Prin urmare, se impune ca baza de șarjare să fie acoperită și să existe fundație cu pavaj de beton sau metal;

- dezmembrarea necorespunzătoare a ansamblurilor metalice, ceea ce generează impurificarea sorturilor metalice cu metale neferoase, materiale plastice, cauciuc, uleiuri,

materiale textile, piele, cabluri, vopsele, emailuri etc. Prin urmare, se impune ca achiziționarea de sorturi metalice să se facă de la societăți consacrate iar dacă dezmembrarea se face la societatea care deține turnătoria, trebuie avută în vedere eliminarea impurităților menționate anterior.

Nu trebuie să se neglijeze dictonul că cheltuielile efectuate cu eliminarea impurităților la baza de șarjare sunt mai mici decât cele efectuate cu rafinarea fontei lichide;

– o atenție suplimentară trebuie acordată sortării încărcăturii metalice, avându-se în vedere că prezența borului și plumbului în piesele emailate, prezența arseniului, stibiului și plumbului în lagăre, prezența unor elemente de aliere etc., [21], [22], pot determina compromiterea unei fonte, cum ar fi, de exemplu, cazul unei fonte destinată modificării în vederea obținerii grafitului nodular etc.

Tabelul 15

**Durabilitatea căptușelii refractare acide, pentru două grupe de capacități de cuptoare cu creuzet, în cazul a diverse proporții de sorturi metalice puternic oxidate în încărcătură, prin comparație cu o încărcătură metalică neoxidată.**

<b>Cantitatea de sort metalic puternic oxidat, în încărcătură, în %</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>Grupa de capacitate a cuptoarelor, în t</b>
Durabilitatea căptușelii refractare acide, în %	100	95...100	85...95	75...80	65...75	50...65	3...5
	100	90...95	80...90	60...80	50...75	40...60	5...10

– uleiurile, emulsiile și oxizii conțin un volum mare de gaze (de exemplu, uleiul conține și 12...14% hidrogen), ceea ce determină gazificarea fontei și, astfel, înrăutățirea unor



caracteristici ale acesteia. De aceea trebuie aplicate tehnici de eliminare a lor, cum ar fi centrifugarea, spălarea cu apă caldă, metode chimice, preîncălzirea până la eliminarea totală a lor etc.

Prezența oxizilor de fier în încărcătura metalică determină oxidarea unor elemente chimice din faza metalică solidă sau lichidă, o fluiditate mică a fontei lichide, micșorarea unor caracteristici ale pieselor obținute, micșorarea durabilității căptușelii refractare de natură chimică acidă etc. Pentru a puncta afectarea durabilității căptușelii refractare acide, se prezintă în tabelul 15 durabilitatea căptușelii refractare în cazul a două grupe de capacități de cuptoare cu creuzet (fără miez), pentru diferite proporții de sorturi metalice puternic oxidate în încărcătură.

### **2.1.3. Pregătirea încărcăturii metalice din punct de vedere dimensional**

Mărimea bucăților metalice la cuptoarele cu creuzet depinde de frecvența curentului.

Dependența dintre mărimea minimă a bucăților de metal și frecvența curentului, la cuptoarele cu creuzet, se prezintă în tabelul 16.

Tabelul 16

### **Dependența dintre mărimea minimă a bucăților de metal din încărcătură și frecvența curentului, la cuptoarele cu creuzet.**

<b>Frecvența, în Hz</b>	50	500	1.000	2.500	10.000
<b>Dimensiunea medie nominală minimă, a bucăților metalice, în mm</b>	200	70	40	30	14

### **2.1.4. Pregătirea încărcăturii metalice din punct de vedere al gradului de securitate**

Trebuie să se acorde o mare atenție sortării pentru ca

să fie eliminat riscul de introducere în cuptor a materialelor ce ar putea exploda – focoase, proiectile, țevi de arme de diferite calibre, butelii, recipiente cu lichid inflamabil, vase (recipiente) închise, țevi cu umezeală în interiorul lor etc.

Materialele metalice de proveniență militară vor trebui să fie verificate de pirotehnicieni, care ar trebui să elibereze un certificat de utilizare în domeniile civile a respectivelor materiale metalice.

Prezența apei și zăpezii sau gheții în unele sorturi metalice prezintă pericol de explozie în situația în care sorturile metalice respective se introduc în baia de fontă remanentă sau în situația în care acestea se introduc în baia de fontă atunci când este nevoie de încărcări suplimentare din cauza masei specifice mici a sorturilor metalice.

Se recomandă ca materialele metalice de proveniență militară să se încarce în benele consacrate în prezența unei persoane autorizate militară fără ca să se apeleze la depozitarea acestor materiale la baza de șarjare.

### **2.1.5. Pregătirea încărcăturii metalice din punct de vedere al temperaturii**

Sorturile metalice se pot utiliza la temperatura mediului ambiant sau preîncălzite.

Temperatura de preîncălzire a încărcăturii metalice se recomandă să se situeze între limitele 430...650<sup>0</sup>C. Dacă temperatura de preîncălzire este mai mare de 650<sup>0</sup>C se declanșează semnificativ fenomenul de oxidare a fierului. De exemplu, în cazul “extremă” în care temperatura de preîncălzire este de circa 1.100<sup>0</sup>C, pierderile de încărcătură metalică prin oxidare ajung până la 30%. Dacă temperatura de preîncălzire este mai mică decât 430<sup>0</sup>C, apare problema ineficienței economice, adică efectele obținute depășesc cheltuielile efectuate cu preîncălzirea. În tabelul 17 se prezintă pierderile de fier prin oxidare (sub formă de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) și pierderile de masă de sorturi metalice în funcție de

temperatura de preîncălzire a încărcăturii metalice, pentru o situație dată.

Se atrage atenția că în cazul în care temperatura de preîncălzire este mai mare de 800<sup>0</sup>C, se produce și fenomenul de sudare între bucățile metalice.

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ce rezultă prin oxidarea fierului, este sub formă de crustă la suprafața bucăților metalice și se elimină prin desprinderea de bucăți apelându-se și la un curent de aer. Neeliminarea crustelor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> este foarte periculoasă pentru căptușeala refractară acidă, cu care intră în interacțiune chimică și cu care formează compuși chimici ușor fuzibili, astfel, căptușeala refractară acidă distrugându-se treptat.

Se recomandă preîncălzirea încărcăturii metalice datorită următoarelor implicații:

– eliminarea riscului de explozie. Această situație este întâlnită în situațiile în care se realizează încărcarea în baia de fontă remanentă și în cazul în care fonta veche și deșeurile de oțel au masa specifică mică și este nevoie să se facă o încărcare suplimentară, atât în cuptoarele ce funcționează la frecvența rețelei cât și în cele ce funcționează la frecvență medie sau mare;

Tabelul 17

**Pierderile de fier prin oxidare (sub formă de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) și pierderile de masă de sorturi metalice în funcție de temperatura de preîncălzire a încărcăturii metalice.**

<b>Temperatura de preîncălzire a încărcăturii metalice, în °C</b>	260	400	550	650	750	850
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, în % față de încărcătura metalică</b>	0,1	0,2	0,6	3,3	15,0	37
<b>Pierderile de masă pentru încărcătura metalică, în %</b>	0	0	1	3	14	28

Prin preîncălzire este eliminată în totalitate apa care s-ar fi transformat în stare de vapori cu tensiune mare, adică ar fi

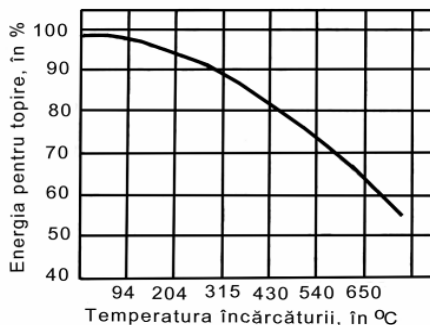
produs explozie, împrôscare de metal lichid și potențial mare de accidentare a personalului care deservea cuptorul;

– eliminarea noxelor ce s-ar fi degajat atât la introducerea încărcăturii metalice solide în baia de fontă remanentă cât și în timpul topirii încărcăturii metalice;

– micșorarea consumului de energie electrică necesară topirii încărcăturii metalice. Graficul din figura 12 indică modul cum scade energia pentru topire o dată cu creșterea temperaturii de preîncălzire a încărcăturii metalice. În ansamblu, consumul de energie electrică se micșorează cu 50...60 kWh/t, [22];

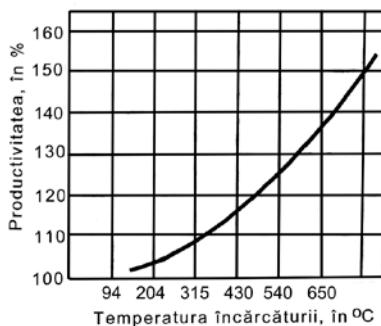
– mărirea durabilității căptușelii refractare datorită micșorării duratei de topire;

– micșorarea masei specifice a încărcăturii metalice datorită faptului că în instalațiile de preîncălzire are loc o tasare a încărcăturii metalice. Astfel, are loc evitarea unor încărcări suplimentare. Scăderea nivelului încărcăturii metalice în instalațiile de preîncălzire face posibilă o încărcare suplimentară a acestora;



**Fig.12. Micșorarea consumului de energie electrică pentru topire o dată cu mărirea temperaturii de preîncălzire a încărcăturii metalice.**

- creșterea productivității cuptorului o dată cu mărirea temperaturii de preîncălzire a încărcăturii, așa cum se observă din figura 13;
- micșorarea duratei de topire;
- eliminarea metalelor și aliajelor neferoase ușor fuzibile din încărcătura metalică;



**Fig.13. Mărirea productivității cuptorului o dată cu creșterea temperaturii de preîncălzire a încărcăturii metalice.**

- micșorarea costului fontei lichide obținute. În acest caz intervine raportul dintre costul energiei electrice și costul combustibilului utilizat pentru preîncălzirea încărcăturii metalice, randamentul instalației de preîncălzire a încărcăturii metalice, puterea calorică a combustibilului utilizat pentru preîncălzire și randamentul electric al cuptorului cu inducție;
- micșorarea duratei de topire. Prin preîncălzirea încărcăturii metalice se acumulează, în general 20...30% din cantitatea de căldură necesară topirii, ceea ce justifică micșorarea duratei de topire;
- micșorarea cantității de zgură datorită conținutului mic de impurități al încărcăturii metalice;
- mărirea fluidității fontei lichide obținută. De exemplu, pentru o fontă dată, fluiditatea poate crește de la 274 mm la 310 mm, adică în proporție de circa 13%, [8]. Mărirea

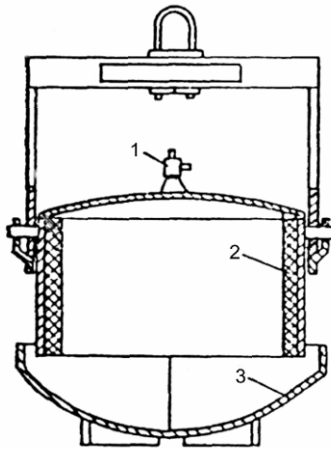
fluidității se datorează, în principal, micșorării conținutului de impurități din fonta lichidă, în special, a incluziunilor nemetalice greu fuzibile. Aceste 13% de fluiditate suplimentară pot fi hotărâtoare pentru obținerea unor piese cu pereții foarte subțiri;

– mărirea rezistenței la tracțiune. De exemplu, pentru o fontă dată, rezistența la tracțiune a crescut de la  $163 \text{ N/mm}^2$  la  $195 \text{ N/mm}^2$ , respectiv cu circa 19,6%, adică semnificativ. Creșterea rezistenței la tracțiune are la bază micșorarea conținutului de gaze dar și de alte impurități, ceea ce determină micșorarea cantității de incluziuni nemetalice de la limita dintre grăunții metalografici – oxizi, nitruri dar și hidruri;

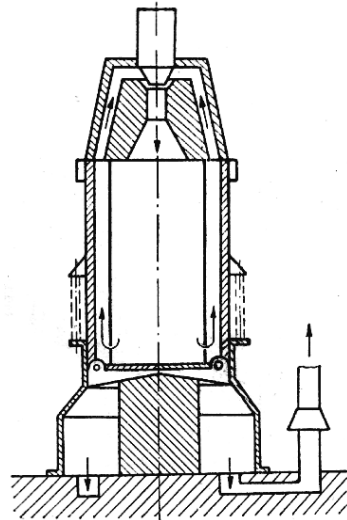
– mărirea rezistenței la încovoiere. De exemplu, pentru o fontă dată, rezistența la încovoiere a crescut de la  $686 \text{ N/mm}^2$  la  $872 \text{ N/mm}^2$ , respectiv cu 27%. O asemenea creștere poate determina trecerea unei fonte dintr-o marcă în alta. Explicația unei asemenea creșteri este similară celei de la aliniatul anterior etc.

Preîncălzirea încărcăturii se realizează în instalații consacrate care utilizează ca sursă calorică arderea unor combustibili. Instalațiile de preîncălzire au randamentul termic situat în intervalul 25...35%, randament ce poate fi mărit prin asigurarea recirculării gazelor de ardere care preîncălzesc aerul ce alimentează arzătoarele.

Indiferent de tipul instalației de preîncălzire a încărcăturii metalice se recomandă un coeficient de consum de aer mic pentru ca să scadă puterea oxidantă a gazelor de ardere. De exemplu, micșorarea coeficientului de consum de aer de la

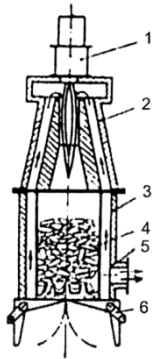


**Fig.14. Instalație de preîncălzire, tip benă căptușită refractar. 1 – arzător; 2 – căptușeală refractară; 3 – sistem de descărcare.**

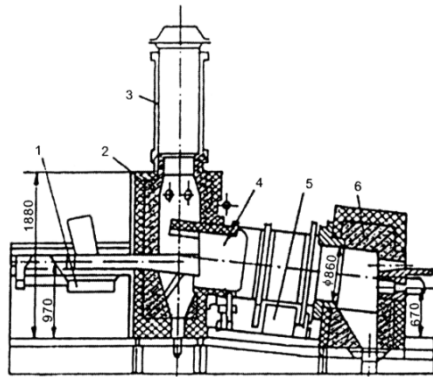


**Fig.15. Instalație de preîncălzire, tip benă cu muflă .**

valoarea 1 la valoarea 0,25, determină micșorarea conținutului de  $\text{CO}_2$  din gazele de ardere, de la 22,5% la 0,2%, în paralel cu creșterea conținuturilor de  $\text{CO}$  și  $\text{H}_2$ , ceea ce înseamnă micșorarea caracterului oxidant al gazelor de ardere și, astfel, micșorarea pierderilor de metal prin oxidare din încărcătura metalică. Conform [10], micșorarea coeficientului de consum de aer de la valoarea  $i$  la valoarea 0,5, conduce la micșorarea pierderilor prin oxidare a încărcăturii metalice de 5...7 ori, pentru o situație dată.



**Fig.16. Instalatie de preincalzire tip bena cu mufla. 1 – arzator; 2– camera tronconică cu arzator; 3 – bena cu mufla; 4 – coș pentru evacuarea gazelor; 6 – mecanism pentru deschiderea benei.**



**Fig.17. Instalatie de preincalzire a spanului și aschiilor, tip cuptor rotativ. 1 – instalatie de incalzire; 2 – incinta de captare a gazelor de ardere; 3 – recuperator de caldura cu radiatii; 4 – cuptor rotativ; 5 – sistem de antrenare a cuptorului; 6 – focar.**

Preincalzirea incarcaturii metalice se realizeaza în preincalzitoare statice de tipul benelor metalice – figurile 14, 15 și 16 – și în preincalzitoare mobile de tipul cuptoarelor rotative, acestea din urmă fiind consacrate pentru preincalzirea spanului și a aschiilor – figura 17, [6], [23].

Preincalzirea incarcaturii se refera și la preincalzirea adaosurilor metalice – a feroaliajelor, prealiajelor, metalelor brute de aliere, metalelor rafinate de aliere dar și a unor materiale nemetalice cum ar fi carbura de siliciu etc. În figura 18 se prezintă schița unei instalatii de preincalzire și incalzire a materialelor metalice de adaos (în vederea de sus a talerului se observă și posibilitatea de compartimentare a talerului în așa fel încât materialele de adaos preincalzite să poată fi



introduse în baia metalică în mod individual și preîncălzire a materialelor metalice adaos prin intermediul căldurii radiate de baia metalică din cuptor dar și rezultate din câmpul electromagnetic emis de inductor, [24]. Conform figurii 19, materialele metalice de adaos se introduc într-un capac de protecție special, urmând ca să fie scoase atunci când s-a atins temperatura de preîncălzire, [23].

În figura 20 se prezintă un caz particular al sistemului de preîncălzire din figura 19, respectiv introducerea materialelor metalice de adaos ambalate în saci de plasă de sârmă, de această dată între materialul metalic de adaos și cavitatea cuptorului ne mai interpunându-se plăci metalice perforate greu fuzibile etc.

#### **2.1.6. Pregătirea încărcăturii din punct de vedere geometric**

Din punct de vedere geometric se va avea în vedere absența din încărcătura metalică a bucaților care au proeminențe ascuțite. Acestea sunt foarte periculoase deoarece pot deteriora pătrunderea lor în căptușeala refractară granulară și, astfel, crearea unui potențial mare de risc în ceea ce privește pătrunderea fontei lichide până la contactul cu inductorul de cupru și, în acest mod, producerea de explozie – topirea cuprului, realizarea contactului direct apă-fontă lichidă supraîncălzită și degajarea vaporilor de apă cu tensiune de vapori foarte mare.

Se precizează atenția mărită ce trebuie acordată deșeurilor de oțel ce provin de la sectorul de deformare plastică dar și barelor de lungime mai mare și cu diametrul mic.

#### **2.1.7. Pregătirea încărcăturii din punct de vedere al stării de agregare**

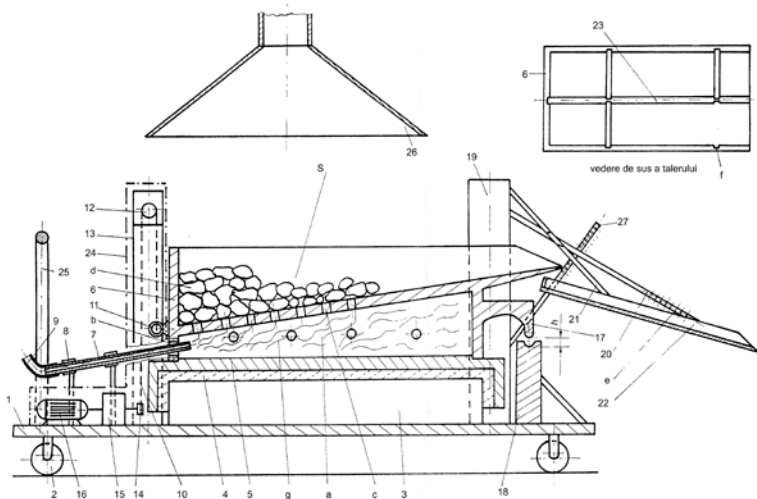
Cuptoarele cu inducție pot avea ca destinație și doar rolul de supraîncălzire și de procesare a fontei în stare lichidă,

în cazul în care cuptorul este integrat în sistemele de elaborare duplex sau triplex. În asemenea cazuri încărcătura metalică este în stare de agregare lichidă.

Fonta lichidă, ca încărcătură, poate proveni de la cubilou, cuptor electric cu încălzire prin arc, cuptor cu flacăra având vatra fixă, cuptor rotativ, furnal, convertizor etc., aceste agregate de elaborare aflându-se de regulă în dotarea societăților comerciale, amplasarea fiind în secția în care este amplasat cuptorul cu inducție, dar și în alte secții. În incinta unei societăți comerciale, fonta lichidă se poate transporta în oala de turnare prin intermediul platformelor tip vagon (pe cale ferată de rulare), dar și în vagoane special amenajate. În asemenea situații nu se pune problema micșorării critice a temperaturii fontei lichide în timpul transportului de la agregatul primar de elaborare la cuptorul cu inducție.

Fonta lichidă, ca încărcătură, însă, poate proveni de la furnal ce este amplasat în altă localitate decât localitatea în care se află situată societatea comercială ce deține cuptorul cu inducție. Transportul fontei lichide elaborată în furnal se realizează pe calea ferată, prin intermediul unor vagoane special amenajate, [25], în care pierderile de temperatură ale fontei lichide sunt, de exemplu, de  $7^{\circ}\text{C}/\text{h}$ , în cazul unui vagon cu capacitatea de 150 t și de  $5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ , în cazul unui vagon cu capacitatea de 420 t. Aceste pierderi de temperatură pot fi micșorate prin folosirea de materiale refractare de căptușire cu proprietăți refractare și termoizolante superioare, și, de asemenea, prin încălzire, în timpul transportului, de natură electrică.

Aceeași fontă lichidă elaborată în furnal poate fi transportată și pe cale rutieră, prin intermediul autotrenurilor special dotate, distanța acoperită prin transport ajungând până la 440 km, [26].

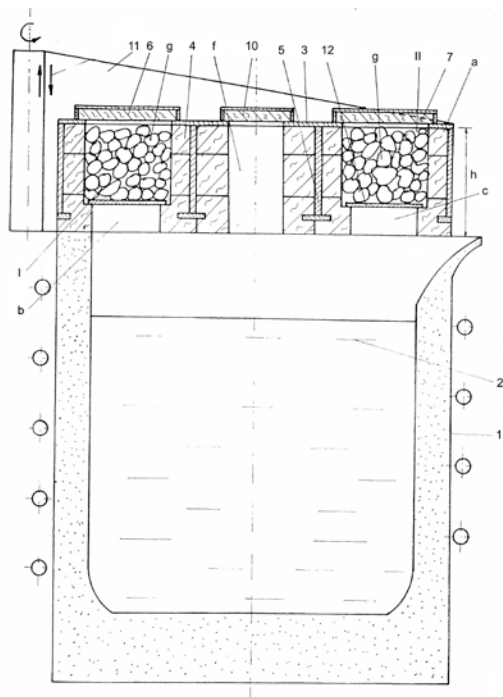


**Fig.18. Instalație de preîncălzire și încărcare. 1 – cărucior; 2 – roți de rulare; 3 – cântar; 4 – placă izolată termic; 5 – placă de susținere; 6 – perete frontal al talerului; 7 – arzător; 8 – sistem de susținere; 9 – tub flexibil; 10 – cablu de antrenare; 11 – articulație; 12 – scripete fix; 13 – pârghie de susținere; 14 – tambur de înfășurare; 15 – reductor; 16 – motor electric; 17 – cap de basculare; 18 – suport de basculare; 19 – coloană de susținere; 20 – brațe de susținere I; 21 – brațe de susținere II; 22 – jgheab; 23 – plăci separatoare; 24 – manta de protecție; 25 – cadru de manevrare; 26 – hotă de aspirație; 27 – suport oblic; a – cameră; b – orificiu; c – orificii; d – încărcătură metalică; e – orificii de reglare; f – canale; g – gaze de ardere; h – distanță.**

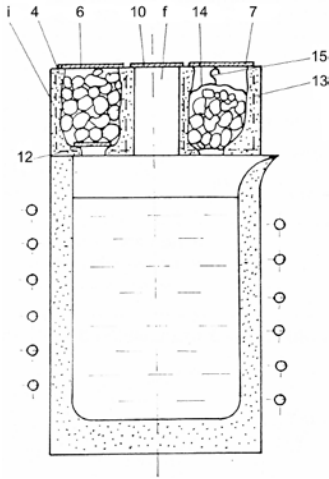
Se precizează, de exemplu, cum costul specific al fontei lichide obținută în furnal și procesată în cuptorul cu inducție este mai mic cu circa 9% decât aceeași fontă lichidă elaborată doar în cuptorul cu inducție.

Încărcătura metalică poate fi alcătuită și dintr-un amestec de oțel lichid elaborat în convertizor și fontă lichidă elaborată în alt agregat de elaborare decât cuptorul cu inducție. Sursa bibliografică [26] indică o firmă – K. Gotwald – care

utilizează în încărcătură un amestec lichid de fontă lichidă elaborată în furnal și oțel lichid elaborat în convertizor, respectivul amestec în stare lichidă fiind transportat pe calea ferată cu un vagon special.



**Fig. 19.** Schița sistemului de preîncălzire a adaosurilor metalice în capacul cuptorului cu inducție cu creuzet, materialul de adaos fiind izolat de incinta cuptorului. 1 – cuptorul cu inducție; 2 – fontă lichidă; 3 – manta metalică; 4 – material refractar; 5 – armătură; 6, 7, 8 și 9 – capace de protecție a incintelor de preîncălzire; 10 – capac de protecție a orificiului de intervenții în cuptor; 11 – braț de susținere; 12 – plăci perforate greu fuzibile de susținere a materialului de adaos; a – material refractar fasonat; b, c, d și e – orificii de radierie a căldurii; f – orificiu de lucru; g – material de adaos; h – înălțimea capacului.



**Fig.20. Schița sistemului de preîncălzire a adaosurilor metalice în capacul cuptorului cu inducție cu creuzet, materialul metalic nefiind izolat de incinta cuptorului. 13 – oțel beton de armare; 14 – sac de plasă de sârmă; 15 – cârlig de ancorare-manevrare; i – ciment refractar.**

Este evident că nu sunt excluse încărcăturile compuse din sorturi metalice solide și sorturi metalice lichide, ordinea de încărcare recomandată fiind componenta metalică solidă, mai întâi, și apoi componenta metalică lichidă care se introduce în cuptor numai după ce componenta solidă a fost preîncălzită în cuptor.

## **2.2. Pregătirea încărcăturii nemetalice**

Încărcătura nemetalică se pregătește din următoarele puncte de vedere: calitativ, dimensional și cantitativ.

### **2.2.1. Pregătirea încărcăturii nemetalice din punctul de vedere calitativ**

Materialele de carburare și de reducere trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- să aibă un conținut cât mai mic de sulf deoarece sulful din materialele de carburare are același grad de asimilare în fontă ca și carbonul. Prin urmare, dacă fonta care se elaborează în cuptor are ca destinație modificarea în

vederea obținerii grafitului nodular, trebuie ca materialele de carburare să aibă conținutul de sulf foarte mic;

– conținut minim de cenușă. Cenușa micșorează gradul de asimilare a carbonului în fontă (formează la suprafața particulelor de material de carburare un strat de oxizi în stare lichidă care frânează difuzia carbonului, [8]), micșorează viteza de dizolvare a carbonului în fontă, [39], determină creșterea conținutului de incluziuni nemetalice din fontă, micșorează durabilitatea căptușelii refractare, afectează viscozitatea zgurii, mărirind-o sau micșorând-o excesiv, de exemplu etc.;

– umiditatea minimă. Excesul de umiditate mărește potențialul de explozie la contactul materialului cu fonta lichidă – materialele de carburare se introduc la suprafața băii metalice, în principal –, reprezintă o sursă de hidrogen pentru fonta lichidă, hidrogenul fiind considerat o impuritate pentru toate fontele, micșorează cantitatea de carbon fix din materialul de carburare, adică elementul chimic care este urmărit să fie asimilat de către fontă. Se recomandă ca umiditatea să nu depășească 0,5%;

– porozitatea minimă – maximum 30%. O porozitate mare generează creșterea suprafeței de contact dintre carbon și oxigen, ceea ce înseamnă accelerarea oxidării carbonului și, astfel, micșorarea vitezei de asimilare a carbonului și a randamentului de asimilare;

– materii volatile în concentrație maximă. Materiile volatile sunt componente neecologice, micșorează concentrația de carbon fix din materialul de carburare, micșorează siguranța în folosire a materialelor de carburare etc.

– azotul în concentrație minimă. Se apreciază că 15...50% din conținutul de azot din materialele de carburare trec în fontă. Dacă, în fontă, conținutul de azot depășește 0,01% (100 ppm), [28], riscul de apariție a porozității în pereții groși este iminent etc.;

– se preferă materialele cristaline (nu amorfе) deoarece acestea necesită un consum de energie mai mic pentru asimilare;

– conținut maxim de carbon fix. Conținutul de carbon fix, definit în procente, ca diferența dintre 100%, pe de o parte, și suma dintre conținuturile de cenușă, apă și volatile, pe de altă parte, asigură, în situația când are valori foarte mari – aproape de 100% – o impurificare minimă a fontei, randament de asimilare a carbonului mare, consum mic de material de carburare etc.

Materialele de carburare de calitate superioară – care răspund la condițiile prezentate anterior – generează o serie întreagă de consecințe pozitive asupra procesului de elaborare a fontei, ceea ce conduce la concluzia generală că prezența deșeurilor de oțel în încărcătura metalică, determină pe lângă implicațiile pozitive prezentate la paragraful 2.1.1.1.a, și următoarele avantaje create de utilizarea în sine în încărcătură nemetalică a materialelor de carburare, în special a celor prezentate în tabelul 6.4, cu predilecție produsele de tip Desulco sau cele asemănătoare lor din punctul de vedere al compoziției chimice și claselor granulometrice:

– tendință mică de albire a fontei dacă materialul este cristalin;

– micșorează consumul de material de carburare;

– micșorează consumul de energie electrică;

– se micșorează valorile de contracție ale fontei în cazul în care materialul este cristalin;

– micșorează consumul de inoculant;

– micșorează consumul de modificador – în special FeSiMg – în cazul modificării fontei în vederea obținerii fontei cu grafit nodular;

– micșorează uzura căptușelii refractare a cuptorului;

– micșorează proporția de deșuri de oțel din încărcătura metalică;

- micșorează timpul de evacuare a fontei lichide din cuptor;
- micșorează riscul de impurificare a fontei cu incluziuni de zgură;
- generează efecte de premodificare în cazul elaborării fontelor modificate cu grafit nodular și vermicular;
- îmbunătățește structura metalografică, eliminând riscul de apariție în structură a cementitei libere și altor carburi, grafit fin datorită obținerii unor germeni de grafitizare de tip (Mn, X)S, în care X reprezintă un element chimic, defavorizarea obținerii de grafit de tip D (punctiform, interdendritic de subrăcire, conform ASTM) etc.;
- mărește productivitatea cuptorului;
- solubilitatea rapidă a carbonului în fontă chiar și în condiții de grad de agitare mic al băii metalice;
- grad de repetabilitate mare;
- cantitate mică de zgură etc.

La toate consecințele pozitive prezentate anterior se adaugă caracterul reducător al materialelor de carburare, al micșorării conținutului de FeO din zgură și încărcătură, ceea ce și explică o parte din consecințele pozitive prezentate anterior.

### **2.2.2. Pregătirea încărcăturii nemetalice din punct de vedere dimensional**

Fiecare societate care produce materiale de carburare și reducere asigură, de regulă, prin ofertă, modalitățile de prezentare/livrare, ofertă ce poate fi impusă și de către beneficiar.

Materialele de carburare și reducere se utilizează sub formă de granule și pelete.

În general, respectivele materiale se livrează cu următoarea structură granulometrică:

- clasă foarte mică: 0,1...1,0 mm, 0,2...1 mm, 0,18...0,85 mm, 1...3 mm;



– clasă mică – 1...4 mm, 0,5...3 mm, 0,6...3,35 mm, 0,21...4,75 mm, 1...5 mm și 0...5 mm;

– clasă mare – 3...8 mm, 4...10 mm, 0,21...9,5 mm și 0...10 mm, [28].

Sursa bibliografică [27] indică o granulație ce să fie cuprinsă în intervalul 0,2...12,0 mm.

În cazul în care materialele de carburare și reducere sunt sub formă de pelete sau brichete intervin și lianți ce determină aderența particulelor între ele, dar și adaosurile active. De exemplu, carbura de siliciu tehnică, livrată la nivelul anului 2006, de către societatea “Casirom” din România, există și în variantele de brichete, marca SiC.75...88%, și de brichete cu adaosuri active, marca SiCBC.65...75%. Aceeași societate livrează carbura de siliciu tehnică cu următoarele clase granulometrice: SiC.88...92% 0...10 mm, SiC.88...92% 1...10 mm, SiC.88...92% 2...1mm, SiC.88...92% 0...10 mm și SiC.88...92% 0...2 mm.

### **2.2.3. Pregătirea încărcăturii nemetalice din punct de vedere cantitativ**

Calculul materialelor de carburare se prezintă la paragraful 6.

#### **2.2.3.1. Calculul cantității de material de reducere**

##### **2.2.3.1.a. Schema logică**

Conform [10], în cazul amestecului reducător format din 90% deșeuri de carbură de siliciu tehnică ce conțin 80...85% SiC, 5% var și 5% fluorină, se calculează în %, în funcție de conținutul de FeO din încărcătura metalică, ca în figura 21. Pe lângă rolul de agent reducător, amestecul reducător determină și carburarea fontei cu maximum 0,15% dacă amestecul reducător ajunge la 2,5 kg/100 kg încărcătură metalică.

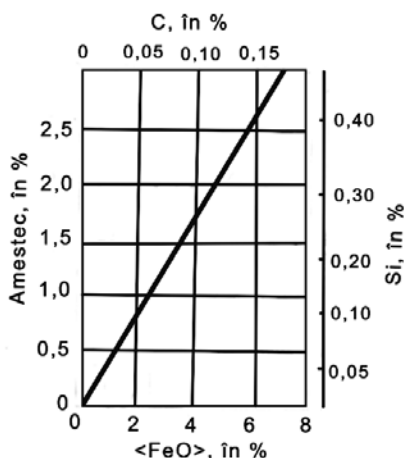


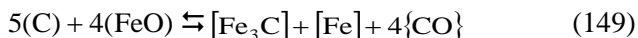
Fig. 21. Calculul cantității de amestec reducător de deșuri de carbură de siliciu, var și fluorină în funcție de cantitatea de FeO din încărcătura metalică împreună cu carburarea și silicierea fontei determinate de respectivul amestec. <FeO> – cantitatea de FeO din încărcătură.

Reacția chimică (6.9) indică, în cazul utilizării în încărcătură a deșeurilor de carbură de siliciu, creșterea conținutului de siliciu în fontă cu maximum 0,4%, creștere corespunzătoare unui adaos de 2,5 kg de deșuri de carbură de siliciu la 100 kg încărcătură metalică, pentru o fontă dată, de exemplu.

Un calcul stoichiometric al necesarului de material de reducere, apelându-se la reacția chimică de reducere a FeO (6.9), nu se utilizează din cauza condițiilor particulare existente între reactanți – suprafață de contact variabilă, neomogenitatea compoziției chimice a deșeurilor de carbură de siliciu tehnică, neuniformitatea prezenței FeO pe suprafața bucăților de metal din încărcătură etc. Însă, orientativ, calculul stoichiometric se realizează, rezultatele obținute fiind amendate de condițiile particulare ale încărcăturilor metalică și nemetalică – grad de oxidare al încărcăturii, compoziția chimică a deșeurilor de carbură de siliciu tehnică dar și compoziția chimică a fazei metalice etc.

Procesul de reducere a FeO, în cazul utilizării materialelor de carburare de tipul celor prezentate în tabelele

34 și 35, se estimează că are loc conform reacției chimice (149).



Calculul stoichiometric al necesarului de carbon pentru reducere – material de carburare – este orientativ, dar poate fi utilizat ca bază de calcul, motivele fiind cele prezentate pentru reacția chimică (6.9).

O parte din cantitatea de carbon introdusă în cuptor de către materialul de reducere se pierde prin oxidare la CO și CO<sub>2</sub>.

Pierderile de carbon din materialul de reducere ar putea fi considerate, estimativ, în funcție de conținutul de cenușă al materialelor de reducere, ca în tabelul 18.

Tabelul 18

**Pierderile estimative de carbon din materialele de reducere prin oxidare la CO și CO<sub>2</sub>, în funcție de conținutul de cenușă al materialelor de reducere.**

<b>Cantitatea de cenușă, în %</b>	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10,0	15,0	18,0
<b>Pierderile de carbon prin oxidare, în %.</b>	1...9	2...11	4...13	7...16	10...19	12...20	20...30	29...40	40

Se apreciază că datorită faptului că rugina se află la suprafața bucăților de metal, probabilitatea ca elementul chimic carbon să difuzeze în matricea metalică a bucăților de metal, atunci când temperatura o permite, este mică. Doar dacă s-ar utiliza material de reducere în exces, ar exista disponibilități de dizolvare a carbonului în austenită (după

cum s-a prezentat la un paragraf anterior, în ferită nu este posibil).

Prin urmare, la cantitatea de material de reducere ce rezultă din calculul stoechiometric se adaugă și pierderile de carbon prin oxidare prezentate în tabelul 18.

Condițiile termodinamice de reducere a FeO cu C se asigură de temperaturile de minimum 730°C, [39], reacția chimică fiind (150).



FeO rezultă din reducerea cu carbon a Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> – reacția chimică (151).



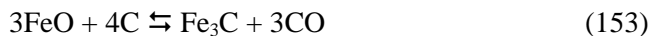
Conform [18], pentru reacția (150),  $\Delta G_T^0 = 157.613 - 157,22 T$ , din care rezultă că temperatura minimă de reducere este, de asemenea, de 730°C, iar pentru reacția chimică (151),  $\Delta G_T^0 = 206.215 - 214,4 T$ , din care rezultă că temperatura minimă de reducere este de 687°C.

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> care rezultă din rugină este redus foarte ușor de către carbon, conform [39], reacția fiind (152).



Pentru reacția (152),  $\Delta G_T^0 = 181.650 - 235,3 T$ , de unde rezultă că temperatura minimă de reducere este de 499°C.

În timpul topiri este posibilă și desfășurarea reacției chimice (153).



Pentru reacția (153),  $\Delta G_T^0 = 301.360 - 220 T$ , de unde rezultă că temperatura minimă de reducere este de  $1.097^{\circ}\text{C}$ , adică în apropierea temperaturii solidus din diagrama de echilibru termodinamic Fe-C.

$\Delta G_T^0$  din relațiile anterioare reprezintă variația de entalpie liberă la temperatura T, în condiții standard – presiunea de o atmosferă –, iar T reprezintă temperatura care se exprimă în grade Kelvin – K.

Rugina care poate fi acceptată ca fiind formată din FeO-OH, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> și Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, poate suporta și reacția chimică (154), reacție care are un efect termic mai mic decât reacția chimică (150) – + 109.000 J/mol față de + 157.613 J/mol.



O dată introdus materialul de reducere în cuptor, o parte din carbon arde incomplet din cauza deficitului de oxigen, reacția de ardere incompletă fiind accelerată pe măsură ce temperatura crește (CO este stabil termodinamic la temperaturi mari) – reacția (155).



Monoxidul de carbon rezultat din reacția chimică (155) generează reducerea Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> și FeO ce rezultă din rugină sau din procese de reducere – reacțiile chimice (156) și (157).



Pentru relația (156),  $\Delta G_T^0 = 35.427 - 40,2 T$ , de unde rezultă că temperatura minimă de reducere este de  $608^{\circ}\text{C}$ , iar

pentru reacția (157),  $\Delta G_T^0 = -13.175 + 17,23T$ , de unde rezultă că temperatura minimă de reducere este de 492°C.

Din prezentarea fenomenelor de reducere, cu probabilitate mare de desfășurare, rezultă că fenomenul de reducere este foarte complex și un calcul stoechiometric este dificil de realizat.

Orientativ, dacă se consideră reacția chimică (149), pentru un cuptor cu inducție cu capacitatea de 12.000 kg, o încărcătură metalică cu 1% FeO, cantitatea de carbon necesară reducerii,  $Q_{C_{red.}}$ , calculată stoechiometric, este dată de relația aplicativă (158).

$$Q_{C_{red.}} = \frac{1}{100} \cdot 12.000 \cdot \frac{5 \cdot M_C}{4 \cdot M_{FeO}}, \quad (158)$$

în care  $M_C$  – masa moleculară a carbonului;  $M_{FeO}$  – masa moleculară a FeO.

Cantitatea de FeO din încărcătură –  $\langle \%FeO \rangle$  – are valoarea de maximum 1% dacă încărcătura metalică nu este preîncălzită sau este preîncălzită până la temperatura de circa 200°C, 1-2% dacă încărcătura metalică este preîncălzită în intervalul de temperaturi 200–400°C și 2–35% dacă încărcătura metalică este preîncălzită în intervalul de temperaturi 400-900°C.

Calculule, conform relației aplicative (158) determină  $Q_{C_{red.}} = 25$ kg carbon/12.000 kg încărcătură metalică.

Dacă se face reducerea cu cocs de petrol grafitat, trebuie să se ia în considerație cantitatea de cenușă de 0,7% și cantitatea de carbon fix de 98,5%.

Din tabelul 18 rezultă că pierderile de carbon prin oxidare sunt de 10%.

Cantitatea de material de reducere,  $Q_{mr}$ , se determină cu relația (159).

$$Q_{mr} = \frac{Q_{C_{red}}}{\%C_{mr} \cdot (100 - a_C)} \cdot 10^4, \quad (159)$$

în care  $a_C$  reprezintă pierderile de carbon prin oxidare.

Apelând la relația aplicativă (160) rezultă necesarul de cocs de petrol grafitat.

$$Q_{mr} = \frac{25}{98,5 - (100 - 10)} \cdot 10^4 = 28,2 \text{ kg de cocs petrol grafitat/12.000 kg încărcătură metalică} \quad (160)$$

Așadar, o dată cu încărcătura, trebuie să se introducă și 28,2 kg de cocs petrol grafitat, în circumstanțele exemplului dat.

### **2.2.3.1.b. Rularea programului**

PREGATIREA INCARCATURII NEMETALICE DIN PUNCT DE VEDERE CANTITATIV

Calculul materialelor de carburare se prezintă la paragraful 6.

CALCULUL CANTITATII DE MATERIAL DE REDUCERE

Conform [10], în cazul amestecului reducător format din 90% deșeuri de carbură de siliciu tehnică ce conțin 80...85% SiC, 5% var și 5% fluorină,

se calculează în %, în funcție de conținutul de FeO din încărcătura metalică, ca în figura 21.

Pe lângă rolul de agent reducător, amestecul reducător determină și carburarea fontei cu maximum 0,15% dacă amestecul reducător ajunge la 2,5 kg/100 kg încărcătură metalică.

Reacția chimică (6.9) indică, în cazul utilizării în încărcătură a deșeurilor de carbură de siliciu, creșterea conținutului de siliciu în fontă cu maximum 0,4%,

creștere corespunzătoare unui adaos de 2,5 kg de deșeuri de carbură de siliciu la 100 kg încărcătură metalică, pentru o fontă dată, de exemplu.

Un calcul stoichiometric al necesarului de material de reducere, apelându-se la reacția chimică de reducere a FeO (6.9), nu se utilizează din cauza condițiilor particulare existente între reactanți – suprafață de contact variabilă, neomogenitatea compoziției chimice a deșeurilor de carbură de siliciu tehnică, neuniformitatea prezenței FeO pe suprafața bucăților de metal din încărcătură etc.

Însă, orientativ, calculul stoichiometric se realizează, rezultatele obținute fiind amendate de condițiile particulare ale încărcăturilor metalică și nemetalică – grad de oxidare al încărcăturii, compoziția chimică a deșeurilor de carbură de siliciu tehnică dar și compoziția chimică a fazei metalice etc.

Se apreciază că datorită faptului că rugina se află la suprafața bucăților de metal, probabilitatea ca elementul chimic carbon să difuzeze în matricea metalică a bucăților de metal, atunci când temperatura o permite, este mică. Doar dacă s-ar utiliza material de reducere în exces,

ar exista disponibilități de dizolvare a carbonului în austenită (după cum s-a prezentat la un paragraf anterior, în ferită nu este posibil).

Prin urmare, la cantitatea de material de reducere ce rezultă din calculul stoichiometric se adaugă și pierderile de carbon prin oxidare prezentate în tabelul 10.

Orientativ, dacă se consideră reacția chimică (149), pentru un cuptor cu inducție cu capacitatea de 12.000 kg (Qefectiv), o încărcătură metalică cu 1% FeO, cantitatea de carbon necesară reducerii, Qcred, calculată stoichiometric, este dată de relația aplicativă (158)

Cantitatea de FeO din încărcătură –  $\langle \%FeO \rangle$  – are valoarea de maximum 1% dacă încărcătura metalică nu este preîncălzită sau este preîncălzită până la temperatura de circa 200 °C,

1-2% dacă încărcătura metalică este preîncălzită în intervalul de temperaturi 200–400°C și 2–35% dacă încărcătura metalică este preîncălzită în intervalul de temperaturi 400-900°C.

Introduceți cantitatea de FeO din încărcătură ținând cont de considerentele prezentate anterior

$\langle FeO \rangle = 1$



Introduceți capacitatea efectivă a cuptorului  $Q_{\text{efectiv}}$ , ținând cont de capacitatea nominală a acestuia

Din considerente de eficacitate se poate considera capacitatea efectivă egală cu capacitatea nominală a cuptorului

$Q_{\text{efectiv}} = 12000$

Se introduc masele moleculare ale elementului Me, de exemplu carbon=12 și ale oxidului Mo, de exemplu  $M_{\text{FeO}} = 72$

$M_{\text{e}} = 12$

$M_{\text{o}} = 72$

$Q_{\text{cred}} = 25$

Dacă se face reducerea cu cocs de petrol grafitat, trebuie să se ia în considerație cantitatea de cenușă de 0,7% și cantitatea de carbon fix de 98,5%.

Din tabelul 10 rezultă că pierderile de carbon prin oxidare sunt de 10%. Cantitatea de material de reducere, se determină cu relația (159).

Să se introducă pierderile de carbon prin oxidare ac, de exemplu 10  
 $a_{\text{c}} = 10$

introduceți cantitatea de carbon, de exemplu 98.5

$C_{\text{mr}} = 98.5$

$Q_{\text{red}} = 28.2008$

Așadar, o dată cu încărcătura, trebuie să se introducă și 28,2 kg de cocs petrol grafitat, în circumstanțele exemplului dat.

### **2.2.3.2. Calculul cantității de material de formare a zgurii**

#### **2.2.3.2.a. Schema logică**

În cazul în care nisipul sinterizat pe suprafața deșeurilor proprii este în cantitate mică – sau lipsește –, încărcătura metalică este curată – lipsesc oxizii de la suprafața bucăților din încărcătura metalică sau sunt în cantitate mică –, durata de topire este mică etc., este posibil ca zgura primară să fie în cantitate insuficientă pentru a acoperi în mod corespunzător baia metalică. În asemenea situație, se

recomandă introducerea în încărcătură de nisip cuarțos sau chiar de sticlă.

Cantitatea de nisip cuarțos sau de deșeuri de sticlă se calculează având în vedere ca stratul de zgură să aibă o grosime de 20-30 mm, ceea ce corespunde unei cantități de zgură de 1-3%, în funcție de capacitatea cuptorului.

### **2.2.3.2.b. Rularea programului**

#### CALCULUL CANTITATII DE MATERIAL DE FORMARE A ZGURII

În cazul în care nisipul sinterizat pe suprafața deșeurilor proprii este în cantitate mică – sau lipsește – , încărcătura metalică este curată –

lipsesc oxizii de la suprafața bucăților din încărcătura metalică sau sunt în cantitate mică –, durata de topire este mică etc., este posibil ca zgura primară să fie în cantitate insuficientă pentru a acoperi în mod corespunzător baia metalică. În asemenea situație, se recomandă introducerea în încărcătură de nisip cuarțos sau chiar de deșeuri de sticlă.

Cantitatea de nisip cuarțos sau de deșeuri de sticlă se calculează având în vedere ca stratul de zgură să aibă o grosime de 20-30 mm, ceea ce corespunde unei cantități de zgură de 1-3%, în funcție de capacitatea cuptorului.

Introduceți capacitatea cuptorului  $Q_{\text{efectiv}}$ , din tema de proiectare  
 $Q_{\text{efectiv}}=12000$

Introduceți procentul din capacitatea cuptorului ce reprezintă zgura, de la 1 la 3 %

$pr=1.1$

$Q_{zg}=1.3200e+004$

ETAPA Pregătirea încărcăturii nemetalice din punct de vedere cantitativ a luat SFARSIT

### **3. Pregătirea cuptorului**

#### **3.1. Principiul de funcționare al unui cuptor cu inducție**

Un cuptor electric poate fi considerat ca un transformator electric al cărui curent secundar reprezintă curentul de încălzire al cuptorului. Altfel spus, primarul transformatorului este inductorul cuptorului iar secundarul transformatorului este încărcătura metalică a cuptorului.

Funcționarea unui cuptor cu inducție are la bază încălzirea prin inducție.

Inductorul emite un câmp electromagnetic variabil.

Câmpul electromagnetic variabil este indus în încărcătura metalică.

În încărcătura metalică ce reprezintă indusul – secundarul transformatorului electric – iau naștere curenți Foucault.

Încălzirea încărcăturii metalice are loc datorită efectului Joule Lenz.

Undele electromagnetice ale câmpului electromagnetic variabil pătrund în încărcătura metalică, adâncimea de pătrundere a acestora  $\delta$  –, depinzând de rezistivitatea electrică a încărcăturii –  $\rho$  –, permeabilitatea magnetică relativă a încărcăturii metalice –  $\mu_r$  – și frecvența câmpului electromagnetic variabil –  $f$  –, conform relației (3.1).

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r \cdot f}} \quad (3.1)$$

în care  $\delta$  se exprimă în m,  $\rho$  în  $\Omega \cdot m$ ,  $\mu_r$  este factor adimensional iar  $f$  se exprimă în Hz.

În timpul elaborării, rezistivitatea electrică a încărcăturii metalice se schimbă deoarece variază în funcție de

temperatură. De exemplu, rezistivitatea electrică a unui oțel carbon obișnuit crește de circa 13 ori atunci când temperatura crește de la 20°C la circa 1.200°C, ceea ce înseamnă, conform relației (3.1), că adâncimea de pătrundere a undelor electromagnetice crește de circa 3,6 ori. Prin urmare, o dată cu creșterea temperaturii încărcăturii metalice, crește și adâncimea de pătrundere a undelor electromagnetice.

În timpul elaborării, permeabilitatea magnetică a încărcăturii metalice depinde de temperatură dar și de intensitatea câmpului magnetic. Permeabilitatea magnetică  $\mu$  – este în corespondență cu permeabilitatea magnetică relativă prin intermediul permeabilității magnetice a vidului –  $\mu_0$  –, respectiv relația (3.2).

$$\mu_r = \mu/\mu_0, \quad (3.2)$$

în care  $\mu$  și  $\mu_0$ , de exemplu, se exprimă în H/m  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  H/m.

Prin prisma valorii permeabilității relative, încărcătura metalică poate fi clasificată în următoarele două categorii:

– încărcătură metalică neferomagnetică. Concret, încărcătura metalică poate conține aluminiu, cupru etc., adică materiale neferomagnetice. Permeabilitatea magnetică relativă a încărcăturii metalice neferomagnetice are valoarea egală cu unitatea ( $\mu_r = 1$ ).

– încărcătură metalică feromagnetică. Sursa bibliografică [31] indică pentru încărcătura metalică feromagnetică o permeabilitate magnetică relativă cu valori situate în intervalul 10...1.000. La temperatura corespunzătoare punctului Curie (punctul M din diagrama de echilibru termodinamic Fe-C) în timpul încălzirii, fierul alfa magnetic trece în fierul alfa nemagnetic. Temperatura punctului Curie este de 768°C pentru fierul de puritate tehnică, are valori situate în intervalul 720...770°C pentru oțeluri carbon de calitate și valori situate în intervalul 600...950°C

pentru oțeluri aliate. La temperatura punctului Curie, în timpul încălzirii, permeabilitatea magnetică relativă scade brusc, la valoarea 1. Conform relației (3.1), scăderea bruscă a permeabilității magnetice relative a încărcăturii metalice, determină creșterea bruscă a adâncimii de pătrundere a undelor electromagnetice în încărcătura metalică.

Relația (3.1) arată că dacă frecvența câmpului electromagnetic este mică, adâncimea de pătrundere a undelor electromagnetice în încărcătura metalică este mare – cazul cuptoarelor alimentate cu frecvență industrială. Dacă frecvența câmpului electromagnetic este mare, adâncimea de pătrundere a undelor electromagnetice în încărcătura metalică este mică – cazul cuptoarelor alimentate cu frecvență medie și mare. Se apreciază că circa 86% din energia indusă în încărcătura metalică, în cazul frecvențelor mari, se află distribuită în apropierea căptușelii refractare la suprafața încărcăturii metalice (în stratul de grosime,  $\delta$  mică). Fenomenul de pătrundere a undelor electromagnetice doar pe adâncimea  $\delta$  în încărcătura metalică se numește fenomen pelicular sau efect pelicular.

Între bucățile de încărcătură metalică, rezistența electrică este relativ mare, această particularitate făcând ca undele electromagnetice să se limiteze la fiecare bucată în parte. Așa, dacă frecvența este mică, pentru ca undele electromagnetice să pătrundă pe o adâncime,  $\delta$ , mai mare în încărcătura metalică, ar fi de preferat ca încărcătura metalică să fie de tip monobloc, însă această situație nu este posibilă în practică, fiind posibil, însă, ca încărcătura metalică să se introducă într-o baie remanentă. Baia metalică remanentă poate avea în practică o masă de 30...50% din capacitatea cuptorului și corespunde cazului în care cuptorul este alimentat cu frecvența rețelei.

Între inductor, care este de fapt o spiră de cupru, și indus – încărcătura metalică – se interpun aerul, izolatorii, căptușeala refractară etc., toți acești factori de interpunere

având o reactanță specifică ce influențează reactanța totală a sistemului inductor-indus.

Dacă se atribuie indicele 1 inductorului și indicele 2 indusului, se definește puterea transformată în căldură în încărcătura metalică –  $P_2$  –, dată de relația (3.3) și puterea activă absorbită de inductor de la rețea –  $P_1$  –, dată de relația (3.4).

$$P_2 = R_2 I_2^2 \quad (3.3)$$

în care  $I_2$  reprezintă intensitatea curentului electric indus în stratul de încărcătură metalică de grosime  $\delta$ ;  $R_2$  – rezistența electrică a încărcăturii metalice corespunzătoare căderii de tensiune  $R_2 I_2$ .

$$P_1 = R_1 I_1^2, \quad (3.4)$$

în care  $R_1$  reprezintă rezistența electrică a inductorului;  $I_1$  – intensitatea curentului electric din inductor.

În figura 3.1 se prezintă schema electrică echivalentă a unui cuptor cu inducție.

Randamentul electric al cuptorului –  $\eta_e$  – se determină cu relația (3.3)

$$\eta_e = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 = \frac{R_2 I_2^2}{R_1 I_1^2} \cdot 100, \quad (3.3)$$

în care  $\eta_e$  se exprimă în procente,  $R_1$  și  $R_2$ , în  $\Omega$ , și  $I_1$  și  $I_2$  în A.

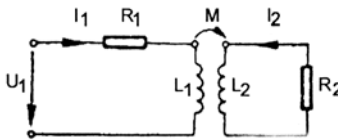
Randamentul electric al cuptorului trebuie să aibă o valoare cât mai mare, în acest scop trebuind să se acționeze în sensurile următoare:

– distanța dintre inductor și încărcătura metalică să fie minimă. În figura 3.2 se prezintă dimensiunile unui cuptor cu inducție, considerându-se că inductorul și indusul (încărcătura metalică) au secțiunea transversală circulară. Inductorul, ce are

$N_1$  spire, produce în spațiul dintre inductor și indus un câmp magnetic de intensitate  $H_1$  ce este neuniform la capetele inductorului și indusului.

Câmpul magnetic de intensitate  $H_1$  induce curenți turbionari pe grosimea  $\delta$  în indus (încărcătura metalică) –  $\delta_2$  în figura 3.2. Curenții turbionari creează la rândul lor un câmp magnetic de intensitate  $H_2$  în încărcătura metalică. Câmpul magnetic de intensitate  $H_2$  are sensul invers față de câmpul magnetic de intensitate  $H_1$ .

De-a lungul axei de simetrie longitudinală a indusului (încărcăturii metalice), câmpul magnetic indus are intensitatea  $H_2$  nulă.



**Fig. 3.1. Schema electrică echivalentă a unui cuptor electric cu inducție:  $U_1$  – tensiunea din inductor – tensiunea de alimentare;  $I_1$  – curentul electric din inductor;  $R_1$  – rezistența electrică a inductorului;  $L_1$  – inductanța inductorului;  $I_2$  – curentul electric din indus (încărcătura metalică de grosime  $\delta$ );  $R_2$  – rezistența electrică a indusului;  $L_2$  – inductanța indusului;  $M$  – inductanța mutuală.**

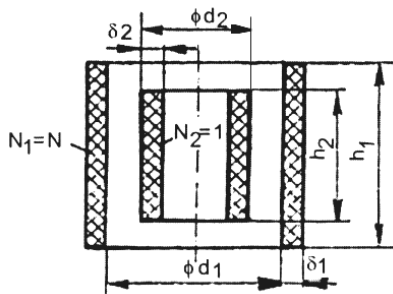
Ideal, ar trebui ca  $\phi d_2$  să tindă spre  $\phi d_1$  – figura 3.2;

– lungimea inductorului ( $h_1$ ) să fie mai mare decât lungimea indusului ( $h_2$ ) – în figura 3.2,  $h_1 > h_2$ ;

– factorul de umplere,  $g$ , al spirelor inductorului să fie cât mai mare. Factorul de umplere se calculează în funcție de geometria secțiunii transversale. În cazul geometriei circulare, factorul de umplere se calculează cu relația (3.4).

$$g = \frac{\pi \cdot D \cdot N_1}{4h_1}, \quad (3.4)$$

în care  $D$  reprezintă diametrul exterior al spirei de cupru;  $N_1$  – numărul de spire al inductorului;  $h_1$  – lungimea inductorului.



**Fig. 3.2. Dimensiunile unui cuptor cu inducție.**  $N$  – numărul de spire;  $N_1$  – numărul de spire al inductorului;  $N_2$  – numărul de spire al indusului (încărcăturii metalice);  $\delta_1$  – adâncimea de pătrundere a undelor electromagnetice în inductor;  $\delta_2$  – adâncimea de pătrundere a undelor electromagnetice în încărcătura metalică (indus);  $\phi d_1$  – diametrul interior al inductorului;  $\phi d_2$  – diametrul indusului (încărcăturii metalice);  $h_1$  – lungimea inductorului;  $h_2$  – lungimea indusului (încărcăturii metalice).

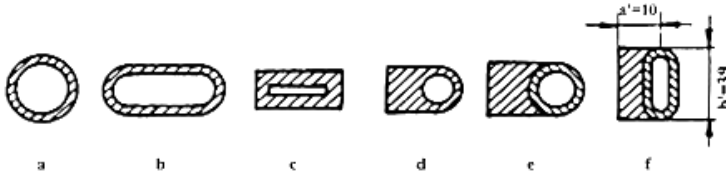
Din relația (3.4) rezultă că un factor de umplere cu valoarea maximă se obține în cazul în care, numărul de spire al inductorului este cât mai mare, diametrul exterior al inductorului este cât mai mare iar lungimea inductorului este cât mai mică. În practică, se poate acționa, din motive constructive, doar asupra numărului de spire al inductorului.

În figura 3.3 se prezintă câteva geometrii de secțiune transversală ale inductorului;

– raportul dintre diametrul indusului,  $d_2$ , și adâncimea de pătrundere a undelor electromagnetice,  $\delta_2$  – simbolurile sunt din figura 2 – este cât mai mare față de valoarea  $7\sqrt{2}$  (inegalitatea (191)).



$$\frac{d_2}{\delta_2} \geq 7\sqrt{2} \quad (191)$$



**Figura 3.3. Geometrii de secțiuni transversale ale inductorului. a – circulară; b – alungită; c – dreptunghiulară; d – circulară cu bară dreptunghiulară; e – circulară lipită de bară dreptunghiulară; f – alungită lipită de bară dreptunghiulară; b' – înălțimea secțiunii transversale, în mm; a' – grosimea parțială, în mm.**

Din relația (3.5) rezultă că cu cât indusul are diametrul mai mare și cu cât adâncimea de pătrundere a undelor electromagnetice este mai mică, cu atât mai mult este îndeplinită inegalitatea (3.5). Tendința de la cuptoarele cu inducție este ca  $\delta_2$  să aibă valori cât mai mari, ceea ce ar însemna valori exagerat de mari pentru diametrul încărcăturii metalice. Practic se apelează la o optimizare a valorilor pentru  $\delta_2$  și  $d_2$ , ținându-se seama și de influențele celorlalți factori;

– temperatura încărcăturii metalice să fie cât mai mare. În cazul în care încărcătura metalică este feromagnetică, randamentul electric scade brusc în momentul în care temperatura încărcăturii metalice (a indusului), în timpul încălzirii, ajunge la temperatura punctului Curie. La temperatura punctului Curie, încărcătura metalică devine paramagnetică.

Relația (3.2) poate fi și sub forma (3.6).

$$P_2 = U_2 I_2 \cos\varphi, \quad (3.6)$$

în care  $\varphi$  reprezintă unghiul dintre rezistența electrică a

încărcăturii metalice și impedanța acesteia ( $Z_2$ ).

Pe lângă condițiile impuse cu scopul obținerii unui randament electric,  $\eta_e$ , cât mai mare, condiții prezentate anterior, se impune ca valoarea lui  $\cos \varphi$  să fie cât mai mare – cât mai apropiată de 1.

$\cos \varphi$  poartă denumirea de factor de putere.

Pentru un cuptor cu inducție, factorul de putere se determină cu relația (3.7).

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X^2}}, \quad (3.7)$$

în care  $X$  reprezintă reactanța.

Factorul de putere este cu atât mai mare, cu cât sunt îndeplinite următoarele condiții:

- raportul dintre diametrul interior al inductorului și diametrul încărcăturii metalice, este mai mic;
- raportul dintre diametrul încărcăturii metalice și adâncimea de pătrundere a undelor electromagnetice în încărcătura metalică, este mai mare;
- capacitatea cuptorului este mai mică.

În funcție de dimensiunile cuptorului, există o frecvență optimă a câmpului electromagnetic pentru care factorul de putere este maxim (pentru aceeași încărcătură metalică și în aceleași condiții de transfer de putere și pentru o temperatură dată).

Factorul de putere se mărește prin intermediul bateriilor de condensatoare montate în paralel, [3].

Condensatoarele sunt reglate în trepte, în timpul funcționării cuptoarelor.

În cazul în care ansamblul inductor-condensatoare ar forma un circuit rezonant, factorul de putere ar avea valoarea 1.

Condensatoarele au rolul de compensare a variațiilor brusce ale tensiunii de alimentare din cauza variațiilor

impedanței sarcinii. Astfel, se asigură utilizarea completă a puterii sursei de alimentare a inductorului.

Bateria de condensatoare atenuază factorul de putere.

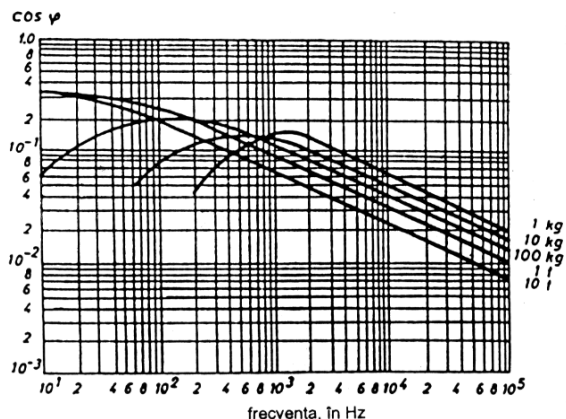
În figura 3.4 se prezintă corelația dintre factorul de putere, frecvență și capacitatea cuptorului.

Puterea reactivă absorbită de încărcătura metalică –  $P_2$  – depinde și de mărimea bucăților de încărcătură metalică ce trebuie corelată cu frecvența câmpului electromagnetic și cu mărimea spațiului de lucru (a indusului), corelarea respectivă determinând valori maxime pentru  $P_2$ . Astfel, corelarea frecvență-dimensiuni minime ale bucăților de încărcătură metalică este prezentată în tabelul 3.1. Există și o corelare frecvență-diametrul minim al indusului, [6], așa cum se prezintă în tabelul 3.1.

Tabelul 3.1

**Corelarea frecvență-diametru minim al indusului.**

<b>Diametrul minim al indusului (încărcăturii metalice, creuzetului), în mm</b>	640	280	200	160	140	120
<b>Frecvența, în Hz</b>	50	400	800	1.200	1.600	2.000

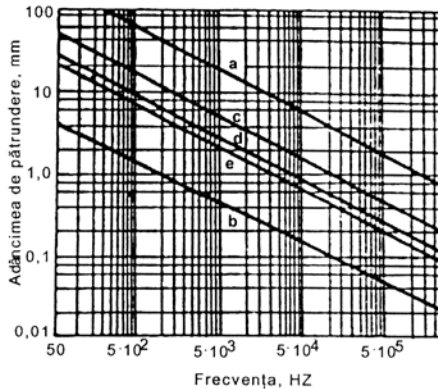


**Fig.3.4. Corelația dintre factorul de putere, frecvență și capacitatea cuptorului cu inducție.**

Conform [6], între frecvență și diametrul indusului trebuie să existe relația (3.8), relație în care intervin și rezistivitatea în care intervin și rezistivitatea electrică a încărcăturii metalice alături de permeabilitatea magnetică relativă a acesteia.

$$F \geq \frac{25 \cdot 10^6 \cdot \rho_2}{\mu_{r2} \cdot d_2^2}, \quad (3.8)$$

în care  $\rho_2$  reprezintă rezistivitatea electrică a încărcăturii metalice iar  $\mu_{r2}$  reprezintă permeabilitatea magnetică relativă a încărcăturii metalice, notații în consens cu figura 3.2.



**Fig. 3.5. Dependenta dintre adancimea de patrundere a undelor electromagnetice in indus (incarcatura metalica) si frecventa de alimentare a cuptoarelor cu inductie fara miez : a – oțel cu  $\mu_r=1$ , la temperatura de  $900^{\circ}\text{C}$ ; b –oțel cu  $\mu_r= 1.500$ , la temperatura de  $600^{\circ}\text{C}$ ; c – alamă; d –aluminIU; e – cupru.**

În figura 3.5 se prezintă dependența dintre adâncimea de pătrundere a undelor electromagnetice  $\delta$  sau  $\delta_2$  – și frecvența câmpului electromagnetic, în cazul a cinci tipuri de încărcătură metalică – oțel paramagnetic la temperatura de  $900^{\circ}\text{C}$  (a), oțel magnetic la temperatura de  $600^{\circ}\text{C}$  (b), alamă (c), aluminiu (d) și cupru (e).

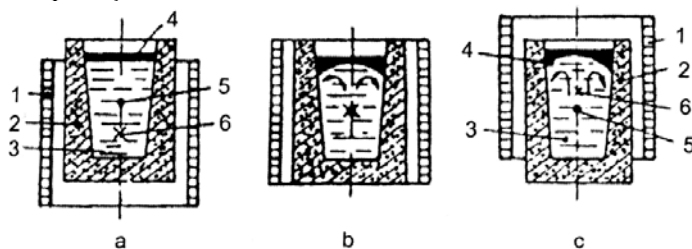
### 3.2. Agitarea electromagnetică a băii metalice

Între poziția centrului de greutate al încărcăturii metalice și poziția centrului de greutate al inductorului, sunt posibile următoarele trei situații – figura 3.6, [34]:

– centrul de greutate al încărcăturii metalice este situat deasupra centrului de greutate al inductorului (figura 3.6– a).

În acest caz, suprafața băii metalice este plană;

– centrul de greutate al încărcăturii metalice coincide cu centrul de greutate al inductorului (figura 3.6 – b). În acest caz, suprafața băii metalice este convexă;

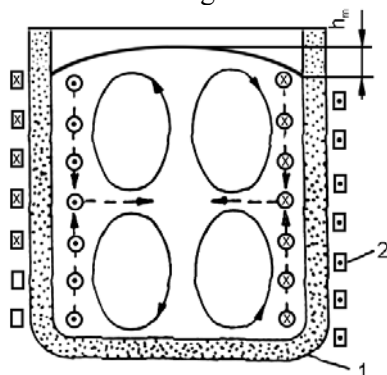


**Fig.3.6. Forma suprafeței băii metalice în funcție de poziția relativă a centrelor de greutate ale încărcăturii metalice și inductorului. 1 – inductorul; 2 – căptușeala refractară a creuzetului; 3 – încărcătura metalică (baia metalică); 4 – zgura; 5 – centrul de greutate al încărcăturii metalice; 6 – centrul de greutate al inductorului.**

– centrul de greutate al încărcăturii metalice este situat sub centrul de greutate al inductorului (figura 3.6 – c). În acest caz, suprafața băii metalice este concavă.

În încărcătura metalică, forțele electrodinamice provoacă curenți ce determină vehicularea metalului după ce încărcătura metalică solidă s-a transformat în baie metalică. Sensul forțelor de atracție dinamică și sensul curenților de circulație ai metalului lichid (s-au utilizat semnele convenționale pentru sensul curentului electric și atracția dintre două conductoare de același semn) se prezintă în figura 3.7. Din figura 3.7 rezultă că gradul maxim de intensitate al

circulației metalului este la jumătatea înălțimii băii metalice. Se observă cum metalul lichid este împins de la periferia creuzetului spre axa de simetrie longitudinală a creuzetului.



**Fig.3.7. Sensul forțelor de atracție electrodinamică și de circulație a metalului lichid: 1 – creuzet; 2 – inductor;  $h_m$  – înălțimea convențională a convexității băii metalice (a meniscului convex).**

Circulația metalului face din cuptorul cu inducție un agregat metalurgic de elaborare ideal în ceea ce privește realizarea unei omogenități chimico-termice corespunzătoare și a unei suprafețe de contact mari între fonta lichidă, pe de o parte, și zgura împreună cu diferite adaosuri, după caz, pe de altă parte.

Ca o consecință a circulației metalului lichid, la suprafața metalului lichid ia naștere un menisc convex căruia literatura de specialitate, [10], [33], [34] etc. îi atribuie o înălțime convențională  $h_m$  – figura 3.7, înălțime convențională care este în corespondență cu noțiunea de grad de agitare electromagnetică, ce se notează, de asemenea, cu  $h_m$ , dar care, însă, se exprimă în procente și se determină cu relația (3.9).

$$h_m = \frac{7,9 \cdot P_i}{\sqrt{\mu \rho f \cdot G \cdot 10^6}} \cdot \frac{d}{h_2} \cdot 100, \quad (3.9)$$

în care  $h_m$  se exprimă în %;  $P_1$  – puterea indusă, în kW;  $G$  – cantitatea de fontă lichidă din cuptor, în t;  $d$  – diametrul indusului (a încărcăturii metalice – creuzetului), în m;  $h_2$  – înălțimea indusului (a băii metalice din cuptor), în m;  $\mu$  – permeabilitatea magnetică a topiturii, în H/m;  $\rho$  – rezistivitatea electrică a băii metalice, în  $\Omega \cdot m$ ;  $f$  – frecvența câmpului electromagnetic, în Hz.

Pentru fonta lichidă se poate utiliza în calcule o valoare medie a rezistivității electrice de  $\rho = 1,31 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot m$ , conform [8].

Gradul de agitare electromagnetică se mai numește brasaj.

Gradul de agitare electromagnetică poate fi definit și ca înălțimea meniscului convex raportată la înălțimea topiturii și înmulțită cu 100.

Relația (3.9) arată că brasajul se mărește dacă se mărește și puterea indusă sau diametrul creuzetului și se micșorează dacă se măresc masa de baie metalică, înălțimea băii metalice, într-o măsură mai mare, frecvența, într-o măsură mai mică și rezistivitatea electrică împreună cu permeabilitatea magnetică a băii metalice, în mod, nesemnificativ. Factorii determinanți pentru brasaj sunt puterea indusă și masa topiturii.

În tabelul 3.2 se prezintă, pentru o situație dată, corelația dintre brasaj și frecvență, [10].

Tabelul 3.2

**Corelația dintre gradul de agitare electromagnetică și frecvența câmpului electromagnetic, pentru o situație dată.**

<b>Frecvența câmpului electromagnetic, în Hz</b>	50	500	1.000	10.000	100.000
<b>Gradul de agitare electromagnetică, în %</b>	11	5	2	0,5	0,3

În general, se apreciază că brasajul, în cazul

cuptoarelor cu inducție alimentate la frecvența rețelei, variază între limitele 5...20%.

Agitarea electromagnetică a topiturii este foarte importantă pentru omogenizarea chimico-termică a fontei lichide și pentru intensificarea unor procese metalurgice, cum ar fi carburarea, alierea, desulfurarea etc.

Dacă agitarea electromagnetică a topiturii este prea mare, sunt posibile următoarele efecte negative:

- erodarea semnificativă căptușelii refractare granulare;

- descoperirea băii metalice. Prin urmare, se facilitează contactul direct baie metalică-aer, adică baie metalică-oxigen, consecința fiind oxidarea elementelor chimice din topitură, cu atât mai mult cu cât afinitatea chimică față de oxigen a acestora este mai mare;

- mărirea conținutului de incluziuni nemetalice exogene în fontă, a căror proveniență este căptușeala refractară și zgura.

Gradul de agitare electromagnetică, având în vedere avantajele și dezavantajele pe care le creează și factorii care îl influențează – relația (3.9) –, trebuie reglat în funcție de etapa din fluxul tehnologic de elaborare și de procesul care trebuie condus. Există diagrame trasate pentru categorii de cuptoare, în funcție de cantitatea de fontă lichidă și puterea indusă în baia metalică, determinându-se gradul de agitare electromagnetică (agitare mică – 1...5% –, agitare medie – 5 ...10% – și mare – peste 10%). O asemenea diagramă, pentru un cuptor cu inducție cu capacitatea de 12,5 t, conform [10], se prezintă în figura 7.



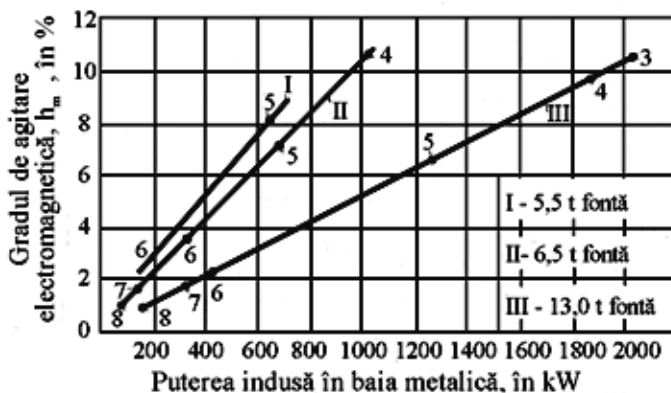
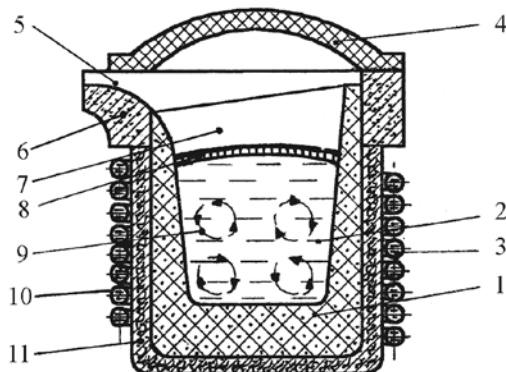


Fig. 3.8. Dependența gradului de agitare electromagnetică de puterea indusă și cantitatea de fontă, pentru un cuptor cu inducție de 12,5 t capacitate, alimentat la frecvența rețelei (50 Hz): numerele indică treptele de putere, variază de la 1 la 10 și au semnificația treptei de putere a cuptorului (1 reprezintă treapta de putere maximă, treptele de putere scăzând de la numărul 1 – treapta de putere maximă – la numărul 10 – treapta de putere minimă).

Se recomandă ca pentru fiecare marcă de fontă ce se elaborează, să se stabilească valoarea optimă a gradului de agitare electromagnetică.

### 3.3. Cuptorul cu creuzet – prezentare generală

Criteriul principal de clasificare consideră cuptoarele electrice cu încălzire prin inducție ca fiind de două categorii principale – cu miez magnetic și fără miez



**Fig. 3.9. Schema de principiu a unui cuptor cu creuzet: 1 – creuzet (din căptușeală refractară granulară, dar și din grafit etc.); 2 – baie metalică; 3 – apă de răcire; 4 – capac căptușit refractar; 5 – jgheab de evacuare; 6 – căptușeală refractară de rezistență; 7 – spațiu de lucru; 8 – zgură; 9 – curenți electrodinamici (de circulație a metalului); 10 – inductor de cupru; 11 – strat izolator (de protecție).**

magnetic. Dacă se atribuie ca destinație principală topirea și supraîncălzirea (ca destinație secundară, doar supraîncălzirea în stare lichidă) pentru cuptoarele fără miez magnetic (fără miez), pentru cuptoarele cu miez magnetic (cu miez) destinația principală este menținerea și supraîncălzirea în stare lichidă (ca destinație secundară, topirea, supraîncălzirea și menținerea în stare lichidă).

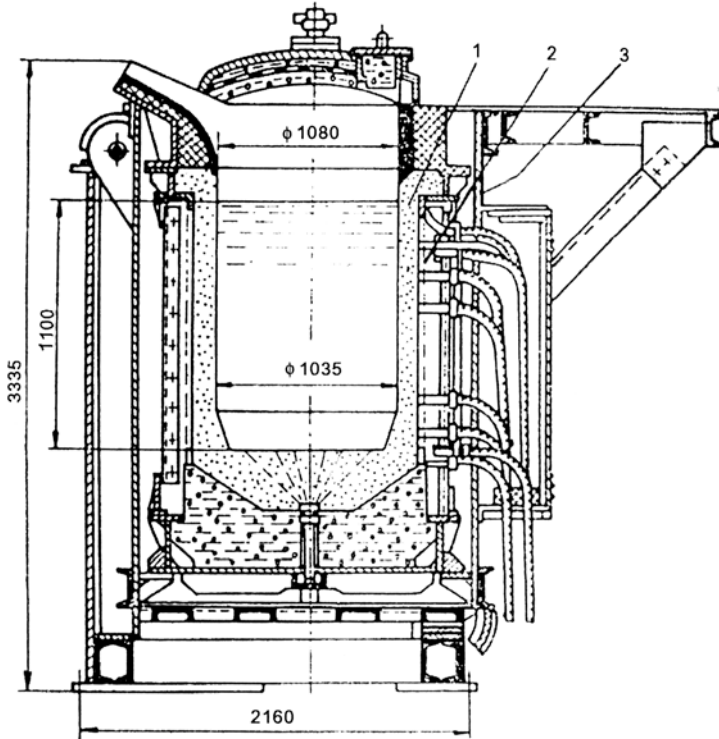
În continuare se prezintă cuptorul cu creuzet.

În figura 3.9 se prezintă schema de principiu a unui cuptor cu creuzet iar în figura 3.10 se prezintă secțiunea longitudinală a unui cuptor cu creuzet cu capacitatea de 6 t și alimentat la frecvență industrială (50 Hz).

Conform [35], productivitatea medie a cuptoarelor cu creuzet variază în intervalul 0,8...12,0 t/h.

Figura 3.10 indică părțile componente ale unui cuptor cu creuzet, acestea fiind carcasa (3), inductorul (2), creuzetul

(1), mecanismul de basculare (8), platforma de lucru (4), pachete de conductoare magnetice (5), conducte de apă de răcire (6), sistemul de semnalizare de avarii (7) și capacul căptușit refractar (9), în principal.



**Fig.3.10. Secțiune longitudinală printr-un cuptor cu creuzet cu capacitatea de 6 t și alimentat cu frecvență industrială (50 Hz): 1 – creuzet (material refractar granular); 2 – inductor; 3 – carcasă metalică; 4 – platformă de lucru; 5 – pachete de conductoare magnetice; 6 – conducte de apă de răcire; 7 – sistem de semnalizare de avarii; 8 – mecanism de basculare; 9 – capac căptușit refractar.**

### **3.4. Inductorul**

Inductorul se confecționează din țevă de cupru în cazul cuptoarelor de putere medie și mare și din bară cu secțiunea plină în cazul cuptoarelor de putere mică.

Dacă inductorul este confecționat din țevă, secțiunea transversală poate fi circulară, ovală, dreptunghiulară etc.

Inductorul este sub formă de spire ce înconjoară creuzetul.

Grosimea peretelui țevii trebuie să fie mai mică decât  $1,30 \delta_1$ , în care  $\delta_1$  reprezintă adâncimea de pătrundere a undei electromagnetice în inductorul solenoidului.

Dacă inductorul este răcit cu aer, densitatea curentului în inductor este de  $3...5 \text{ A/mm}^2$ .

Dacă inductorul este răcit cu apă, densitatea curentului în inductor este de  $50...70 \text{ A/mm}^2$ .

Apa de răcire, care circulă prin inductor, are rolul de a prelua cantitatea de căldură dezvoltată în acesta și cantitatea de căldură transmisă de la încărcătura metalică prin peretele creuzetului.

Presiunea apei de răcire trebuie să fie de  $4...7$  atmosfere.

Apa de răcire se recomandă să fie tratată și în circuit închis, cu scopul protejării spirelor împotriva coroziunii, a depunerilor de calcar sau a altor impurități.

Apa de răcire conține o cantitate de căldură ce reprezintă  $20...30\%$  din energia electrică totală consumată de cuptor, ceea ce determină justificarea preluării acesteia de către recuperatoare și, astfel, utilizarea pentru încălzirea halelor industriale, dar și pentru preîncălzirea încărcăturii metalice etc.

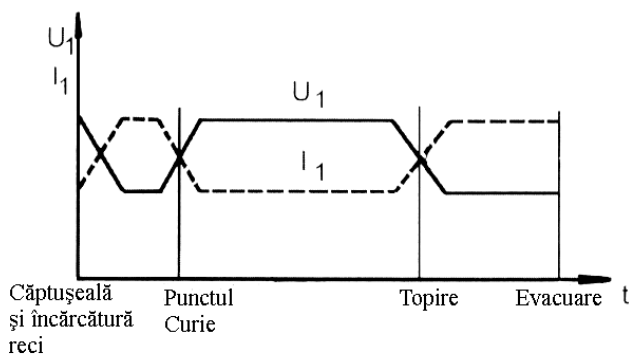
Dacă apa de răcire nu este în circuit închis – provine de la rețeaua de apă industrială sau chiar de la rețeaua de apă potabilă – se recomandă prevederea cuptorului cu rezervor de siguranță, acesta intrând în circuitul de răcire al inductorului în mod automat în caz de deranjamente în ceea ce privește

alimentarea cu apă. În caz de avarii grave privind alimentarea cu apă de răcire a inductorului și dacă în creuzet se află metal lichid, cuptorul trebuie să fie în mod automat deconectat de la rețeaua electrică, sistemul de basculare a cuptorului trebuie să fie activ iar metalul lichid trebuie să fie evacuat din creuzet.

Temperatura apei de răcire, la ieșirea din inductor, trebuie să fie întotdeauna mai mare decât temperatura mediului ambiant, în caz contrar producându-se condensarea vaporilor de apă pe spirele inductorului, existând riscul de scurtcircuitare a acestora. Se precizează că temperaturile prea mari ale apei de răcire la ieșirea din inductor generează riscul de depunere de calcar pe pereții țevii.

Spirele metalice – inductorul – se execută din material metalic paramagnetic.

Spirele metalice se izolează între ele cu aer – distanța dintre două spire alăturate este de 10...20 mm – sau cu diverse materiale izolatoare care trebuie să aibă o grosime de 1,0...1,5 mm – de exemplu, micănită, sticlostratitex etc.



**Fig.3.11. Variația intensității curentului din inductor  $I_1$  și a tensiunii de alimentare  $U_1$  în timpul elaborării fontei, în cazul în care încărcătura metalică este constituită exclusiv din sorturi de fontă și oțel iar frecvența curentului este de 50 Hz:  $t$  = timpul.**

Există cuptoare la care numărul de spire este reglabil. Astfel, se utilizează rațional puterea sursei de alimentare care este în funcție și de impedanța încărcăturii metalice.

Intensitatea curentului din inductor –  $I_1$  – și tensiunea de alimentare –  $U_1$  – variază în timpul elaborării fontei dacă încărcătura metalică este constituită din sorturi de fontă și oțel și dacă frecvența curentului este de 50 Hz, ca în figura 3.11. La începutul topirii și în timpul supraîncălzirii băii metalice, intensitatea curentului absorbit este maximă pentru ca să scadă în jurul temperaturii punctului Curie.

### **3.5. Creuzetul**

Creuzetul poate fi definit ca spațiul în care se realizează elaborarea fontei și ca ansamblul format din amestecul refractar granular ce reprezintă căptușeala refractară și spațiul pe care îl delimitează acesta în interior.

Creuzetul se poate executa conform următoarele două moduri, din punctul de vedere al locului în care se realizează:

– în cuptor. În acest caz, între inductor și căptușeala refractară granulară se interpune stratul izolator 11 din figura 3.9. Executarea creuzetului determină o perioadă de inactivitate a cuptorului. În vederea eliminării perioadei de inactivitate a cuptorului se recomandă dotarea sectorului de elaborare cu perechi de cuptoare. Astfel, în timp ce se execută creuzetul unui cuptor, celălalt cuptor este exploatat pentru elaborare;

– în afara cuptorului. De această dată, se impune existența unui spațiu între inductor și căptușeala refractară (mai precis, între inductor și stratul izolator), spațiul necesar pentru manevrarea creuzetului. Din cauza spațiului menționat, randamentul termic al cuptorului se micșorează. Se remarcă, în schimb, micșorarea semnificativă a perioadei de inactivitate deoarece durata de înlocuire a creuzetului scade apreciabil.

În funcție de stare de gregare a liantului din componenta căptușelii refractare – solidă sau lichidă –

creuzetul se poate executa prin următoarele două procedee:

- procedeul uscat. Conform acestui procedeu căptușeala refractară este formată dintr-un material refractar de bază granular și un liant în stare pulverulentă (de exemplu, acidul boric etc.) și se introduce prin ștampare – îndesare – între stratul izolator 11 din figura 3.9 și un șablon metalic confecționat din tablă de oțel a cărui configurație exterioară este identică cu geometria spațiului de lucru. Căptușeala refractară, înainte de utilizare pentru elaborare, suportă operația de sinterizare în vederea obținerii unei mase monolitice, a unei mase monobloc cu aspect sticlos, operația de sinterizare realizându-se printr-un tratament termic ce urmează o diagramă de sinterizare. Șablonul metalic utilizat pentru ștamparea căptușelii refractare se dizolvă în baia metalică, având în vedere că temperatura maximă de sinterizare depășește temperatura maximă de supraîncălzire a fontei în stare lichidă;

- procedeul umed. De această dată, căptușeala refractară granulară este constituită dintr-un material refractar de bază granular și un liant în stare lichidă (de exemplu, silicatul de sodiu etc.). Procedura principală de executare a creuzetului este identică din punct de vedere calitativ cu cea de la procedeul uscat, remarcându-se durata mai mare de sinterizare dictată de o durată mai mare de uscare a materialului refractar granular.

Indiferent de natura chimică a căptușelii refractară – acidă, neutră și bazică – căptușeala refractară granulară trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- să reziste la temperaturi de ordinul a  $1.600^{\circ}\text{C}$ ;
- să reziste la solicitarea mecanică a masei de metal lichid;
- să reziste la acțiunea chimică a metalului lichid;
- să reziste la șocul termic cauzat de evacuarea băii metalice din creuzet;
- să aibă un coeficient de dilatare termică mic, așa

încât susceptibilitatea de fisurare să fie mică;

- componenții chimici să nu suporte transformări alotropice însoțite de schimbări de volum mari – sursă de tensiune și fisuri;
- cheltuielile generate de tratamentul termic de sinterizare să fie minime;
- cost minim;
- să nu fie higroscopică deoarece se măresc cheltuielile de transport și depozitare;
- să aibă rezistență mecanică mare în vederea preluării șocurilor mecanice cauzate de impactul cu bucațile metalice ale sorturilor metalice în timpul încărcării;
- să aibă coeficient de conductibilitate termică minim pentru ca pierderile de căldură să fie minime etc.

Geometria creuzetului, așa cum o sugerează figura 3.10, este cilindrică pe 90% din partea superioară a înălțimii și tronconică pe 10% din partea inferioară a înălțimii.

Grosimea căptușelii refractare depinde de mărimea cuptorului, în mare parte de condițiile expuse anterior și se abordează să fie concepută ca o soluție de optim deoarece dacă este concepută prea mică se măresc pierderile de căldură din baia metalică iar dacă este concepută prea mare se măresc pierderile electrice din cauza dispersiei magnetice.

### **3.6. Carcasa**

Carcasa asigură structura de rezistență a cuptorului, rigiditatea creuzetului și rigiditatea inductorului.

Carcasa se confecționează din materiale paramagnetice – oțel austenitic, de exemplu – dar și din materiale nemetalice, în cazul cuptoarelor de capacitate mică (maximum 1 t) și numai din materiale magnetice – tablă sau profile de oțel magnetic, de exemplu – ce se ecranează față de câmpul de dispersie al inductorului cu pachete de tole de transformator amplasate radial cu scopul de răcire ușoară și fixate în mod



rigid, în cazul cuptoarelor de capacitate mare.

### **3.7. Mecanismul de basculare**

Soluțiile constructive sunt diverse din punctul de vedere al naturii forței de acționare, modului de basculare etc.

Se evidențiază acționările hidraulică și electromecanică.

Bascularea constă în rotirea cuptorului în jurul unei axe imaginare ce trece fie prin centrul de greutate al cuptorului, fie pe sub jgheabul de evacuare (ca în figura 3.10).

Bascularea în jurul centrului de greutate este varianta de basculare cu consumul minim de energie. În schimb, manevrele de basculare sunt complexe iar jetul de metal lichid are lungimea mare, determinând, astfel, mărirea pierderilor prin oxidare.

Bascularea în jurul axei de sub jgheabul de evacuare impune un consum mai mare de energie. Manevrarea de basculare este simplă iar jetul de metal lichid are lungimea mai mică decât în cazul celui alt tip de basculare. De aceea, pierderile prin oxidare cu oxigenul din aer sunt mici. Oala de turnare are poziție fixă în timpul basculării cuptorului în timp ce la bascularea în jurul centrului de greutate oala de turnare suportă manevre suplimentare în timpul basculării cuptorului.

Pentru cuptoarele de capacitate foarte mică (maximum 50 kg) bascularea se face prin acționare manuală, sistemul de basculare fiind, de exemplu, cu cremalieră, sector de roată dințată etc.

### **3.8. Conductoarele electrice de alimentare**

Conductoarele electrice de alimentare pot avea legături ce sunt de următoarele două tipuri:

– legături rigide. În acest caz conductoarele electrice au lungimea mică, ceea ce înseamnă că pierderile de putere sunt mici. Contactele electrice se uzează intens din cauza basculării, ceea ce impune înlocuirea lor periodică;

– legături flexibile. Conform acestui tip de legături, conductoarele electrice au lungimea mare, pierderile de putere fiind mari – până la 5% din puterea activă a cuptorului. Asemenea tip de legături sunt simple, motiv pentru care legăturile flexibile sunt cele mai utilizate în practică.

Alimentarea electrică a cuptorului se poate face și în sistem modular, instalațiile electrice fiind dispuse în containere (dulapuri), între module legătura electrică făcându-se cu prize multiple. Această soluție de alimentare electrică determină punerea în funcțiune a cuptorului într-un timp record (1...2 săptămâni). De asemenea, inductorul se poate schimba în numai două ore, de exemplu.

### **3.9. Particularități ale cuptoarelor cu inducție ce funcționează cu frecvența rețelei**

Prin frecvența rețelei se înțelege frecvența de 50 Hz în condițiile țărilor din Europa sau frecvența de 60 Hz în condițiile S.U.A. etc.

Cuptoarele ce sunt alimentate la frecvența rețelei se consideră ca fiind cuptoare de frecvență mică (joasă).

Cuptoarele de frecvență mică pot fi considerate și așa zisele cuptoare de trifrecvență. Asemenea cuptoare sunt dotate cu multiplicatoare de frecvență. Cel mai răspândit este triplorul de frecvență (3x50 Hz sau 3x60 Hz), realizat cu bobine sau cu transformator, [46].

Echipamentul electric al unui cuptor alimentat la frecvența industrială este alcătuit din următoarele componente: celule de mare sau mică tensiune (conținând aparatele de conectare), transformatorul cuptorului, rezistoare de pornire (limitează curenții la conectarea cuptorului la rețea), întrerupătoare pentru conectarea și scurtcircuitarea rezistoarelor de pornire, instalația de sinterizare formată din bobine cu miez de fier și o baterie de condensatoare comutabilă în trepte, bateria de condensatoare pentru compensarea puterii reactive (pentru atenuarea factorului de

putere, având o parte fixă și alta variabilă, cu trepte comutabile prin contactoare), instalația de răcire cu apă a bobinelor și bateriilor de condensatoare, instalația de răcire cu apă a bobinelor și bateriilor de condensatoare, instalația de răcire cu apă a cablurilor flexibile și a inductorului cuptorului și circuite secundare (de comandă, măsură, protecție, semnalizare și automatizare). În figura 3.12 se prezintă schema de principiu a instalației electrice la un cuptor alimentat la frecvența rețelei.

Capacitatea cuptoarelor alimentate la frecvența rețelei variază între limitele 0,8...60 t.

Puterea instalată a transformatorului variază în intervalul 360...7 000 KVA.

Productivitatea acestor cuptoare este de 0,6...12 t/h.

În tabelul 3.3 se prezintă câteva caracteristici pentru cuptoare cu creuzet alimentate la frecvența rețelei.

Consumul specific de energie electrică este de 520...700 kWh/t.

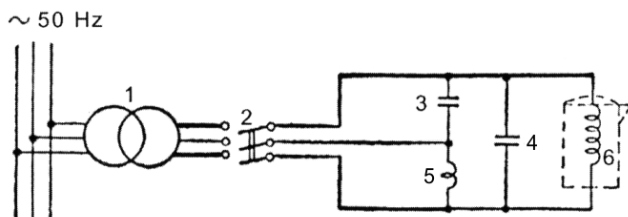
Adâncimea de pătrundere a undei electromagnetice în încărcătura metalică este de 60...80 mm.

Randamentul total al cuptorului ajunge până la 75%.

În figura 13 se prezintă schema unui cuptor cu creuzet alimentat de la rețea, în timpul basculării.

La cuptoarele de capacitate mare se utilizează inductoare de cupru amplasate cu secțiunea mai groasă înspre căptușeala refractară. De asemenea, inductoarele se execută cu mai multe racorduri pentru apa de răcire cu scopul reducerii pierderilor de presiune și cu 2...4 înfășurări în paralel.

În general, grosimea căptușelii refractare a creuzetului variază în intervalul 100...130 mm.



**Figura 3.12. Schema de principiu a instalației electrice la un cuptor alimentat la frecvența rețelei. 1 – transformator; 2 – întrerupător; 3 – baterie de condensatoare; 4 – baterie de condensatoare pentru atenuarea factorului de putere; 5 – bobină de șoc; 6 – cuptor cu creuzet.**

Capacul 5 din figura 3.13 este căptușit cu material refractar. Utilizarea capacului în timpul elaborării este foarte importantă deoarece determină mărirea temperaturii zgurii și astfel, transformarea ei într-o zgură activă din punct de vedere metalurgic.

Tabelul 3.3

**Caracteristici principale ale unor cuptoare alimentate la frecvența rețelei și utilizate pentru elaborarea fontei**

Firma, țara, tipul cuptorului	Caracteristica			
	Capacitatea creuzetului, în t de fontă	Puterea instalată, în KVA	Productivitatea cuptorului, în t/h, în cazul elaborării fontei la temperatura de 1 450 <sup>0</sup> C	Consumul de energie electrică, în kWh/t
România	2,0	600	0,75	575
	3,5	1 000	0,90	560

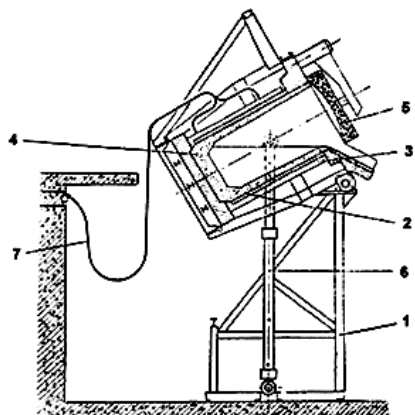
Tabelul 3.3 – continuare

		3,5	1 000	1,25	560
		6,3	1 600	2,00	530
		12,5	3 000	3,50	520
BBC (Suedia, Germania)	6/1 100	6,0	1 100	2,22	500
	12/1 000	12,6	1 000	1,80	550
	31,5	31,5	7 100	10,90	520
ASEA (Suedia)	LFD-12	12,0	1 700	3,40	550
	LFD-25	25,0	5 200	2,70	530
Japonia	6,0	6,0	1 660	2,64	505
	12,0	12,0	2 800	4,65	485
	A25	25,0	2 700	5,20	l.d.*
ALCO (Anglia)	6,0	6,0	1 200	2,43	560
	10,0	10,0	1 800	3,00	560
	20,0	20,0	3 000	5,00	550

\* l.d. – lipsă de date

Dacă, la pornire, se încarcă cuptorul (creuzetul) cu componente metalice solide, la începutul încălzirii puterea absorbită de indus este mică. După ce apare baia metalică, puterea absorbită începe să se mărească o dată cu mărirea gradului de umplere a creuzetului cu metal lichid. Încărcătura metalică se comportă ca o inductanță variabilă. Puterea absorbită se mărește și odată cu mărirea frecvenței inductorului. În figura 3.14 se prezintă variația puterii absorbite de indus, în procente, cu gradul de umplere a creuzetului pentru cuptoare de frecvență industrială, cuptoare de trifrecvență și cuptoare alimentate la frecvența de 500 Hz. Se observă că la cuptoarele de frecvență industrială, puterea absorbită crește cu circa 75% în cazul în care gradul de umplere a creuzetului se mărește de la circa 15% la circa 75%. În momentul în care creuzetul cuptorului este plin cu baie metalică, puterea absorbită în indus este maximă. Este de notat particularitatea că pe măsură ce frecvența de alimentare a inductorului se mărește, puterea absorbită de indus se apropie de valoarea maximă la un grad de umplere a creuzetului mai

mic de 50%.



**Figura 3.13. Schema unui cuptor cu creuzet, alimentat de la rețea, în timpul basculării. 1 – cadru metalic cu rol de suport; 2 – inductor; 3 – ecran magnetic; 4 – căptușeală refractară granulară a creuzetului; 5 – capac; 6 – cilindri de basculare; 7 – conductoare electrice.**

După topirea integrală a încărcăturii metalice, cuptorul funcționează cu puterea absorbită maximă până ce se atinge temperatura de supraîncălzire propusă, urmând ca ulterior să se lucreze cu trepte de putere inferioară (se asigură doar compensarea pierderilor de energie în așa fel încât baia metalică să se mențină la o temperatură constantă). De aceea, transformatoarele se construiesc cu mai multe trepte de putere, treapta minimă determinând utilizarea de către cuptor a circa 30% din puterea nominală.

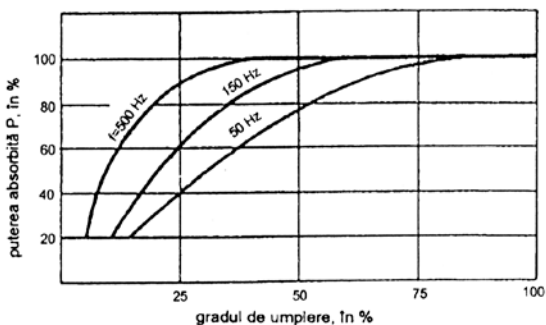
Pentru ca productivitatea cuptorului să fie mare și pentru ca fonta să se elaboreze la un cost mic, se impune ca creuzetul cuptorului să nu fie golit la evacuarea băii metalice. Astfel, în creuzet se recomandă păstrarea a circa 30%, din capacitatea cuptorului, de fontă lichidă. Cu cât cantitatea de fontă lichidă ce se păstrează în creuzet este mai mare, cu atât

se mărește puterea absorbită de către indus. Consumul specific de energie electrică cel mai mic se constată la păstrarea în creuzet a circa 70% din baia metalică, însă, în acest caz productivitatea cuptorului se micșorează foarte mult. Fonta lichidă ce se păstrează în creuzet se mai numește baie metalică remanentă sau „călcâi” și poate să ajungă și la 50% din capacitatea creuzetului, în condiții practice.

Folosirea băii remanente în creuzet protejează căptușeala refractară a creuzetului de șocuri termice și de șocurile mecanice ce ar fi fost cauzate de bucățile metalice de încărcătură. De asemenea, baia metalică remanentă permite încărcarea în cuptor, cu eficiență sporită (evitarea pierderilor prin oxidare), a bucăților metalice foarte mici și a șpanului.

Pornirea cuptorului după ce s-a schimbat căptușeala refractară se face cu bucăți metalice și se urmărește de regulă o diagramă de sinterizare. În timpul încălzirii componentelor metalice solide, curentul cuptorului are o valoare mare, ceea ce impune reducerea tensiunii de alimentare.

În cazul funcționării continue, din cuptor se recomandă să se evacueze doar fonta lichidă ce se toarnă în forme imediat. În locul fontei evacuate se introduc bucăți de încărcătură metalică.



**Figura 3.14. Variația puterii absorbite de către încărcătura metalică din creuzet cu gradul de umplere a creuzetului.**

În cazul în care creuzetul cuptorului nu este plin cu fontă lichidă, puterea activă acuză o scădere față de valoarea ei nominală.

Creuzetul este cilindric la partea superioară iar 1/3 din înălțime, la bază, este tronconic.

Funcționarea unui cuptor alimentat la frecvența rețelei nu este posibilă decât dacă mărimea bucăților din încărcătura metalică este mai mare decât  $(3...4)\delta$  iar diametrul creuzetului este mai mare de  $10\delta$  ( $\delta$  reprezintă adâncimea de pătrundere a undei electromagnetice în încărcătura metalică).

Diametrul minim al creuzetului este de 600mm, înălțimea minimă este 700 mm, capacitatea minimă este de 1 500 kg iar mărimea minimă a bucăților metalice de încărcătură este de 200 mm.

Pentru topirea fontei cenușii, consumul de energie electrică este de 550...600 kWh/t. Pentru fiecare  $100^{\circ}\text{C}$  de temperatură, în vederea supraîncălzirii fontei, este necesară o cantitate suplimentară de energie electrică de 50 kWh/t.

### **3.10. Particularități ale cuptoarelor cu inducție ce funcționează cu frecvență medie sau mare**

La cuptoarele de capacitate mică, frecvența utilizată, atât pentru un transfer maxim de putere cât și pentru un brasaj corespunzător, este de 10 kHz pentru o capacitate de câteva zeci de kilograme și se situează în intervalul 50...500 Hz pentru capacități mai mari de 800 kg.

Curentul alternativ cu frecvența cuprinsă între 500 Hz și 10 000 Hz este produs în convertizoare de frecvență.

La cuptoarele cu capacitate mai mare de 500 kg și cu o frecvență mai mare de 2 000 Hz, creuzetul și inductorul sunt ecranate de o coloană de tablă de oțel aliat cu siliciu.

În tabelul 3.4 se prezintă câteva caracteristici pentru cuptoare cu creuzet alimentate la frecvență medie și mare, utilizate pentru elaborarea fontei și oțelului.

La pornirea cuptoarelor cu creuzet, creuzetele se



încarcă cu bucăți de încărcătură metalică a căror mărime depinde de frecvența de alimentare. În figura 3.15 se prezintă dependența mărimii bucăților de încărcătură metalică de oțel și fontă, alături de alamă, aluminiu și cupru, de frecvența de alimentare a inductorului.

Asemenea cuptoare se construiesc de regulă fără capac. Această particularitate determină ca suprafața băii metalice să aibă o temperatură mai mică decât restul băii metalice. Zgura de la suprafața băii metalice este inactivă din punct de vedere metalurgic. Temperatura mai mică a zgurii decât a băii metalice poate genera blocaje împreună sau nu cu bucățile de încărcătură.

Asemenea blocaje, denumite și „poduri” nu trebuie să fie distruse cu bare metalice prin lovire deoarece se riscă deteriorarea căptușelii refractare granulare. Aceste blocaje se elimină prin înclinarea cuptorului, baia metalică reușind să topească respectivele aglomerații de zgură și metal.

Tabelul 3.4

**Caracteristici ale cuptoarelor cu creuzet alimentate la frecvențe medii și înalte, utilizate pentru elaborare fontei și oțelului**

Capacitatea, în kg	Frecvența, în Hz	Puterea sursei, în kW	Timpul de topire, în min.	Consumul specific de energie electrică, în kWh/t
10	30 000...10 000	30...60	20...15	1 500...2 000
50	7 000 ...1 000	60...100	50...40	800...1 000
250	3 000 ... 2 000	150...250	70...50	700...800
500	2 000 ... 1 000	250...500	70...50	600...800
1 000	1 000 ... 500	500...600	80...60	600...700
10 000	500 ... 50	2 500... 3 000	90...100	500...700

În cazul cuptoarelor alimentate cu frecvență înaltă, circa 86% din totalul de energie indusă se dezvoltă în încărcătura metalică în apropierea creuzetului. Această

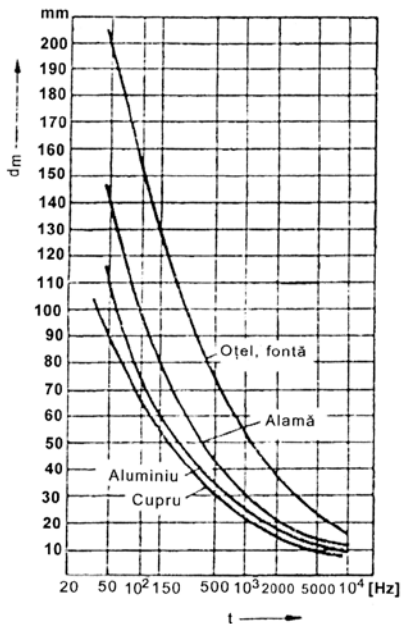
particularitate determină o uzură accentuată a căptușelii refractare granulare din cauza temperaturii mai mari în această zonă.

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.

Agitarea electromagnetică a băii metalice este mică la aceste cuptoare, însă, ea poate fi mărită prin folosirea de puteri mari.

În cazul cuptoarelor cu creuzet de medie frecvență, randamentul este de circa 50%.

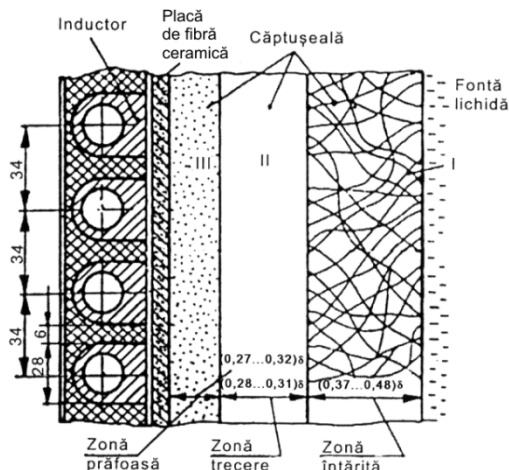
Cuptoarele cu creuzet de frecvență mare se utilizează mai mult în condiții de laborator, având capacități mici, respectiv, de la câteva zeci de grame la câteva kilograme.



**Figura 3.15. Dependența dintre mărimea bucăților de încărcătură metalică ( $d_m$ ) și frecvența de alimentare a inductorului ( $f$ ).**

### 3.11. Pregătirea căptușelii refractare

Pregătirea cuptorului – creuzetului – în vederea elaborării trebuie să aibă în vedere, în principal, asigurarea unei durabilități cât mai mari, în paralel cu evitarea accidentelor.



**Figura 3.16. Schema unei secțiuni parțiale, longitudinale, printr-un cuptor electric cu încălzire prin inducție, cu creuzet. I – zonă sinterizată; II – zonă de trecere; III – zonă elastică (prăfoasă);  $\delta$  – grosimea totală a căptușelii refractare.**

În figura 3.16 se prezintă schema unei secțiuni parțiale, longitudinale, printr-un cuptor cu creuzet, în timpul exploatarii cuptorului, având ca prim obiectiv zonele distincte ce se formează în căptușeala refractară granulară. În această figură se prezintă și amănunte dimensionale, specifice unui cuptor cu capacitatea de 12 t.

Ca material refractar granular de bază se utilizează cuarțita, a cărei compoziție chimică recomandată în scopul obținerii unei refractarități maxime este prezentată în tabelul

### 3.5.

Cuarțita se utilizează pentru căptușeala refractară în amestec cu un liant.

Amestecul cuarțită-liant, fie că se prepară de către utilizator, fie că se prepară de către furnizor. Se recomandă prepararea respectivului amestec de către furnizor și asigurarea unor condiții speciale de transport până la utilizator, cu scopul evitării pierderilor prăfoase, impurificării și măririi umidității (transportul în containere de material plastic).

Tabelul 3.5

#### Compoziția chimică recomandată a cuarțitei

Compoziția chimică, în %							Pierderi prin calcinare, în %
SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	H <sub>2</sub> O	
min. 98	max. 0,60	max. 1,00	max. 1,00	max. 0,30	Max. 0,30	max. 0,30	max. 0,3

Cel mai utilizat liant este acidul boric (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>), în proporție de 1...2%, dar se utilizează și anhidrida borică (B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), în proporție de 0,6...1,0% (anhidrida borică determină mărirea compactității căptușelii refractare și micșorarea duratei de sinterizare).

Acidul boric are rol de fondant, mineralizator și liant.

Cuarțita românească (Orșova – Vârciorova –, regiunea Dobrogei – Piatra Râioasă și Dealul Cernei – și Hațeg) este superioară calitativ (are peste 98% SiO<sub>2</sub>) este cristalină și nu are ciment bazal (este de același ordin calitativ cu varianta de cuarțită suedeză de tip «Felscuarțite», deosebindu-se de cuarțita germană de tip «Findlingscuarțite» ce are o cantitate mare de ciment între cristale etc.), [24]. Cuarțita de Piatra Râioasă conține 97,8% SiO<sub>2</sub>, cea de Orșova , 99,3% SiO<sub>2</sub>, cea de Hațeg, 99,7% SiO<sub>2</sub>, cea de Mânăstireni, 98...99% SiO<sub>2</sub>, în timp ce o cuarțită suedeză conține 99,02% SiO<sub>2</sub>, o cuarțită germană conține 98,7% SiO<sub>2</sub>, o cuarțită elvețiană conține

98,5% SiO<sub>2</sub>, o cuarțită Karelia (fosta U.R.S.S.) conține 99,2% SiO<sub>2</sub>, etc., [54].

Umiditatea cuarțitei este un parametru foarte important din punctul de vedere al riscului mare de afectare a securității muncii. Așa cum indică și tabelul 3.5, apa din cuarțită este limitată la max. 0,30%. În caz contrar – la conținuturi de apă mai mari –, în timpul exploatării cuptorului, dar și al sinterizării căptușelii, apa difuzează prin căptușeală, înspre inductor, provocând micșorarea compactității căptușelii refractare și micșorarea durabilității căptușelii refractare de până la șapte ori. Dacă umiditatea cuarțitei este excesivă față de norme, se realizează uscarea acesteia la utilizator până la obținerea valorii nominale (de exemplu, uscarea se realizează la temperatura de 400°C). Lipsa uscării cuarțitei în cazul umidității mari trebuie compensată cu prelungirea duratei etapei de sinterizare (de exemplu, peste 24 h, față de 10...20 h cât reprezintă durata de sinterizare la o umiditate de max.0,3%).

Câteva constante fizice și termofizice ale cuarțitei se prezintă în tabelul 3.6.

Tabelul 3.6

**Constante fizice și termofizice ale cuarțitei, conform STAS 6737-75**

Materialul	Constante fizice și termofizice					
	pH	Densitatea, în g/cm <sup>3</sup>	Duritatea pe scara Mohs	Temperatura de topire, în °C	Coefficientul de dilatare liniară, în °C <sup>-1</sup>	Conductivitatea termică, în kcal/m·h·°C
Cuarțita	5...6	2,65	7	1 713	11·10 <sup>-6</sup>	18

Compactitatea mare a căptușelii refractare – porozitatea mică – este foarte importantă pentru căptușeală deoarece se realizează micșorarea contracției, micșorarea

riscului de infiltrare a metalului lichid, mărirea conductibilității termice, micșorarea tensiunilor etc. O compactitate corespunzătoare a materialului refractar se obține utilizându-se cuarțite de diferite granulații și praf de cuarț denumit și făină de cuarț sau marșalită, compoziția căptușelii refractare prezentându-se în tabelul 3.7 (această compoziție este relativă și corespunde unor norme departamentale).

Tabelul 3.7

**Compoziția căptușelii refractare de la cuptoarele electrice cu încălzire prin inducție tip creuzet, conform unor norme departamentale**

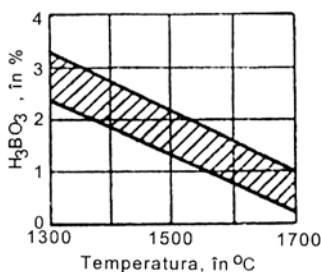
Denumirea componentului	Sor-tul	Denumirea sortului	Granulația, în mm	Cantitatea de sort din materialul refractar de bază, în %		Cantitatea de component, în %
				compoziția 1	compoziția 2	
Material refractar de bază	1	făină de cuarț	0,0...0,1	17±5	25	98...99
	2	cuarțită granulată	0,0...0,5	18±5	20	
	3	cuarțită granulată	0,5...1,0	35±5	20	
	4	cuarțită granulată	1,0...2,0	25±5	30	
	5	cuarțită granulată	2,0...4,0	2...5	5	
Liant	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	acid boric	0,5...1,0	–	–	1...2

Pentru obținerea unor porozități minime trebuie adoptate și granule de cuarțită cu o geometrie corespunzătoare. Astfel, în relația (3.10), se prezintă rapoarte între porozități (P) generate de cinci tipuri de granule, acestea fiind următoarele: 1 – rotunjite; 2 – semirotunjite; 3 – cu muchii ascuțite; 4 – sub

formă de schije sau așchii. Din relația (3.10) rezultă porozități maxime în cazul granulelor sub formă de așchii.

$$P_1 : P_2 : P_3 : P_4 = 1 : 1,15 : 1,3 : 1,5 \quad (3.10)$$

Proporția de acid boric din căptușeala refractară depinde de temperatura maximă din cuptor, micșorându-se pe măsură ce temperatura maximă de lucru din cuptor se mărește, din cauză că acidul boric micșorează refractaritatea cuarțitei. În figura 3.17 se prezintă dependența proporției de acid boric din căptușeală de temperatura maximă de lucru din cuptor.



**Figura 3.17.**  
**Dependența conținutului de acid boric din căptușeală de temperatura maximă de lucru din cuptor.**

Deoarece componentul principal al căptușelii este SiO<sub>2</sub>, trebuie cunoscute toate transformările alotropice ale cuarțului împreună cu variațiile unor caracteristici, cu scopul luării de măsuri în vederea evitării fisurării căptușelii refractare.

Schimbările alotropice ale cuarțului se prezintă în tabelul 3.8, în acest tabel arătându-se și variațiile de volum ce au loc în timpul transformărilor.

Se observă din tabelul 3.8 că în timpul încălzirii cuarțului au loc transformările alotropice următoare: β-cuarț → α-cuarț → α-tridimit → α-cristobalit.

Tabelul 3.8

**Transformările alotropice ale cuarțului și variațiile de volum ce au loc în timpul acestora**

Starea alotropică	Domeniul de stabilitate, în °C	Densitatea relativă, în t/m <sup>3</sup>	Transformarea și temperatura de transformare	Creșterea de volum, în %
β-cuarț	până la 573	2,65	β-cuarț→α-cuarț, 573 <sup>0</sup> C	0,82
α-cuarț	573...850	2,53	α-cuarț→α-tridimit, 870 <sup>0</sup> C	16,00
			α-cuarț→α-cristobalit, 1000 <sup>0</sup> C	15,40
γ-tridimit	până la 117	2,27... 2,35	γ-tridimit→β-tridimit, 117 <sup>0</sup> C	0,20
β-tridimit	117...163	2,42	β-tridimit→α-tridimit, 163 <sup>0</sup> C	0,20
α-tridimit	870...1470	2,23	–	–
β-cristobalit	180...270	2,38... 2,34	β-cristobalit→α-cristobalit, 270 <sup>0</sup> C	3,70
α-cristobalit	1 470...1 713	2,23	–	–

Componentele căptușelii refractare granulare trebuie amestecate foarte bine, pentru aceasta utilizându-se amestecătoare orizontale, betoniere cu amestecare forțată etc., acordându-se atenția necesară amestecării componentelor materialului refractar de bază cât și amestecării materialului refractar de bază cu acidul boric (în acest de al doilea caz, se recomandă ca perioada de amestecare să fie de minimum 15 minute).

Se subliniază, încă odată, importanța mare ce trebuie acordată neimpurificării căptușelii refractare granulare înainte de



operația de sinterizare.

Căptușeala refractară granulară, având compoziția prezentată în tabelul 3.7, se folosește pentru confecționarea creuzetului printr-unul din procedeele uscat sau umed prezentate la paragraful 3.5.

Randamentul cel mai bun este asigurat de procedeul uscat și confecționarea creuzetului în cuptor.

Geometria creuzetului este asigurată de un șablon metalic confecționat din tablă de oțel cu grosimea de 4 ... 8 mm și prevăzut pe toată suprafața cu orificii ce au diametrul de 2...3 mm și sunt amplasate la distanța de 50...100 mm între ele. Aceste orificii sunt foarte importante deoarece au rolul de a permite evacuarea vaporilor de apă proveniți din umiditatea masei refractare granulare și din apa de constituție a acidului boric.

În vederea confecționării creuzetului, șablonul metalic se amplasează în spațiul delimitat de spira inductorului, după ce, în prealabil, s-a amplasat, în același spațiu și în contact cu spira inductorului un izolator termic refractar – de exemplu, plăci de fibră ceramică cu temperatura de topire de minimum 2000°C. Urmează introducerea masei refractare granulare în spațiul dintre șablonul metalic și placa de fibră ceramică, sub formă de porții, o porție asigurând 60...70 mm din înălțimea creuzetului. Punerea în operă a amestecului refractar granular se face prin ștampare. Fiecare porție de amestec refractar granular se ștampează 5...10 minute prin intermediul vibratoarelor de suprafață sau de cofraj (circa 15 000 vibrații/minut), sau al ciocanelor pneumatice cu cap ridat sau al unor dispozitive manuale.

Ștamparea trebuie să asigure un grad de îndesare uniform, așa încât greutatea specifică volumică a masei refractare granulare să fie minimum 2,08...2,1 t/m<sup>3</sup>.

Partea superioară a căptușelii creuzetului, respectiv, corespunzând unei înălțimi de circa 200 mm, trebuie să aibă o rezistență mecanică mai mare decât restul căptușelii

creuzetului, motiv pentru care trebuie să fie realizată cu un amestec refractar granular ce conține o proporție mai mare de acid boric (de exemplu, 2...3%). Această parte superioară este solicitată la șocuri mecanice mai mari decât restul căptușelii și este solicitată la șocuri termice mai mici.

Jgheabul de evacuare al cuptorului se execută dintr-un amestec refractar format din 94...96% material refractar granular de bază, conform tabelului 3.7, și 4...6% silicat de sodiu, acest amestec întărindu-se în timpul sinterizării (în zona racordurilor se poate utiliza un beton refractar aluminos – 60...70%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

Etapă ce urmează executării creuzetului – ștampării – se numește sinterizare. Prin sinterizare se înțelege un tratament termic ce se aplică unei mase granulare cu scopul obținerii unei rezistențe mecanice mari, al măririi durității și al obținerii unor proprietăți fizice și chimice propuse. Tratamentul termic este specific fiecărei mase granulare, temperatura maximă la care se realizează sinterizarea având valori de 0,75...0,80 din valoarea temperaturii de topire a componentului principal al masei granulare. În urma sinterizării, trebuie să se obțină o masă compactă, tip monobloc – monolit –, o masă cu aspect sticlos, ce să aibă o grosime corespunzătoare – să determine o durabilitate mare a căptușelii.

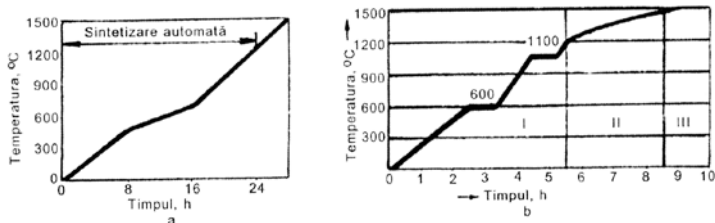
Diagrama de sinterizare se apreciază că este specifică fiecărei mărimi de creuzet și mai depinde de structura granulometrică, compoziție etc.

În figura 3.18 se prezintă două diagrame de sinterizare. Varianta a) este specifică unui cuptor cu capacitatea de 6,3 t și unei mase refractare granulare preparată cu cuarțită neuscată și acid boric, conducerea regimului termic făcându-se automat. Varianta b) este specifică unui cuptor cu capacitatea de 12,5 t și unei cuarțite de puritate maximă, uscată în prealabil (maximum 0,3%  $\text{H}_2\text{O}$ ), în condițiile în care este utilizat ca liant anhidra borică ce are maximum 0,2%  $\text{H}_2\text{O}$ .

În vederea sinterizării, se încarcă în cuptorul cu

încărcătură metalică într-o cantitate egală cu circa 2/3 din capacitatea nominală (este de preferat ca încărcătura metalică să fie de tip monobloc).

Sinterizarea constă în respectarea diagramei de sinterizare, până la temperatura de 100...150°C recomandându-se ca încălzirea să se facă cu ajutorul arzătoarelor de gaz metan, de exemplu. Încălzirea de la temperatura de 100...150°C se realizează prin inducție și se are în vedere ca până la temperatura de 1 200°C să se facă cu o viteză mică, conform figurii 3.18, din cauză că transformarea de la β-cuarț la α-cristobalit are loc cu mărire de volum și se riscă apariția de fisuri în căptușeală.



**Figura 3.18. Diagrame de sinterizare pentru căptușeli acide la cuptoarele electrice cu încălzire prin inducție cu creuzet.**

**a) – cuptor cu capacitatea de 6,3 t; căptușeală preparată cu o cuarțită neuscată și cu acid boric; b) – cuptor cu capacitatea de 12,5 t; căptușeală preparată cu o cuarțită uscată și cu anhidridă borică.**

De regulă, până la temperatura de 1 200°C se folosește șablonul metalic pentru indicarea temperaturii.

Există și încălziri în domeniul 150...1 200°C cu paliere la temperaturile de 600°C și 1 100°C, așa cum se vede și din figura 3.18.b), respectivele paliere corespunzând la o perioadă de timp de câte circa o oră.

Atunci când temperatura șablonului metalic (sau a încărcăturii metalice) a atins valoarea de 1 200°C, se umple creuzetul cuptorului cu fontă lichidă ce are temperatura de 1

250...1 300°C, până la un nivel maxim, cu scopul ca sinterizarea să se realizeze pe toată înălțimea creuzetului. Atingerea nivelului maxim al băii metalice se poate realiza și prin introducerea de bucăți de metal, preîncălzite, în baia metalică.

Urmează încălzirea prin inducție, până la o temperatură ce să depășească cu circa 50°C temperatura nominală de lucru. Practic, baia metalică se supraîncălzește până la temperatura de 1 450...1 600°C, în mod curent până la temperatura de 1500°C, într-o perioadă de timp conform diagramei de sinterizare.

La temperatura maximă, baia metalică se menține în creuzet timp de 1,5...2,0 h, după care se apreciază că sinterizarea s-a finalizat.

Se poate constata că sinterizarea parcurge trei etape, acestea fiind următoarele: etapa I, ce constă în încălzirea cu viteză mică până la temperatura de 1 200°C, etapa a II-a, ce constă în încălzirea băii metalice până la o temperatură ce depășește cu circa 50°C temperatura nominală de lucru a cuptorului și etapa a III-a, ce constă în menținerea băii metalice la temperatura maximă atinsă la etapa a II-a (figura 3.18.b se observă cele trei etape).

În perioada de sinterizare și în perioada exploatării cuptorului, în căptușeala refractară granulară se formează trei zone distincte, prezentate în figura 3.16 cu I, II și III. Zona I este complet sinterizată și este zona ce vine în contact cu metalul lichid. Zona I are grosimea de 20...40% din grosimea căptușelii și o rezistență la încovoiere de 960...1 700 N/cm<sup>2</sup>. Zona a II-a se numește de trecere, are o grosime de 30...40% din grosimea căptușelii, are o rezistență la încovoiere de 226...442 N/cm<sup>2</sup> și se caracterizează prin aceea că, spre deosebire de zona I, ce reprezintă un monolit, cuprinde grăunți de SiO<sub>2</sub> într-o masă sticloasă și grăunți de SiO<sub>2</sub> liberi. Zona a III-a este o zonă prăfoasă, are grosimea egală cu 20...30% din grosimea căptușelii și conține granule libere sau slab legate

între ele. Zona a III-a asigură elasticitatea căptușelii refractare, micșorând susceptibilitatea la fisurare.

Dacă se mărește grosimea plăcii de fibră carbon, numită industrial, saltea de fibră ceramică – grosimea stratului ce izolează inductorul de căptușeala refractară – se micșorează grosimea zonei a III-a (de exemplu, dacă se mărește grosimea stratului izolator de fibră ceramică de la 3 mm la 11 mm, grosimea zonei a III-a se micșorează de la 42 mm la 23 mm), adică se micșorează grosimea zonei ce asigură elasticitatea căptușelii refractare.

Atunci când se confecționează șablonul metalic (în timpul operației de sinterizare, șablonul se dizolvă în baia metalică) se va avea în vedere că raportul dintre înălțime și diametru să aibă valoarea circa 2, deoarece s-a constatat în practică durabilitatea maximă a căptușelii refractare la acest raport dimensional.

Dacă se realizează uscarea cuarțitei în prealabil – înainte de prepararea masei refractare granulare – se declanșează transformările alotropice ale cuarțului, ceea ce determină mărirea vitezei de sinterizare.

Ca un aspect al pregătirii cuptorului de elaborare este și urmărirea uzurii căptușelii în timp, uzură ce determină mărirea masei de fontă ce se elaborează, mărirea temperaturii apei de răcire din inductor (aceasta se admite să crească până la valoarea de 80°C), mărirea puterii necesare etc. Mărirea uzurii căptușelii determină creșterea intensității curentului electric și micșorarea rezistenței totale a inductorului – R (3.11).

$$R = V^2 / P, \quad (3.11)$$

în care V reprezintă tensiunea de alimentare iar P – puterea necesară. În figura 3.19 se prezintă o corelație, pentru un cuptor dat, între raportul  $R = V^2 / P$  și scăderea grosimii căptușelii. Prin urmare, în funcție de valoarea lui R, se poate

aprecia grosimea căptușelii refractare, în așa fel încât să se dispună refacerea căptușelii refractare atunci când este cazul – atunci când se atinge grosimea critică. Grosimea critică a căptușelii ce dictează refacerea căptușelii se stabilește prin norme departamentale.

Durabilitatea unor căptușeli refractare granulare pe bază de cuarțită variază între 2 și 4 luni, respectiv între 200 și 350 de șarje, luându-se în considerație și micile reparații ale căptușelii.

Durabilitatea căptușelii cuptoarelor cu inducție este determinată de mai mulți factori: materialele utilizate, rezistența acestor materiale la acțiunea zgurii și a elementelor din compoziția fontei, gradul de agitare electromagnetică a topiturii, condițiile de realizare a căptușelii etc.

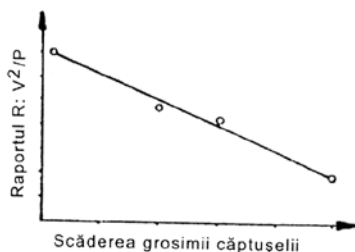
Erodarea maximă a căptușelii are loc la partea inferioară a creuzetului, la nivelul fontei lichide din călcâi. Uzura vetrei se mărește odată cu creșterea duratei de exploatare a cuptorului. O altă zonă supusă eroziunii o constituie cea de la contactul cu zgura din cuptor, sub nivelul jgheabului de evacuare a fontei.

Una din cele mai frecvente cauze de scoatere din funcțiune a cuptorului o constituie apariția fisurilor în căptușeală. Pentru a se preîntâmpina apariția acestor fisuri se impune utilizarea unui regim termic rațional al căptușelii, în timpul funcționării cuptorului.

În cazul căptușelilor acide nu se admite scăderea temperaturii sub 800°C, deoarece la temperatura sub 700°C căptușeala din cuarțită se dilată puternic, iar peste 700°C coeficientul de dilatare liniară se micșorează aproape de două ori. Din această cauză, părțile răcite până la 700°C și mai jos vor fi rapid erodate.

Un alt factor care determină durabilitatea căptușelii îl constituie prezența celor trei straturi pe grosimea acesteia (fig. 3.16). Prezența zonei a III-a (neîntărită) asigură preluarea unor

sarcini de compresiune și împiedică pătrunderea fontei lichide la izolația inductorului. În figura 3.16 au fost prezentate grosimile optime ale celor trei zone, pentru un cuptor cu capacitatea de 12,0 t. Grosimea zonei a III-a depinde în mare măsură de grosimea izolației inductorului. Astfel, la creșterea grosimii stratului de fibră ceramică de la 3 la 11 mm, grosimea acestei zone se micșorează de la 42 la 23 mm concomitent cu creșterea grosimii celorlalte două zone.

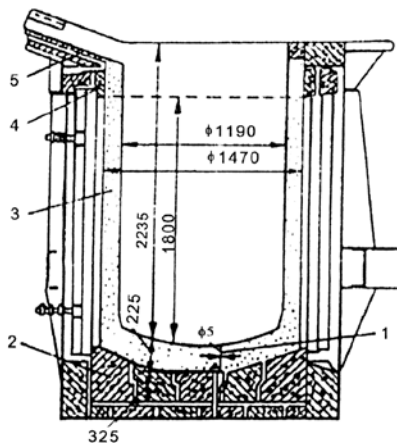


**Figura 3.19. Corelarea dintre raportul  $R = V^2/P$  și scăderea grosimii căptușelii unui cuptor electric cu încălzire prin inducție cu creuzet.**

Cuptoarele utilizate la scară industrială dispun și de o parte de căptușeală refractară realizată din materiale fasonate. În figura 3.20 se prezintă schița unui cuptor electric cu încălzire prin inducție, împreună cu dimensiunile principale ale creuzetului. Astfel, grosimea căptușelii refractare este de 140 mm – peretele lateral – și 225 mm – fundul creuzetului. Vatra cuptorului se confecționează din cărămizi de șamotă. Cărămizi de șamotă se utilizează și la partea superioară a peretelui lateral al căptușelii refractare granulare.

Căptușeala refractară din care se execută creuzetul nu poate să îndeplinească toate condițiile impuse, motiv pentru care, în condiții de exploatare nerațională, există riscul de apariție a unor avarii. Chiar în circumstanțele unei exploatări corespunzătoare a cuptoarelor, în cazul exploatării respective într-o perioadă mai mare de timp, diametrul interior al

creuzetului se mărește din cauza acțiunii brasajului, a masei metalului lichid, a interacțiunilor chimice dintre căptușeala refractară, pe de o parte, și zgura împreună cu baia metalică, pe de altă parte. În felul acesta, riscul de pătrundere a fontei lichide prin căptușeală, se mărește cu atât mai mult cu cât temperatura de supraîncălzire în stare lichidă este mai mare, deoarece fluiditatea fontei se mărește foarte mult. Coeficientul



**Figura 3.20. Căptușeala refractară granulară și fasonată a unui cuptor electric cu încălzire prin inducție cu creuzet. 1 – electrod de semnalizare a pătrunderii metalului lichid în căptușeală; 2 – vatră (căptușeală fasonată); 3 –căptușeală refractară granulară (perete); 4 – căptușeală refractară fasonată; 5 – jgheab de evacuare.**

de dilatare mare al căptușelii refractare la temperaturi mari în combinație cu o grosime mică a căptușelii refractare, poate genera fisurarea căptușelii refractare, apariția de crăpături în ea, pătrunderea fontei lichide prin ele și contactul fontei lichide cu inductorul de cupru. Consecința este topirea cuprului și contactul direct al fontei lichide cu apa. În felul acesta, apa se evaporă brusc, presiunea foarte mare a vaporilor



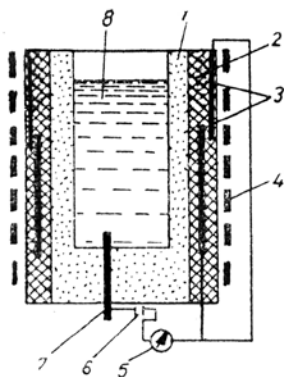
de apă generând explozii ce se pot solda cu accidente foarte grave. Asemenea explozii se produc și dacă respectiva căptușeală refractară are o grosime mică, adică mai mică decât grosimea critică la care pericolul de străpungere a căptușelii refractare de către fonta lichidă este iminent.

Amorsarea unor fisuri în căptușeala refractară poate fi cauzată și de coeficientul de dilatare mare al căptușelii refractare la temperaturi mici (cazul căptușelii refractare de natură chimică acidă) – la temperaturi mari, coeficientul de dilatare termică nu mai depinde de temperatură – în acest caz, cauza fiind scăderea temperaturii sub valoarea de  $800^{\circ}\text{C}$ , ca urmare a evacuării fontei lichide din cuptor.

Există mai multe modalități de avertizare a pericolului de explozii, dintre acestea, cele mai prezentate de literatura de specialitate fiind următoarele:

### **3.11.1. Sistem de avertizare prin închiderea unui circuit electric între baia metalică și electrozi implantați în căptușeala refractară**

În figura 3.21 se prezintă schema acestui sistem de avertizare. Conform acestei scheme, în cazul în care metalul lichid străpunge căptușeala refractară, ajunge la electrozii cilindrici 3 montați într-un strat izolator 2. În felul acesta, se



**Figura 3.21. Schema unui sistem de avertizare cu închidere de circuit. 1 – căptușeală refractară a creuzetului; 2 – strat de izolație; 3 – electrozi; 4 – inductor; 5, 6 – componente din circuitul electric; 7 – electrod; 8 – baie metalică.**

închide un circuit prin baia metalică 8, electrodul 7 ce se află în contact direct și permanent cu baia metalică și electrozii cilindrici 3. În acest circuit se montează dispozitive de avertizare vizuală și sonoră. Electrocul 3 de la partea superioară, are diametrul mai mare deoarece la acest nivel gradul de erodare și pericolul de străpungeră a căptușelii refractare sunt mici. Declanșarea sistemului de alarmare impune golirea imediată a creuzetului, după ce, în prealabil, cuptorul a fost deconectat de la rețeaua electrică.

### **3.11.2. Sistem de avertizare prin variația rezistenței electrice a căptușelii refractare**

În figura 3.22 se prezintă schema de semnalizare acustică și optică a apariției de fisuri în căptușeala refractară a creuzetului. Conform acestei scheme, electrozii 3 sunt în contact permanent cu baia metalică. Prin intermediul transformatorului de separație 4, se alimentează electrozii 3 și semnalizatoarele acustic 10 și optic 11. Dacă în căptușeala refractară apare o fisură, prin ea pătrunde fonta lichidă și, astfel, rezistența electrică a căptușelii refractare se micșorează, ceea ce conduce la mărirea intensității curentului I din secundarul transformatorului 4. Consecința este și închiderea contactelor 6 și 7 și deci conectarea la tensiune a sistemelor de semnalizare acustică 10 și optică 11. Avertizarea apariției de fisuri se soldează, de exemplu, cu evacuarea imediată a fontei lichide din cuptor după ce, în prealabil, cuptorul a fost deconectat de la rețea, remedierea fisurilor constatate (de exemplu cu amestec de material refractar granular acid și silicat de sodiu etc.) sau înlocuirea căptușelii refractare, după caz. Ulterior, prin intermediul întrerupătorului 9, se repune în stare de funcționare sistemul de avertizare. Întrerupătorul 8 are ca scop scoaterea din circuit a semnalizatorului acustic de către personalul ce deservește cuptorul și care a sesizat respectiva avertizare.

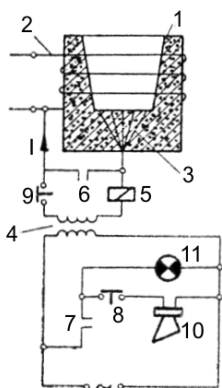


Figura 3.22. Schema unui sistem de avertizare prin variația rezistenței electrice a căptușelii refractare la apariția de fisuri în ea. 1 – creuzet; 2 – inductor; 3 – electrozi; 4 – transformator; 5 – contactor; 6 și 7 – contacte; 8 și 9 – întrerupătoare; 10 – semnalizator acustic; 11 – semnalizator optic; I – Intensitate a curentului din secundarul transformatorului 4.

### 3.11.3. Sistem de avertizare cu marcatori radioactivi

În acest caz, la o distanță critică de inductor, în căptușeala refractară, se amplasează marcatori radioactivi ce la o temperatură critică, de exemplu, emit radiații electromagnetice ce sunt interceptate, declanșând sisteme de avertizare sonoră și optică. Temperatura critică este dependentă fie de mărirea diametrului interior al creuzetului cauzată de erodare, fie de pătrunderea fontei lichide prin fisurile din căptușeala refractară. Ca marcatori radioactivi se folosesc elemente ce prin fenomenul de radioactivitate nu afectează sănătatea personalului ce deservește cuptorul respectiv.

### 3.11.4. Sistem de avertizare cu șablon metalic

Teoretic, dacă o căptușeală refractară este executată conform normelor tehnologice, ce sunt destul de exigente, dacă se face referire la neadmiterea unor toleranțe, și dacă este exploatată în mod corespunzător, fenomenul de fisurare nu este posibil să apară. În asemenea cazuri intervine doar erodarea indispensabilă ce se manifestă prin mărirea

diametrului interior al creuzetului. Pe lângă modificări ale unor parametri ce afectează buna funcționare a cuptorului (de exemplu, necesitatea măririi debitului de apă ce răcește inductorul, modificarea puterii absorbite etc.) se mărește pericolul de apariție a fisurilor în căptușeală. Pentru a se evita riscul unui accident de lucru, se utilizează șabloane metalice ce sunt niște inele ale căror diametrul exterior este egal cu o mărime critică a diametrului interior al creuzetului (al căptușelii refractare), mărime critică, începând de la care căptușeala refractară a creuzetului se înlocuiește cu una nouă.

Înainte de încărcarea cuptorului (sau imediat după evacuarea fontei din cuptor) se coboară șablonul inelar până la partea inferioară a creuzetului, evident atunci când uzura căptușelii refractare permite acest lucru, stabilindu-se decizia oportună în legătură cu continuarea sau nu a reluării ciclului tehnologic de elaborare.

O asemenea metodă de avertizare este riscantă în condițiile de executare necorespunzătoare a căptușelii refractare și de exploatare a cuptorului într-un regim de lucru anormal.

### **3.11.5. Sistem de avertizare cu aparate de măsură a rezistenței electrice a căptușelii refractare**

Se utilizează ohmmetre montate în circuite, în zonele critice ale căptușelii refractare. Asemenea ohmmetre măsoară încontinuu rezistența electrică a căptușelii refractare ce scade în zonele în care apar fisuri și pătrunde fonta lichidă în ele.

### **3.11.6. Sistem de avertizare cu plasă de material termorezistent**

În căptușeala refractară, la o distanță critică de inductor, se amplasează o plasă de material termorezistent, cu ochiurile de dimensiuni mici, ce se află într-un circuit electric

cu avertizare la un tablou electric. În caz de avarie, respectiv dacă fonta lichidă pătrunde prin fisuri și ajunge la respectiva plasă termorezistentă, se închide un circuit ce conține și sisteme de avertizare sonoră sau optică etc.

În cazul intrării în funcțiune a sistemelor de alarmare, în mod obligatoriu, se evacuează tot personalul din jurul cuptorului, după care topitorul, protejat de un paravan metalic cu un vizor confecționat din material rezistent la acțiunea stropilor de metal lichid, evacuează imediat baia metalică în groapa de descărcare de avarie sau într-o oală de turnare de avarie, după caz.

### **3.11.7. Avertizare prin creșterea factorului de putere**

Uzura căptușelii este sesizabilă și prin creșterea factorului de putere al cuptorului cu 10 ... 30% față de valoarea corespunzătoare fazei respective de elaborare. Această sesizare este confirmată de un număr mai mic de trepte ale bateriei de condensatoare ce realizează atenuarea factorului de putere (compensează factorul de putere la  $\cos \varphi = 1$ ).

### **3.12. Încărcarea cuptorului – a creuzetului**

Cuptoarele cu creuzet se încarcă prin intermediul benelor metalice, acordându-se atenție mărită centrării benei deasupra creuzetului pentru ca deteriorarea prin șoc mecanic a părții superioare a căptușelii refractare granulare să fie evitată sau să fie minimă. Prezența băii metalice remanente în creuzetele cuptoarelor ce funcționează la frecvența rețelei atenuază șocul mecanic cauzat de descărcarea benelor, protejându-se astfel căptușeala refractară.

## **4. Topirea**

### **4.1. Încărcătura metalică este constituită dintr-un sort metalic**

#### **4.1.1. Cuptoare ce funcționează cu frecvență medie sau mare**

##### **4.1.1.a. Schema logică**

În timpul topirii, majoritatea elementelor chimice din compoziția chimică a sortului metalic 1 se oxidează.

La modul general, pierderile, prin oxidare, de elemente chimice în timpul topirii se prezintă în tabelul 4.1.

În tabelul 4.1 s-a considerat că circa 75% din pierderile totale de elemente chimice ce se constată în timpul elaborării, se realizează în timpul topirii.

Valorile de pierderi prin oxidare prezentate în tabelul 4.1 sunt relative deoarece depind de o serie de factori cum ar fi următorii: afinitatea chimică față de oxigen a elementelor chimice, compoziția chimică a sortului metalic, forma în care se află elementele chimice în sortul metalic (soluție, compus chimic, amestec eutectic și metal pur, de exemplu), prevederea sau nu a cuptorului cu capac, gradul de ruginire, mărimea bucăților de sort metalic, proporția de șpan, prezența sau nu a materialelor de reducere în încărcătură, durata de topire etc.).

Pentru conducerea cu calculatorul a procesului de elaborare a fontei, s-au considerat pierderile prin oxidare din tabelul 4.1, valori care conduc la obținerea unei compoziții chimice relative a băii metalice după finalizarea etapei de topire.

Compoziția chimică a încărcăturii metalice este cea a sortului metalic dată de relația (4.1).

În continuare se pune problema aflării compoziției chimice a băii metalice după finalizarea etapei de topire.

Tabelul 4.1

**Pierderile de elemente chimice, în timpul topirii, în cuptorul electric cu încălzire prin inducție, cu creuzet, captușit acid, cu încărcătură metalică solidă și ce funcționează cu frecvență medie sau mare.**

Denumirea elementului chimic	C	S	Si	Mn	Cr	Ni*	P	Ti	Mo*	Al	Mg	W*	Fe	Cu*	V
Arderea în timpul topirii, în %	0,75	0,08	3,8	1,5	3,8		0,4	18,8		60			0,08		1
	...	...	...	...	...	0	...	...	0	...	100	0	...	0	...
	9,00	2,60	5,3	11,3	5,3		2,3	26,3		90			0,2		2

\*: **Notă.** În caz de topire în condiții nefavorabile, au loc pierderi și pentru elementele chimice Ni, Mo, W și Cu – oxidarea pentru Ni, Mo și Cu ajunge până la 3...4% – pentru fiecare element chimic – iar pentru W ajunge până la 1...2% (încărcătura metalică cu grad de ruginire mare, utilizare de șpan în încărcătură și, mai mult, cu grad de ruginire mare, realizarea topirii fără capac la cuptor etc.).

Dacă nu se cunosc modalitățile de implicare a factorilor ce influențează procesul de oxidare în timpul etapei de topire, se adoptă pierderile de elemente chimice prin oxidare în timpul topirii, din tabelul 4.1 ca fiind media aritmetică a valorilor extreme. De exemplu, pentru elementul chimic carbon, arderea în timpul topirii –  $\%a_{C_t}$  – este de  $\frac{0,75+9}{2} = 4,9\%$ . Este de preferat să se cunoască condițiile concrete de elaborare și, astfel, să se lucreze cu valori de ardere cât mai aproape de realitate.

Compoziția chimică a fontei după topire se determină cu relația (4.1).

$$[\%E_i]_t = < \%E_{i,s,m.1} > \left( 1 - \frac{\%a_{E_{it}}}{100} \right), \quad (4.1)$$

în care  $[\%E_i]_t$  – proporția de element chimic  $E_i$  din baia

metalică, după topire;  $\langle \%E_{i_{s.m.1}} \rangle$  – proporția de element chimic  $E_i$  din sortul metalic 1;  $\%a_{E_{i_t}}$  – proporția de element chimic  $E_i$  care arde în timpul topirii.

Ca sorturi metalice existente în baza de șarjare pot fi, considerate, de exemplu, sorturile prezentate în tabelele 5, 6, 7 și 8.

$\langle \%E_{i_{s.m.1}} \rangle$  reprezintă proporțiile de elemente chimice din compoziția chimică a sorturilor metalice prezentate, de exemplu, în tabelele 5, 6, 7 și 8.

$\%a_{E_{i_t}}$  reprezintă media aritmetică a extremelor din tabelul 4.1.

Relația (4.1) se aplică pentru toate elementele chimice din compoziția chimică a unicului sort metalic aflat în baza de șarjare (pentru fiecare element chimic din compoziția chimică a sortului metalic, de exemplu, din tabelele 5,6,7 și 8 – de exemplu, pentru poziția 10 din tabelul 5, elementele chimice C, Si, Mn, P, S, Cu și Cr).

De exemplu, proporția de carbon din baia metalică, după topire, în cazul în care sortul metalic conține 3,6% C iar arderea carbonului este de 4,9%, este de  $[\%C_t] = 3,6 \left(1 - \frac{4,9}{100}\right) = 3,42$ , prin aplicarea relației (4.1).

Prin aplicarea relației (4.1) se obține compoziția chimică a băii metalice, după topire – relația (4.2).

Compoziția chimică a  
băii metalice  
după topire }  $[\%E_i]_t = [\%E_1]_t, [\%E_2]_t, [\%E_3]_t, \dots$  (4.2)

#### **4.1.1.b. Rularea programului**

INCARCATURA METALICA ESTE CONSTITUITA DINTR-UN SORT METALIC  
CUPTOARE CE FUNCTIONEAZA CU FRECVENTA MEDIE SAU MARE



În timpul topirii, majoritatea elementelor chimice din compoziția chimică a sortului metalic 1 se oxidează.

La modul general, pierderile, prin oxidare, de elemente chimice în timpul topirii se prezintă în tabelul 4.1

Pierderile de elemente chimice, în timpul topirii, în cuptorul electric cu încălzire prin inducție, cu creuzet, căptușit acid, cu încărcătură metalică solidă și ce funcționează cu frecvență medie sau mare. Tabelul 4.1

În tabelul 4.1 s-a considerat că circa 75% din pierderile totale de elemente chimice ce se constată în timpul elaborării, se realizează în timpul topiri.

Valorile de pierderi prin oxidare prezentate în tabelul 4.1 sunt relative deoarece depind de o serie de factori cum ar fi următorii: afinitatea chimică față de oxigen a elementelor chimice,

compoziția chimică a sortului metalic, forma în care se află elementele chimice în sortul metalic (soluție, compus chimic, amestec eutectic și metal pur, de exemplu),

prevederea sau nu a cuptorului cu capac, gradul de ruginire, mărimea bucăților de sort metalic, proporția de șpan, prezența sau nu a materialelor de reducere în încărcătură, durata de topire etc.

Pentru conducerea cu calculatorul a procesului de elaborare a fontei, s-au considerat pierderile prin oxidare din tabelul 4.1,

valori care conduc la obținerea unei compoziții chimice relative a băii metalice după finalizarea etapei de topire.

Compoziția chimică a încărcăturii metalice este cea a sortului metalic dată de relația (44.1).

În continuare se pune problema aflării compoziției chimice a băii metalice după finalizarea etapei de topire.

Dacă nu se cunosc modalitățile de implicare a factorilor ce influențează procesul de oxidare în timpul etapei de topire, se adoptă pierderile de elemente chimice prin oxidare în timpul topiri, din tabelul 4.1 ca fiind media aritmetică a valorilor extreme. De exemplu, pentru elementul chimic carbon, arderea în timpul topirii este de  $(0,75+9)/2=4,9\%$ . Este de preferat să se cunoască condițiile concrete

de elaborare și, astfel, să se lucreze cu valori de arderi cât mai aproape de realitate.

Compoziția chimică a fontei după topire se determină cu relația (4.1). se calculează media aritmetică a extremelor valorilor arderii din tabelul 4.1.

$$C_t = 3.7099$$

$$S_t = 2.3863$$

$$M_t = 0.8892$$

$$S_t = 2.3863$$

$$P_{maxt} = 1.3811$$

$$S_{maxt} = 0.0592$$

$$V_t = 0$$

$$T_t = 0$$

$$N_t = 0$$

$$C_r = 0$$

$$C_u = 0$$

$$M_o = 0$$

$$M_g = 0$$

$$A_l = 0$$

$$W_t = 0$$

Pentru alte elemente de aliere deosebite de cele 14 menționate se introduce dacă este cazul valoarea arderii acestora în timpul etapei de TOPIRE

$$a_A = 0$$

$$a_{A1} = 0$$

$$a_{A2} = 0$$

$$A_t = 0$$

$$A_{1t} = 0$$

$$A_{2t} = 0$$

Relația (4.1) se aplică pentru toate elementele chimice din compoziția chimică a unicului sort metalic aflat în baza de șarjare

(pentru fiecare element chimic din compoziția chimică a sortului metalic, de exemplu, din tabelele 5,6,7 și 8 – de exemplu, pentru poziția 10 din tabelul 5, elementele chimice C, Si, Mn, P, S, Cu și Cr).

De exemplu, proporția de carbon din baia metalică, după topire, în cazul în care sortul metalic conține 3,6% C iar arderea carbonului este de 4,9%, este de  $[\%C_t] = 3,6(1 - 4,9/100) = 3,42$ , prin aplicarea relației (4.1).

Prin aplicarea relației (4.1) se obține compoziția chimică a băii metalice, după topire – relația 4.2.

PRIN STABILIREA COMPOZITIEI CHIMICE A BĂII METALICE DUPĂ TOPIRE ETAPA A LUAT SFARSIT

## **4.1.2. Cuptoare ce funcționează cu frecvența rețelei**

### **4.1.2.a. Schema logică**

Se apreciază că pierderile prin oxidare de elemente chimice, în timpul topirii, sunt mai mici decât în cazul topirii în cuptoare ce funcționează cu frecvențe medii sau mari, estimându-se că acestea reprezintă circa 50% din totalul pierderilor ce se constată în timpul elaborării. În tabelul 4.2 se prezintă pierderile prin oxidare, de elemente chimice, în timpul topirii.

Dacă nu se cunosc date concrete despre pierderile prin oxidare în timpul topirii, se iau în calcule mediile aritmetice ale extremelor din tabelul (4.2).

Compoziția chimică a fontei după topire se determină cu relația (4.3).

$$[\%E_i]_t = \langle \%E_i \rangle \left( 1 - \frac{\%a'_{E_{it}}}{100} \right), \quad (4.3)$$

în care  $[\%E_i]_t$  reprezintă proporția de element chimic din baia metalică, după topire;  $E_i$  reprezintă elementele chimice din încărcătura metalică (din relația (4.3));  $\langle \%E_i \rangle$  – proporția de element chimic din încărcătură (din relația (4.3));  $\%a_{E_{it}}$  – proporția de elemente chimice din încărcătură care se oxidează în timpul topirii (din tabelul 4.2), ca medie aritmetică a valorilor extreme.

Tabelul 4.2

**Pierderile de elemente chimice, în timpul topirii, în cuptorul cu inducție, cu creuzet, căptușit acid, cu încărcătură metalică solidă și lichidă și ce funcționează cu frecvența rețelei.**

Denumirea elementului chimic	C	S	Si	Mn	Cr	Ni	P	Ti	Mo	Al	Mg	W	Fe	Cu	V
Arderea în timpul topirii, în %	0,500 ... 6,00	0,05 ... 1,75	2,5 ... 4	1,0 ... 7,5	2,5 ... 3,5	0	0,25 ... 1,5	12,5 ... 17,5	0	45 ... 68	100	0	0,05 ... 0,15	0	0

De exemplu, dacă  $\langle \%E_i \rangle = 2,6$  iar  $\%a_{E_i t} = 5$ ,

$$[\%E_i]_t = 2,6 \left(1 - \frac{5}{100}\right) = 2,47,$$

Prin exprimare literară compoziția chimică a băii metalice, după topire, este de forma celei reprezentate în relația (4.2).

#### **4.1.2.b. Rularea programului**

INCARCATURA METALICA ESTE CONSTITUITA DINTR-UN SORT METALIC

CUPTOARE CE FUNCTIONEAZA CU FRECVENTA RETELEI

Se apreciază că pierderile prin oxidare de elemente chimice, în timpul topirii, sau mai mici decât în cazul topirii în cuptoare ce funcționează cu frecvențe medii sau mari, estimându-se că acestea reprezintă circa 50% din totalul pierderilor ce se constată în timpul elaborării. În tabelul (4.2) se prezintă pierderile prin oxidare, de elemente chimice, în timpul topirii.

Dacă nu se cunosc date concrete despre pierderile prin oxidare în timpul topirii, se iau în calcule mediile aritmetice ale extremelor din tabelul (4.2).

$$C_t = 2.6093$$

$$S_{it} = 1.3912$$

Mnt = 0.7218  
Pmaxt = 0.1247  
Smaxt = 0.0655  
Vt = 0  
Tit = 0  
Nit = 0.4200  
Crt = 0.1420  
Cut = 0  
Mot = 0.0900  
Mgt = 0  
Alt = 0  
Wt = 0

Pentru alte elemente de aliere deosebite de cele 14 menționate se introduce dacă este cazul valoarea arderii acestora în timpul etapei de TOPIRE

aA=0  
aA1=0  
aA2=0  
At = 0  
A1t = 0  
A2t = 0

Prin exprimare literară compoziția chimică a băii metalice, după topire, este de forma celei reprezentate în relația (4.2).

PRIN STABILIREA COMPOZITIEI CHIMICE A BĂII METALICE  
DUPA TOPIRE ETAPA A LUAT SFARSIT

## **4.2. Încărcătura metalică este constituită din două sau mai multe sorturi metalice**

### **4.2.1. Cuptoare ce funcționează cu frecvență medie sau mare**

#### **4.2.1.a. Schema logică**

Compoziția chimică a fontei după topire, se determină cu relația (4.4).

$$[\%E_i]_t = < \%E_i > \left( 1 - \frac{\%a_{E_i t}}{100} \right), \quad (4.4)$$

în care  $[\%E_i]_t$  reprezintă proporția de element chimic  $E_i$  din baia metalică, la finalul topirii;  $< \%E_i >$  – proporția de element chimic  $E_i$  din încărcătură (din relația (74.3));  $\%a_{E_i t}$  – proporția de element chimic  $E_i$  care arde în timpul topirii (media aritmetică a valorilor extremă din tabelul 4.1).

Cu relația (4.4) se obține compoziția chimică a băii metalice, după topire, compoziție chimică, ce, literar, este de aceeași formă cu relația (4.2).

#### **4.2.1.b. Rularea programului**

INCARCATURA METALICA ESTE CONSTITUITA DIN DOUA SORTURI METALICE SAU MAI MULTE IN CUPTOARE CE FUNCTIONEAZA CU FRECVENTA MEDIE SAU MARE

În timpul topirii, majoritatea elementelor chimice din compoziția chimică a sortului metalic 1 se oxidează.

La modul general, pierderile, prin oxidare, de elemente chimice în timpul topirii se prezintă în tabelul 4.1.

În tabelul 6.1 s-a considerat că circa 75% din pierderile totale de elemente chimice ce se constată în timpul elaborării, se realizează în timpul topiri.

Valorile de pierderi prin oxidare prezentate în tabelul 4.1 sunt relative deoarece depind de o serie de factori cum ar fi următorii: afinitatea chimică față de oxigen a elementelor chimice,

compoziția chimică a sortului metalic, forma în care se află elementele chimice în sortul metalic (soluție, compus chimic, amestec eutectic și metal pur, de exemplu),

prevederea sau nu a cuptorului cu capac, gradul de ruginită, mărimea bucăților de sort metalic, proporția de șpan, prezența sau nu a materialelor de reducere în încărcătură, durata de topire etc.).

Pentru conducerea cu calculatorul a procesului de elaborare a fontei, s-au considerat pierderile prin oxidare din tabelul 4.1, valori care

conduc la obținerea unei compoziții chimice relative a băii metalice după finalizarea etapei de topire.

Compoziția chimică a încărcăturii metalice este cea a sortului metalic dată de relația (4.1).

În continuare se pune problema aflării compoziției chimice a băii metalice după finalizarea etapei de topire.

Dacă nu se cunosc modalitățile de implicare a factorilor ce influențează procesul de oxidare în timpul etapei de topire, se adoptă pierderile de elemente chimice prin oxidare în timpul topirii, din tabelul 4.1 ca fiind media aritmetică a valorilor extreme. De exemplu, pentru elementul chimic carbon,

arderea în timpul topirii este de  $(0,75+9)/2=4,9\%$ . Este de preferat să se cunoască condițiile concrete de elaborare și, astfel, să se lucreze cu valori de ardere cât mai aproape de realitate.

Compoziția chimică a fontei după topire se determină cu relația (4.1). se calculează media aritmetică a extremelor valorilor arderii din tabelul 4.1

$$C_t = 3.7099$$

$$S_{it} = 2.3863$$

$$M_{nt} = 0.8892$$

$$S_{it} = 2.3863$$

$$P_{maxt} = 1.3811$$

$$S_{maxt} = 0.0592$$

$$V_t = 0$$

$$T_{it} = 0$$

$$N_{it} = 0$$

$$C_{rt} = 0$$

$$C_{ut} = 0$$

$$M_{ot} = 0$$

$$M_{gt} = 0$$

$$A_{lt} = 0$$

$$W_t = 0$$

Pentru alte elemente de aliere deosebite de cele 14 menționate se introduce dacă este cazul valoarea arderii acestora în timpul etapei de TOPIRE

$a_A=0$   
 $a_{A1}=0$   
 $a_{A2}=0$   
 $A_t = 0$   
 $A_{1t} = 0$   
 $A_{2t} = 0$

Relația (4.1) se aplică pentru toate elementele chimice din compoziția chimică a unicului sort metalic aflat în baza de șarjare (pentru fiecare element chimic din compoziția chimică a sortului metalic, de exemplu, din tabelele 5,6,7 și 8 – de exemplu, pentru poziția 10 din tabelul 5, elementele chimice C, Si, Mn, P, S, Cu și Cr).

De exemplu, proporția de carbon din baia metalică, după topire, în cazul în care sortul metalic conține 3,6% C iar arderea carbonului este de 4,9%, este de  $[\%C_t] = 3,6(1 - 4,9/100) = 3,42$ , prin aplicarea relației (4.1).

Prin aplicarea relației (4.1) se obține compoziția chimică a băii metalice, după topire – relația 4.2.

PRIN STABILIREA COMPOZITIEI CHIMICE A BĂII METALICE DUPA TOPIRE ETAPA A LUAT SFARSIT

## **4.2.2. Cuptoare ce funcționează cu frecvența rețelei**

### **4.2.2.a. Schema logică**

Compoziția chimică a fontei după topire, se determină cu relația (4.5).

$$[\%E_i]_t = \langle \%E_i \rangle \left( 1 - \frac{\%a_{E_{it}}}{100} \right), \quad (4.5)$$

în care  $[\%E_i]_t$  reprezintă proporția de element chimic  $E_i$  din baia metalică, după topire;  $\langle \%E_i \rangle > 1$  – proporția de element chimic  $E_i$  din încărcătură (calculat, de exemplu, cu relația (74.6), în cazul în care se utilizează în încărcătură două sorturi metalice);  $\%a_{E_{it}}$  – proporția de element chimic  $E_i$  care arde în



timpul topirii (media aritmetică a valorilor extremă din tabelul 4.2).

Cu relația (4.5) se obține compoziția chimică a băii metalice, după topire, compoziție chimică, ce, literar, este de aceeași formă cu relația (4.2).

#### **4.2.2.b. Rularea programului**

INCARCATURA METALICA ESTE CONSTITUITA DIN DOUA SAU MAI MULTE SORTURI METALICE

CUPTOARE CE FUNCTIONEAZA CU FRECVENTA RETELEI

Se apreciază că pierderile prin oxidare de elemente chimice, în timpul topirii, sau mai mici decât în cazul topirii în cuptoare ce funcționează cu frecvențe medii sau mari, estimându-se că acestea reprezintă circa 50% din totalul pierderilor ce se constată în timpul elaborării. În tabelul (4.2) se prezintă pierderile prin oxidare, de elemente chimice, în timpul topirii.

Dacă nu se cunosc date concrete despre pierderile prin oxidare în timpul topirii, se iau în calcule mediile aritmetice ale extremelor din tabelul (4.2).

$$Ct = 2.6093$$

$$Sit = 1.3912$$

$$Mnt = 0.7218$$

$$Pmaxt = 0.1247$$

$$Smaxt = 0.0655$$

$$Vt = 0$$

$$Tit = 0$$

$$Nit = 0.4200$$

$$Crt = 0.1420$$

$$Cut = 0$$

$$Mot = 0.0900$$

$$Mgt = 0$$

$$Alt = 0$$

$$Wt = 0$$

Pentru alte elemente de aliere deosebite de cele 14 menționate se introduce dacă este cazul valoarea arderii acestora în timpul etapei de TOPIRE

$aA=0$

$aA1=0$

$aA2=0$

$At = 0$

$A1t = 0$

$A2t = 0$

Prin exprimare literară compoziția chimică a băii metalice, după topire, este de forma celei reprezentate în relația (4.2).

PRIN STABILIREA COMPOZITIEI CHIMICE A BĂII METALICE  
DUPA TOPIRE ETAPA A LUAT SFARSIT

### **4.3. Aspecte ale topirii**

#### **4.3.1. Aspecte de supraveghere**

Pentru ca durata de topire să fie minimă se preferă să se lucreze cu puterea maximă.

Se va urmări cu atenție modul de topire al încărcăturii pentru a se evita formarea «podurilor». «Podurile» reprezintă blocări ale bucăților de încărcătură metalică ce formează un bloc comun cu căptușeala refractară.

Formarea unui asemenea «pod» înseamnă prelungirea duratei de topire împreună cu toate consecințele ce decurg de aici, cum ar fi următoarele:

dizolvarea de gaze suplimentare în baia metalică, mărirea pierderilor prin oxidare, solicitarea suplimentară a căptușelii refractare, mărirea costului fontei obținute etc. Evitarea formării «podurilor» se face printr-un aranjament corespunzător al sorturilor metalice în bena de încărcare, utilizarea de bucăți de dimensiuni optime, așa cum s-a prezentat în prezentul manual, intervenții din partea personalului ce deservește cuptorul cu scule adecvate etc. În cazul în care s-a format un asemenea «pod», eliminarea lui se

efectuează prin topire-dizolvare, apelându-se în acest scop la înclinarea cuptorului înspre respectivul «pod», înclinarea menținându-se până la dispariția «podului». Este interzis să se distrugă «podul» prin șocuri mecanice – prin lovire cu scule – deoarece se riscă distrugerea prematură a căptușelii refractare.

După apariția băii metalice (la cuptoarele ce funcționează la frecvența rețelei tot timpul) se recomandă ca groapa de colectare din fața cuptorului să fie uscată (de asemenea incinta în care se află cuptorul cu creuzet) și să fie pregătită o oală de turnare de avarie ce să preia tot metalul lichid în caz de avarie – de perforare a creuzetului.

Verificarea stării căptușelii, verificarea cilindrilor de basculare a cuptorului în vederea evacuării eventualelor acumulări de aer, controlarea instalației de răcire cu apă, verificarea sistemului de deconectare automată a tensiunii de alimentare a inductorului în caz de întrerupere accidentală a alimentării cu apă a inductorului, prevederea cuptorului cu două sisteme de răcire cu apă a inductorului, dintre care unul manual, pentru intervenții în caz de întrerupere accidentală a alimentării cuptorului cu energie electrică etc., sunt măsuri ce trebuie să urmeze întocmai «caietele» tehnice întocmite de fabricanți și utilizatori. Nerespectarea unor asemenea măsuri atrage după sine accidente grave, stagnarea producției o perioadă mare de timp, mărirea costului fontei obținute etc.

În timpul etapei de topire conținutul de gaze din faza metalică crește și depinde de următorii factori:

– durata de topire. Cu cât durata de topire este mai mare, cu atât conținuturile de H și N din faza metalică se măresc mai mult. Moleculele biatomice  $H_2$  și  $N_2$ , dar și vaporii de apă din faza gazoasă a cuptorului, disociază în atomi în urma ciocnirilor cu bucățile de încărcătură și baia metalică. Atomii rezultați se adsorb, de exemplu, la suprafața fierului topit, urmând ca pe măsură ce temperatura se mărește, prin

difuzie, atomii respectivi să pătrundă în faza metalică conform proceselor următoare:

$$\{N_2\} = 2[N] \quad (4.6)$$

$$\{H_2\} = 2[H] \quad (4.7)$$

$$\{H_2O\} = 2[H] + [O] \quad (4.8)$$

– temperatura. Deoarece procesele de dizolvare a gazelor în baia metalică sunt endoterme, rezultă că pe măsură ce temperatura crește, cantitatea de gaze ce se dizolvă în baia metalică se mărește;

– presiunea parțială a gazelor din faza gazoasă. Presiunea parțială a gazelor depinde de concentrația de gaze și presiunea totală, conform relației clasice (4.9).

$$p_G = \frac{\%G}{100} \cdot P_t, \quad (4.9)$$

în care  $p_G$  – presiunea parțială a gazului;  $\%G$  – proporția de gaz din atmosfera gazoasă a cuptorului;  $P_t$  – presiunea totală a fazei gazoase. Cu cât presiunea parțială a unui element gazos este mai mare, cu atât cantitatea de gaz dizolvat în baia metalică este mai mare.

Pentru reacția chimică generală de dizolvare a unui gaz  $G$  în baia metalică – (4.10) – conținutul de gaz din baia metalică (în cazul în care se consideră baia metalică o soluție infinit diluată, în elementul gazos  $G$ ) se calculează cu relația (4.11).

$$\frac{1}{2}\{G_2\} = [G] \quad (4.10)$$

$$[G] = K\sqrt{p_{G_2}}, \quad (4.11)$$

în care  $[G]$  – concentrația de gaz G din baia metalică, provenit din faza gazoasă a cuptorului; K – constanta de echilibru a reacției chimice (3.326);  $p_{G_2}$  – presiunea parțială, la echilibru, a gazului G din faza gazoasă a cuptorului;

– compoziția chimică a băii metalice. Cu cât baia metalică conține elemente chimice ce favorizează dizolvarea de gaze, cu atât conținutul de gaze din faza metalică este mai mare. De exemplu, elementele chimice precum Cr, Mn și V favorizează dizolvarea de hidrogen și azot;

– caracterul chimic al zgurii. Deoarece zgurile acide ce conțin o proporție mare de  $SiO_2$  au permeabilitate mai mică la gaze, elaborarea fontei în cuptoare cu arc electric căptușite acid determină obținerea de fonte cu un conținut mai mic de gaze;

– cantitatea de fondanți. Fonta elaborată în cuptoare căptușite acid are un conținut mai mic de gaze și datorită consumului mai mic de fondanți;

– gradul de puritate al încărcăturii metalice. Cu cât încărcătura metalică este mai ruginită, mai umedă, conține maselote de fontă cu grafit nodular în proporție mai mare (maselotele conțin mai mult hidrogen și mai multe incluziuni nemetalice) etc., cu atât fonta obținută va conține o cantitate mai mare de gaze;

– gradul de calcinare (de preîncălzire) al feroaliajelor utilizate. Feroaliajele conțin 4...50  $cm^3$  H/100 g și maximum 0,04% N. Prin preîncălzire o parte din gaze este eliminată;

– gradul de calcinare al materialelor de formare a zgurii. Prin calcinare, se micșorează conținutul de gaze;

– utilizarea de calcar în loc de var nestins. Astfel,  $CO_2$ , ce se degajă din disocierea  $CaCO_3$  conținut de calcar, determină o agitare a băii metalice ce conduce la o micșorare a conținutului de gaze etc.

### **4.3.2. Formarea zgurii**

Se disting două categorii de zgură, acestea fiind zgura primară și zgura finală.

Zgura primară este zgura ce se formează la începutul topirii iar zgura finală este zgura ce se evacuează din cuptor înainte de evacuarea fontei.

Sursele de formare a zgurii la elaborarea fontei în cuptoare cu creuzet căptușit acid sunt următoarele :

– nisipul sinterizat pe suprafața deșeurilor proprii (conține 85% SiO<sub>2</sub> și 15% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>);

– oxizii existenți la suprafața bucăților din încărcătura metalică (FeO, MnO etc.);

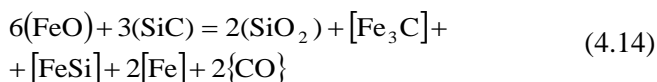
– căptușeala refractară granulară (SiO<sub>2</sub>);

– oxidarea unor elemente chimice din faza metalică în timpul elaborării (FeO, MnO, SiO<sub>2</sub> și oxizi ai unor elemente de aliere).

– materialele de adaos introduse cu diverse scopuri (desulfurare, defosforare etc.), situație în care zgura își schimbă compoziție chimică în mod radical, deoarece randamentele proceselor urmărite au valori cu mult sub 100% – carbid, sodă calcinată, sodă caustică, var nestins, minereu de fier, calcar, fluorină etc., aceste materiale conținând următorii compuși chimici, ce suportă sau nu disocieri: CaC<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NaOH, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub>, CaF<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub> etc.

Pe măsură ce temperatura se mărește, conținutul de FeO din zgura primară se micșorează datorită reducerii acestuia de către carbonul din faza metalică dar și de către carbonul din materialele reducătoare din încărcătură, conform reacțiilor chimice următoare:





Conținutul de FeO din zgura primară scade cu atât mai mult, cu cât conținutul de siliciu din faza metalică este mai mare. Pentru o situație dată, de exemplu, conținutul de FeO din zgura primară a scăzut de la circa 35%, corespunzător temperaturii de 1 300°C, la circa 18%, corespunzător temperaturii de 1 500°C.

Conținutul de SiO<sub>2</sub> din zgura primară se mărește odată cu mărirea temperaturii, cu atât mai mult cu cât conținutul de siliciu din faza metalică este mai mare. Așa, de exemplu, măbind temperatura de la 1 300°C la 1 500°C, conținutul de SiO<sub>2</sub> din zgura primară se mărește de la circa 42% la circa 60%.

Zgura finală face parte din sistemul SiO<sub>2</sub>-FeO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. În tabelul 4.3 se prezintă compoziția chimică a zgurii finale ce se obține la elaborarea fontei în cuptoare căptușite acid.

Compoziția chimică a zgurii finale depinde foarte mult de desfășurarea reacției chimice (5.1).

Tabelul 4.3

**Compoziția chimică a zgurii finale, în cazul elaborării fontei în cuptoare electrice cu încălzire prin inducție, căptușite acid și neutru.**

Natura chimică a căptușelii refractare acidă	Compoziția chimică, în %			
	SiO <sub>2</sub>	FeO+Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	45,0...70,0	5,0...30,0	2,0...20,0	0,2...20,0

Temperatura de echilibru a reacției chimice (5.1) se determină din nomograma prezentată în figura 5.3. Dacă temperatura băii metalice este mai mare decât temperatura de echilibru, are loc oxidarea parțială a carbonului din baia metalică. Dacă temperatura băii metalice este mai mică decât

temperatura de echilibru, are loc oxidarea parțială a siliciului din baia metalică iar cantitatea de zgură se mărește.

La fel de importantă pentru zgura finală este și reacția chimică (5.5).

Și reacției chimice (5.5) îi este caracteristică o temperatură de echilibru ce depinde de conținuturile de carbon și siliciu din baia metalică dar și de activitatea termodinamică a  $\text{SiO}_2$  din zgură (de compoziția chimică a zgurii și concentrația de  $\text{SiO}_2$  din zgură). Având în vedere că în zgură se află și oxizi de natură chimică bazică și cu caracter amfoter, activitatea termodinamică a  $\text{SiO}_2$  din zgură este mai mică decât activitatea termodinamică a  $\text{SiO}_2$  din baia metalică.

Din acest motiv se apreciază că temperatura de echilibru a reacției chimice (5.5) la același conținut de carbon și de siliciu în baia metalică, este mai mare decât temperatura de echilibru a reacției chimice (5.1).

Cu cât temperatura băii metalice este mai mare decât temperatura de echilibru a reacției chimice (5.5), reacția chimică (5.5) se va desfășura până la epuizarea reactantului  $\text{SiO}_2$  din zgură, grosimea stratului de zgură devenind foarte mică, baia metalică descoperindu-se parțial de stratul de zgură. Este evident că epuizarea  $\text{SiO}_2$  din zgură presupune o menținere corespunzătoare a fontei în cuptor. La temperaturi foarte mari ale băii metalice,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$  și  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sunt reduși de către carbonul din baia metalică, iar la durate mai mari de menținere în stare lichidă, zgura dispăre de la suprafața băii metalice.

Conținutul mare de  $\text{FeO}$  și  $\text{MnO}$  în zgura finală determină o vâscozitate mică pentru zgură, o reactivitate chimică mare față de căptușeala refractară acidă (se formează combinații chimice complexe de tipul  $\text{FeO}_m\text{SiO}_2_n\text{MnO}$  ce au fuzibilitatea mică). În mod curent se formează ortosilicatul de fier ce este ușor fuzibil, căptușeala erodându-se în mod vizibil.

Cu cât dimensiunile bucașilor metalice din încărcătură sunt mai mici, cu atât cantitatea de oxizi de fier din zgura



finală se mărește. În tabelul 4.4 se prezintă influența dimensiunilor bucăților din încărcătura metalică asupra conținutului de FeO din zgura finală cât și asupra pierderilor totale de elemente chimice prin oxidare.

Pe măsură ce crește conținutul de FeO din zgură, cresc și pierderile de elemente chimice din baia metalică prin oxidare, așa cum se vede și din exemplul dat în tabelul 4.4.

În practică se caută micșorarea conținutului de oxizi de fier din zgură prin utilizarea în încărcătură de materiale reducătoare. În tabelul 4.5 se dă un exemplu de schimbare a compoziției chimice a zgurii după topire, prin utilizarea în încărcătură de carbură de siliciu ca material de reducere.

Tabelul 4.4

**Influența dimensiunilor bucăților din încărcătura metalică asupra conținutului de FeO din zgura finală și asupra pierderilor totale de elemente chimice prin oxidare la un cuptor electric cu încălzire prin inducție căptușit acid.**

Denumirea sortului metalic	Suprafața specifică a bucăților din încărcătura metalică, în mm <sup>2</sup> /g	Cantitatea de FeO din zgura finală, în %	Pierderile totale de elemente chimice prin oxidare, în %
Bucăți de cilindri de laminor	1,75...1,82	3,0...4,5	0,7...1,1
Tole de oțel	23,00...32,00	5,0...6,8	1,8...3,2
Laminate de oțel carbon	52,00...84,00	5,4...13,9	2,0...5,5
Șpan	140,00...162,00	16,0...24,8	5,0...8,9
Pachete de tablă de oțel	265,00...280,00	24,0...36,0	8,8...12,0

Cu cât conținutul de siliciu din faza metalică este mai mare și cu cât conținutul de carbon, din aceeași fază, este mai

mic, cu atât temperatura de formare a zgurii este mai mare. În figura 4.1 se prezintă dependența temperaturii de formare a zgurii primare de conținuturile de carbon și siliciu din faza metalică.

Tabelul 4.5

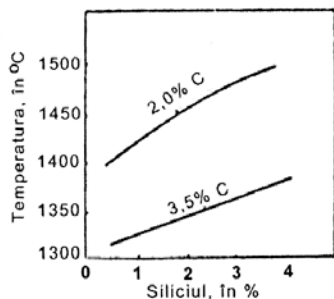
**Schimbarea compoziției chimice a zgurii de la finalul topirii prin utilizarea în încărcătură de carbură de siliciu de compoziție tehnică, în cazul elaborării într-un cuptor electric cu încălzire prin inducție, căptușit acid.**

Componența încărcăturii	Compoziția chimică a zgurii la finalul topirii, în %							
	SiO <sub>2</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	O*	Alți oxizi
Normală	60,65	21,18	0,43	5,54	9,48	1,79	0,0025	1,93
	59,24	13,20	0,01	7,25	16,18	0,71	0,0034	3,41
Cu adaos de material reducător (SiC)	61,80	3,30	–	12,11	18,71	0,31	0,0011	3,77
	62,14	1,81	0,16	12,25	18,31	0,15	0,0012	4,18

\*– conținut peste 100%

Dacă zgura finală are un conținut mare de oxizi de fier, culoarea este neagră. Pentru conținuturi mici de oxizi de fier culoarea este gălbuie. Conținuturi mari de MnO în zgură determină o culoare brună pentru zgură. Apariția de MgO și CaO în zgură transformă aspectul sticlos din ruptură în aspect mat.

În condiții obișnuite de temperatură, zgura acidă nu este activă din punct de vedere metalurgic. În cazul în care se introduc pe suprafața zgurii diverse materiale, interacțiunea are loc între baia metalică și respectivele materiale, în principal – nu prin intermediul zgurii propriu-zise.



**Figura 4.1. Dependența temperaturii de formare a gurii primare de conținuturile de Si și C din**

În cazul în care cantitatea de zgură nu reprezintă un strat cu grosimea de 20...30 mm (1,3%) se adaugă în cuptor nisip cuarțos și, eventual, deșeuri de sticlă până la realizarea acestui regim.

### **5. Supraîncălzirea fontei în stare lichidă**

Randamentul termic la supraîncălzirea fontei în stare lichidă se estimează ca variind între limitele 60...70%.

Costul supraîncălzirii fontei în stare lichidă cu 200°C în cuptorul electric cu încălzire prin inducție, pentru o tonă de fontă, este de circa 10 ori mai mic decât în cazul cubiloului.

Supraîncălzirea fontei în stare lichidă urmărește, în scopul măririi caracteristicilor mecanice de rezistență și a unor proprietăți speciale, următoarele două fenomene, în principal:

- dezactivarea germenilor eterogeni ce au o influență necontrolată asupra structurii metalografice a fontei. În timpul supraîncălzirii are loc dizolvarea parțială a particulelor solide ce au mărimea sub 10 μm precum și separarea în zgură (procesul de separare în zgură este accelerat și de fenomenul de coagulare – unirea a două sau mai multe particule solide – ce determină mărirea vitezei de ascensiune prin baia metalică). Germeții eterogeni reprezintă oxizi, sulfuri, nitruri, boruri, carburi, compuși chimici complecși și grafit;

- crearea unei structuri a fontei lichide ce să determine la transformarea eutectică obținerea unui număr mare de celule

eutectice cu grafitul fin și uniform repartizat în matricea metalică.

Temperatura de supraîncălzire a fontei în stare lichidă se determină din nomograma prezentată în figura 5.3, în funcție de conținuturile de carbon și siliciu din baia metalică. În nomograma respectivă este reprezentată și temperatura de echilibru a reacției chimice (5.1). Temperatura de supraîncălzire și temperatura de echilibru a reacției chimice (5.1) se determină prin unirea cu o dreaptă a punctelor de pe ordonatele pe care sunt reprezentate conținuturile de siliciu și carbon. Intersecția acelei drepte cu ordonata din mijloc reprezintă punctul ce indică temperatura de echilibru și temperatura de supraîncălzire a băii metalice.



Crearea de noi centri de cristalizare se realizează prin variația conținutului de oxigen din baia metalică. Astfel, pe măsură ce temperatura băii metalice se mărește, se mărește și conținutul de oxigen absorbit de către baia metalică, însă, numai până la temperatura de echilibru a reacției chimice (5.1). În cazul temperaturilor mai mari decât temperatura de echilibru, se desfășoară reacția (5.1) de la stânga spre dreapta, ceea ce reprezintă, fierberea fontei (fierbere cauzată de eliminarea bulelor de CO). Bulele de CO ce se evacuează din baia metalică determină și antrenarea germenilor eterogeni. Eliminarea aceluiași bule de CO înseamnă și eliminarea parțială a oxigenului din baia metalică, adică înseamnă dezoxidarea fontei. În figura 5.1 se prezintă variația conținutului de oxigen din fonta lichidă în funcție de temperatura acesteia, în absența și prezența siliciului. Domeniul hașurat arată modul de variație al conținutului de oxigen ce începe să scadă, în cazul temperaturilor mai mari decât temperatura de echilibru (temperatura de echilibru corespunde unui grad de supraîncălzire egal cu zero).

Bulele de CO ce se degajă din reacția (5.1) antrenează și gaze în exteriorul băii metalice, ceea ce înseamnă că supraîncălzirea fontei lichide la temperaturi mai mari decât temperatura de echilibru a reacției chimice (5.1) are și rol de degazare parțială a fontei.

Prin distrugerea germenilor eterogeni în timpul supraîncălzirii, se mărește tendința de cristalizare a fontei în sistemul metastabil Fe-C, se mărește gradul de subrăcire la transformarea eutectică, se micșorează numărul de celule eutectice, crește cantitatea de grafit punctiform interdendritic și de grafit lamelar interdendritic și se mărește proporția de ferită din matricea metalică.

Gradul de subrăcire al fontei la transformarea eutectică se mărește cu atât mai mult cu cât timpul de menținere, la temperatura de supraîncălzire mai mare decât temperatura de echilibru, este mai mare.

De exemplu, pentru o fontă dată, menținând fonta în stare lichidă la temperatura de  $1\ 480^{\circ}\text{C}$ , gradul de subrăcire a crescut de la  $13^{\circ}\text{C}$  la  $22^{\circ}\text{C}$  în timpul a 5,5 h. Cu cât gradul de saturație în carbon al fontei este mai mare cu atât gradul de subrăcire al fontei este mai mic.

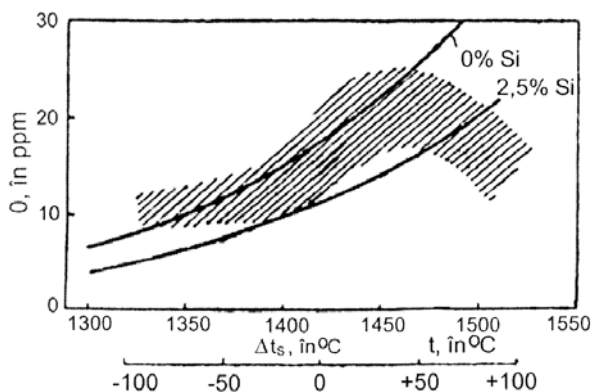
Numărul de celule eutectice se micșorează cu atât mai mult cu cât timpul de menținere în stare lichidă, la o temperatură de supraîncălzire mai mare decât temperatura de echilibru, este mai mare. De exemplu, numărul de celule eutectice a scăzut de la circa 550 celule eutectice/cm<sup>2</sup> la circa 300 de celule eutectice/cm<sup>2</sup> în timpul menținerii fontei la temperatura de  $1\ 530^{\circ}\text{C}$ , timp de 4,5 h.

Tendința de albire a fontei se mărește cu atât mai mult cu cât timpul de menținere, la o temperatură de supraîncălzire mai mare decât temperatura de echilibru, este mai mare. De exemplu, înălțimea zonei albe de pe înălțimea probei până a crescut de la 12 mm la 30 mm în timpul menținerii fontei la temperatura de  $1\ 480^{\circ}\text{C}$ , timp de circa 4 ore.

Proporția de grafit punctiform interdendritic și lamelar

interdendritic se mărește odată cu mărirea timpului de menținere la o temperatură de supraîncălzire mai mare decât temperatura de echilibru. În cazul perioadelor mai mari de menținere, proporția de grafit punctiform interdendritic și lamelar interdendritic rămâne invariabilă.

Pentru a se evita toate influențele negative ale menținerii fontei în stare lichidă la o temperatură mai mare decât temperatura de echilibru, după ce a fost supraîncălzită la temperatura de supraîncălzire determinată cu nomograma din figura 5.3, fonta este menținută pentru omogenizare, practic, o perioadă de 15...30 minute.

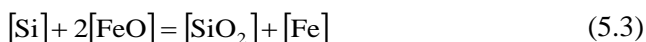


**Figura 5.1. Variația conținutului de oxigen din fonta lichidă în funcție de temperatura acesteia, în absența și prezența siliciului.**  
**t – temperatura; Δt<sub>s</sub> – gradul de supraîncălzire.**

Pentru a se micșora tendința de cristalizare în sistemul metastabil Fe-C trebuie refăcuți germenii de cristalizare eterogeni, însă în mod ordonat – controlat. Acest lucru este realizat prin oxidarea parțială a siliciului din fonta lichidă de către oxigenul ce își micșorează solubilitatea în fonta lichidă prin micșorarea bruscă a temperaturii.

Micșorarea bruscă a temperaturii băii metalice este provocată prin introducerea în aceasta de bucăți de deșuri de

oțel într-o cantitate ce reiese dintr-un calcul de bilanț termic sau prin evacuarea fontei în oale de turnare reci. Temperatura până la care se realizează răcirea trebuie să fie mai mică decât temperatura de echilibru. Surplusul de oxigen ce este în afara echilibrului cu temperatura intră în reacție cu elementul chimic din baia metalică ce are afinitatea chimică față de oxigen cea mai mare. La temperaturile băii metalice de la elaborarea fontei în cuptorul electric cu încălzire prin inducție, siliciul este elementul chimic ce se oxidează conform reacțiilor chimice (5.2) și (5.3).

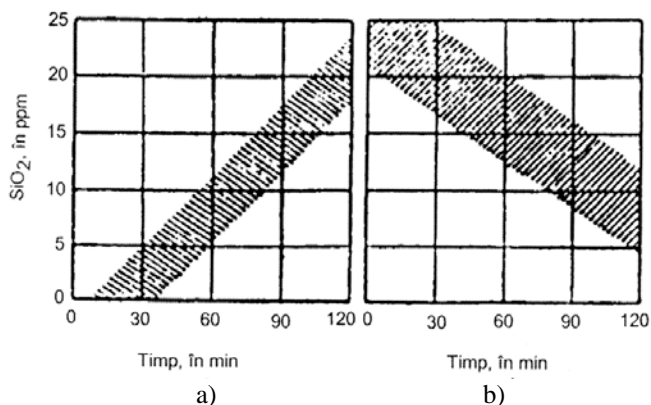


SiO<sub>2</sub> rezultat din reacția chimică (5.2) sau reacția chimică (5.3) constituie centri suplimentari de cristalizare ce determină ca fonta să cristalizeze în sistemul stabil Fe-C<sub>grafit</sub> iar grafitul să fie fin (lungimea și grosimea lamelor mici) și uniform repartizat în matricea metalică.

Reacția chimică (5.2) sau (5.3) este neconvenabilă din punctul de vedere al micșorării conținutului de siliciu din baia metalică. Reacția chimică (5.2), sau (5.3), este o reacție chimică lentă și are loc și în condițiile în care fonta este menținută în stare lichidă la o temperatură mai mică decât temperatura de echilibru. În figura 5.2 se prezintă variația conținutului de SiO<sub>2</sub> din fonta lichidă în timpul menținerii fontei în stare lichidă la o temperatură mai mică decât temperatura de echilibru (a) și la o temperatură mai mare decât temperatura de echilibru (b). Se observă din figura 5.2 că, dacă la temperaturi de menținere mai mici decât temperatura de echilibru conținutul de SiO<sub>2</sub> din fonta lichidă, se mărește, la temperaturi de menținere mai mari decât temperatura de echilibru, conținutul de SiO<sub>2</sub> din fonta lichidă se micșorează ca urmare a desfășurării reacției chimice (5.1).

Evitarea micșorării conținutului de siliciu din fontă se face prin introducerea de siliciu în baia metalică sub formă de FeSi (de preferință FeSi75) sau CaSi, în proporție de 0,1...0,6% și cu mărirea granulelor de 1...5 mm.

Pentru obținerea de eficiență maximă, răcirea provocată a fontei se realizează cu puțin timp înainte de evacuarea fontei din cuptor, preferându-se ca introducerea de FeSi sau CaSi să se realizeze pe jetul de evacuare din cuptor. FeSi sau CaSi se pot introduce și în jetul de transvazare din oala de turnare rece (în care s-a realizat răcirea provocată) în oala de turnare obișnuită (preîncălzită).

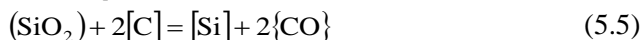
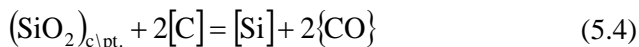


**Figura 5.2. Variația conținutului de SiO<sub>2</sub> din fonta lichidă în funcție de perioada de menținere în stare lichidă la temperaturi mai mici decât temperatura de echilibru (1 350<sup>0</sup>C față de 1 421<sup>0</sup>C) – a – și la temperaturi mai mari decât temperatura de echilibru (1 510<sup>0</sup>C față de 1 421<sup>0</sup>C) – b –, pentru o fontă dată.**

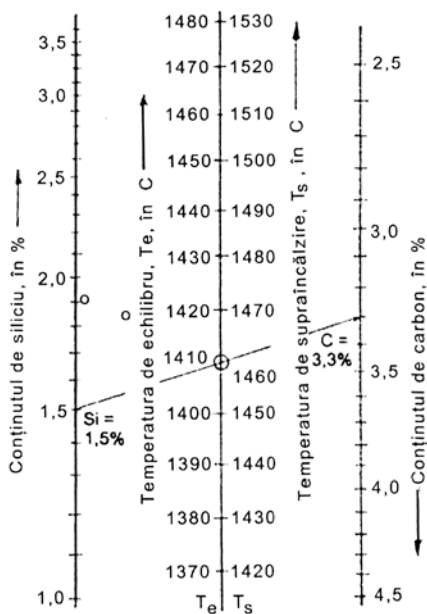
În timpul supraîncălzirii fontei și menținerii la temperaturi mai mari decât temperatura de echilibru are loc și micșorarea conținutului de carbon din baia metalică. Micșorarea conținutului de carbon din fonta lichidă este accentuată în cazul în care căptușeala refractară este de natură



chimică acidă deoarece reacția chimică (5.1) își are echivalentul și în reacțiile chimice (5.4) și (5.5).



Desfășurarea reacției chimice (5.4) – cu atât mai intensă cu cât gradul de supraîncălzire este mai mare – înseamnă micșorarea grosimii căptușelii refractare granulare, motiv în plus de limitare a duratei de menținere la temperatura de supraîncălzire ( $T_S$  din nomogramă) la 15...30 min, așa cum s-a menționat anterior (limita maximă se întâlnește la cuptoarele cu capacități mare).



**Figura 5.3.** Nomogramă pentru determinarea temperaturilor de echilibru,  $T_e$ , ale reacției  $[\text{SiO}_2] + 2[\text{C}] = 2\{\text{CO}\} + [\text{Si}]$  și temperaturilor de supraîncălzire a băii metalice, în funcție de conținuturile de carbon și de siliciu din baia metalică.

Temperatura optimă la care trebuie răcită baia

metalică după supraîncălzire, în vederea fixării cantității de oxigen din afara echilibrului termic, este de 50<sup>0</sup>C sub temperatura de echilibru.

## **6. Tratamente metalurgice aplicate fontei în stare lichidă**

### **6.a. Schema logică**

După finalizarea etapei de topire, baia metalică are compoziția chimică reală, conform relației (4.2), adică

$$[%E_i]_t = [%E_1]_t, [%E_2]_t, [%E_3]_t, \dots \quad (6.01)$$

Compoziția chimică a fontei ce trebuie elaborată este (6.02)

$$[%E_i] = [%E_1], [%E_2], [%E_3], \dots \quad (6.02)$$

Compoziția chimică a fontei ce trebuie elaborată poate fi exprimată prin intervale de valori ale concentrațiilor elementelor chimice, prin conținuturi maxime și prin conținuturi minime.

Tratamentele metalurgice, printre altele, trebuie să asigure compoziția chimică a fontei propuse să fie elaborată.

După etapa de topire, procesul de oxidare continuă pentru majoritatea elementelor chimice din topitura metalică.

Prin raportare la compoziția chimică a fontei propuse să fie elaborată, luându-se în considerație pierderile prin oxidare în timpul tratamentelor metalurgice aplicate fontei în stare lichidă supraîncălzită, se calculează cât trebuie să fie compoziția chimică a fontei lichide după etapa de topire, numită compoziție chimică teoretică după topire în așa fel încât să se obțină fonta propusă a fi elaborată.

Se compară compoziția chimică reală de după topire cu compoziția chimică teoretică de după topire și se trag

concluzii în legătură cu natura operațiilor metalurgice care trebuie efectuate.

Se utilizează, în continuare, noțiunile de proporția reală de element chimic și proporția teoretică de element chimic, după topire.

Proporția teoretică de element chimic după topire se notează cu  $[\%E_i]$ .

Proporția teoretică de element chimic după topire se calculează tt cu relația (6.1).

$$[\%E_i]_{tt} = \frac{[\%E_i]}{100 - \%a_{E_i tm}}, \quad (6.1)$$

în care  $[\%E_i]_{tt}$  reprezintă proporția teoretică de element chimic  $E_i$ , după topire;  $[\%E_i]$  – proporția de element chimic  $E_i$  din fonta propusă a fi elaborată;  $\%a_{E_i tm}$  – proporția de element chimic  $E_i$  care arde în timpul tratamentelor metalurgice.

Proporția de element chimic  $E_i$  din fonta propusă a fi elaborată trebuie să fie considerată ca în standardul ce o definește, adică sub formă de interval de valori, valori maxime sau valori minime. Prin urmare, relația (6.1) trebuie reformulată și aplicată sub forma (6.2).

$$[\%E_i]_{tt} = \frac{[\%E_i]_{inf} \dots [\%E_i]_{sup}}{100 - \%a_{E_i tm}}, \quad (6.2)$$

în care  $[\%E_i]_{inf}$  reprezintă limita inferioară a proporției de element chimic  $E_i$  din fonta propusă a fi elaborată;  $[\%E_i]_{sup}$  – limita maximă a proporției de element chimic  $E_i$  din fonta propusă a fi elaborată.

Dacă proporția de element chimic  $E_i$  din fonta propusă a fi elaborată este limitată la valori maxime, relația (6.2) este sub forma (6.3).

$$[\%E_i]_{tt} = \frac{\max[\%E_i]}{100 - \%a_{E_i tm}}, \quad (6.3)$$

în care  $\max[\%E_i]$  reprezintă valoarea maximă a proporției de element chimic  $E_i$  din fonta propusă a fi elaborată.

Dacă proporția de element chimic  $E_i$  din fonta propusă a fi elaborată este limitată la valori minime –  $\min[\%E_i]$  –, relația (6.2) este sub forma (6.4).

$$[\%E_i]_{tt} = \frac{\min[\%E_i]}{100 - \%a_{E_i tm}} \quad (6.4)$$

Prin urmare, compoziția chimică teoretică a fontei, după topire, este de forma (6.5), unii termeni din relația (6.5) putând fi și de forma  $\max[\%E_i]_{tt}$  sau  $\min[\%E_i]_{tt}$ .

$$\begin{aligned} [\%E_1]_{tt} &= [\%E_1]_{inf-tt} \dots [\%E_1]_{sup-tt}, \\ [\%E_2]_{inf-tt} \dots [\%E_2]_{sup-tt}, & \quad [\%E_3]_{inf-tt} \dots [\%E_3]_{sup-tt}, \dots \end{aligned} \quad (6.5)$$

Proporțiile de elemente chimice  $E_i$  care ard în timpul tratamentelor metalurgice –  $\%a_{E_i tm}$  – sunt reprezentate în tabelul 6.1.

Pierderile reprezentate în tabelul 6.1 sunt relative, cel puțin din cauza faptului că intervine durata de menținere în stare lichidă a fontei pentru desfășurarea tratamentelor metalurgice, durată de menținere ce poate fi dictată și de alte cauze.

Pentru elementele chimice C, Si, Mn și Cr pierderile prin ardere se pot calcula, mai aproape de realitate și în funcție de durata de menținere în stare lichidă prin intermediul relației (6.6).

$$\%a_{E_i tm} = A \cdot \tau, \quad (6.6)$$

în care A reprezintă arderea în timpul supraîncălzirii fontei de la temperaturi mai mari de 1350°C și până la temperatura de

supraîncălzire;  $\tau$  – timpul de menținere în stare lichidă la temperatura de supraîncălzire în stare lichidă, în ore (h).

Tabelul 6.1

**Proporțiile pierderilor prin ardere de elemente chimice  $E_i$  din baia metalică, în timpul tratamentelor metalurgice.**

Denumirea elementului chimic	C	S	Si	Mn	Cr	Ni	P	Ti	Mo	Al	Mg	W	Fe	Cu	V
Arderea în timpul tratamentelor metalurgice, în %	0,25 ... 3	0,03 ... 0,9	1,3 ... 2	0,5 ... 3,8	1,3 ... 1,8	0 ... 0,8	0,13 ... 0,8	6,3 ... 8,8	0 ... 0	10 ... 40	0 ... 100	0 ... 0	0,03 ... 0,08	0 ... 0	0 ... 0

Pentru C, Si, Mn și Cr, se prezintă în tabelul 6.2 valorile arderilor A între temperaturi de 1350°C și temperaturi de supraîncălzire, (valori extrase din tabelul 4).

Pentru a aplica tratamentele metalurgice de corectare a compoziției chimice, se compară compoziția chimică reală a fontei lichide de după topire cu compoziția chimică teoretică de după topire.

Tabelul 6.2

**Valorile arderilor A pentru C, Si, Mn și Cr, în timpul supraîncălzirii în stare lichidă și temperatura de supraîncălzire.**

Temperatura de supraîncălzire, în °C	Valoarea arderilor A			
	C	Si	Mn	Cr
1400	0,73	0	0,61	1,27
1450	2,25	-0,39	0,61	1,48
1500	5,00	-1,52	1,35	2,57
1550	8,00	-3,77	1,82	2,82

### **6.1. Corectarea carbonului**

Primul element chimic ce trebuie verificat este siliciul. Deoarece siliciul micșorează solubilitatea carbonului

în fonta lichidă, dacă baia metalică trebuie carburată, se efectuează întâi operația de carburare. Prin urmare primul element chimic care este luat în considerație în vederea corectării este carbonul.

În circumstanțele inegalității (6.7), trebuie efectuată carburarea fontei.

$$[\%C]_t < [\%C]_{\text{inf.-tt}} \quad (6.7)$$

Carburarea se face cu materiale de carburare.

Cantitatea de carbon ce trebuie mărită în compoziția chimică a fontei se notează  $\Delta C$  și se determină cu relația (6.8).

$$\Delta C = [\%C]_{\text{inf.-tt}} - [\%C]_t \quad (6.8)$$

Materialele de carburare conțin la modul general, [27], 40...99,9% carbon fix (100 – % cenușă – % H<sub>2</sub>O – % volatile reprezintă noțiunea de carbon fix), 0,01...40,00% cenușă, 0,1...15,0% volatile, 0,1...12,0% apă și 0,002...1,800% azot.

Materialele carbonice, în cazul în care au ca destinație principală carburarea fontei, conform [45], se preferă să se introducă în baia metalică, înainte de corectarea conținutului de siliciu prin adaos în cazul în care se introduc în încărcătura cuptorului, randamentul de asimilare al carbonului nu are valori maxime, fiind favorizate pierderile de carbon sub formă de CO<sub>2</sub> cauzate de temperatura mai mică din cuptor.

În tabelul 6.3 se prezintă componenții principali ai unor materiale carbonice, împreună cu originea lor (baza), regimul de prelucrare termică și structură, [27], [28].

Pentru carburarea fontei cu grafit nodular se recomandă deșeurile de electrozi de grafit, cocsul petrol desulfurat electric, cocsul petrol calcinat cu un conținut de sulf foarte mic și cocsul petrol cu un conținut de sulf mic, produse românești. Din tabelul 6.4, în care se prezintă compoziția chimică a câtorva materiale carbonice, se recomandă materiale

carbonice pentru carburarea fontei cu grafit nodular, tipurile Elgraph Superior Grade și Desulco.

Tabelul 6.3

**Compoziții principale ai unor materiale carbonice, împreună cu originea lor, regimul de prelucrare termică și structura.**

Nr. crt.	Denumirea materialului carbonic	Baza (originea)	Starea; Regim de prelucrare termică	Compoziția chimică, în %*						Structura
				CF	S	Cen.	Vol.	H <sub>2</sub> O	N	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Antracit	căr-bune	brută	75... 88	0,3... 0,9	4... 16	5... 10	3...5	ld**	amorfă
2	Antracit	cărbune	calcinată electric	88... 92	0,2... 1,0	4... 11	0,4 ... 0,2	max. 0,5	0,7... 1,0	amorfă
3	Cocs metalurgic	căr-bune	cocs de turnătorie; 1.000... 1090°C; 36 h	80... 90	0,6... 2,0	8... 12	1... 3	1...2	0,8... 1,5	amorfă
4	Cocs metalurgic	căr-bune	cocs de furnal							
5	Cocs petrol de rafinărie	cocs petrol	cocs spongios cocs petrol fluidizat	85... 96	0,8... 6,0	0,2 ... 0,5	4... 14	0,5 ... 12	1...2	amorfă
6	Cocs petrol calcinat	cocs petrol	cocs petrol calcinat 1.100... 1.400°C;	96... 99,5	0,01 ... 0,03	0,2 ... 0,8	0,3 ... 0,5	max. 0,5	0,02 ... 1,8	amorfă
			conținut de sulf foarte mic		0,02 ... 0,07					
			conținut de sulf mic		0,1... 0,5					

Tabelul 6.3. – continuare

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			conținut de sulf mediu		0,6 ... 1,2					
			conținut de sulf mare		1,2 ... 3,0					
7	Cocs petrol grafitat	cocs petrol	grafit sintetic granular (tip electrozi) >2.200 <sup>0</sup> C	min. 98	0,0 1 ... 0,1	0,1 ... 0,8	ma x. 0,2	max. 0,5	0,003 ... 0,080	cristalină
			deșeuri de electrozi; 2.500 <sup>0</sup> C		0					
		cocs petrol granular desulfurat; >2.760 <sup>0</sup> C	min. 99	0,0 1 ... 0,0 8	0,01 0 ... 0,07 5	ma x. 0,2	max. 0,2	0,002 ... 0,080		
8	Grafit amorf	grafit natural	mexican	60... 80	0,1 ... 0,2	20 ... 40	1... 2	max. 0,5	max. 0,1	amorfă
9	Grafit cristalin	grafit natural	diverse surse	83... 99	0,1 ... 0,7	5... 15	1... 2	max. 0,5	max. 0,1	cristalină
10	Cocs de bitum (smoală)	alte surse	calcinat; 1.300 <sup>0</sup> C; 17...20 h	98	0, 4	0,6	0,5	0,5	0,7	amorfă
11	Cocs de acetilenă	alte surse	pelete	min. 99	0, 03 ... 0, 05	0,3 ... 0,5	0,4 ... 0,5	max . 0,3	0,03 ... 0,06	amorfă

\*: CF=carbon fix; Cen.=Cenușă; Vol.= volatile; \*\*:ld =lipsă de date



Tabelul 6.4

**Compoziția chimică pentru câteva materiale  
carbonice cu proveniență din afara României**

Nr. crt.	Denumirile materialelor de carburare	Compoziția chimică, în %						
		Carbon fix	S	N	H	Volatile	Cenușă	Apă
0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Elgraph Premium "G" *	99,1	0,4	0,15	0,005	0,4	0,5	ld *****
2	Elgraph Premium "S" *	99,1	0,3	max. 0,10	0,005	0,4	0,5	ld
3	Elgraph Superior Grade *	99,7	0,01	0,03	max.0,001	0,25	0,08	ld
4	Desulco **	99,9	0,014	42 ppm	10 ppm	ld	ld	ld
5	Elsicar CC ***	98,7...99,3	0,80... 0,90	ld	ld	0,12... 0,40	0,40... 0,60	0,06... 0,13
6	Elsicar 99 ***	99,1... 99,8	0,02... 0,08	0,3...0,08	0,02... 0,03	0,08... 0,12	0,15... 0,75	0,05... 0,15
7	Milco 17 ****	99,3... 99,8	0,02... 0,05	0,02...0,05	–	0,5... 1,0	0,5... 1,0	0,02... 0,10

\* – Firma "Elkem", Norvegia, anul 2006; \*\* – Firma "Superior Graphite" S.U.A.; \*\*\* – Firma "Elsid", Anglia; \*\*\*\* – Firma Miller, S.U.A.; \*\*\*\*\* – ld = lipsă de date

Carbura de siliciu tehnică se utilizează ca atare, sau în amestec cu var nestins și fluorină, amestecul recomandat având compoziția următoare: 75...95 carbură de siliciu tehnică, 5...15% var și 5...15% fluorină.

În tabelul 6.5 se prezintă compoziția chimică a carburii de siliciu tehnice utilizată ca material reducător și de carburare.

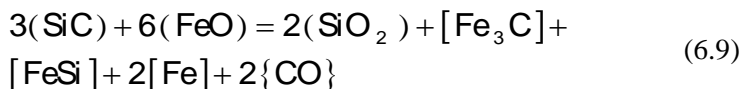
Tabelul 6.5

**Compoziția chimică a carburii de siliciu tehnice**

Denumirea materialului	Compoziția chimică, în %							
	SiC	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	C	SiO <sub>2</sub>	Fe	Si	H <sub>2</sub> O
Deșeuri de carbură de siliciu (șlam)	80...85	8...15	1...3	2...3	1...2	–	max.1	–
Elsic – 90 metalurgic*	min.90	–	–	max. 0,3	–	max. 0,45	–	max.1
Elsic – 99 metalurgic*	min.98	–	–	max. 0,3	–	–	–	max. 0,3

\* Societatea “Elsid” cu reprezentanță și în România la nivelul anului 2006

SiC din carbon de siliciu tehnică își exercită rolul de reducător și de carburare conform reacției chimice (6.9).



Utilizarea de carbură de siliciu tehnică în încărcătura nemetalică determină o serie de implicații pozitive asupra procesului de elaborare a fontei dintre care se precizează următoarele:

- mărirea durabilității căptușelii refractare acide cu 25...30% datorită faptului că este redus conținutul de FeO din zgură;
- mărirea productivității cuptorului cu maximum 10%;
- micșorarea cantității de zgură cu maximum 25%;
- micșorarea consumului de ferosiliciu cu maximum 65%;
- micșorarea consumului de material de carburare cu maximum 15%;
- se mărește indicele de scoatere a metalului cu maximum 1%;
- se micșorează conținutul de gaze din fontă datorită degajării de CO. De exemplu, pentru o fontă dată, conținutul de oxigen scade de la 0,0034% la 0,0012% iar conținutul de

azot scade de la 0,0079% la 0,0059%, în circumstanțele în care fonta a fost supraîncălzită la temperatura de 1.500°C, [10].

- se mărește rezistența la tracțiune cu maximum 15%;
- se mărește rezistența la încovoiere cu maximum 15%;
- se micșorează durezza cu maximum 5%;
- se micșorează tendința de albire a fontei etc.

Carbura de siliciu tehnică se obține dintr-un amestec de nisip cuarțos, cocs, petrol, rumeguș și material recirculat, prin tratare termică, de exemplu, într-un cuptor electric mobil cu miez de grafit.

Ca material reducător pentru FeO din încărcătură se mai pot utiliza deșeuri de electrozi de grafit, eficiența acestora fiind dată de faptul că 1% carbon reduce circa 6% FeO. În principiu, toate materialele de carburare sunt și materiale reducătoare.

Calitatea superioară a fontelor sintetice sau semisintetice face ca aceste două categorii de fontă să ocupe o importanță semnificativă în ceea ce privește ponderea față de fontele obișnuite, această situație relevând importanța procesului de carburare, în aceste cazuri proporția de deșeuri de oțel din încărcătură ajungând până la 100%, procesul de carburare fiind obligatoriu.

Calculul cantității de material de carburare este complex deoarece sunt foarte mulți factori implicați.

Înainte de calculul necesarului de material de carburare, se calculează proporția maximă de carbon ce se poate realiza în fontă – %C<sub>max.</sub>, relația (6.10).

$$\%C_{\max.} = 1,30 + 2,57 \cdot 10^{-3} \cdot T + \sum_{i=1}^n m_i x_i, \quad (6.10)$$

în care T reprezintă temperatura, în °C; m<sub>i</sub> – coeficient ce reprezintă modul de schimbare a solubilității carbonului în fierul lichid de către elementul chimic “i” însoțitor al fierului

și carbonului (tabelul 6.6) – dacă elementul chimic “i” micșorează solubilitatea carbonului în fierul lichid,  $m_i$  are semnul minus iar dacă o mărește are semnul plus;  $x_i$  – proporția de element chimic “i” din fontă.

Materialul de carburare se recomandă să se introducă la suprafața băii metalice, cuptorul trebuind să fie cuplat la o treaptă de putere superioară (175...200 KW/t), astfel încât temperatura fontei lichide să fie de minimum 1.450<sup>0</sup>C (se va avea în vedere că temperatura băii metalice scade cu circa 50<sup>0</sup>C pentru fiecare procent de carbon asimilat).

Tabelul 6.6

**Valori ale coeficientului  $m_i$  pentru elementele chimice însoțitoare în mod curent ale fierului și carbonului în fonta lichidă.**

Elementul chimic	Si	P	S	Mn	N	Cu	Ni	Cr	Ti	V	Al	Sb	Sn	Co	Mo	
Valoarea lui $m_i$	-0,300	-0,300	+0,400	+0,030	-4,700 ...	-6,600	-0,110	-0,050	+0,075	+0,150	+0,100	-0,220	-0,115	-0,110	-0,026	+0,015

Cantitatea de material de carburare –  $Q_{carb.}$  – se determină cu relația (6.11).

$$Q_{carb.} = \frac{\Delta C}{\%C_{carb.} \cdot \eta_{asim.C}} \cdot 10^4, \quad (6.11)$$

în care  $\Delta C$  reprezintă necesarul de carbon ce trebuie mărit în compoziția chimică reală după topire;  $\%C_{carb.}$  – proporția de carbon din materialul de carburare;  $\eta_{asim.C}$  – randamentul de asimilare a carbonului.

Proporția de carbon din materialul de carburare se ia, de exemplu, din tabelele 6.3, 6.4 și 6.5.

Randamentul de asimilare al carbonului în baia metalică variază în funcție de o serie de factori dintre care se precizează următorii: structura materialelor de carburare (amorfă sau cristalină), conținuturile de cenușă, apă, substanțe volatile și sulf ale materialului de carburare, porozitatea și granulația materialului de carburare, temperatura și compoziția chimică a băii metalice, gradul de agitare electromagnetică a băii metalice, gradul de oxidare al încărcăturii metalice, timpul de contact baie metalică-material de carburare etc.

Agenții economici își stabilesc nomograme prin experimentări cu scopul determinării randamentelor de asimilare a carbonului, nomograme în care intervin timpul, temperatura, dar și treptele de putere ale cuptorului, frecvența curentului, compoziția chimică a fontei lichide etc.

În cazul deșeurilor de electrozi de grafit cu mărimea granulației de 5...10 mm, randamentul de asimilare a carbonului este de circa 90%, pentru condiții obișnuite de lucru și pentru o fontă dată.

În cazul unui cuptor ce funcționează la frecvența rețelei, pentru un grad de agitare electromagnetică de 15%, randamentul de asimilare a carbonului din deșeurile de electrozi de grafit variază cu temperatura băii metalice ca în tabelul 6.7.

Tabelul 6.7

**Variația randamentului de asimilare a carbonului din deșeurile de electrozi de grafit cu temperatura băii metalice, în cazul unui grad de agitare electromagnetică de 15%.**

<b>Temperatura băii metalice, °C</b>	1.300	1.350	1.400	1.450	1.500	1.550	1.600
<b>Randamentul de asimilare carbonului, în %</b>	40	60	75	82	88	95	100

Conținuturile mari de cenușă din materialul de carburare limitează randamentul de asimilare a carbonului la valori mici, așa cum se vede din tabelul 6.8.

Tabelul 6.8

**Variația randamentului de asimilare a carbonului cu proporția de cenușă din materialul de carburare, în cazul unor condiții de lucru date.**

<b>Cantitatea de cenușă, în %</b>	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10,0	15	18
<b>Randamentul de asimilare a carbonului, în %</b>	91...99	89...98	87...96	84...93	81...90	80...88	70...80	60...71	60

Randamentul de asimilare a carbonului se poate alege din tabelul 6.8.

De exemplu, dacă  $\Delta C=0,8\%$ ;  $\%C_{carb.}=92$ ;  $\eta_{asim.C}=70$ ;

$Q_{carb.} = \frac{0,8}{92 \cdot 70} \cdot 10^4 = 1,24$  kg material carburant/100 kg de fontă lichidă.

Materialul de carburare aduce în baia metalică sulf.

Proporția de sulf pe care o aduce în baia metalică materialul de carburare, se calculează cu relația (6.11.1).

$$[\%S]_{carb.} = Q_{carb.} \cdot \frac{<\%S>_{carb.}}{100} \cdot \frac{\eta_{asim.S-carb.}}{100}, \quad (6.11.1)$$

în care  $[\%S]_{carb.}$  reprezintă proporția de sulf ce trece din materialul de carburare în baia metalică;  $<\%S>_{carb.}$  – proporția de sulf din materialul de carburare;  $\eta_{asim.S-carb.}$  – randamentul de asimilare al sulfului din materialul de carburare în baia metalică. Se apreciază că  $\eta_{asim.S-carb.}$  are valoarea de circa 99, ceea ce înseamnă că relația (6.11.1) capătă forma (6.11.2).

$$[\%S]_{carb.} = 0,99 \cdot Q_{carb.} \cdot \frac{<\%S>_{carb.}}{100}, \quad (6.11.2)$$

Proporția reală de sulf din baia metalică după operația de carburare devine ca în relația (6.11.3).

$$[\%S]_{\text{tcarb.}} = [\%S]_{\text{t}} + [\%S]_{\text{carb.}}, \quad (6.11.3)$$

în care  $[\%S]_{\text{tcarb.}}$  – reprezintă proporția de sulf din baia metalică după carburarea acesteia.

După fiecare introduce în cuptor (în baia metalică) de material, compoziția chimică a băii metalice se schimbă noua compoziție chimică luându-se ca referință pentru toate operațiile metalurgice ulterioare.

Cantitatea de material de carburare ce se introduce în cuptor –  $Q_{\text{carb. cupt.}}$  – se determină cu relația (6.12).

$$Q_{\text{carb. cupt.}} = \frac{Q_{\text{carb.}}}{100} \cdot Q_{\text{efectiv.}} \quad (6.12)$$

De exemplu, dacă  $Q_{\text{carb.}} = 1,24 \text{ kg}/100 \text{ kg}$  de fontă lichidă;  $Q_{\text{efectiv.}} = 12500 \text{ kg}$ ;

$Q_{\text{carb. cupt.}} = \frac{1,24}{100} \cdot 12500 = 155 \text{ kg}$  de material de carburare/cuptor.

În circumstanțele inegalității (6.13), baia metalică are conținutul de carbon corespunzător.

$$[\%C]_{\text{inf-tt}} \leq [\%C]_{\text{t}} \leq [\%C]_{\text{sup-tt}} \quad (6.13)$$

În circumstanțele inegalității (6.14), baia metalică de la finalul topirii trebuie diluată în carbon.

$$[\%C]_{\text{t}} > [\%C]_{\text{sup-tt}} \quad (6.14)$$

Pentru diluarea fontei lichide într-un element chimic  $E_i$  – deoarece este îndeplinită inegalitatea (6.15) – trebuie să se introducă în baia metalică un sort metalic care să conțină

elementul chimic  $E_i$ , de diluat, într-o proporție mult mai mică decât baia metalică.

$$[\%E_i]_t > [\%E_i]_{\text{sup-tt}} \quad (6.15)$$

Fie că se numește sortul metalic, menționat la aliniatul anterior, material de diluare – m.d.

Proporția de material de diluare – %m.d. – se determină prin rezolvarea sistemului (6.16).

$$\begin{cases} \%f.l. \cdot \frac{[\%E_i]_t}{100} + \%m.d. \cdot \frac{\%E_{i.m.d.}}{100} = [\%E_i]_{tt} \\ \%f.l. + \%m.d. = 100 \end{cases} \quad (6.16)$$

în care %f.l. reprezintă proporția de fontă lichidă de după topire; %m.d. – proporția de material de diluare;  $[\%E_i]_t$  – proporția de element  $E_i$  din compoziția chimică reală a fontei lichide de după topire;  $\%E_{i.m.d.}$  – proporția de element chimic  $E_i$  din materialul de diluare;  $[\%E_i]_{tt}$  – proporția de element chimic  $E_i$  din compoziția chimică teoretică a fontei lichide de după topire.

$[\%E_i]_{tt}$  se determină cu relația (6.17).

$$[\%E_i]_{tt} = \frac{[\%E_i]_{\text{inf-tt}} + [\%E_i]_{\text{sup-tt}}}{2} \quad (6.17)$$

De exemplu, dacă  $[\%E_i]_t = 3,6$ ;  $[\%E_{i.m.d.}] = 0,2$ ;  $[\%E_i]_{tt} = 2,8$ ; sistemul (6.16) devine următorul:

$$\begin{cases} \%f.l. \cdot \frac{3,60}{100} + \%m.d. \cdot \frac{0,2}{100} = 2,8 \\ \%f.l. + \%m.d. = 100 \end{cases}$$

Rezolvarea sistemului anterior conduce la soluția %f.l. = 76,5; % m.d. = 23,5.

Cantitatea de material de diluare ce se introduce în



cuptor se calculează cu relația (6.18).

$$Q_{m.d.cuptor} = \frac{\%m.d.}{\%f.l.} \cdot Q_{efectiv} , \quad (6.18)$$

în care  $Q_{m.d.cuptor}$  reprezintă cantitatea de material de diluare ce se introduce în cuptor, în kg;  $Q_{efectiv}$  – capacitatea efectivă a cuptorului, în kg.

În cazul exemplului anterior, dacă  $Q_{efectiv} = 3.000$  kg.

$$Q_{m.d.cuptor} = \frac{23,5}{76,5} \cdot 3000 = 921,6 \quad \text{kg material de}$$

diluare/cuptor.

Materialul de diluare poate dilua și alte elemente chimice din fonta care se tratează, după cum poate să aducă elemente chimice noi în fonta lichidă.

Compoziția chimică a fontei care se diluează se schimbă, după caz, apărând și elemente chimice noi iar unele elemente chimice păstrându-și proporția. Pe lângă elementul chimic diluat –  $[\%E_i]_{tt}$  din relația (6.15) – noua compoziție chimică a fontei diluate, respectiv proporțiile elementelor chimice din compoziția chimică a fontei diluate, se obține cu relația (6.19).

$$\%f.l. \cdot \frac{[\%E_i]_t}{100} + \%m.d. \cdot \%m.d. \cdot \frac{\%E_{i.m.d.}}{100} = [\%E_i]_{f.d.} \quad (6.19)$$

în care  $[\%E_i]_{f.d.}$  reprezintă proporția de element chimic  $E_i$  din fonta diluată.

De exemplu, dacă  $\%f.l. = 76,5$ ;  $\%m.d. = 23,5$ ;  $[\%E_i]_t = 2,1$ ;  $\%E_{i.m.d.} = 0,2$ ;  $[\%E_i]_{f.d.} = 76,5 \cdot \frac{2,1}{100} + 23,5 \cdot \frac{0,2}{100} = 1,64$ , adică elementul chimic respectiv se diluează (se micșorează ca proporție) de la 2,1% la 1,64%.

Dacă  $\%f.l. = 76,5$ ;  $\%m.d. = 23,5$ ;  $[\%E_i]_t = 2,1$ ;  $\%E_{i.m.d.} = 3$ ;  $[\%E_i]_{f.d.} = 76,5 \cdot \frac{2,1}{100} + 23,5 \cdot \frac{3}{100} = 2,3$ , adică elementul chimic respectiv și-a mărit proporția de la 2,1% la

2,3%.

Dacă  $\%f.l. = 76,5$ ;  $\%m.d. = 23,5$ ;  $[\%E_i]_t = 0$ ;  
 $\%E_{i.m.d.} = 1,2$ ;  $[\%E_i]_{f.d.} = 76,5 \cdot \frac{0}{100} + 23,5 \cdot \frac{1,2}{100} = 0,28$ , adică  
în fonta care s-a diluat a apărut un element chimic nou, în  
proporție de 0,28%.

Se recomandă ca să nu se folosească materiale de  
diluare care aduc elemente chimice noi în baia metalică.

Așadar, după diluare, în cuptor se află o fontă lichidă  
nouă, cu o compoziție chimică nouă.

Toate tratamentele metalurgice care se efectuează  
după diluare trebuie să ia în considerație noua compoziție  
chimică, adică, de exemplu, compoziția chimică dată de relația  
(6.1), se transformă în compoziția chimică dată de relația  
(6.19).

Problema diluării fontei în carbon se pune mai rar, dar  
problema carburării fontei – a băii metalice – apare în mod  
curent în cazul elaborării fontei sintetice și semisintetice ,  
adică în cazul încărcăturilor metalice ce conțin un conținut de  
carbon mic (încărcături metalice în care predomină deșeurile  
de oțel sau care sunt alcătuite în exclusivitate din deșeuri de  
oțel). De asemenea, utilizarea în încărcătură de deșeuri de oțel,  
în mod curent, atrage după sine carburarea fontei.

## **6.2. Corectarea siliciului**

Proporția de siliciu din compoziția chimică teoretică,  
după topire se calculează cu relația (6.1) și este de forma  
 $[\%Si]_{tt}$ . Se recomandă ca în relația (6.1) să se determine  
 $\%a_{E_{itm}}$  cu relația (6.6).

Se compară proporția de siliciu din compoziția  
chimică reală, după topire, relația (6.1) –  $[\%Si]_t$  – cu proporția  
de siliciu din compoziția chimică teoretică, după topire, relația  
(6.5), –  $[\%Si]_{tt}$ .

În circumstanțele inegalității (6.20), conținutul de  
siliciu din baia metalică după topire corespunde fontei propuse

să fie elaborată.

$$[\%Si]_{\text{inf-tt}} \leq [\%Si]_t \leq [\%Si]_{\text{sup-tt}} \quad (6.20)$$

Dacă este îndeplinită inegalitatea (6.21), trebuie să se realizeze corectarea conținutului de siliciu prin adaos de materiale metalice care conțin siliciu în proporție mari și, dacă este posibil, să conțină doar siliciu și fier, în principal.

$$[\%Si]_t < [\%Si]_{\text{inf-tt}} \quad (6.21)$$

Alierea cu siliciu în cuptorul electric cu încălzire prin inducție se face cu FeSi 45 și FeSi 75 și numai după efectuarea carburării, dacă a fost cazul, pentru ca să nu afecteze solubilitatea carbonului în fonta lichidă. În intervalul de temperaturi ale băii metalice de 1 420...1 460<sup>0</sup>C, viteza de asimilare a siliciului este de circa 0,1% Si/min. În cazul în care temperatura băii metalice este mai mare de 1 400<sup>0</sup>C, randamentul de asimilare a siliciului variază în intervalul 94...100%.

Conținutul de siliciu se poate mări și prin utilizarea ca material de aliere a deșeurilor de carbură de siliciu, situație în care randamentul de asimilare a siliciului variază între limitele 40...60% dacă materialul de aliere se introduce în încărcătura metalică sau dacă materialul de aliere se introduce după topire în circumstanțele în care temperatura băii metalice este de minim 1 400<sup>0</sup>C (dacă fonta are un conținut de carbon mai mic, asimilarea siliciului din deșeurile de carbură de siliciu este mai bună). Asimilarea siliciului din deșeurile de carbură de siliciu este superioară dacă acestea se introduc în cuptor împreună cu 4...15% amestec de var și fluorină. Dacă alierea cu siliciu se realizează utilizându-se ferosiliciu cu mărimea granulației de 1...5 mm, randamentul de asimilare a siliciului are valori

maxime.

În tabelul 6.9 se prezintă compoziția chimică a ferosiliciului și forma de livrare, conform STAS 7436-80, ferosiliciu recomandat pentru corectarea prin adaos a conținutului de siliciu.

Valorile conținuturilor de siliciu ale mărcilor de ferosiliciu din tabelul 6.9, se utilizează pentru corecția conținutului de siliciu ca valori precise. Prin urmare, pentru marca de ferosiliciu aleasă, se va efectua media aritmetică ale valorilor extremă.

Tabelul 6.9

**Compoziția chimică a ferosiliciului și forma de livrare, conform STAS 7436-80.**

Marca	Compoziția chimică, în %							Modalitatea de livrare
	Si	Mn	Cr	P	S	C	Al	
	maximum							
FeSi92	89...95	0,50	0,20	0,04	0,04	0,10	2,50	FeSi se livrează în vrac (trei clase granulometrice, respectiv ≤10 mm, 10...100 mm și >100 mm
FeSi85	80...89	0,60	0,30	0,05	0,04	0,10	2,50	
FeSi75	70...79	0,70	0,40	0,05	0,04	0,10	2,50	
FeSi65	60...69	0,90	0,50	0,05	0,04	0,15	2,50	
FeSi45	40...47	1,00	0,60	0,05	0,04	0,50	2,00	
FeSi35	30...40	1,30	0,80	0,06	0,04	1,00	1,50	
FeSi25	20...30	1,50	0,90	0,06	0,04	1,00	1,50	

În vederea corectării prin adaos a conținutului de siliciu se efectuează aceleași calcule ca și în cazul corectării prin adaos a conținuturilor de Mn, Cr, Ni, P, Ti, Mo, Al, W, Cu etc.

Fie că se notează cu  $E_i$  elementul chimic din baia

metalică ce urmează să fie corectat, ca proporție, prin adaos.

Corectarea conținutului de  $E_i$  din baia metalică, după topire, prin adaos, se utilizează numai dacă este îndeplinită inegalitatea (6.22).

$$[\%E_i]_t < [\%E_i]_{\text{inf-tt}} \quad (6.22)$$

Ca materiale de corectare prin adaos a conținuturilor elementelor chimice  $E_i$  din baia metalică se utilizează materiale metalice care conțin elementul chimic  $E_i$  într-o proporție cât mai mare (cazul ideal este proporția de 100% pentru  $E_i$ ) și care asigură un randament de asimilare cât mai mare (cazul ideal este randamentul de asimilare de 100%).

Fie că se codifică materialul de corectare prin adaos cu m.c.

În vederea calculării necesarului de material de corectare, se determină cu relația (6.23) diferența din proporția de element chimic  $E_i$  din compoziția chimică teoretică a fontei lichide de după topire –  $[\%E_i]_{\text{tt}}$  –, ca medie aritmetică a valorilor extremă (relația 6.17) și proporția de element chimic  $E_i$  din compoziția chimică reală a fontei lichide de după topire –  $[\%E_i]_t$  –, simbolizată cu  $\Delta E_i$ .

$$\Delta E_i = [\%E_i]_{\text{tt}} - [\%E_i]_t \quad (6.23)$$

Cantitatea de material de corecție se calculează cu relația (6.24), se simbolizează cu  $Q_{\text{m.c.}}$  și se exprimă în kg de material de corecție pentru 100 kg de fontă lichidă.

$$Q_{\text{m.c.}} = \frac{\Delta E_i}{\%E_{i\text{m.c.}} \cdot \eta_{E_i\text{-m.c.}}} \cdot 10^4, \quad (6.24)$$

în care  $\%E_{i\text{m.c.}}$  reprezintă proporția de element chimic  $E_i$  din materialul de corecție;  $\eta_{E_i\text{-m.c.}}$  – randamentul de asimilare al elementului chimic  $E_i$  în baia metalică (se exprimă în

procente).

De exemplu, dacă  $\Delta E_i = 16$ ;  $\%E_{i.m.c.} = 82$ ;  $\eta_{E_i-m.c.} = 96$ ;

$Q_{m.c.} = \frac{16}{82 \cdot 96} \cdot 10^4 = 20,32$  kg de material de corecție la 100 kg de baie metalică.

Randamentul de asimilare al elementului chimic  $E_i$  în baia metalică este prezentat în tabelul 6.10.

Tabelul 6.10

**Randamentele de asimilare ale elementelor chimice  $E_i$  din materialele de corecție în baia metalică.**

Elementul chimic	P	Ni	Mo	Cr	Mn	Si	V	Ti	W	Al	Cu	Fe
<b>Randamentul de asimilare, în %</b>	85	96	96	88	97	94	98	20	98	70	96	99,92
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	90	97	97	90	98	97	90	30	99	90	97	99,97

Randamentele de asimilare prezentate în tabelul 6.10 sunt relative din cauză că sunt mulți factori care le influențează cum ar fi: compoziția chimică a băii metalice în momentul corecției, afinitatea chimică față de oxigen a elementelor chimice, tipul de constituent metalografic în care se află în materialul de corecție, conținutul de element chimic  $E_i$  din materialul de corecție, starea de agregare a materialului de corecție în momentul în care acesta se introduce în baia metalică, cantitatea de baie metalică supusă corecției chimice, modalitatea de introducere a materialului de corecție în baia metalică – sub formă de porții sau integral –, tehnica de introducere a materialului de corecție în baia metalică, masa specifică a materialului de corecție, mărimea bucăților de material de corecție, temperatura băii metalice în momentul introducerii materialului de corecție în baia metalică, temperatura materialului de corecție în momentul introducerii acestuia în baia metalică, gradul de agitare al băii metalice în momentul introducerii materialului de corecție în aceasta (mărimea brasajului), efectul caloric al dizolvării elementelor chimice  $E_i$  din materialul de corecție în baia metalică, gradul

de puritate al materialelor de corecție, temperatura de topire a materialelor de corecție etc. De exemplu, prezintă interes, în ceea ce privește randamentul de asimilare, masa specifică a materialului de corecție – pentru câteva materiale de corecție, tabelul 6.11.

Tabelul 6.11

**Masele specifice și temperaturile de topire, respectiv intervalele de temperatură de topire pentru materiale de corecție uzuale întrebuințate la alierea fontei**

<b>Materialul de aliere</b>	<b>Intervalul de temperatură de topire, respectiv, temperatura de topire, în °C</b>	<b>Greutatea specifică, în g/cm<sup>3</sup></b>
Crom (tehnice)	1 830	7,2
FeCr ( $\leq 1\%$ C)	1 560...1 670	7,31...7,36
FeCr (2...8% C)	1 400...1 630	7,10...7,30
FeW	1 650...2 100	15,4
FeMo	1 550...2 000	9,4
Mn (tehnice)	1 220...1 240	7,2
FeMn	1 150...1 220	7,5
SiMn	1 130...1 235	6,3
FeV	1 560...1 770	6,4...6,9
FeVSi	1 250...1 400	–
FeTi (<48% Ti)	1 310...1 500	5,5...6,2
FeTi (70% Ti)	1 070...1 135	5,6
Si (tehnice)	1 410	2,3
FeSi	1 260...1 300	5,8
FeSi 45	1 270...1 350	5,1
FeSi75	1 250...1 340	2,9
FeSi 90	1 300...1 400	2,4
Ni (tehnice)	1 450	8,8
Cu (tehnice)	1 083	8,9

Tabelul 6.11 – continuare  
**Feromangan (STAS 7435-80)**

Marca	Mn, min.	Compoziția chimică, în %				Observații
		C	Si	P	S	
		Maximum				
FeMn 1	80	0,5	2,0	0,30	0,03	FeMn se livrează în vrac, în trei clase, granulometrice: 12,5...80 mm; 80,0... 150 mm; > 150 mm
FeMn 2	80	1,0	1,5	0,30	0,03	
FeMn 3	80	1,0	2,0	0,30	0,03	
FeMn 4	80	1,5	2,5	0,35	0,03	
FeMn 5	75	2,0	2,0	0,35	0,03	
FeMn 6	75	7,0	1,0	0,35	0,03	
FeMn 7	75	7,0	1,5	0,35	0,035	
FeMn 8	75	7,0	2,0	0,50	0,03	
FeMn 9	75	7,0	4,0	0,50	0,04	
FeMn 10	70	7,5	4,0	0,55	0,04	
FeMn 11	65	7,0	5,0	0,60	0,045	

În continuare se prezintă câteva materiale de corecție uzuale – compoziția chimică a lor –, după cum urmează:

- Feromangan (STAS 7435-80; tabelul 6.11);
- Ferosilicomangan (STAS 7037-80; tabelul 6.12);
- Ferocrom (STAS 7438-82; tabelul 6.13);
- Ferosilicocrom (STAS 10527-76; tabelul 6.14);
- Ferofosfor (STAS 7433-77; tabelul 6.15);
- Feromolibden (7038-81; tabelul 6.16);
- Ferovanadiu (STAS 9094-71; tabelul 6.17);
- Ferowolfram (STAS 8139-77; tabelul 6.18);
- Ferotitan (STAS 7434-76; tabelul 6.19);



Tabelul 6.12

**Ferosilicomangan (STAS 7037-80)**

Marca	Compoziția chimică, în %					Observații
	Si	Mn minimum	C	P	S	
			Maximum			
FeSiMn 10	10,0... 13,9	64	3,5	0,25	0,03	Livrare în vrac; 3 clase granulometrice: < 40; 40... 100; > 100 mm
FeSiMn 14	14,0... 16,9	64	2,5	0,20	0,03	
FeSiMn 17	17,0...19,9	65	2,0	0,20	0,03	
FeSiMn 20	20,0...25,9	65	1,5	0,20	0,03	
FeSiMn 26	26,0 și peste	60	1,0	0,20	0,03	

Tabelul 6.13

**Ferocrom (STAS 7438-82)**

Marca	Compoziția chimică, în %						
	Cr	C	Si	P	S	Al	N <sub>2</sub>
	min.	max.					min.
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Ferocrom cu conținut foarte mic de carbon – grupa 1</b>							
FeCr 1.1	65,0	0,01	0,8	0,02	0,02	0,1	-
FeCr 1.2		0,01	0,8	0,03	0,02	0,1	
FeCr 1.3		0,03	1,5	0,03	0,03	0,1	
FeCr 1.4		0,03	1,5	0,04	0,03	0,3	
FeCr 1.5		0,04	2,0	0,03	0,03	0,3	
FeCr 1.6		0,04	2,0	0,04	0,03	0,3	
FeCr 1.7		0,06	1,5	0,03	0,03	0,3	
FeCr 1.8		0,06	1,5	0,04	0,03	0,3	
FeCr 1.9		0,10	1,5	0,03	0,03	0,3	
FeCr 1.10		0,10	1,5	0,04	0,03	0,3	

Tabelul 6.13 – continuare

1	2	3	4	5	6	7	8
FeCr 1.11		0,15	1,5	0,03	0,03	0,3	
FeCr 1.12		0,15	1,5	0,04	0,03	0,3	
FeCr 1.13		0,25	2,0	0,03	0,03	0,3	
FeCr 1.14		0,25	2,0	0,04	0,03	0,3	
FeCr 1.15		0,50	2,0	0,03	0,03	0,3	
FeCr 1.16		0,50	2,0	0,04	0,03	0,3	
<b>Ferocrom cu conținut mediu de carbon – gupa 2</b>							
FeCr 2.1	65,0	1,0	1,0	0,03	0,05	-	-
FeCr 2.2		1,0		0,05			
FeCr 2.3		2,0		0,03			
FeCr 2.4		2,0		0,05			
FeCr 2.5		4,0		0,03			
FeCr 2.6		4,0		0,05			
<b>Ferocrom cu conținut ridicat de carbon – grupa 3</b>							
FeCr 3.1	60,0	8,0	4,0	0,04	0,08	max.	-
FeCr 3.2	65,0				0,06	0,10	
<b>Ferocrom cu azot — grupa 4</b>							
1	2	3	4	5	6	7	8
FeCr 4.1				0,02	0,03	-	1,0
FeCr 4.2				0,03	0,03		1,0
FeCr 4.3				0,03	0,04		2,0
FeCr 4.4				0,05			2,0
FeCr 4.5	65,0	0,6	1,0	0,03	0,04	-	4,0
FeCr 4.6				0,05			4,0
FeCr 4.7				0,03			6,0
FeCr 4.8				0,05			6,0
FeCr 4.9				0,03			2,0
FeCr 4.10		0,03	2,0	0,05			4,0

Tabelul 6.14

**Ferosilicocrom (STAS 10527-76)**

Marca	Compoziția chimică, %				
	Si	Cr	C	P	S
			Maximum		
FeCrSi 1	45,1...50	28...36	0,03	0,02	0,01
FeCrSi 2	40,1...45	32...42	0,10	0,02	0,01
FeCrSi 3	35,1...40	35...42	0,20	0,02	0,01
FeCrSi 4	30,1...35	40...45	0,70	0,04	0,03
FeCrSi 5	23,1...30	50...55	1,0	0,04	0,03
FeCrSi 6	18,1...23	45...50	3,5	0,04	0,03
FeCrSi 7	10,0... 18	55...60	6,0	0,04	0,03

Observație: Se livrează în bucăți a căror masă nu trebuie să depășească 20 kg.

Tabelul 6.15

**Ferofosfor (STAS 7433-77)**

Marca	Compoziția chimică, %					Observație
	P	Si	C	Mn	S	
		Maximum				
FeP 14	14... 17,9	3,0	1,0	0,6	0,5	Se livrează în bucăți <10 kg
FeP 18	18...21,9	1,0	0,5	6,0	0,5	
FeP 22	22...28	1,0	0,5	2,0	0,5	

Tabelul 6.16

**Feromolibden (STAS 7038-81)**

Marca	Compoziția chimică, %								
	Mo	C	Si	-	S	Cu	Sn	Sb	Pb
	Minimum				Maximum				
FeMo 1	65,0	0,05	0,8	0,04	0,08	0,5	0,2	0,02	0,005
FeMo 2 A	55,0	0,10	1,5	0,08	0,12	0,8	0,2	0,02	0,005
FeMo 2 B	55,0	0,20	2,0	0,10	0,15	1,0	0,2	0,02	-
FeMo 3	50,0	0,50	5,0	0,15	0,20	1,0	-	-	-

Observație: Se livrează în cinci clase granulometrice: 40...100; 23...100; 5...40; 5...25 și sub 5 mm.

Tabelul 6.17

**Ferovanadiu (STAS 9094-71)**

Marca	Compoziția chimică, %								
	V	C	Mn	Si	Cu	As	Al	P	S
	Min.				Max.				
FeV 1	75	0,10	0,4	0,8	0,1	0,05	2,0	0,05	0,05
FeV 2	75	0,15	0,6	1,0	0,1	0,05	2,5	0,10	0,10
FeV 3	60	0,20	–	1,2	–	0,05	2,5	0,10	0,10
FeV 4	50	0,75	–	2,0	–	0,05	0,5	0,10	0,10
FeV 5	40	0,75	–	2,5	–	0,05	0,5	0,10	0,10

Observație. Se livrează în bucăți a căror masă nu trebuie să depășească 10 kg.

Tabelul 6.18

**Ferowolfram (STAS 8139-77)**

Marca	Compoziția chimică, %											
	W	Mn	Si	Cu	P	S	As	Sn	Sb	Pb	Bi	
	Min.		Max.									
FeW 80	80	0,2	0,3	0,2	0,03	0,05	0,10	0,05	0,10	0,04	0,05	0,03
FeW 72	75	0,2	0,3	0,2	0,04	0,06	0,15	0,05	0,10	0,05	0,05	–
FeW 65	65	0,5	1,2	0,7	0,10	0,10	0,30	0,08	0,20	0,05	–	–

Observație. Se livrează în bucăți a căror masă nu trebuie să depășească 10 kg.

Materialele de corecție prezentate anterior reprezintă feroaliaje.

Feroaliajele reprezintă aliaje ale fierului cu unul sau mai multe elemente chimice (metale sau metaloizi), asemănătoare fontelor și oțelurilor.

În ceea ce privește compoziția chimică, feroaliajele se aseamănă cu fontele brute. Din acest punct de vedere, feroaliajele sunt niște fonte brute ce conțin carbon, siliciu, mangan, fosfor și sulf în proporții specifice lor și elemente de aliere în proporțiile următoare: Mn>30%; Si>8%; P>3%; Cr>10%; alte elemente de aliere, în total, >10%.

Spre deosebire de fonte și oțeluri, feroaliajele nu pot fi folosite ca atare, adică nu pot fi transformate în piese prin nici unul din procedeele de turnare și deformare plastică, [47].

Tabelul 6.19

**Ferotitan (STAS 7434-76)**

Marca	Compoziția chimică, în %							Observație
	Ti	C	Si/Ti	Al/Ti	Cu	S	P	
	Min.	Maximum						
<b>Ferotitan cu conținut mic de carbon – grupa 1</b>								
FeTi 1.1	40	0,10	0,15	0,20	0,50	0,05	0,08	Se livrează în bucăți, având masa <15 kg
FeTi 1.2	35	0,15	0,15	0,25	0,50	0,05	0,08	
FeTi 1.3	35	0,15	0,15	0,25	2,00	0,05	0,08	
FeTi 1.4	25	0,15	0,20	0,30	0,50	0,05	0,08	
FeTi 1.5	25	0,15	0,20	0,30	3,00	0,05	0,15	
FeTi 1.6	20	0,20	0,25	0,30	0,50	0,05	0,08	
FeTi 1.7	20	0,20	0,25	0,30	3,00	0,05	0,15	
<b>Ferotitan cu conținut mare de carbon — grupa 2</b>								
FeTi 2.1	20	6...8	0,30	0,10	2,00	0,08	0,06	

Feroaliajele se produc în furnal, în cuptor electric utilizând ca reducător carbonul (metoda electrotermică), în cuptor electric utilizând ca reducător siliciul (metoda silicotermică) și în cuptoare tip cuvă utilizând ca reducători diverse metale (metoda metalotermică).

Principalele feroaliajele, luând în considerație elementul principal de aliere, conțin următoarele elemente chimice: siliciul, manganul, cromul, wolframul, molibdenul, titanul, vanadiul, zirconiu, borul, fosforul, nichelul, cobaltul și niobiul împreună cu tantalul.

În baia metalică, feroaliajele ce utilizează pentru corectarea compoziției chimice.

Feroaliajele sunt preferate pentru corectarea compoziției chimice din următoarele motive:

- conțin elementele de aliere în proporție mai mare

decât fontele brute  
aliatate;

- se află sub formă granulară, având o flexibilitate mare la alierea fontei;
- marea majoritate a feroaliajelor au conținut mai mic de sulf decât fontele aliate brute deoarece se obțin în cuptoare electrice, neintrând în contact cu cocsul metalurgic din furnal;
- au, în general, conținutul de fosfor mai mic decât fontele aliate;
- se pot folosi pentru elaborarea fontelor sintetice aliate în cazul în care se fabrică cu un conținut mare de carbon;
- sunt flexibile pentru alierea progresivă a băii metalice în mod facil, asigurând trecerea de la o calitate de fontă la alta ;
- au conținutul de carbon variabil într-un interval mare, întâlnindu-se feroaliaje cu un conținut de carbon mare (4...8%), mediu (2...4%) și mic (1...2%), feroaliaje afinatate cu un conținut de carbon sub 1% și chiar sub 0,5% și feroaliaje fără carbon etc.

Feroaliajele reprezintă și o serie de dezavantaje, cum ar fi următoarele:

- randamentul de asimilare a elementelor de aliere este moderat;
- se consumă energie calorică pentru asimilarea lor în baia metalică deoarece, în general, sunt materiale greu fuzibile.

Ca materiale de corecție se pot utiliza și fontele brute aliate – de exemplu fontele brute din tabelul 5 –, fonta veche aliată – de exemplu, fontele din tabelul 6 –, deșeuri de oțel aliate – de exemplu, deșeurile de oțel din tabelul 7 –, deșeuri de fontă aliată, prealiaje, metale brute de aliere, metale rafinate de aliere etc.

Prealiajele reprezintă niște aliaje intermediare ce se

utilizează cu scopul corectării compoziției chimice în cazul în care există probleme de asimilare a elementelor chimice de aliere sau de altă natură.

Prealiajele trebuie să fie fragile cu scopul mărunțirii și dozării gravimetrice facile.

În cazul elaborării fontelor aliate este posibilă utilizarea următoarelor prealiaje:

– prealiaje cupru-staniu (STAS 197/1-80), exceptând cele ce conțin zinc și plumb în proporții mari, ce conțin 9...15% Sn, 0...2% Ni (cu excepția nichelului ca impuritate conținută în cupru), maximum 0,8% Zn, 1% Pb, 0,2% Sb, 0,2% Fe, 0,02% Al, 0,1% S, 0,01% Bi, 0,01% Mg, 0,15% As, 0,2% Mn, 1% Ni, 0,1% P și în rest Cu ;

– prealiaj cupru-aluminiu (STAS 198/1-80), conținând 8,5...10% Al, maximum 0,6% impurități (exclusiv Mn, Fe și Ni) și în rest cupru;

– prealiaj cupru-aluminiu-fier (STAS 198/1-80), conținând 8,5...10,5% Al, 2...4% Fe, maximum 0,8% impurități (exclusiv Sn) și în rest Cu;

– prealiaj cupru-aluminiu-fier (STAS 198/1-80), conținând 9...11% Al, 2,0...4,5% Fe, maximum 0,5% impurități (exclusiv Mn și Ni) și în rest Cu;

– prealiaj cupru-aluminiu-fier-nichel (STAS 198/1-80), conținând 8,5...10,7% Al, 4...6% Fe, 4...6,5% Ni, maximum 1,5% Mn, 0,5% impurități și în rest Cu;

– prealiaj cupru-aluminiu-mangan (STAS 198/1-80), conținând 8...10% Al, 1,5...2,5% Mn, maximum 2,4% impurități (exclusiv Ni) și în rest Cu;

– prealiaje aluminiu-cupru, aluminiu-cupru-siliciu, aluminiu-siliciu, aluminiu-siliciu-cupru-fier, aluminiu-siliciu-cupru-nichel, aluminiu-siliciu-mangan-fier (STAS 201/1-80).

În practică sunt posibile de utilizat și următoarele prealiaje: aluminiu-fier (90% Al și 10% Fe sau 80% Al și 20% Fe), aluminiu-mangan (90% Al și 10% Mn sau 80% Al și 20% Mn), aluminiu-nichel (80% Al și 20% Ni), aluminiu-nichel-

cupru (50% Al, 40% Ni și 10% Cu), aluminiu-siliciu-mangan (83% Al, 10% Si și 7% Mn), aluminiu-titan (96% Al și 4% Ti sau 90% Al și 10% Ti), cupru-crom (90% Cu și 10% Cr), cupru-fier (90...95% Cu și 5...10% Fe), cupru-mangan (73% Cu și 27% Mn), cupru-nichel (67...85% Cu și 15...33% Ni), cupru-siliciu (84% Cu și 16% Si sau 75% Cu și 25% Si), cupru-titan (96% Cu și 4% Ti sau 70% Cu și 30% Ti), titan-aluminiu (60% Ti și 40% Al), vanadiu-aluminiu (85% V și 14,5% Al) etc., aceste compoziții chimice fiind medii.

Conform [25], prealiajele sunt superioare, ca randament de asimilare, feroaliajelor și metalelor brute sau rafinate de aliere, și sunt indicate, sub formă de granulații de 3...10 mm, pentru obținerea de fonte aliate, plecând de la o fontă de bază nealiată. Compozițiile granulelor solubile de prealiaje sunt în jurul celor eutectice, având, astfel, o temperatură minimă de topire. Utilizarea de prealiaje determină randamente de asimilare remarcabile și uniforme spre deosebire de feroaliaje (de exemplu, utilizarea de ferocrom prin adaos în baia metalică, creează pierderi mari de crom prin oxidare și apariția de «pete dure», ceea ce nu se întâmplă în cazul utilizării prealiajului cu 50% Ni, 17% Cr și 3% Si sau cu 30% Ni, 40% Cu, 5% Cr și 3%..Si).

Foarte apreciate sunt și prealiajele nichel-cupru (65% Ni și 35% Cu), nichel-siliciu (60% Ni și 30% Si) sau nichel-siliciu (92% Ni și 6% Si), [25].

Metalele brute de aliere reprezintă metale nerafinate ce se utilizează pentru corectarea compoziției chimice a fontei.

Dintre acestea se precizează următoarele:

– Staniu; STAS 10309–75 (Sn 96,35, Sn 98,4, Sn 99);  
1% total impurități;

– Crom metalic; STAS 7386-75 (Cr 97, Cr 98, Cr 98,5, Cr 99); Cr = 97...99%; C = 0,03...0,05%; Si=0,03...0,05%; P=0,02...0,03%; S= 0,02...0,04% , Al = 0,5...1,5%; Fe = 0,6...1,2%; Cu = 0,01...0,05%;

– Mangan metalic; STAS 7387-81 (Mn 93, Mn 95);



Mn = 93...95%; C=0,1...0,2%; Si=0,8...1,8%; P=0,05%; Fe = 2,5%; total impurități = 5...7%;

– Nichel primar; STAS 10502-76 (Ni 97, Ni 98,6); C = 0,10...0,15%; Co = 0,70%; S = 0,03...0,04%; Cu = 0,60...1,00%; Ni+Co = 97,6...98,6%;

– Siliciu tehnic; STAS 9675-80 (Si 95,5...Si 98,8); max. 0,2% C; max. 0,3% Ti; max. 0,0025% S;

– Aluminiu tehnic; STAS 201/1-80; 90% Al; 4,5% Cu; 5,5% impurități; max.0,01% P; 0,4...1,6% Fe; 0,3%...1,4% Ca; 0,4...1,5% Al.

Metalele rafinate de aliere se utilizează de regulă la elaborarea fontelor speciale aliate în cuptoare electrice cu atmosferă cu grad mare de depresiune.

Sunt posibile spre utilizare următoarele metale rafinate:

– aluminiu de înaltă puritate (STAS 7607/1-80 sau STAS 7607/2-79) cu un conținut de aluminiu de 99,90...99,99%;

– cupru fără oxigen (STAS 270/1-80), cu un conținut de cupru de 99,98%;

– mangan metalic (STAS 7387-81) conținând 99,70...99,95% Mn;

– nichel primar (STAS 10 502-76) conținând 99,5...99,99% Ni;

– siliciu tehnic (STAS 9675-80) conținând 99,2% Si;

– staniu (STAS 10 309-75) conținând 99,565...99,9%

Sn.

Elementul chimic  $E_i$  din materialele de corecție se utilizează în relația (6.24) numai ca valori fixe. În consecință, acolo unde elementele chimice sunt consemnate cu valori extremă – limită inferioară și limită superioară – trebuie să se facă media aritmetică (ca în relația (6.17)). De asemenea, în cazul în care elementele chimice figurează în literatura de specialitate sau în standarde ca valori minime sau maximum trebuie să se folosească valori fixe – se apelează la certificatele

de calitate sau se determină compoziția chimică.

Cu excepția metalelor rafinate de aliere, în celelalte materiale de corecție, elementele chimice  $E_i$  ce se corectează sunt însoțite de alte elemente chimice  $E_k$ . Prin urmare, materialele de corecție menționate anterior, schimbă compoziția chimică reală a băii metalice de după topire. La rândul lor, elementele chimice însoțitoare au un randament specific de asimilare în baia metalică, randament de asimilare care poate fi acceptat ca având valorile din tabelul 6.4.

Proporția de element chimic  $E_k$  din materialul de corecție care trece în baia metalică se calculează cu relația (6.25).

$$[\%E_k] = Q_{m.c.} \cdot \frac{\%E_{k.m.c.}}{1000} \cdot \frac{\eta_{E_{k-m.c.}}}{100}, \quad (6.25)$$

în care  $[\%E_k]$  reprezintă proporția de element chimic  $E_k$ , din materialul de corecție, care trece în baia metalică,  $\%E_{K_{m.c.}}$  – proporția de element chimic  $E_k$  din materialul de corecție;  $\eta_{E_{k-m.c.}}$  – randamentul de asimilare al elementului chimic  $E_k$  din materialul de corecție în baia metalică (din tabelul 6.4).

De exemplu, dacă  $Q_{m.c.} = 20,32$  kg/100 kg de baie metalică;  $\%E_{K_{m.c.}} = 3$ ;  $\eta_{E_{k-m.c.}} = 90$ ;  $[\%E_k] = 20,32 \cdot \frac{3}{100} \cdot \frac{90}{100} = 0,54$ .

În cazul în care elementul chimic  $E_k$  din materialul de corecție coincide cu elementul chimic  $E_i$  din baia metalică corectată,  $\%E_{K_{m.c.}}$  din relația (6.25) se adună la  $[\%E_i]$  din baia metalică ce se corectează.

Dacă elementul chimic  $E_k$  din materialul de corecție, însoțitor al elementului chimic corectat, nu se află în baia metalică ce este corectată, înseamnă că în baia metalică ce se corectează apare un element chimic nou, situație în care este posibil ca să se schimbe caracteristicile fontei obținute și situație în care se impune eliminarea lui din baia metalică sau

micșorarea conținutului lui până la valori care nu mai prezintă pericol pentru caracteristicile fontei obținute. Se recomandă ca să nu se utilizeze materiale de corecție care aduc în baia metalică elemente chimice noi.

De exemplu, dacă baia metalică ce se caracterizează are 1,4%Mn iar  $[\%Mn_k]$  calculat cu relația (6.25) are valoarea 0,2, după corectarea băii metalice în ceea ce privește un element chimic  $E_i$ , conținutul de mangan din baia metalică crește de la 1,5% la  $1,4 + 0,2 = 1,6\%$ .

După fiecare corectare a compoziției cu materiale de corecție se calculează și schimbarea compoziției chimice cu elementele chimice din materialul de corecție – cu proporțiile calculate cu relația (6.25).

Cantitatea de material de corecție ce se introduce în cuptor – în baia metalică – se calculează cu relația (6.26).

$$Q_{m.c.cuptor} = \frac{Q_{m.c.}}{100} \cdot Q_{efectiv} , \quad (6.26)$$

în care  $Q_{m.c.cuptor}$  reprezintă cantitatea de material de corecție ce se introduce în baia metalică din cuptor, în kg dacă  $Q_{efectiv}$  se exprimă în kg.

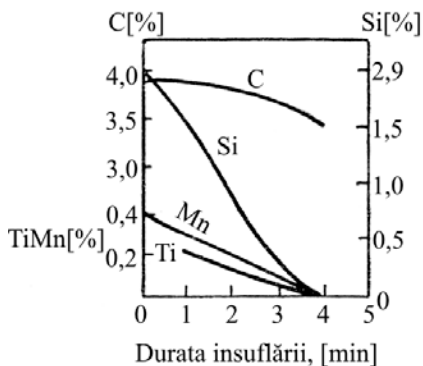
Dacă există circumstanțele inegalității (6.27), trebuie realizată diluarea băii metalice în siliciu.

$$[\%Si]_t > [\%Si]_{sup-tt} \quad (6.27)$$

Diluarea băii metalice se realizează prin metoda prezentată la paragraful 6.1, adică aplicând relațiile (6.16), (9.17), (6.18), (6.19).

În cazul căpтуșelii refractare de natură acidă, nu se recomandă diluarea fontei lichide în siliciu prin insuflare de oxigen în baia metalică, deoarece există riscul scăderii semnificative a conținutului de carbon dacă temperatura băii metalice este mare – de exemplu, dacă temperatura băii

metalice, în timpul insuflării oxigenului este de  $1600^{\circ}\text{C}$ , conținutul de carbon poate scădea chiar sub  $0,5\%$ . Pe de altă parte, dacă oxigenul se insuflă în baia metalică în cazul în care temperatura acesteia este de  $1300^{\circ}\text{C}$ , conținutul de carbon scade puțin iar conținutul de siliciu poate scădea chiar până la  $0\%$ , așa cum se observă din figura 6.1.



**Fig.6.1. Variația conținuturilor de carbon, siliciu, mangan și titan, în funcție de durata de insuflare a oxigenului în baia metalică, la temperatura de  $1300^{\circ}\text{C}$ . Proporția de  $0,4\%$  de pe ordonată reprezintă conținutul inițial de mangan iar proporția de  $0,2\%$  de pe ordonată reprezintă conținutul inițial de titan.**

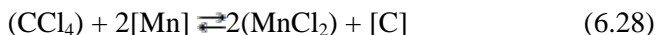
### **6.3. Corectarea manganului**

Corectarea conținutului de mangan prin adaos se face prin metodologia prezentată la paragraful 6.2., recomandându-se utilizarea ca material de corecție a feromanganului, circumstanțe în care manganul se asimilează cu o viteză de circa  $0,1\%/min$ .

Diluarea fontei în mangan se realizează cu material de diluare conform metodologiei prezentate la paragraful 6.1, dar și prin metoda reprezentată de figura 6.1.

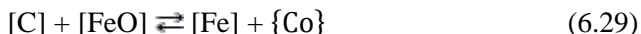
Diluarea fontei în mangan – efecte mari de demanganizare, cum ar fi micșorarea conținutului de mangan, în fontă, până la  $0,002\%$  – se poate realiza prin insuflarea de

tetraclorură de carbon preîncălzită, prin intermediul azotului sub presiune, apelând la un dop refractar poros plasat la partea inferioară a creuzetului cuptorului (procedul Gazal). Tetraclorura de carbon –  $\text{CCl}_4$  – generează în baia metalică  $\text{MnCl}_2$  ce este insolubil în fonta lichidă – reacția chimică (6.28).



Reacția chimică (6.28) este exotermă.

Se apreciază că tetraclorura de carbon are și efect dezoxidant asupra fontei lichide, conform reacției chimice (6.29).



Prin considerente practice, se poate estima proporția de carbon care trece în baia metalică din  $\text{CCl}_4$  și proporția de carbon care își exercită rolul de dezoxidant. Astfel, stoechiometric, se poate afla cu cât crește conținutul de carbon în fonta lichidă.

Proporția de carbon cu care se carburează baia metalică în timpul demanganizării fontei cu  $\text{CCl}_4$  –  $\%C_{\text{demang.}}$ , se calculează cu relația (6.29.1).

$$\%C_{\text{demang.}} = \Delta\text{Mn}_{\text{CCl}_4} \cdot \frac{M_{\text{C}}}{2M_{\text{Mn}}} \cdot \varepsilon_{\text{dezoxid.}} \quad (6.29.1)$$

în care  $\Delta\text{Mn}_{\text{CCl}_4}$  reprezintă proporția de mangan ce se elimină din baia metalică;  $M_{\text{C}}$  și  $M_{\text{Mn}}$  – masele atomice ale C, respectiv Mn;  $\varepsilon_{\text{dezoxid.}}$  – coeficient, ce variază între limitele 0...1 și care reprezintă ponderea de carbon ce-și desfășoară rolul de dezoxidant.

Consumul specific de  $\text{CCl}_4$  este cuprins în intervalul 5...20 kg/t de fontă lichidă.

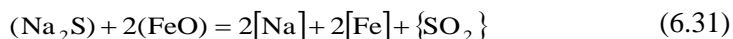
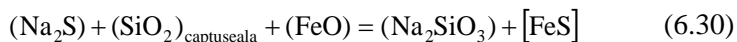
#### **6.4. Corectarea fosforului**

În cazul în care trebuie corectată compoziția chimică a băii metalice prin adaus, se aplică metodologia de calcul prezentată la paragraful 6.2, recomandându-se utilizarea ca material de corecție a fosforului (STAS 7433-77).

Diluarea fontei în fosfor – defosforarea – se realizează, de exemplu, cu material de diluare conform metodologiei prezentate la paragraful 6.1.

O altă tehnologie de defosforare utilizată în practică constă în tratarea băii metalice cu un amestec de sulfat de sodiu de puritate industrială și sodă de rufe ce conține  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Utilizarea de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  și  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  sau  $\text{K}_2\text{SO}_4$  alături de  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , prin  $\text{Na}_2\text{O}$  sau  $\text{K}_2\text{O}$  la care dau naștere prin descompunere, determină procese de desulfurare în paralel cu procese de defosforare.  $\text{Na}_2\text{O}$  oxidează fosforul dizolvat în baia metalică transformându-l în  $\text{P}_2\text{O}_5$  în zgură și apoi în fosfat de sodiu în zgură. Odată eliminată zgura din cuptor este eliminat și fosforul ce a trecut în zgură din baia metalică. Tratarea cu sulfat de sodiu industrial și sodă de rufe se face la temperaturi relativ mici – 1 200°C, [25]. De exemplu, o fontă ce a beneficiat de tratarea cu acest amestec și ce a avut inițial 4,4% C, 0,15% Si, 1,02% P și 0,02% S s-a caracterizat prin scăderea conținutului de fosfor până la 0,05...0,2% și prin scăderea conținutului de sulf până la 0,005...0,009%. Deoarece  $\text{Na}_2\text{S}$  ce rezultă în zgură în urma procesului de desulfurare este foarte agresiv față de căptușeala acidă – față de  $\text{SiO}_2$  liber – formând silicat de sodiu în prezența FeO, se recomandă tratarea fontei lichide în afara cuptorului, în creuzete de grafit vopsite în mod adecvat și în condiții de agitare a băii metalice prin mijloace consacrate. Dacă la amestecul de sulfat de sodiu industrial și sodă de rufe se adaugă și reducători, reacția chimică (6.30) este evitată, căptușeala refractară acidă a cuptorului nu mai este erodată puternic așa încât se poate efectua defosforarea și în cuptorul acid. Este de remarcat că reacția (6.30) se finalizează și cu resulfurarea băii metalice. În plus, absența

FeO din zgură elimină riscul desfășurării reacției chimice (6.31) ce se soldează cu afectarea ecologică a mediului înconjurător – degajare de SO<sub>2</sub> ce este un gaz toxic.



### **6.5. Corectarea sulfului**

Corectarea conținutului de sulf se manifestă numai prin desulfurare.

Desulfurarea se poate realiza prin diluare și prin amplasarea agenților desulfuranți la suprafața băii metalice – carbid, cianamidă de calciu, amestecuri de agenți desulfuranți etc.

#### **6.5.1. Desulfurarea prin diluare**

Desulfurarea prin diluare se realizează prin tehnologia prezentată la paragraful 6.2.

#### **6.5.2. Desulfurarea cu carbid**

Cel mai utilizat agent desulfurant este carbidul în varianta de compoziție eutectică.

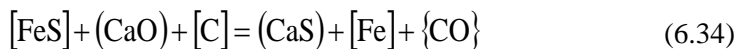
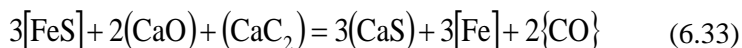
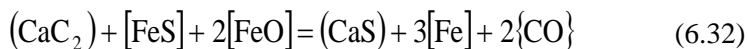
Deoarece carbidul are greutatea specifică cu mult mai mică decât fonta lichidă (de exemplu, 2,27 g/cm<sup>3</sup> față de 6,9 g/cm<sup>3</sup>), plutește la suprafața băii metalice, fiind nevoie de o agitare intensă a băii metalice pentru ca suprafața de contact dintre agentul desulfurant și baia metalică să fie cât mai mare – pentru ca randamentul de desulfurare să fie cât mai mare.

În cuptorul cu inducție sunt realizate cele mai bune condiții de agitare electromagnetică a băii metalice, curenții de metal lichid determinând o vehiculare a întregii băi metalice din cuptor și punerea în contact a acesteia cu carbidul aflat la suprafața ei (conform [9], particulele de carbid ar fi antrenate în interiorul băii metalice, până la fundul creuzetului).

Desulfurarea cu carbid este un proces complex, având în vedere că în compoziția carbidului există, în principal,  $\text{CaC}_2$  și  $\text{CaO}$ . Conținutul de  $\text{CaC}_2$ , depășește valoarea de 72%. Ambii componenți principali ai carbidului au capacitate de desulfurare datorită calciului care are afinitatea

chimică față de sulf mai mare decât afinitatea chimică față de sulf a fierului, [48].

Reacțiile chimice de desulfurare cu carbid sunt de forma următoare :



Dacă reacția (6.34) este puternic endotermă iar reacția (6.33) este endotermă, reacția (6.32) este exotermă și este și reacția predominantă.

Caracterul exoterm al reacției (6.32) nu determină micșorarea temperaturii fontei în timpul desulfurării cu carbid.

Carbidul se utilizează cu mărirea granulației de 0,5...3,0 mm.

Cantitatea de carbid utilizată prin desulfurare depinde de mărirea granulației, temperatura băii metalice, cantitatea de sulf propusă a fi eliminată, gradul de agitare al băii metalice, cantitatea de fontă lichidă ce se desulfurează, compoziția chimică a carbidului, compoziția chimică a fontei lichide, natura chimică a căptușelii refractare etc.

Relațiile matematice ce se utilizează pentru calculul cantității de carbid sunt relative și se referă la niște situații date. Deoarece există mai mulți factori ce influențează consumul de carbid, acesta se stabilește experimental, neneghiându-se nici calculele stoichiometrice.



Pentru orientare, consumul de carbid este de 1,7...2,0% dacă proporția de sulf scade de la 0,12% la 0,024...0,048%, este de 1,6...1,8% dacă proporția de sulf scade de la 0,1% la 0,02...0,04% și este de 1,4...1,5% dacă proporția de sulf scade de la 0,06% la 0,012...0,024%, toate aceste consumuri de carbid fiind specifice unui grad de desulfurare de 60...80%. La modul general, cantitatea de carbid necesară desulfurării variază între limitele 0,8...2,2 kg/100 kg fontă lichidă.

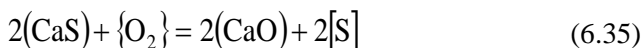
Durata de desulfurare variază în intervalul 3...10 min.

Pentru randamentele de desulfurare mari se impune un brasaj de 10...14%.

Se recomandă introducerea carbidului în cuptor atunci când temperatura băii metalice este de 1 300 ... 1 350<sup>0</sup>C și finalizarea desulfurării la temperatura băii metalice de 1 420...1 450<sup>0</sup>C (creșterea temperaturii băii metalice trebuie să se realizeze lent).

După 8...12 min. de la introducerea carbidului în cuptor procesul de desulfurare a fontei este neglijabil.

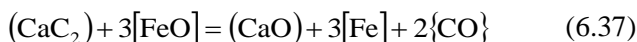
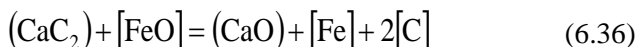
Nu se recomandă prelungirea operației de desulfurare peste durata optimă deoarece există și pericolul resulfurării fontei lichide conform reacției chimice (6.35).



Reacția chimică (6.35) se desfășoară în mod avansat dacă respectivul cuptor nu este prevăzut cu capac de protecție (lipsa capacului de protecție determină contactul direct al atmosferei – al aerului – cu zgura ce conține o proporție mare de CaS liber din punct de vedere chimic).

Carbidul interacționează și cu oxidul feros în mod direct, respectiv, altfel decât în reacția chimică (6.32). Din acest motiv se impune ca adăugarea de carbid să se realizeze după eliminarea zgurii de la suprafața băii metalice. În plus, ar trebui ca baia metalică să fie dezoxidată, în caz contrar,

consumându-se carbid și pentru dezoxidarea fontei, conform reacțiilor chimice (6.36) și (6.37). Prin urmare, prezența FeO în zgură sau în baia metalică micșorează randamentul de desulfurare.



Se apreciază că gradul de desulfurare crește relativ exponențial cu timpul de reacție.

Dacă temperatura de desulfurare este mai mare decât cea indicată se produce sinterizarea carburii de calciu. În plus, interacțiunea dintre CaO din zgură și SiO<sub>2</sub> din căptușeala refractară acidă se accentuează și SiO<sub>2</sub> din căptușeala acidă este redus de către carbonul din baia metalică în mod avansat. Consecințele constau în mărirea conținutului de siliciu și micșorarea conținutului de carbon din baia metalică, alături de uzura căptușelii refractare acide din planul zgurii. Uzura căptușelii refractare nu constituie motiv de oprire a cuptorului deoarece se realizează repararea căptușelii cu amestec refractar granular acid și acid boric, sau cu amestec refractar granular acid și silicat de sodiu etc.

Din cauzele micșorării gradului de desulfurare odată cu prelungirea timpului de desulfurare și atingerii valorii maxime a randamentului de desulfurare după scurgerea unei durate critice de desulfurare, o dată cu evacuarea zgurii din cuptor se evacuează și o cantitate de carbid ce nu a intrat în reacție cu sulfura de fier din baia metalică.

Cantitatea de carbid necesară desulfurării se alege orientativ și din tabelul 6.20, datele din acest tabel referindu-se la grade de desulfurare de 60...80%.

Tabelul 6.20

**Cantitatea de carbid necesară desulfurării fontei, corespunzătoare diferitelor grade de desulfurare (60...80%).**

<b>Cantitatea de carbid necesară desulfurării, în kg/100 kg de baie metalică</b>	<b>Conținutul inițial de sulf din baia metalică, în %</b>	<b>Conținutul final de sulf din baia metalică, în %</b>
1,7...2,0	0,12	0,024...0,048
1,6...1,8	0,10	0,020...0,040
1,4...1,6	0,08	0,016...0,032
1,4...1,5	0,06	0,012...0,024

### **6.5.3. Desulfurarea cu cianamidă de calciu industrială**

În practică se utilizează, de exemplu, varianta cu compoziția chimică prezentată în tabelul 6.21 (pentru  $\text{CaCN}_2$ ), [8].

Tabelul 6.21

**Exemplu de compoziție chimică pentru cianamida de calciu  $\text{CaCN}_2$ .**

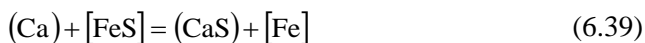
<b>Formula chimică</b>	<b>Compoziția chimică, în %</b>					
	<b><math>\text{CaCN}_2</math></b>	<b><math>\text{CaC}_2</math></b>	<b><math>\text{CaO}</math></b>	<b><math>\text{SiO}_2</math></b>	<b><math>\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3</math></b>	<b>C</b>
$\text{CaCN}_2$	55...62	0,20...0,60	20...25	2...4	2...6	11...12

Conform [4], se utilizează în practică și varianta de cianamidă de calciu cu formula chimică  $\text{CaC}_2\text{N}_2$ .

Cianamida de calciu se disociază la temperatura de circa  $1\ 400^\circ\text{C}$ , eliberând azot atomic ce se dizolvă cu ușurință în fonta lichidă, carbon ce parțial se dizolvă în fonta lichidă sau se oxidează cu  $\text{FeO}$  din baia metalică și oxigenul din atmosferă și calciu ce este foarte activ din punct de vedere chimic, conform reacției chimice (6.38).



Calciul rezultat din reacția chimică (6.38) interacționează direct cu FeS din baia metalică, în timp ce carbonul arde parțial incomplet formând monoxid de carbon ce asigură o atmosferă reducătoare deasupra băii metalice, protejând în acest fel calciul de pierderi prin oxidare, conform reacțiilor chimice (6.39), (6.40) și (6.41).



#### **6.5.4. Desulfurarea cu amestecuri de agenți desulfuranți**

De exemplu, se utilizează în practică amestecul format din următorii componenți: 74...77% cianamidă de calciu industrială ce conține  $\text{CaCN}_2$ , 18...20% silicat de sodiu și 5...6% fluorină. Acest amestec se utilizează în cantitate de 0,8...1,0 kg/100 kg de fontă lichidă și se impune ca agitarea electromagnetică a băii metalice să fie mai intensă. Baia metalică puternic agitată se menține sub acest amestec 25...30 min, desulfurarea propriu-zisă având loc la circa 5 min de la introducerea în cuptor a amestecului desulfurant.

Pentru o situație dată, conținutul de sulf din baia metalică variază în timpul menținerii acesteia sub amestecul desulfurant ca în figura 6.2. Se observă din această figură că după circa 30 min de menținere a băii metalice sub stratul de amestec, începe procesul de resulfurare a băii metalice conform unor reacții chimice de tipul (6.35).

După 25...35 min de menținere a băii metalice sub stratul de amestec desulfurant, zgura formată conține  $\text{SiO}_2$ ,

CaO, FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, CaF<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O și CaS.

Se precizează că cianamida de calciu industrială, utilizată ca atare sau în amestecuri, este o substanță ecologică, gazele degajate în atmosfera halelor industriale încadrându-se cantitativ între limitele impuse de normativele sanitare.

### **6.6. Dezoxidarea fontei**

Dezoxidarea fontei se poate realiza în două moduri, acestea fiind următoarele :

- supraîncălzirea fontei în stare lichidă peste temperatura de echilibru și menținerea la această temperatură ;
- introducerea în fonta lichidă de materiale reducătoare.

Dezoxidarea fontei prin supraîncălzire a fost analizată la paragraful 5 și se poate desfășura în mod facil în cazul elaborării fontei în cuptorul electric cu încălzire prin inducție. Se amintește că dezoxidarea prin supraîncălzirea în stare lichidă la o temperatură mai mare decât temperatura de echilibru a reacției chimice (5.1) constă în eliminarea oxigenului din baia metalică sub formă de CO.

Dezoxidarea fontei prin intermediul materialelor foarte reducătoare are la bază introducerea acestora în oala de turnare pe – jgheabul cuptorului sau la fundul oalei de turnare – sau în rețeaua de turnare din formele de turnare.

### **6.7. Degazarea fontei**

În timpul elaborării fontei se produc două fenomene din punctul de vedere al variației conținutului de gaze din faza metalică, acestea fiind gazarea și degazarea.

Fenomenul de gazificare se referă la absorbția de gaze din atmosfera gazoasă a cuptoarelor și depinde de o serie de factori dintre care se amintesc următorii: temperatura, gradul de agitare electromagnetică, timpul de menținere în stare lichidă a băii metalice la temperaturi mari, compoziția chimică a băii metalice, conținutul de gaze din materialele metalice și nemetalice din încărcătură, momentul de introducere a

materialelor în cuptor etc.

Cu cât temperatura este mai mare, cu atât gazificarea este mai accentuată deoarece gazificarea este un proces endoterm.

Cu cât conținuturile de carbon și siliciu sunt mai mari, cu atât gazificarea este mai puțin intensă.

Principalele gaze din fontă sunt azotul ce variază între limitele  $(15...140) \cdot 10^{-4}\%$  ( $1 \text{ cm}^3/100\text{g}$  de N = 0,00125% N = 12,5 ppm), oxigenul ce variază între limitele  $(4...100) \cdot 10^{-4}\%$  ( $1 \text{ cm}^3/100\text{g}$  de O = 0,00143% O = 14,3 ppm) și hidrogenul ce variază între limitele  $(0,5...4) \cdot 10^{-4}\%$  ( $1 \text{ cm}^3/100\text{g}$  de H = 0,00009% H = 0,9 ppm, în care 1 ppm = o milionime dintr-un procent). Conform [10], azotul se află în fontă sub formă de ioni și/sau nitruri, hidrogenul se află sub formă de protoni iar oxigenul se află sub formă de ioni negativi și/sau oxizi.

Elementele chimice mangan și crom măresc solubilitatea azotului în baia metalică.

Conținutul de hidrogen din fontă este mărit de mangan și micșorat de crom.

Deșeurile de oțel introduc în fontă mai mult azot.

Conținutul de gaze din fontă nu depinde de mărimea bucăților de încărcătură metalică.

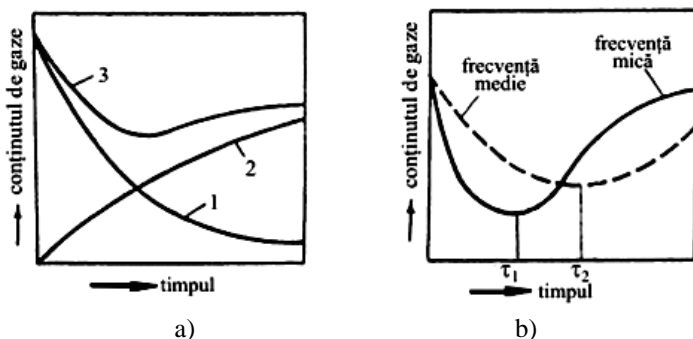
Feroaliajele utilizate în încărcătura metalică măresc conținutul de gaze din fontă.

Fenomenul de degazare se referă la micșorarea conținutului de gaze din baia metalică ca urmare a particularităților elaborării în cuptoarele electrice cu încălzire prin inducție (există și fenomenul de degazare condus). Astfel, este vorba despre micșorarea conținutului de hidrogen sub formă de bule, oxizi și nitruri solide, ca urmare a agitației electromagnetice. Cantitatea de gaze din baia metalică, la momentul  $\tau$ , se poate calcula cu relația (6.42).

$$Q_{g_\tau} = Q_{g_i} \cdot K \cdot e^{-\frac{\tau}{T}}, \quad (6.42)$$

în care  $Q_{g_t}$  – cantitatea de gaze din baia metalică, la momentul  $\tau$ ;  $Q_{g_i}$  – cantitatea inițială de gaze din baia metalică;  $K$  – constantă exponențială ce depinde de temperatură, mărimea gradului de agitare electromagnetică a băii metalice și mărimea raportului dintre suprafața și volumul băii metalice;  $\tau$  – timpul;  $T$  – temperatura.

Relația (6.42) arată că o dată cu trecerea timpului cantitatea de gaze din baia metalică se micșorează. Prin urmare, relația (6.42) reprezintă degazarea băii metalice. Pentru o temperatură dată, în figura 6.2.a este prezentată funcția  $Q_{g_t} = f(\tau)$  – curba 1. Pe măsură ce temperatura se mărește, din aceeași relație (6.42) rezultă o mărire a cantității de gaze din baia metalică.



**Figura 6.2. Variația conținutului de gaze din baia metalică în timpul elaborării fontei în cuptoare electrice cu încălzire prin inducție. a – influența duratei de elaborare; b – influența duratei de elaborare și a frecvenței curentului. 1 – variația conținutului de gaze datorită procesului de degazare; 2 – variația conținutului de gaze din cauza fenomenului de absorbție din atmosfera cuptorului;  $\tau_1$  – timpul critic, la care se obține minimum de conținut de gaze în cazul frecvenței mici;  $\tau_2$  – timpul critic, la care se obține minimum de conținut de gaze în cazul frecvenței medii.**

Relația ce reprezintă gazificarea băii metalice de la

atmosfera gazoasă a cuptorului este (6.43).

$$Q_{g_\tau} = Q_{g_i} \left( 1 - e^{-K_1 \frac{\tau}{T}} \right), \quad (6.43)$$

în care  $K_1$  reprezintă o constantă exponențială, ceilalți termeni având semnificația de la relația (6.42). În relația (6.43), pe măsură ce timpul se scurge, cantitatea de gaze din baia metalică se mărește. Pentru o temperatură dată, în figura 6.2.a este reprezentată funcția  $Q_{g_\tau} = g(\tau)$  – curba 2.

Suprapunând curbele 1 și 2 din figura 6.2.a (adunând conținuturile de gaze ce corespund curbelor de gazare și degazare) se obține curba 3 ce reprezintă variația conținutului de gaze, în timp, la cuptoarele electrice cu încălzire prin inducție. În mod practic, se poate determina doar conținutul de gaze din baia metalică reprezentat de curba 3 din figura 6.2.a.

În cazul duratelor de menținere a fontei în stare lichidă mici, se obține o micșorare a conținutului de gaze din baia metalică. În cazul duratelor de menținere a fontei în stare lichidă mari, se obține o mărire a conținutului de gaze în baia metalică.

În cazul elaborării fontei cu cuptoare ce funcționează la frecvența rețelei (sau cu frecvență joasă), datorită gradului de agitare electromagnetică mare, minimumul conținutului de gaze din baia metalică se obține în cazul unei durate mai mici de menținere în stare lichidă ( $\tau_1$  – figura 6.2.b) decât în cazul elaborării fontei în cuptoare ce funcționează la frecvențe medii ( $\tau_2$  – figura 6.2.b). În același timp, se subliniază că în cazul perioadelor mari de menținere a fontei în stare lichidă, conținutul de gaze din baia metalică, în cazul utilizării frecvențelor joase, îl depășește pe cel din cazul utilizării frecvențelor medii (figura 6.2.b).

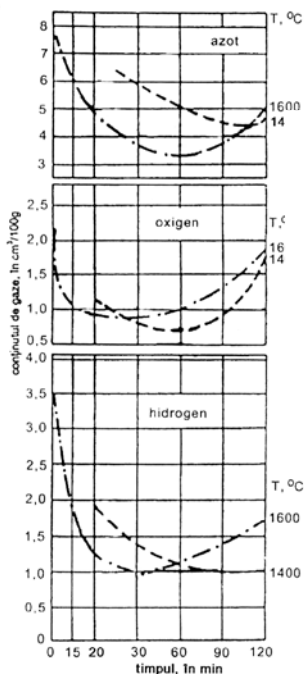
Concluziile trase din figura 6.2.a sunt confirmate de



un caz concret reprezentat în figura 6.3, în care se observă că, după 30...60 minute de menținere în stare lichidă, se obțin conținuturile minime de azot, oxigen și hidrogen, în principiu, indiferent de mărimea temperaturii.

Comparativ cu cubiloul și cuptorul electric cu încălzire prin arc electric, cuptorul electric cu încălzire prin inducție este agregatul de elaborare în care se obține fonta cu conținutul cel mai mic de gaze.

În tabelul 6.22 se prezintă, spre comparație, conținuturile de gaze din fonta obținută în trei cuptoare date, din categoria celor menționate anterior.



**Figura 6.3. Variația conținuturilor de azot, oxigen și hidrogen, din baia metalică, în funcție de durata de menținere a fontei în stare lichidă, la diverse temperaturi, în cazul unui cuptor electric cu încălzire prin inducție dat și al unei fonte. T – temperatura.**

Mărirea gradului de supraîncălzire a fontei în stare lichidă determină o creștere accentuată a conținutului de gaze în baia metalică. De exemplu, supraîncălzirea de la

temperatura de 1 350<sup>0</sup>C la temperatura de 1 500<sup>0</sup>C, a determinat, pentru o situație dată, mărirea conținutului de gaze cu 60...70%.

Tabelul 6.22

**Conținutul de gaze din fonta elaborată în trei categorii de cuptoare date.**

Tipul agregatului de elaborare	Conținutul de gaze din fontă, în cm <sup>3</sup> /100g			
	O	H	N	Total
Cubilou	1,7	2,7	6,2	10,6
Cuptor electric cu încălzire prin inducție (50 Hz)	1,1	2,3	3,7	7,1
Cuptor electric cu încălzire prin arc electric	1,1	2,0	6,6	9,6

Degazarea fontei lichide se poate realiza prin diverse metode, însă în afara agregatului de elaborare, așa cum se va prezenta într-un paragraf, ulterior.

Înainte de evacuarea fontei lichide din agregatul de elaborare, se poate insufla în baia metalică un gaz inert, ce este în general argonul pur, lipsit de umiditate sau un gaz activ, cum este clorul, ce formează combinații chimice insolubile cu gazele aflate în fonta lichidă.

Gazul inert se insuflă în baia metalică timp de câteva minute printr-o țevă cu diametrul de 12...25 mm și la o presiune ce să nu genereze stropire puternică și debordarea fontei lichide.

Atomii de hidrogen, și în măsură mai mică atomii de azot, pătrund în bulele de argon și formează molecule ce părăsesc baia metalică cu bulele de argon saturate în gaze.

Consumul specific de argon este de ordinul a 2...3 m<sup>3</sup>/t de fontă lichidă iar dacă se propune obținerea de conținuturi foarte mici de hidrogen în fontă, consumul specific de argon se mărește în mod apreciabil.

Presiunea de insuflare a argonului este de ordinul a 4...5 at.

### **6.8. Măsurile de mărire a randamentului de asimilare a elementelor chimice în baia metalică**

Ca reguli generale la alierea fontei în cuptorul electric cu încălzire prin inducție se remarcă următoarele :

- cu cât gradul de agitare electromagnetică a băii metalice este mai mare cu atât randamentul de asimilare a elementelor chimice de aliere se mărește;

- mărirea temperaturii băii metalice influențează pozitiv asimilarea elementelor de aliere;

- prelungirea duratei de menținere mărește gradul de asimilare a elementelor chimice de aliere;

- cu cât conținutul în element chimic de aliere al materialului de aliere este mai mare cu atât randamentul de asimilare în fonta lichidă a elementului de aliere este mai mare;

- cu cât materialul de aliere are gradul de puritate (elemente chimice nocive, gaze etc.) mai mare cu atât asimilarea elementelor chimice de aliere este mai bună;

- cu cât materialul de aliere are granulația de mărime mai mică, însă fără a fi sub formă de praf, cu atât asimilarea elementelor de aliere este mai bună;

- dacă materialul de aliere se utilizează în starea de agregare lichidă, randamentul de asimilare a elementelor chimice de aliere este mai bun etc.

### **6.b. Rularea programului**

ETAPA APLICĂRII TRATAMENTELOR METALURGICE FONTEI în STARE LICHIDĂ, DUPĂ TOPIRE PENTRU OBTINEREA FONTEI PROPUSE

După finalizarea etapei de topire, baia metalică are compoziția chimică reală, conform relației (4.1)

Introduceți procentele de element chimic din compoziția fontei după topire - REALA, determinate la etapa anterioară, de tipul Ct, Sit, Mnt,....

Ct=2.6093

Sit=1.3912

Mnt=0.7218

Pmaxt=0.1247

Smaxt=0.0655

Vt=0

Tit=0

Nit=0.4200

Crt=0.1420

Cut=0

Mot=0.0900

Mgt=0

Alt=0

Wt=0

At=0

A1t=0

A2t=0

#### INTRODUCEȚI COMPOZITIA CHIMICA A FONTEI CE TREBUIE ELABORATA

Compoziția chimică a fontei ce trebuie elaborată poate fi exprimată prin intervale de valori ale concentrațiilor elementelor chimice, prin conținuturi maxime și prin conținuturi minime.

Se introduc din tema de proiectare valorile minime și maxime pentru elementele din compoziția chimică a fontei de elaborat, pentru valori maxime sau unice se introduce aceeași valoare de două ori; Carbon (C), Siliciu (Si), Mangan (Mn), Fosformax (Pmax) Sulf maxim (Smax), Vanadiu (V), Titan (Ti), Nichel(Ni), Crom(Cr), Cupru(Cu), Molibden(Mo), Magneziu(Mg), Aluminiu (Al) sau Wolfram (W) Sulf max(Smax) și Alte elemente (A, A1, A2) ale fontei propuse spre elaborare

Pentru elementele care nu se regăsesc în compoziția chimică a FONTEI de ELABORAT se introduce valoarea zero (0)

Introduceți procentul de CARBON minim și maxim al fontei de elaborat,  $C_{min}$  și  $C_{max}$  ale fontei de elaborat; de ex: 3.1...3.6, valorile cu parte fracționară se scriu 1.2 sau 3.2

În cazul în care în tabel procentul de element este dat sub formă de valoare fixă, de exemplu 2.3 și nu sub forma de interval se introduce această valoare și pentru minimum și pentru maximum  
 $C_{min}$ :2.9  $C_{max}$ :3.3

Introduceți procentul de SILICIU minim și maxim ale fontei de elaborat  $Si_{min}$  și  $Si_{max}$  ale fontei de elaborat; de ex: 1.5...2.3:

În cazul în care în tabel procentul de element este dat sub formă de valoare fixă, de exemplu 1.3 (și nu sub forma de interval) se introduce valoarea din tabel și pentru minimum și pentru maximum  
 $Si_{min}$ :1  $Si_{max}$ :1.4

Introduceți procentul de MANGAN minim și maxim ale fontei de elaborat;  $Mn_{min}$  și  $Mn_{max}$  ale fontei de elaborat; de ex: 0.4...1.6:

În cazul în care în tabel procentul de element este dat sub formă de valoare fixă, de exemplu 0.8 și nu sub forma de interval se introduce aceeași valoare și pentru minimum și pentru maximum  
 $Mn_{min}$ :0.6  $Mn_{max}$ :1

Introduceți procentul de FOSFOR minim și maxim al fontei de elaborat

$P_{min}$  și  $P_{max}$  al fontei de elaborat; de ex: 0.5...0.8:

În cazul în care în tabel procentul de element este dat sub formă de valoare fixă, de exemplu 0.3 și nu sub forma de interval se introduce valoarea și pentru minimum și pentru maximum

$P_{min}$ :0.2

$P_{max}$ :0.2

Introduceți procentul de SULF minim și maxim al fontei de elaborat

$S_{min}$  și  $S_{max}$  al fontei de elaborat; de ex: 0.6...1.2:

În cazul în care în tabel procentul de element este dat sub formă de valoare fixă,

de exemplu 0.1 și nu sub forma de interval se introduce aceeași valoare și pentru minimum și pentru maximum

Smin:0.1 Smax:0.1

Introduceți procentul de VANADIU minim și maxim al fontei de elaborat

Vmin și Vmax al fontei de elaborat; de ex: 1.1...1.6, valorile cu parte fracționară se scriu 1.2 sau 3.2

În cazul în care în tabel procentul de element este dat sub formă de valoare fixă,

de exemplu 2.3 și nu sub forma de interval se introduce această valoare și pentru minimum și pentru maximum

Vmin:0

Vmax:0

Introduceți procentul de TITAN minim și maxim al fontei de elaborat

Timin și Timax al fontei de elaborat; de ex: 2.1...2.6, valorile cu parte fracționară se scriu 1.2 sau 3.2

În cazul în care în tabel procentul de element este dat sub forma de valoare fixă,

de exemplu 0.3 și nu sub forma de interval se introduce această valoare și pentru minimum și pentru maximum

Timin:0 Timax:0

Introduceți procentul de NICHEL minim și maxim al fontei de elaborat

Nimin și Nimax al fontei de elaborat; de ex: 1.2...1.9, valorile cu parte fracționară se scriu 1.2 sau 3.2

În cazul în care în tabel procentul de element este dat sub formă de valoare fixă,

de exemplu 2.2 și nu sub forma de interval se introduce această valoare și pentru minimum și pentru maximum

Nimin:1

Nimax:1.5

Introduceți procentul de CROM minim și maxim ale fontei de elaborat; Crmin și Crmax al fontei de elaborat de ex: 3.1...3.6, valorile cu parte fracționară se scriu 1.2 sau 3.2. În cazul în care în tabel

procentul de element este dat sub formă de valoare fixă, de exemplu 2.3 și nu sub forma de interval se introduce această valoare și pentru minimum și pentru maximum

Crmin:0.25 Crmax:0.45

Introduceți procentul de CUPRU minim și maxim ale fontei de elaborat; Cumin și Cumax al fontei de elaborat; de ex: 3.1...3.6, valorile cu parte fracționară se scriu 1.2 sau 3.2 În cazul în care în tabel procentul de element este dat sub formă de valoare fixă, de exemplu 2.3 și nu sub forma de interval se introduce această valoare și pentru minimum și pentru maximum

Cumin:0 Cumax:0

Introduceți procentul de MOLIBDEN minim și maxim ale fontei de elaborat; Momin și Momax al fontei de elaborat; de ex: 4.1...4.6, valorile cu parte fracționară se scriu 1.2 sau 3.2

În cazul în care în tabel procentul de element este dat sub formă de valoare fixă, de exemplu 1.3 și nu sub forma de interval se introduce această valoare și pentru minimum și pentru maximum

Momin:0.2 Momax:0.4

Introduceți procentul de MAGNEZIU minim și maxim al fontei de elaborat;

Mgmin și Mgmax al fontei de elaborat; de ex: 3.1...3.6, valorile cu parte fracționară se scriu 1.2 sau 3.2. În cazul în care în tabel procentul de element este dat sub formă de valoare fixă, de exemplu 2.3 și nu sub forma de interval se introduce această valoare și pentru minimum și pentru maximum

Mgmin:0 Mgmax:0

Introduceți procentul de ALUMINIU minim și maxim ale fontei de elaborat; Almin și Almax al fontei de elaborat; de ex: 1.8...2.1, valorile cu parte fracționară se scriu 1.2 sau 3.2

În cazul în care în tabel procentul de element este dat sub formă de valoare fixă, de exemplu 3.3 și nu sub forma de interval se introduce această valoare și pentru minimum și pentru maximum

Almin:0 Almax:0

Introduceți procentul de WOLFRAM minim și maxim ale fontei de elaborat;  $W_{min}$  și  $W_{max}$  al fontei de elaborat; de ex: 3.3...3.6, valorile cu parte fracționară se scriu 1.2 sau 3.2

În cazul în care în tabel procentul de element este dat sub formă de valoare fixă, de exemplu 2.8 și nu sub forma de interval se introduce această valoare și pentru minimum și pentru maximum

$W_{min}:0$   $W_{max}:0$

Se introduc și alte elemente de aliere dacă este cazul, elemente conținute de fonta de elaborat.

Introduceți procentul de element chimic de aliere minim și maxim,  $A_{min}$  și  $A_{max}$  ale fontei de obținut de ex: 0.8...2.6:

În cazul în care în tabel, tema de proiectare, procentul de element este dat sub forma de valoare fixă, de exemplu 1.8 și nu sub forma de interval se introduce aceeași valoare și pentru minimum și pentru maximum

$A_{min}:0$   $A_{max}:0$

$A1_{min}:0$   $A1_{max}:0$

$A2_{min}:0$   $A2_{max}:0$

Tratamentele metalurgice, printre altele, trebuie să asigure compoziția chimică a fontei propuse să fie elaborată. După etapa de topire, procesul de oxidare continuă pentru majoritatea elementelor chimice din topitura metalică.

Prin raportare la compoziția chimică a fontei propuse să fie elaborată, luându-se în considerație pierderile prin oxidare în timpul tratamentelor metalurgice aplicate fontei în stare lichidă supraîncălzită, se calculează cât trebuie să fie compoziția chimică a fontei lichide după etapa de topire, numită compoziție chimică teoretică după topire în așa fel încât să se obțină fonta propusă a fi elaborată.

Se compară compoziția chimică reală de după topire cu compoziția chimică teoretică de după topire și se trag concluzii în legătură cu natura operațiilor metalurgice care trebuie efectuate. Se utilizează, în continuare, noțiunile de proporția reală de element chimic și proporția teoretică de element chimic, după topire. Se



apreciază că pierderile prin oxidare de elemente chimice, în timpul tratamentelor chimice, sunt cele prezentate în tabelul 6.1

Pierderile reprezentate în tabelul 6.1 sunt relative, cel puțin din cauza faptului că intervine durata de menținere în stare lichidă a fontei pentru desfășurarea tratamentelor metalurgice, durată de menținere ce poate fi dictată și de alte cauze.

Pentru elementele chimice C, Si, Mn și Cr pierderile prin ardere se pot calcula, mai aproape de realitate și în funcție de durata de menținere în stare lichidă prin intermediul relației (6.6)

Introducereți  $t(\tau)$  – timpul de menținere în stare lichidă la temperatura de supraîncălzire în stare lichidă, în ore (h).

$t=1.8$

$a_{Eitm}$  reprezintă proporția de element chimic  $E_i$  care arde în timpul tratamentelor metalurgice

$atm_{Si1400} = 0$

$atm_{Si1450} = -0.7020$

$atm_{Si1500} = -2.7360$

$atm_{Si1550} = -6.7860$

$atm_{C1400} = 1.3140$

$atm_{C1450} = 4.0500$

$atm_{C1500} = 9$

$atm_{C1550} = 14.4000$

$atm_{Mn1400} = 1.0980$

$atm_{Mn1450} = 1.0980$

$atm_{Mn1500} = 2.4300$

$atm_{Mn1550} = 3.2760$

$atm_{Cr1400} = 2.2860$

$atm_{Cr1450} = 2.6640$

$atm_{Cr1500} = 4.6260$

$atm_{Cr1550} = 5.0760$

Dacă nu se cunosc date concrete despre pierderile prin oxidare în timpul supraîncălzirii, se iau în calcule mediile aritmetice ale extremelor din tabelul (6.1).

**INTRODUCEȚI** în funcție de temperatura proporția de element chimic care arde în timpul tratamentelor metalurgice pentru elementele Si,

C, Mn și Cr  
atmSi=0  
atmC=1.3140  
atmMn=1.0980  
atmCr=2.2860

Se calculează proporțiile teoretice de element chimic după topire ce se notează cu Ct<sub>inf</sub> și Ct<sub>sup</sub> în cazul în care avem intervale, P<sub>maxtt</sub> sau S<sub>maxtt</sub> în cazul în care avem valori maxime

Ct<sub>inf</sub> = 2.9386  
Ct<sub>sup</sub> = 3.3439  
Ct = 3.1413  
Sitt<sub>inf</sub> = 1  
Sitt<sub>sup</sub> = 1.4000  
Sitt = 1.2000  
Mntt<sub>inf</sub> = 0.6067  
Mntt<sub>sup</sub> = 1.0111  
Mntt = 0.8089  
Crtt<sub>inf</sub> = 0.2558  
Crtt<sub>sup</sub> = 0.4605  
Crtt = 0.3582  
Smaxtt = 0.1005  
Pmaxtt = 0.2009  
Nitt<sub>inf</sub> = 1  
Nitt<sub>sup</sub> = 1.5000  
Nitt = 1.2500  
Titt<sub>inf</sub> = 0  
Titt<sub>sup</sub> = 0  
Titt = 0  
Mott<sub>inf</sub> = 0.2000  
Mott<sub>sup</sub> = 0.4000  
Mott = 0.3000  
Altt<sub>inf</sub> = 0  
Altt<sub>sup</sub> = 0  
Altt = 0  
Mgtt<sub>inf</sub> = NaN

Mgtsup = NaN  
Mgtt = NaN  
Wttinf = 0  
Wttsup = 0  
Wtt = 0  
Cuttinf = 0  
Cuttsup = 0  
Cutt = 0  
Vttinf = 0  
Vttsup = 0  
Vtt = 0

Pentru a aplica tratamentele metalurgice de corectare a compoziției chimice, se compară compoziția chimică reală a fontei lichide de după topire cu compoziția chimică teoretică de după topire.

Primul element chimic ce trebuie verificat este siliciul. Deoarece siliciul micșorează solubilitatea carbonului în fonta lichidă, dacă baia metalică trebuie carburată, se efectuează întâi operația de carburare. Prin urmare primul element chimic care se confruntă este carbonul.

În circumstanțele inegalității (6.7), trebuie efectuată CARBURAREA FONTEI, carburarea se face cu materiale de carburare Cantitatea de carbon ce trebuie mărită în compoziția chimică a fontei se notează cu  $\Delta C$  și se determină cu relația (6.8).

Materialele de carburare conțin la modul general, [27], 40...99,9% carbon fix (100 - % cenușă - %H<sub>2</sub>O - % volatile reprezintă noțiunea de carbon fix), 0,01...40,00% cenușă, 0,1...15,0% volatile, 0,1...12,0% apă și 0,002...1,800% azot.

Proporția de Carbon din materialul de carburare se ia, de exemplu din tabelele 6.3, 6.4 și 6.5. Randamentul de asimilarea carbonului se poate alege din tabelul 6.8 alegerea materialului de carburare se face în așa fel încât în baia metalica SA NU SE INTRODUCĂ ALTE ELEMENTE CHIMICE în afara celor din compoziția chimică

Introduceți valorile PROPORȚIA DE CARBON și RANDAMENTUL DE ASIMILARE

Ccarb=99.5

Rand.asimC=99

INTRODUCEȚI CAPACITATEA EFECTIVA A  
CUPTORULUI - Qefectiv:

De exemplu, există o capacitate efectivă a cuptorului de  
12500 kg –

Qefectiv=12500

Cantitatea de material de carburare ce se introduce în  
cuptor -Qcarb.cupt- se determina cu relația 6.12

Qcarb = cpt: 40.1174

Cantitățile de elemente introduse de către materialul de carburare se  
adaugă la proporțiile existente modificând astfel compoziția chimică a  
fontei după topire înainte de următoarea operație de corecție.

Introduceți proporțiile de elemente chimice aduse de către materialul  
de carburare

Sicarb=0

Scarb=0.01

Alcarb=0

Fecarb=0

problema carburării fontei – a băii metalice – apare în mod curent în  
cazul elaborării fontei sintetice și semisintetice , adică în cazul  
încărcăturilor metalice ce conțin un conținut de carbon mic  
(încărcături metalice în care predomină deșeurile de oțel sau care  
sunt alcătuite în exclusivitate din deșeuri de oțel).

SE TRECE LA CORECTAREA SILICIULUI

Proporția de siliciu din compoziția chimică teoretică, după topire se  
calculează cu relația (6.1) și este de forma [%Si]tt. Se compară  
proporția de siliciu din compoziția chimică reală, după topire, relația  
(6.1) – [%Si]t – cu proporția de siliciu din compoziția chimică  
teoretică, după topire, relația (6.5), – [%Si]tt. În circumstanțele  
inegalității (6.13), BAIĂ METALICĂ ARE CONTINUTUL DE SILICIU  
CORESPUNZATOR

daca baia metalica suporta mai multe corectări prin adaos fiecare  
noua corecție trebuie sa ia în considerație schimbarea compoziției

chimice a băii metalice corectate de către elementele chimice însoțitoare ale elementului chimic corectat din materialul de corecție  
SE TRECE LA CORECTAREA MANGANULUI

Proporția de mangan din compoziția chimică teoretică, după topire se calculează cu relația (6.1) și este de forma  $[\%Mn]_{tt}$ . Se compară proporția de mangan din compoziția chimică reală, după topire, relația (6.1) –  $[\%Mn]_t$  – cu proporția de mangan din compoziția chimică teoretică, după topire, relația (6.5), –  $[\%Mn]_{tt}$ . În circumstanțele inegalității (6.13), baia metalică ARE CONTINUTUL DE MANGAN CORESPUNZATOR  
SE TRECE LA CORECTAREA FOSFORULUI

Proporția de fosfor din compoziția chimică teoretică, după topire se calculează cu relația (6.1) și este de forma  $[\%Pmax]_{tt}$ .

Se compară proporția de fosfor din compoziția chimică reală, după topire, relația (6.1) –  $[\%Pmax]_t$  – cu proporția de fosfor din compoziția chimică teoretică, după topire, relația (6.5), –  $[\%Mn]_{tt}$ . Dacă este îndeplinită inegalitatea (6.21), trebuie să se realizeze CORECTAREA conținutului de FOSFOR prin ADAOS de materiale metalice care conțin fosfor în proporție mare și, dacă este posibil, să conțină doar mangan și fier. Se aplică metodologia de calcul prezentată la paragraful 6.2, recomandându-se utilizarea ca material de corecție a fosforului (STAS 7433-77).

Cantitatea de mangan ce trebuie mărită în compoziția chimică a fontei se notează cu  $\Delta Mn$  și se determină cu relația (6.8). Cantitatea de material de corecție se calculează cu relația (6.24), se simbolizează cu  $Q_{m.c.}$  și se exprimă în kg de material de corecție pentru 100 kg de fontă lichidă.

Randamentul de asimilare al elementului chimic  $E_i$  în baia metalică este prezentat în tabelul 6.10.

Randamentele de asimilare prezentate în tabelul 6.10 sunt relative din cauză că sunt mulți factori care le influențează cum ar fi: compoziția chimică a băii metalice în momentul corecției, afinitatea chimică față de oxigen a elementelor chimice, tipul de constituent metalografic sub care se află în materialelor de corecție, conținutul de element chimic  $E_i$  din materialul de corecție, starea de agregare a

materialului de corecție în momentul în care acesta se introduce în baia metalică, cantitatea de baie metalică supusă corecției chimice, modalitatea de introducere a materialului de corecție în baia metalică – sub formă de porții sau integral –, tehnica de introducere a materialului de corecție în baia metalică, masa specifică a materialului de corecție, mărimea bucăților de material de corecție, temperatura băii metalice în momentul introducerii materialului de corecție în baia metalică,

temperatura materialului de corecție în momentul introducerii acestuia în baia metalică, gradul de agitare al băii metalice în momentul introducerii materialului de corecție în aceasta (mărimea brasajului), efectul caloric al dizolvării elementelor chimice Ei din materialul de corecție în baia metalică, gradul de puritate al materialelor de corecție, temperatura de topire a materialelor de corecție etc. De exemplu, prezintă interes, în ceea ce privește randamentul de asimilare, masa specifică a materialului de corecție – pentru câteva materiale de corecție, tabelul 6.11. Ca materiale de corecție se pot utiliza și fontele brute aliate – de exemplu fontele brute din tabelul 6.11 –, fonta veche aliată – de exemplu, fontele din tabelul 6 –, deșeuri de oțel aliate – de exemplu, deșeurile de oțel din tabelul 7 –, deșeuri de fontă aliată, prealiaje, metale brute de aliere, metale rafinate de aliere etc.

Prealiajele reprezintă niște aliaje intermediare ce se utilizează cu scopul corectării compoziției chimice în cazul în care există probleme de asimilare a elementelor chimice de aliere sau de altă natură. Prealiajele trebuie să fie fragile cu scopul mărunțirii și dozării gravimetrice facile. În cazul elaborării fontelor aliate este posibilă utilizarea următoarelor prealiaje: – prealiaje cupru-staniu (STAS 197/1-80), exceptând cele ce conțin zinc și plumb în proporții mari, ce conțin 9...15% Sn, 0...2% Ni (cu excepția nichelului ca impuritate conținută în cupru), maximum 0,8% Zn, 1% Pb, 0,2% Sb, 0,2% Fe, 0,02% Al, 0,1% S, 0,01% Bi, 0,01% Mg, 0,15% As, 0,2% Mn, 1% Ni, 0,1% P și în rest Cu;

– prealiaj cupru-aluminiu (STAS 198/1-80), conținând 8,5...10% Al, maximum 0,6% impurități (exclusiv Mn, Fe și Ni) și în rest cupru;

- prealiaj cupru-aluminiu-fier (STAS 198/1-80), conținând 8,5...10,5% Al, 2...4% Fe, maximum 0,8% impurități (exclusiv Sn) și în rest Cu;
- prealiaj cupru-aluminiu-fier (STAS 198/1-80), conținând 9...11% Al, 2,0...4,5% Fe, maximum 0,5% impurități (exclusiv Mn și Ni) și în rest Cu;
- prealiaj cupru-aluminiu-fier-nichel (STAS 198/1-80), conținând 8,5...10,7% Al, 4...6% Fe, 4...6,5% Ni, maximum 1,5% Mn, 0,5% impurități și în rest Cu;
- prealiaj cupru-aluminiu-mangan (STAS 198/1-80), conținând 8...10% Al, 1,5...2,5% Mn, maximum 2,4% impurități (exclusiv Ni) și în rest Cu;
- prealiaje aluminiu-cupru, aluminiu-cupru-siliciu, aluminiu-siliciu, aluminiu-siliciu-cupru-fier, aluminiu-siliciu-cupru-nichel, aluminiu-siliciu-mangan-fier (STAS 201/1-80). În practică sunt posibile de utilizat și următoarele prealiaje:  
 aluminiu-fier (90% Al și 10% Fe sau 80% Al și 20% Fe), aluminiu-mangan (90% Al și 10% Mn sau 80% Al și 20% Mn), aluminiu-nichel (80% Al și 20% Ni), aluminiu-nichel-cupru (50% Al, 40% Ni și 10% Cu), aluminiu-siliciu-mangan (83% Al, 10% Si și 7% Mn), aluminiu-titan (96% Al și 4% Ti sau 90% Al și 10% Ti), cupru-crom (90% Cu și 10% Cr), cupru-fier (90...95% Cu și 5...10% Fe), cupru-mangan (73% Cu și 27% Mn), cupru-nichel (67...85% Cu și 15...33% Ni), cupru-siliciu (84% Cu și 16% Si sau 75% Cu și 25% Si), cupru-titan (96% Cu și 4% Ti sau 70% Cu și 30% Ti), titan-aluminiu (60% Ti și 40% Al), vanadiu-aluminiu (85% V și 14,5% Al) etc., aceste compoziții chimice fiind medii.

Conform [25], prealiajele sunt superioare, ca randament de asimilare, feroaliajelor și metalelor brute sau rafinate de aliere, și sunt indicate, sub formă de granulații de 3...10 mm, pentru obținerea de fonte aliate, plecând de la o fontă de bază nealiată.

Compozițiile granulelor solubile de prealiaje sunt în jurul celor eutectice, având, astfel, o temperatură minimă de topire. Utilizarea de prealiaje determină randamente de asimilare remarcabile și uniforme spre deosebire de feroaliaje (de exemplu, utilizarea de ferocrom prin adaos în baia metalică, creează pierderi mari de crom

prin oxidare și apariția de «pete dure», ceea ce nu se întâmplă în cazul utilizării prealiajului cu 50% Ni, 17% Cr și 3% Si sau cu 30% Ni, 40% Cu, 5% Cr și 3%..Si). Foarte apreciate sunt și prealiajele nichel-cupru (65% Ni și 35% Cu), nichel-siliciu (60% Ni și 30% Si) sau nichel-siliciu (92% Ni și 6% Si), [25]. Metalele brute de aliere reprezintă metale nerafinate ce se utilizează pentru corectarea compoziției chimice a fontei. Dintre acestea se precizează următoarele: – Staniu; STAS 10309-75 (Sn 96,35, Sn 98,4, Sn 99); 1% total impurități; – Crom metalic; STAS 7386-75 (Cr 97, Cr 98, Cr 98,5, Cr 99); Cr = 97...99%; C = 0,03...0,05%; Si=0,03...0,05%; P=0,02...0,03%; S= 0,02...0,04%%, Al = 0,5...1,5%; Fe = 0,6...1,2%; Cu = 0,01...0,05%;

– Mangan metalic; STAS 7387-81 (Mn 93, Mn 95); Mn = 93...95%; C=0,1...0,2%; Si=0,8...1,8%; P=0,05%; Fe = 2,5%; total impurități = 5...7%;

– Nichel primar; STAS 10502-76 (Ni 97, Ni 98,6); C = 0,10...0,15%; Co = 0,70%; S = 0,03...0,04%; Cu = 0,60...1,00%; Ni+Co = 97,6...98,6%;

– Siliciu tehnic; STAS 9675-80 (Si 95,5...Si 98,8); max. 0,2% C; max. 0,3% Ti; max. 0,0025% S; – Aluminiu tehnic; STAS 201/1-80; 90% Al; 4,5% Cu; 5,5% impurități; max.0,01% P; 0,4...1,6% Fe; 0,3%...1,4% Ca; 0,4...1,5% Al.

Metalele rafinate de aliere se utilizează de regulă la elaborarea fontelor speciale aliate în cuptoare electrice cu atmosferă cu grad mare de depresurizare. Sunt posibile spre utilizare următoarele metale rafinate:

– aluminiu de înaltă puritate (STAS 7607/1-80 sau STAS 7607/2-79) cu un conținut de aluminiu de 99,90...99,99%;

– cupru fără oxigen (STAS 270/1-80), cu un conținut de cupru de 99,98%;

– mangan metalic (STAS 7387-81) conținând 99,70...99,95% Mn;

– nichel primar (STAS 10 502-76) conținând 99,5...99,99% Ni;

– siliciu tehnic (STAS 9675-80) conținând 99,2% Si;



– staniu (STAS 10 309-75) conținând 99,565...99,9% Sn.

Elementul chimic Ei din materialele de corecție se utilizează în relația (6.24) numai ca valori fixe. În consecință, acolo unde elementele chimice sunt consemnate cu valori extremă – limită inferioară și limită superioară – trebuie să se facă media aritmetică (ca în relația (6.17)). De asemenea, în cazul în care elementele chimice figurează în literatura de specialitate sau în standarde ca valori minime sau maxime trebuie să se folosească valori fixe – se apelează la certificatele de calitate sau se determină compoziția chimică.

Introduceți valorile PROPORTIA DE FOSFOR și RANDAMENTUL DE ASIMILARE, în procente, în funcție de materialul de aliere ales

$P_{maxm.ainf}=25$

$P_{maxm.asup}=25$

$P_{maxm} =$

ainf: 25

asup: 25

a: 25

$Rand.asimP_{max}=90$

$Q_m =$

$cP_{max}: 0.3388$

INTRODUCEȚI CAPACITATEA EFECTIVA A CUPTORULUI -

$Q_{efectiv}$ :

De exemplu, există o capacitate efectivă a cuptorului de 12500 kg

$Q_{efectiv}=12500$

$Q_m =$

$cP_{max}: 0.3388$

$c_{cuptor}: 40.6583$

Cu excepția metalelor rafinate de aliere, în celelalte materiale de corecție, elementele chimice Ei ce se corectează sunt însoțite de alte elemente chimice Ek. Prin urmare, materialele de corecție menționate anterior, schimbă compoziția chimică reală a băii metalice de după topire. La rândul lor, elementele chimice însoțitoare au un randament specific de asimilare în baia metalică, randament de asimilare care poate fi acceptat ca având valorile din tabelul 6.10.

Proporția de element chimic  $E_k$  din materialul de corecție care trece în baia metalică se calculează cu relația (6.25).

IN ACEST MOMENT NE AFLAM LA CORECTAREA FOSFORULUI, DUPA ACEASTA ETAPA TOATE PROPORTIILE ELEMENTELOR CHIMICE SE POT MODIFICA în FUNCTIE DE COMPOZITIA CHIMICA A MATERIALULUI DE CORECTIE. După calculul aporturilor elementelor chimice noile proporții de elemente ale fontei după topire și tratamente metalurgice vor fi afișate se introduc pe rând valorile pentru proporția de element chimic  $E_k$  din materialul de corecție din compoziția chimică a materialului ales pentru corectare și randamentul de asimilare al elementului chimic  $E_k$  din materialul de corecție în baia metalică (din tabelul 6.10).

$P_{maxt} = 0.2009$

$Cc.m=0.5$

$Rand.asimC=90$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$C_k = 0.0015$

Procentul de C din baia metalica după topire și corectarea fosforului va fi egal cu

$C_t = 2.6108$

$Sic.m=1$

$Rand.asimSi=90$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$Sik = 0.0030$

Procentul de Si din baia metalica după topire și corectarea fosforului va fi egal cu

$Sit = 1.3942$

$Tic.m=0$

$Rand.asimTi=0$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$Tik = 0$

Procentul de Ti din baia metalica după topire și corectarea fosforului va fi egal cu

$$T_{it} = 0$$

$$N_{ic.m} = 0$$

$$R_{and.asimNi} = 0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$N_{ik} = 0$$

Procentul de Ni din baia metalica după topire și corectarea fosforului va fi egal cu

$$N_{it} = 0.4200$$

$$C_{rc.m} = 0$$

$$R_{and.asimCr} = 0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$C_{rk} = 0$$

Procentul de Cr din baia metalica după topire și corectarea fosforului va fi egal cu

$$C_{rt} = 0.1420$$

$$V_{c.m} = 0$$

$$R_{and.asimV} = 0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$V_{k} = 0$$

Procentul de Mn din baia metalica după topire și corectarea fosforului va fi egal cu

$$V_{t} = 0$$

$$W_{c.m} = 0$$

$$R_{and.asimW} = 0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$W_{k} = 0$$

Procentul de W din baia metalica după topire și corectarea fosforului va fi egal cu

$$W_{t} = 0$$

Moc.m=0

Rand.asimMo=0

**proporția** de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

Mok = 0

Procentul de Mo din baia metalica după topire și corectarea fosforului va fi egal cu

Mot = 0.0900

Mgc.m=0

Rand.asimMg=0

**proporția** de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

Mgk = 0

Procentul de Mg din baia metalica după topire și corectarea fosforului va fi egal cu

Mgt = 0

Mnc.m=0

Rand.asimMn=0

**proporția** de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

Mnk = 0

Procentul de Mn din baia metalica după topire și corectarea fosforului va fi egal cu

Mnt = 0.7218

Sc.m=0.5

Rand.asimS=90

**proporția** de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

Sk = 0.0015

Procentul de S din baia metalica după topire și corectarea fosforului va fi egal cu

Smact = 0.0770

Alc.m=0

Rand.asimAl=0

**proporția** de element chimic introdusă în baia metalică de materialul

de aliere

$A_{lk} = 0$

Procentul de Al din baia metalica după topire și corectarea fosforului va fi egal cu

$A_{lt} = 0$

$C_{uc.m} = 0$

$R_{and.asimCu} = 0$

proportia de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$C_{uk} = 0$

Procentul de Cu din baia metalica după topire și corectarea fosforului va fi egal cu

$C_{ut} = 0$

$A_{c.m} = 0$

$R_{and.asimA} = 0$

proportia de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$A_{lk} = 0$

Procentul de A din baia metalica după topire și corectarea fosforului va fi egal cu

$A_{lt} = 0$

$A_{1c.m} = 0$

$R_{and.asimA1} = 0$

proportia de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$A_{1k} = 0$

Procentul de A1 din baia metalica după topire și corectarea fosforului va fi egal cu

$A_{1t} = 0$

$A_{2c.m} = 0$

$R_{and.asimA2} = 0$

proportia de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$A_{2k} = 0$

Procentul de A2 din baia metalica după topire și corectarea

fosforului va fi egal cu

$$A_{2t} = 0$$

Dacă elementul chimic  $E_k$  din materialul de corecție, însoțitor al elementului chimic corectat, nu se află în baia metalică ce este corectată, înseamnă că în baia metalică ce se corectează apare un element chimic nou, situație în care este posibil ca să se schimbe caracteristicile fontei obținute și situație în care se impune eliminarea lui din baia metalică sau micșorarea conținutului lui până la valori care nu mai prezintă pericol pentru caracteristicile fontei obținute. Se recomandă ca să nu se utilizeze materiale de corecție care aduc în baia metalică elemente chimice noi. De exemplu, dacă baia metalică ce se caracterizează are 1,4%Mn iar [%Mnk] calculat cu relația (6.25) are valoarea 0,2, după corectarea băii metalice în ceea ce privește un element chimic  $E_i$ , conținutul de mangan din baia metalică crește de la 1,5% la  $1,4 + 0,2 = 1,6\%$ . După fiecare corectare a compoziției cu materiale de corecție se calculează și schimbarea compoziției chimice cu elementele chimice din materialul de corecție – cu proporțiile calculate cu relația (6.25). Corectarea conținutului de SULF se manifestă numai prin DESULFURARE. Desulfurarea se poate realiza prin diluare și prin amplasarea agenților desulfuranți la suprafața băii metalice – carbid, cianamidă de calciu, amestecuri de agenți desulfuranți etc. Baia metalică de la finalul topirii trebuie diluată în sulf. Pentru diluarea fontei lichide într-un element chimic  $E_i$  – deoarece este îndeplinită inegalitatea (6.15) – trebuie să se introducă în baia metalică un sort metalic care să conțină elementul chimic  $E_i$ , de diluat, într-o proporție mult mai mică decât baia metalică. Fie că se numește sortul metalic, menționat la aliniatul anterior, material de diluare – m.d. Proporția de material de diluare – %m.d. – se determină prin rezolvarea sistemului (6.16). Se determină proporția de fonta lichida de după topire și proporția de material de diluare

Introduceți proporția de sulf din materialul de diluare

$$S_{maxd} = 0.05$$

$$A = 0.0008 \quad 0.0005 \quad 1.0000 \quad 1.0000$$

$$A_1 = 0.1005 \quad 0.0005 \quad 100.0000 \quad 1.0000$$

$A_2 = 0.0008 \quad 0.1005 \quad 1.0000 \quad 100.0000$

$D = 2.7025e-004$

$D_1 = 0.0505$

$D_2 = -0.0234$

$f = l: 186.7447$

$m = d: -86.7447$

Cantitatea de material de diluare ce se introduce în cuptor se calculează cu relația (6.18).

INTRODUCEȚI CAPACITATEA EFECTIVA A CUPTORULUI -  
Qefectiv:

De exemplu, există o capacitate efectivă a cuptorului de 12500 kg

$Q_{efectiv} = 12500$

$Q_{mdcuptor} = -5.5741e+003$  în kg material de diluare/cuptor

Materialul de diluare poate dilua și alte elemente chimice din fonta care se tratează, după cum poate să aducă elemente chimice noi în fonta lichidă. Compoziția chimică a fontei care se diluează se schimbă, după caz, apărând și elemente chimice noi iar unele elemente chimice păstrându-și proporția.

Pe lângă elementul chimic diluat – [%Ei]t din relația (6.16) – noua compoziție chimică a fontei diluate, respectiv proporțiile elementelor chimice din compoziția chimică a fontei diluate se obține cu relația (6.19).

SE INTRODUC PROCENTELE DE ELEMENTE CHIMICE DIN  
MATERIALUL DE diluare a sulfului în VEDEREA CALCULULUI  
PROCENTELOR DUPA DILUARE

$C_{md} = 0.19$

$C_f =$

$d: 4.7108$

$P_{md} = 0.04$

$P_f =$

$d: 0.3405$

$S_{imd} = 0.15$

$S_{if} =$

$d: 2.4736$

$A_{imd} = 0$

Alf =  
d: 0  
Mnmd=0.4  
Mnf =  
d: 1.0009  
Timd=0  
Tif =  
d: 0  
Vmd=0  
Vf =  
d: 0  
Nimd=0  
Nif =  
d: 0.7843  
Crmd=0  
Crf =  
d: 0.2652  
Cumd=0  
Cuf =  
d: 0  
Mgmd=0  
Mgf =  
d: 0  
Momd=0  
Mof =  
d: 0.1681  
Wmd=0  
Wf =  
d: 0  
Amd=0  
Af =  
d: 0  
A1md=0  
A1f =  
d: 0



$A_{2md}=0$

$A_{2f} =$

$d: 0$

Așadar, după diluare, în cuptor se află o fontă lichidă nouă, cu o compoziție chimică nouă.

Toate tratamentele metalurgice care se efectuează după diluare trebuie să ia în considerație noua compoziție chimică, adică, de exemplu, compoziția chimică dată de relația (6.1), se transformă în compoziția chimică dată de relația (6.19).

$S_{maxt} = 0.1005$

$C_t = 4.7108$

$Al_t = 0$

$P_{maxt} = 0.3405$

$Si_t = 2.4736$

$Ti_t = 0$

$V_t = 0$

$Ni_t = 0.7843$

$Cr_t = 0.2652$

$Cu_t = 0$

$Mg_t = 0$

$Mo_t = 0.1681$

$W_t = 0$

$At = 0$

$A_{1t} = 0$

$A_{2t} = 0$

Cel mai utilizat agent desulfurant este carbidul în varianta de compoziție eutectică. Deoarece carbidul are greutatea specifică cu mult mai mică decât fonta lichidă (de exemplu, 2,27 g/cm<sup>3</sup> față de 6,9 g/cm<sup>3</sup>), plutește la suprafața băii metalice, fiind nevoie de o agitare intensă a băii metalice pentru ca suprafața de contact dintre agentul desulfurant și baia metalică să fie cât mai mare – pentru ca randamentul de desulfurare să fie cât mai mare. În cuptorul cu inducție sunt realizate cele mai bune condiții de agitare electromagnetică a băii metalice, curenții de metal lichid determinând o vehiculare a întregii băii metalice din cuptor și punerea în contact a

acesteia cu carbidul aflat la suprafața ei (conform [9], particulele de carbid ar fi antrenate în interiorul băii metalice, până la fundul creuzetului). Desulfurarea cu carbid este un proces complex, având în vedere că în compoziția carbidului există, în principal,  $\text{CaC}_2$  și  $\text{CaO}$ . Conținutul de  $\text{CaC}_2$ , depășește valoarea de 72%. Ambii componenți principali ai carbidului au capacitate de desulfurare datorită calciului care are afinitatea chimică față de sulf mai mare decât afinitatea chimică față de sulf a fierului, [48].

#### SE TRECE LA CORECTAREA TITANULUI

Proporția de titan din compoziția chimică teoretică, după topire se calculează cu relația (6.1) și este de forma  $[\%Ti]_{tt}$ . Se compară proporția de titan din compoziția chimică reală, după topire, relația (6.1) –  $[\%Ti]_t$  – cu proporția de titan din compoziția chimică teoretică, după topire, relația (6.5), –  $[\%Ti]_{tt}$ . În circumstanțele inegalității (6.13), BAIĂ METALICĂ are conținutul de TITAN corespunzător.

#### SE TRECE LA CORECTAREA MOLIBDENULUI

Proporția de molibden din compoziția chimică teoretică, după topire se calculează cu relația (6.1) și este de forma  $[\%Mo]_{tt}$ . Se compară proporția de molibden din compoziția chimică reală, după topire, relația (6.1) –  $[\%Mo]_t$  – cu proporția de molibden din compoziția chimică teoretică, după topire, relația (6.5), –  $[\%Mo]_{tt}$ . Dacă este îndeplinită inegalitatea (6.21), TREBUIE să se realizeze CORECTAREA conținutului de MOLIBDEN prin adaos de materiale metalice care conțin molibden în proporție mare și, dacă este posibil, să conțină doar molibden și fier. Alierea cu molibden în cuptorul electric cu încălzire prin inducție se face cu Feromolibden și numai după efectuarea carburării, dacă a fost cazul, pentru ca să nu afecteze solubilitatea carbonului în fonta lichidă. În tabelul 6.16 se prezintă compoziția chimică a feromolibdenului și forma de livrare, conform STAS 7038-81.

Cantitatea de molibden ce trebuie mărită în compoziția chimică a fontei se notează cu  $\Delta Mo$  și se determină cu relația (6.8). Cantitatea de material de corecție se calculează cu relația (6.24), se simbolizează cu  $Q_{m.c.}$  și se exprimă în kg de material de

corecție pentru 100 kg de fontă lichidă.

Randamentul de asimilare al elementului chimic Ei în baia metalică este prezentat în tabelul 6.10.

Randamentele de asimilare prezentate în tabelul 6.10 sunt relative din cauză că sunt mulți factori care le influențează cum ar fi: compoziția chimică a băii metalice în momentul corecției, afinitatea chimică față de oxigen a elementelor chimice, tipul de constituent metalografic sub care se află în materialele de corecție, conținutul de element chimic Ei din materialul de corecție, starea de agregare a materialului de corecție în momentul în care acesta se introduce în baia metalică, cantitatea de baie metalică supusă corecției chimice, modalitatea de introducere a materialului de corecție în baia metalică – sub formă de porții sau integral – tehnica de introducere a materialului de corecție în baia metalică, masa specifică a materialului de corecție, mărimea bucăților de material de corecție, temperatura băii metalice în momentul introducerii materialului de corecție în baia metalică,

temperatura materialului de corecție în momentul introducerii acestuia în baia metalică, gradul de agitare al băii metalice în momentul introducerii materialului de corecție în aceasta (mărimea brasajului), efectul caloric al dizolvării elementelor chimice Ei din materialul de corecție în baia metalică, gradul de puritate al materialelor de corecție, temperatura de topire a materialelor de corecție etc. De exemplu, prezintă interes, în ceea ce privește randamentul de asimilare, masa specifică a materialului de corecție – pentru câteva materiale de corecție, tabelul 6.11. Ca materiale de corecție se pot utiliza și fontele brute aliate – de exemplu fontele brute din tabelul 5 –, fonta veche aliată – de exemplu, fontele din tabelul 6 –, deșeuri de oțel aliate – de exemplu, deșeurile de oțel din tabelul 7 –, deșeuri de fontă aliată, prealiaje, metale brute de aliere, metale rafinate de aliere etc.

Prealiajele reprezintă niște aliaje intermediare ce se utilizează cu scopul corectării compoziției chimice în cazul în care există probleme de asimilare a elementelor chimice de aliere sau de altă natură. Prealiajele trebuie să fie fragile cu scopul mărunțirii și dozării

gravimetrice facile. În cazul elaborării fontelor aliate este posibilă utilizarea următoarelor prealiaje: – prealiaje cupru-staniu (STAS 197/1-80), exceptând cele ce conțin zinc și plumb în proporții mari, ce conțin 9...15% Sn, 0...2% Ni (cu excepția nichelului ca impuritate conținută în cupru), maximum 0,8% Zn, 1% Pb, 0,2% Sb, 0,2% Fe, 0,02% Al, 0,1% S, 0,01% Bi, 0,01% Mg, 0,15% As, 0,2% Mn, 1% Ni, 0,1% P și în rest Cu;

– prealiaj cupru-aluminiu (STAS 198/1-80), conținând 8,5...10% Al, maximum 0,6% impurități (exclusiv Mn, Fe și Ni) și în rest cupru;

– prealiaj cupru-aluminiu-fier (STAS 198/1-80), conținând 8,5...10,5% Al, 2...4% Fe, maximum 0,8% impurități (exclusiv Sn) și în rest Cu;

– prealiaj cupru-aluminiu-fier (STAS 198/1-80), conținând 9...11% Al, 2,0...4,5% Fe, maximum 0,5% impurități (exclusiv Mn și Ni) și în rest Cu;

– prealiaj cupru-aluminiu-fier-nichel (STAS 198/1-80), conținând 8,5...10,7% Al, 4...6% Fe, 4...6,5% Ni, maximum 1,5% Mn, 0,5% impurități și în rest Cu;

– prealiaj cupru-aluminiu-mangan (STAS 198/1-80), conținând 8...10% Al, 1,5...2,5% Mn, maximum 2,4% impurități (exclusiv Ni) și în rest Cu;

– prealiaje aluminiu-cupru, aluminiu-cupru-siliciu, aluminiu-siliciu, aluminiu-siliciu-cupru-fier, aluminiu-siliciu-cupru-nichel, aluminiu-siliciu-mangan-fier (STAS 201/1-80). În practică sunt posibile de utilizat și următoarele prealiaje:

aluminiu-fier (90% Al și 10% Fe sau 80% Al și 20% Fe), aluminiu-mangan (90% Al și 10% Mn sau 80% Al și 20% Mn), aluminiu-nichel (80% Al și 20% Ni), aluminiu-nichel-cupru (50% Al, 40% Ni și 10% Cu), aluminiu-siliciu-mangan (83% Al, 10% Si și 7% Mn),

aluminiu-titan (96% Al și 4% Ti sau 90% Al și 10% Ti), cupru-crom (90% Cu și 10% Cr), cupru-fier (90...95% Cu și 5...10% Fe), cupru-mangan (73% Cu și 27% Mn), cupru-nichel (67...85% Cu și 15...33% Ni), cupru-siliciu (84% Cu și 16% Si sau 75% Cu și 25% Si),

cupru-titan (96% Cu și 4% Ti sau 70% Cu și 30% Ti), titan-aluminiu (60% Ti și 40% Al), vanadiu-aluminiu (85% V și 14,5% Al) etc., aceste compoziții chimice fiind medii.

Conform [25], prealiajele sunt superioare, ca randament de asimilare, feroaliajelor și metalelor brute sau rafinate de aliere, și sunt indicate, sub formă de granulații de 3...10 mm, pentru obținerea de fonte aliate, plecând de la o fontă de bază nealiată. Compozițiile granulelor solubile de prealiaje sunt în jurul celor eutectice, având, astfel, o temperatură minimă de topire. Utilizarea de prealiaje determină randamente de asimilare remarcabile și uniforme spre deosebire de feroaliaje (de exemplu, utilizarea de ferocrom prin adaos în baia metalică, creează pierderi mari de crom prin oxidare și apariția de «pete dure», ceea ce nu se întâmplă în cazul utilizării prealiajului cu 50% Ni, 17% Cr și 3% Si sau cu 30% Ni, 40% Cu, 5% Cr și 3%..Si). Foarte apreciate sunt și prealiajele nichel-cupru (65% Ni și 35% Cu), nichel-siliciu (60% Ni și 30% Si) sau nichel-siliciu (92% Ni și 6% Si), [25]. Metalele brute de aliere reprezintă metale nerafinate ce se utilizează pentru corectarea compoziției chimice a fontei. Dintre acestea se precizează următoarele: – Staniu; STAS 10309-75 (Sn 96,35, Sn 98,4, Sn 99); 1% total impurități; – Crom metalic; STAS 7386-75 (Cr 97, Cr 98, Cr 98,5, Cr 99); Cr = 97...99%; C = 0,03...0,05%; Si=0,03...0,05%; P=0,02...0,03%; S= 0,02...0,04%, Al = 0,5...1,5%; Fe = 0,6...1,2%; Cu = 0,01...0,05%; – Mangan metalic; STAS 7387-81 (Mn 93, Mn 95); Mn = 93...95%; C=0,1...0,2%; Si=0,8...1,8%; P=0,05%; Fe = 2,5%; total impurități = 5...7%; – Nichel primar; STAS 10502-76 (Ni 97, Ni 98,6); C = 0,10...0,15%; Co = 0,70%; S = 0,03...0,04%; Cu = 0,60...1,00%; Ni+Co = 97,6...98,6%; – Siliciu tehnic; STAS 9675-80 (Si 95,5...Si 98,8); max. 0,2% C; max. 0,3% Ti; max. 0,0025% S; – Aluminii tehnic; STAS 201/1-80; 90% Al; 4,5% Cu; 5,5% impurități; max.0,01% P; 0,4...1,6% Fe; 0,3%...1,4% Ca; 0,4...1,5% Al.

Metalele rafinate de aliere se utilizează de regulă la elaborarea fontelor speciale aliate în cuptoare electrice cu atmosferă cu grad mare de depresiune.

Sunt posibile spre utilizare următoarele metale rafinate:

- aluminii de înaltă puritate (STAS 7607/1-80 sau STAS

- 7607/2-79) cu un conținut de aluminiu de 99,90...99,99%;
- cupru fără oxigen (STAS 270/1-80), cu un conținut de cupru de 99,98%;
  - mangan metalic (STAS 7387-81) conținând 99,70...99,95% Mn;
  - nichel primar (STAS 10 502-76) conținând 99,5...99,99% Ni;
  - siliciu tehnic (STAS 9675-80) conținând 99,2% Si;
  - staniu (STAS 10 309-75) conținând 99,565...99,9% Sn.

Elementul chimic Ei din materialele de corecție se utilizează în relația (6.24) numai ca valori fixe. În consecință, acolo unde elementele chimice sunt consemnate cu valori extremă – limită inferioară și limită superioară – trebuie să se facă media aritmetică (ca în relația (6.17)).

De asemenea, în cazul în care elementele chimice figurează în literatura de specialitate sau în standarde ca valori minime sau maxime trebuie să se folosească valori fixe – se apelează la certificatele de calitate sau se determină compoziția chimică.

Introduceți valorile PROPORTIA DE MOLIBDEN și RANDAMENTUL DE ASIMILARE, în procente, în funcție de materialul de aliere ales

Mofemoinf=65

Mofemosup65

Mofemo = 65

Rand.asimMo=97

Qm =

cPmax: 0.3388

ccuptor: 40.6583

cMo: 0.2092

INTRODUCEȚI CAPACITATEA EFECTIVA A CUPTORULUI -  
Qefectiv:

De exemplu, există o capacitate efectivă a cuptorului de 12500 kg

Qefectiv=12500

Qm =

cPmax: 0.3388

ccuptor: 25.1096

cMo: 0.2092

Cu excepția metalelor rafinate de aliere, în celelalte materiale de corecție, elementele chimice Ei ce se corectează sunt însoțite de alte elemente chimice Ek. Prin urmare, materialele de corecție menționate anterior, schimbă compoziția chimică reală a băii metalice de după topire. La rândul lor, elementele chimice însoțitoare au un randament specific de asimilare în baia metalică, randament de asimilare care poate fi acceptat ca având valorile din tabelul 6.10. Proporția de element chimic Ek din materialul de corecție care trece în baia metalică se calculează cu relația (6.25). IN ACEST MOMENT NE AFLAM LA CORECTAREA MANGANULUI, DUPA ACEASTA ETAPA TOATE PROPORTIILE ELEMENTELOR CHIMICE SE POT MODIFICA în FUNCTIE DE COMPOZITIA CHIMICA A MATERIALULUI DE CORECTIE după calculul aporturilor elementelor chimice noile proporții de elemente ale fontei după topire și tratamente metalurgice vor fi afișate, se introduc pe rând valorile pentru proporția de element chimic Ek din materialul de corecție din compoziția chimică a materialului ales pentru corectare și randamentul de asimilare al elementului chimic Ek din materialul de corecție în baia metalică (din tabelul 6.10).

Mot = 0.3000

Cc.m=0.05

Rand.asimC=90

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

Ck = 9.4161e-005

Procentul de C din baia metalica după topire și corectarea molibdenului va fi egal cu

Ct = 4.7109

Sic.m=0.8

Rand.asimSi=90

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

Sik = 0.0015

Procentul de Si din baia metalica după topire și corectarea

molibdenului va fi egal cu

$$S_{it} = 2.4751$$

$$T_{ic.m} = 0$$

$$R_{and.asimTi} = 0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliare

$$T_{ik} = 0$$

Procentul de Ti din baia metalica după topire și corectarea molibdenului va fi egal cu

$$T_{it} = 0$$

$$N_{ic.m} = 0$$

$$R_{and.asimNi} = 0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliare

$$N_{ik} = 0$$

Procentul de Ni din baia metalica după topire și corectarea siliciului va fi egal cu

$$N_{it} = 0.7843$$

$$C_{rc.m} = 0$$

$$R_{and.asimCr} = 0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliare

$$C_{rk} = 0$$

Procentul de Cr din baia metalica după topire și corectarea molibdenului va fi egal cu

$$C_{rt} = 0.2652$$

$$V_{c.m} = 0$$

$$R_{and.asimV} = 0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliare

$$V_{k} = 0$$

Procentul de Mn din baia metalica după topire și corectarea molibdenului va fi egal cu

$$V_{t} = 0$$

$$W_{c.m} = 0$$



Rand.asimW=0

proportia de element chimic introdusa în baia metalică de materialul de aliere

$W_k = 0$

Procentul de W din baia metalica după topire și corectarea siliciului va fi egal cu

$W_t = 0$

$M_{nc.m} = 0$

Rand.asimMn=0

proportia de element chimic introdusa în baia metalică de materialul de aliere

$M_{nk} = 0$

Procentul de Mn din baia metalica după topire și corectarea moliбdenului va fi egal cu

$M_{nt} = 0.7218$

$M_{gc.m} = 0$

Rand.asimMg=0

proportia de element chimic introdusa în baia metalică de materialul de aliere

$M_{gk} = 0$

Procentul de Mg din baia metalica după topire și corectarea moliбdenului va fi egal cu

$M_{gt} = 0$

$P_{c.m} = 0$

Rand.asimP=0

proportia de element chimic introdusa în baia metalică de materialul de aliere

$P_k = 0$

Procentul de Mn din baia metalica după topire și corectarea moliбdenului va fi egal cu

$P_{maxt} = 0.3405$

$S_{c.m} = 0.08$

Rand.asimS=90

proportia de element chimic introdusa în baia metalică de materialul de aliere

$Sk = 1.5066e-004$

Procentul de S din baia metalica după topire și corectarea molibdenului va fi egal cu

$Sm_{\max} = 0.1006$

$Alc.m=0$

$Rand.asimAl=0$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$Alk = 0$

Procentul de Al din baia metalica după topire și corectarea molibdenului va fi egal cu

$Alt = 0$

$Cuc.m=0.5$

$Rand.asimCu=90$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$Cuk = 9.4161e-004$

Procentul de Cu din baia metalica după topire și corectarea molibdenului va fi egal cu

$Cut = 9.4161e-004$

$Ac.m=0$

$Rand.asimA=0$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$Ak = 0$

Procentul de A din baia metalica după topire și corectarea molibdenului va fi egal cu

$At = 0$

$A1c.m=0$

$Rand.asimA1=0$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$A1k = 0$

Procentul de A1 din baia metalica după topire și corectarea molibdenului va fi egal cu

$$A1t = 0$$

$$A2c.m=0$$

$$\text{Rand.asim}A2=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$A2k = 0$$

Procentul de A2 din baia metalică după topire și corectarea molibdenului va fi egal cu

$$A2t = 0$$

Dacă elementul chimic  $E_k$  din materialul de corecție, însoțitor al elementului chimic corectat, nu se află în baia metalică ce este corectată, înseamnă că în baia metalică ce se corectează apare un element chimic nou, situație în care este posibil ca să se schimbe caracteristicile fontei obținute și situație în care se impune eliminarea lui din baia metalică sau micșorarea conținutului lui până la valori care nu mai prezintă pericol pentru caracteristicile fontei obținute. Se recomandă ca să nu se utilizeze materiale de corecție care aduc în baia metalică elemente chimice noi. De exemplu, dacă baia metalică ce se caracterizează are 1,4%Mn iar [%Mn]<sub>k</sub> calculat cu relația (6.25) are valoarea 0,2, după corectarea băii metalice în ceea ce privește un element chimic  $E_i$ , conținutul de mangan din baia metalică crește de la 1,5% la  $1,4 + 0,2 = 1,6\%$ . După fiecare corectare a compoziției cu materiale de corecție se calculează și schimbarea compoziției chimice cu elementele chimice din materialul de corecție – cu proporțiile calculate cu relația (6.25).

#### SE TRECE LA CORECTAREA CROMULUI

Proporția de crom din compoziția chimică teoretică, după topire se calculează cu relația (6.1) și este de forma [%Cr]<sub>tt</sub>. Se compară proporția de crom din compoziția chimică reală, după topire, relația (6.1) – [%Cr]<sub>t</sub> – cu proporția de crom din compoziția chimică teoretică, după topire, relația (6.5), – [%Cr]<sub>tt</sub>. În circumstanțele inegalității (6.13), BAIĂ METALICĂ are conținutul de CROM CORESPUNZATOR

#### SE TRECE LA CORECTAREA NICHELULUI

Proporția de nichel din compoziția chimică teoretică, după topire se

calculează cu relația (6.1) și este de forma  $[\%Ni]_{tt}$ . Se compară proporția de nichel din compoziția chimică reală, după topire, relația (6.1) –  $[\%Ni]_t$  – cu proporția de nichel din compoziția chimică teoretică, după topire, relația (6.5), –  $[\%Ni]_{tt}$ . Dacă este îndeplinită inegalitatea (6.21), TREBUIE să se realizeze CORECTAREA conținutului de NICHEL prin adaos de materiale metalice care conțin nichel în proporție mare și, dacă este posibil, să conțină doar nichel și fier. Cantitatea de nichel ce trebuie mărită în compoziția chimică a fontei se notează cu  $\Delta Ni$  și se determină cu relația (6.8). Cantitatea de material de corecție se calculează cu relația (6.24), se simbolizează cu  $Q_{m.c.}$  și se exprimă în kg de material de corecție pentru 100 kg de fontă lichidă. Randamentul de asimilare al elementului chimic  $E_i$  în baia metalică este prezentat în tabelul 6.10. Randamentele de asimilare prezentate în tabelul 6.10 sunt relative din cauză că sunt mulți factori care le influențează cum ar fi: compoziția chimică a băii metalice în momentul corecției, afinitatea chimică față de oxigen a elementelor chimice, tipul de constituent metalografic sub care se află în materialele de corecție, conținutul de element chimic  $E_i$  din materialul de corecție, starea de agregare a materialului de corecție în momentul în care acesta se introduce în baia metalică, cantitatea de baie metalică supusă corecției chimice, modalitatea de introducere a materialului de corecție în baia metalică – sub formă de porții sau integral – tehnica de introducere a materialului de corecție în baia metalică, masa specifică a materialului de corecție, mărimea bucăților de material de corecție, temperatura băii metalice în momentul introducerii materialului de corecție în baia metalică, temperatura materialului de corecție în momentul introducerii acestuia în baia metalică, gradul de agitare al băii metalice în momentul introducerii materialului de corecție în aceasta (mărimea brasajului), efectul caloric al dizolvării elementelor chimice  $E_i$  din materialul de corecție în baia metalică, gradul de puritate al materialelor de corecție, temperatura de topire a materialelor de corecție etc. De exemplu, prezintă interes, în ceea ce privește randamentul de asimilare, masa specifică a materialului de corecție – pentru câteva materiale de corecție, tabelul 6.11. Ca

materiale de corecție se pot utiliza și fontele brute aliate – de exemplu fontele brute din tabelul 5 –, fonta veche aliată – de exemplu, fontele din tabelul 6 –, deșeuri de oțel aliate – de exemplu, deșeurile de oțel din tabelul 7 –, deșeuri de fontă aliată, prealiaje, metale brute de aliere, metale rafinate de aliere etc.

Prealiajele reprezintă niște aliaje intermediare ce se utilizează cu scopul corectării compoziției chimice în cazul în care există probleme de asimilare a elementelor chimice de aliere sau de altă natură. Prealiajele trebuie să fie fragile cu scopul mărunțirii și dozării gravimetrice facile.

În cazul elaborării fontelor aliate este posibilă utilizarea următoarelor prealiaje: – prealiaje cupru-staniu (STAS 197/1-80), exceptând cele ce conțin zinc și plumb în proporții mari, ce conțin 9...15% Sn, 0...2% Ni (cu excepția nichelului ca impuritate conținută în cupru), maximum 0,8% Zn, 1% Pb, 0,2% Sb, 0,2% Fe, 0,02% Al, 0,1% S, 0,01% Bi, 0,01% Mg, 0,15% As, 0,2% Mn, 1% Ni, 0,1% P și în rest Cu;

– prealiaj cupru-aluminiu (STAS 198/1-80), conținând 8,5...10% Al, maximum 0,6% impurități (exclusiv Mn, Fe și Ni) și în rest cupru;

– prealiaj cupru-aluminiu-fier (STAS 198/1-80), conținând 8,5...10,5% Al, 2...4% Fe, maximum 0,8% impurități (exclusiv Sn) și în rest Cu;

– prealiaj cupru-aluminiu-fier (STAS 198/1-80), conținând 9...11% Al, 2,0...4,5% Fe, maximum 0,5% impurități (exclusiv Mn și Ni) și în rest Cu;

– prealiaj cupru-aluminiu-fier-nichel (STAS 198/1-80), conținând 8,5...10,7% Al, 4...6% Fe, 4...6,5% Ni, maximum 1,5% Mn, 0,5% impurități și în rest Cu;

– prealiaj cupru-aluminiu-mangan (STAS 198/1-80), conținând 8...10% Al, 1,5...2,5% Mn, maximum 2,4% impurități (exclusiv Ni) și în rest Cu;

– prealiaje aluminiu-cupru, aluminiu-cupru-siliciu, aluminiu-siliciu, aluminiu-siliciu-cupru-fier, aluminiu-siliciu-cupru-nichel, aluminiu-siliciu-mangan-fier (STAS 201/1-80). În practică sunt posibile de utilizat și următoarele prealiaje:

aluminiu-fier (90% Al și 10% Fe sau 80% Al și 20% Fe), aluminiu-mangan (90% Al și 10% Mn sau 80% Al și 20% Mn), aluminiu-nichel

(80% Al și 20% Ni), aluminiu-nichel-cupru (50% Al, 40% Ni și 10% Cu), aluminiu-siliciu-mangan (83% Al, 10% Si și 7% Mn), aluminiu-titan (96% Al și 4% Ti sau 90% Al și 10% Ti), cupru-crom (90% Cu și 10% Cr), cupru-fier (90...95% Cu și 5...10% Fe), cupru-mangan (73% Cu și 27% Mn), cupru-nichel (67...85% Cu și 15...33% Ni), cupru-siliciu (84% Cu și 16% Si sau 75% Cu și 25% Si), cupru-titan (96% Cu și 4% Ti sau 70% Cu și 30% Ti), titan-aluminiu (60% Ti și 40% Al), vanadiu-aluminiu (85% V și 14,5% Al) etc., aceste compoziții chimice fiind medii.

Conform [25], prealiajele sunt superioare, ca randament de asimilare, feroaliajelor și metalelor brute sau rafinate de aliere, și sunt indicate, sub formă de granulații de 3...10 mm, pentru obținerea de fonte aliate, plecând de la o fontă de bază nealiată. Compozițiile granulelor solubile de prealiaje sunt în jurul celor eutectice, având, astfel, o temperatură minimă de topire. Utilizarea de prealiaje determină randamente de asimilare remarcabile și uniforme spre deosebire de feroaliaje

(de exemplu, utilizarea de ferocrom prin adaos în baia metalică, creează pierderi mari de crom prin oxidare și apariția de «pete dure», ceea ce nu se întâmplă în cazul utilizării prealiajului cu 50% Ni, 17% Cr și 3% Si sau cu 30% Ni, 40% Cu, 5% Cr și 3%..Si). Foarte apreciate sunt și prealiajele nichel-cupru (65% Ni și 35% Cu), nichel-siliciu (60% Ni și 30% Si) sau nichel-siliciu (92% Ni și 6% Si), [25]. Metalele brute de aliere reprezintă metale nerafinate ce se utilizează pentru corectarea compoziției chimice a fontei. Dintre acestea se precizează următoarele: – Staniu; STAS 10309-75 (Sn 96,35, Sn 98,4, Sn 99); 1% total impurități; – Crom metalic; STAS 7386-75 (Cr 97, Cr 98, Cr 98,5, Cr 99); Cr = 97...99%; C = 0,03...0,05%; Si=0,03...0,05%; P=0,02...0,03%; S= 0,02...0,04%, Al = 0,5...1,5%; Fe = 0,6...1,2%; Cu = 0,01...0,05%; – Mangan metalic; STAS 7387-81 (Mn 93, Mn 95); Mn = 93...95%; C=0,1...0,2%; Si=0,8...1,8%; P=0,05%; Fe = 2,5%; total impurități = 5...7%; – Nichel primar; STAS 10502-76 (Ni 97, Ni 98,6); C = 0,10...0,15%; Co = 0,70%; S = 0,03...0,04%; Cu = 0,60...1,00%; Ni+Co =

97,6...98,6%;

– Siliciu tehnic; STAS 9675-80 (Si 95,5...Si 98,8); max. 0,2% C; max. 0,3% Ti; max. 0,0025% S; – Aluminiu tehnic; STAS 201/1-80; 90% Al; 4,5% Cu; 5,5% impurități; max.0,01% P; 0,4...1,6% Fe; 0,3%...1,4% Ca; 0,4...1,5% Al.

Metalele rafinate de aliere se utilizează de regulă la elaborarea fontelor speciale aliate în cuptoare electrice cu atmosferă cu grad mare de depresurizare.

Sunt posibile spre utilizare următoarele metale rafinate:

– aluminiu de înaltă puritate (STAS 7607/1-80 sau STAS 7607/2-79) cu un conținut de aluminiu de 99,90...99,99%;

– cupru fără oxigen (STAS 270/1-80), cu un conținut de cupru de 99,98%;

– mangan metalic (STAS 7387-81) conținând 99,70...99,95% Mn;

– nichel primar (STAS 10 502-76) conținând 99,5...99,99%

Ni;

– siliciu tehnic (STAS 9675-80) conținând 99,2% Si;

– staniu (STAS 10 309-75) conținând 99,565...99,9% Sn.

Elementul chimic Ei din materialele de corecție se utilizează în relația (6.24) numai ca valori fixe. În consecință, acolo unde elementele chimice sunt consemnate cu valori extremă – limită inferioară și limită superioară – trebuie să se facă media aritmetică (ca în relația (6.17)).

De asemenea, în cazul în care elementele chimice figurează în literatura de specialitate sau în standarde ca valori minime sau maxime trebuie să se folosească valori fixe – se apelează la certificatele de calitate sau se determină compoziția chimică.

Introduceți valorile PROPORTIA DE NICHEL și RANDAMENTUL DE ASIMILARE, în procente, în funcție de materialul de aliere ales

Nifeniinf=99.5

Nifenisup99.5

Nifeni = 99.5000

Rand.asimNi=90

Qm =

cPmax: 0.3388  
ccuptor: 25.1096  
cMo: 0.2092  
cNi: 0.5200

INTRODUCEȚI CAPACITATEA EFECTIVA A CUPTORULUI -  
Qefectiv:

De exemplu, există o capacitate efectivă a cuptorului de 12500 kg  
Qefectiv=12500

Qm =

cPmax: 0.3388  
ccuptor: 62.4016  
cMo: 0.2092  
cNi: 0.5200

Cu excepția metalelor rafinate de aliere, în celelalte materiale de corecție, elementele chimice  $E_i$  ce se corectează sunt însoțite de alte elemente chimice  $E_k$ . Prin urmare, materialele de corecție menționate anterior, schimbă compoziția chimică reală a băii metalice de după topire. La rândul lor, elementele chimice însoțitoare au un randament specific de asimilare în baia metalică, randament de asimilare care poate fi acceptat ca având valorile din tabelul 6.10. Proporția de element chimic  $E_k$  din materialul de corecție care trece în baia metalică se calculează cu relația (6.25).

IN ACEST MOMENT NE AFLAM LA CORECTAREA MANGANULUI, DUPA ACEASTA ETAPA TOATE PROPORTIILE ELEMENTELOR CHIMICE SE POT MODIFICA în FUNCTIE DE COMPOZITIA CHIMICA A MATERIALULUI DE CORECTIE după calculul aporturilor elementelor chimice noile proporții de elemente ale fontei după topire și tratamente metalurgice vor fi afișate se introduc pe rând valorile pentru proporția de element chimic  $E_k$  din materialul de corecție din compoziția chimică a materialului ales pentru corectare și randamentul de asimilare al elementului chimic  $E_k$  din materialul de corecție în baia metalică (din tabelul 6.10).

Nit = 1.2500

Cc.m=0

Rand.asimC=0



proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$C_k = 0$$

Procentul de C din baia metalică după topire și corectarea nichelului va fi egal cu

$$C_t = 4.7109$$

$$S_{i,c}.m=0$$

$$R_{a,n,d}.a,s,i,m,S,i=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$S_{i,k} = 0$$

Procentul de Si din baia metalică după topire și corectarea nichelului va fi egal cu

$$S_{i,t} = 2.4751$$

$$M_{n,c}.m=0$$

$$R_{a,n,d}.a,s,i,m,M,n=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$M_{n,k} = 0$$

Procentul de Mn din baia metalică după topire și corectarea nichelului va fi egal cu

$$M_{n,t} = 0.7218$$

$$T_{i,c}.m=0$$

$$R_{a,n,d}.a,s,i,m,T,i=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$T_{i,k} = 0$$

Procentul de Ti din baia metalică după topire și corectarea nichelului va fi egal cu

$$T_{i,t} = 0$$

$$C_{r,c}.m=0$$

$$R_{a,n,d}.a,s,i,m,C,r=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$C_{r,k} = 0$$

Procentul de Cr din baia metalica după topire și corectarea nichelului va fi egal cu

$$C_{rt} = 0.2652$$

$$V_{c.m}=0$$

$$\text{Rand.asimV}=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$V_k = 0$$

Procentul de Mn din baia metalica după topire și corectarea nichelului va fi egal cu

$$V_t = 0$$

$$W_{c.m}=0$$

$$\text{Rand.asimW}=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$W_k = 0$$

Procentul de W din baia metalica după topire și corectarea nichelului va fi egal cu

$$W_t = 0$$

$$M_{c.m}=0$$

$$\text{Rand.asimMo}=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$M_{ok} = 0$$

Procentul de Mo din baia metalica după topire și corectarea nichelului va fi egal cu

$$M_{ot} = 0.3000$$

$$M_{gc.m}=0$$

$$\text{Rand.asimMg}=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$M_{gk} = 0$$

Procentul de Mg din baia metalica după topire și corectarea nichelului va fi egal cu

$$M_{gt} = 0$$

$P_{c.m}=0$

$R_{and.asimP}=0$

proportia de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$P_k = 0$

Procentul de Mn din baia metalica după topire și corectarea nichelului va fi egal cu

$P_{maxt} = 0.3405$

$Sc.m=0$

$R_{and.asimS}=0$

proportia de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$Sk = 0$

Procentul de S din baia metalica după topire și corectarea nichelului va fi egal cu

$S_{maxt} = 0.1006$

$Alc.m=0$

$R_{and.asimAl}=0$

proportia de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$Alk = 0$

Procentul de Al din baia metalica după topire și corectarea nichelului va fi egal cu

$Alt = 0$

$Cuc.m=0$

$R_{and.asimCu}=0$

proportia de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$Cuk = 0$

Procentul de Cu din baia metalica după topire și corectarea nichelului va fi egal cu

$C_{ut} = 9.4161e-004$

$Ac.m=0$

$R_{and.asimA}=0$

proportia de element chimic introdusă în baia metalică de materialul

de aliere

$$A_k = 0$$

Procentul de A din baia metalica după topire și corectarea nichelului va fi egal cu

$$A_t = 0$$

$$A_{1c.m} = 0$$

$$\text{Rand.asim}A_1 = 0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$A_{1k} = 0$$

Procentul de A1 din baia metalica după topire și corectarea nichelului va fi egal cu

$$A_{1t} = 0$$

$$A_{2c.m} = 0$$

$$\text{Rand.asim}A_2 = 0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$A_{2k} = 0$$

Procentul de A2 din baia metalica după topire și corectarea nichelului va fi egal cu

$$A_{2t} = 0$$

Dacă elementul chimic  $E_k$  din materialul de corecție, însoțitor al elementului chimic corectat, nu se află în baia metalică ce este corectată, înseamnă că în baia metalică ce se corectează apare un element chimic nou, situație în care este posibil ca să se schimbe caracteristicile fontei obținute și situație în care se impune eliminarea lui din baia metalică sau micșorarea conținutului lui până la valori care nu mai prezintă pericol pentru caracteristicile fontei obținute. Se recomandă ca să nu se utilizeze materiale de corecție care aduc în baia metalică elemente chimice noi. De exemplu, dacă baia metalică ce se caracterizează are 1,4%Mn iar [%Mnk] calculat cu relația (6.25) are valoarea 0,2, după corectarea băii metalice în ceea ce privește un element chimic  $E_i$ , conținutul de mangan din baia metalică crește de la 1,5% la  $1,4 + 0,2 = 1,6\%$ . După fiecare corectare a compoziției cu materiale de corecție se calculează și

schimbarea compoziției chimice cu elementele chimice din materialul de corecție – cu proporțiile calculate cu relația (6.25).

#### SE TRECE LA CORECTAREA VANADIULUI

Proporția de vanadiu din compoziția chimică teoretică, după topire se calculează cu relația (6.1) și este de forma  $[\%V]_{tt}$ . Se compară proporția de vanadiu din compoziția chimică reală, după topire, relația (6.1) –  $[\%V]_t$  – cu proporția de vanadiu din compoziția chimică teoretică, după topire, relația (6.5), –  $[\%V]_{tt}$ . În circumstanțele inegalității (6.13), baia metalică are conținutul de vanadiu corespunzător.

#### SE TRECE LA CORECTAREA TUNGSTENULUI (W)

Proporția de tungsten din compoziția chimică teoretică, după topire se calculează cu relația (6.1) și este de forma  $[\%W]_{tt}$ . Se compară proporția de tungsten(W) din compoziția chimică reală, după topire, relația (6.1) –  $[\%W]_t$  – cu proporția de tungsten din compoziția chimică teoretică, după topire, relația (6.5), –  $[\%W]_{tt}$ . În circumstanțele inegalității (6.13), BAIĂ METALICĂ are conținutul de WOLFRAM CORESPUNZATOR

#### SE TRECE LA CORECTAREA CUPRULUI

Proporția de cupru din compoziția chimică teoretică, după topire se calculează cu relația (6.1) și este de forma  $[\%Cu]_{tt}$ . Se compară proporția de cupru din compoziția chimică reală, după topire, relația (6.1) –  $[\%Cu]_t$  – cu proporția de cupru din compoziția chimică teoretică, după topire, relația (6.5), –  $[\%Cu]_{tt}$ . În circumstanțele inegalității (6.27), BAIĂ METALICĂ de la finalul topirii trebuie DILUATĂ în CUPRU

Pentru diluarea fontei lichide într-un element chimic  $E_i$  – deoarece este îndeplinită inegalitatea (6.15) – trebuie să se introducă în baia metalică un sort metalic care să conțină elementul chimic  $E_i$ , de diluat, într-o proporție mult mai mare decât baia metalică. Fie că se numește sortul metalic, menționat la aliniatul anterior, material de diluare – m.d. Proporția de material de diluare – %m.d. – se determină prin rezolvarea sistemului (6.16). Se determina proporția de fonta lichida de după topire și proporția de material de diluare. Introduceți proporția de cupru din materialul de diluare

Cumd=0.55

A = 0.0000 0.0055 1.0000 1.0000

A1 = 0 0.0055 100.0000 1.0000

A2 = 0.0000 0 1.0000 100.0000

D = -0.0055

D1 = -0.5500

D2 = 9.4161e-004

f = l: 100.1715

m =

d: -0.1715

Cantitatea de material de diluare ce se introduce în cuptor se calculează cu relația (6.18).

INTRODUCEȚI CAPACITATEA EFECTIVA A CUPTORULUI -  
Qefectiv:

De exemplu, există o capacitate efectivă a cuptorului de 12500 kg

Qefectiv=12000

Qmdcuptor = -20.5442

in kg material de diluare/cuptor

Materialul de diluare poate dilua și alte elemente chimice din fonta care se tratează, după cum poate să aducă elemente chimice noi în fonta lichidă. Compoziția chimică a fontei care se diluează se schimbă, după caz, apărând și elemente chimice noi iar unele elemente chimice păstrându-și proporția. Pe lângă elementul chimic diluat – [%Ei]<sub>tt</sub> din relația (6.16) – noua compoziție chimică a fontei diluate, respectiv proporțiile elementelor chimice din compoziția chimică a fontei diluate se obține cu relația (6.19).

SE INTRODUC PROCENTELE DE ELEMENTE CHIMICE DIN  
MATERIALUL DE diluare a titanului în VEDEREA CALCULULUI  
PROCENTELOR DUPA DILUARE

Cmd=0.2

Cf =

d: 4.7186

Smd=0.66

Sf = d: 0.0997

Simd=0.5

Sif =  
d: 2.4785  
Almd=0  
Alf =  
d: 0  
Pmaxmd=0.06  
Pmaxf =  
d: 0.3410  
Mnmd=1.2  
Mnf =  
d: 0.7210  
Timd=0  
Tif =  
d: 0  
Nimd=0  
Nif =  
d: 1.2521  
Crmd=0  
Crf =  
d: 0.2656  
Wmd=0  
Wf =  
d: 0  
Mgmd=0  
Mgf =  
d: 0  
Momd=0  
Mof =  
d: 0.3005  
Vmd=0  
Vf =  
d: 0  
Amd=0  
Af =  
d: 0

$$A1md=0$$

$$A1f =$$

$$d: 0$$

$$A2md=0$$

$$A2f =$$

$$d: 0$$

Așadar, după diluare, în cuptor se află o fontă lichidă nouă, cu o compoziție chimică nouă. Toate tratamentele metalurgice care se efectuează după diluare trebuie să ia în considerație noua compoziție chimică, adică, de exemplu, compoziția chimică dată de relația (6.1), se transformă în compoziția chimică dată de relația (6.19).

$$Cut = 0$$

$$Ct = 4.7186$$

$$Alt = 0$$

$$Smact = 0.0997$$

$$Sit = 2.4785$$

$$Pmaxt = 0.3410$$

$$Mnt = 0.7210$$

$$Tit = 0$$

$$Nit = 1.2521$$

$$Crt = 0.2656$$

$$Wt = 0$$

$$Mgt = 0$$

$$Mot = 0.3005$$

$$Vt = 0$$

$$At = 0$$

$$A1t = 0$$

$$A2t = 0$$

Etapă de diluare a cuprului a luat sfârșit obținându-se o nouă compoziție a băii metalice după topire

#### SE TRECE LA CORECTAREA ALUMINIULUI

Proporția de aluminiu din compoziția chimică teoretică, după topire se calculează cu relația (6.1) și este de forma  $[\%Al]_{tt}$ . Se compară proporția de aluminiu din compoziția chimică reală, după topire, relația (6.1) –  $[\%Al]_t$  – cu proporția de aluminiu din compoziția



chimică teoretică, după topire, relația (6.5), – [%Al]tt. În circumstanțele inegalității (6.13), BAIĂ METALICĂ are conținutul de ALUMINIU CORESPUNZATOR

SE TRECE LA CORECTAREA MAGNEZIULUI

Proporția de magneziu din compoziția chimică teoretică, după topire se calculează cu relația (6.1) și este de forma [%Mg]tt. Se compară proporția de magneziu din compoziția chimică reală, după topire, relația (6.1) – [%Mg]t – cu proporția de magneziu din compoziția chimică teoretică, după topire, relația (6.5), – [%Mg]tt. În circumstanțele inegalității (6.13), BAIĂ METALICĂ ARE conținutul de MAGNEZIU CORESPUNZATOR

ETAPA A LUAT SFARSIT , S-A REALIZAT CORECTAREA COMPOZITIEI CHIMICE PRIN TRATAMENTE METALURGICE se notează materialele de corecție folosite

ETAPA APLICĂRII TRATAMENTELOR METALURGICE FONTEI în STARE LICHIDĂ, DUPĂ TOPIRE

După finalizarea etapei de topire, baia metalică are compoziția chimică reală, conform relației (4.1)

Introduceți procentele de element chimic din compoziția fontei după topire - REALĂ, determinate la etapa anterioară, de tipul Ct, Sit, Mnt...

Ct=4.7186

Sit=2.4785

Mnt=0.7210

Pmaxt=0.3410

Smaxt=0.0997

Vt=0

Tit=0

Nit=1.2521

Crt=0.2656

Cut=0

Mot=0.3005

Mgt=0

Alt=0

Wt=0

$A_t=0$

$A_{1t}=0$

$A_{2t}=0$

## INTRODUCEȚI COMPOZIȚIA CHIMICĂ A FONTEI CE TREBUIE ELABORATĂ

Compoziția chimică a fontei ce trebuie elaborată

poate fi exprimată prin intervale de valori ale concentrațiilor elementelor chimice, prin conținuturi maxime și prin conținuturi minime. Se introduc din tema de proiectare valorile minime și maxime pentru elementele din compoziția chimică a fontei de elaborat, pentru valori maxime sau unice se introduce **aceeași** valoare de două ori; Carbon (C), Siliciu (Si), Mangan (Mn), Fosfor (Pmax)

Sulf maxim (Smax), Vanadiu (V), Titan (Ti), Nichel (Ni), Crom (Cr), Cupru (Cu), Molibden (Mo), Magneziu (Mg), Aluminiu (Al) sau Wolfram (W) Sulf max (Smax) și alte elemente (A, A1, A2) ale fontei propuse spre elaborare. Pentru elementele care nu se **regăsesc** în compoziția chimică a FONTEI de ELABORAT se introduce valoarea zero (0). Introduceți procentul de CARBON minim și maxim al fontei de elaborat; Cmin și Cmax ale fontei de elaborat; de ex: 3.1...3.6, valorile cu parte fracționară se scriu 1.2 sau 3.2.

În cazul în care în tabel procentul de element este dat sub formă de valoare fixă, de exemplu 2.3 și nu sub forma de interval se introduce această valoare și pentru minimum și pentru maximum

Cmin:2.9

Cmax:3.3

Introduceți procentul de SILICIU minim și maxim ale fontei de elaborat; Si min și Si max ale fontei de elaborat de ex: 1.5...2.3:

În cazul în care în tabel procentul de element este dat sub formă de valoare fixă, de exemplu 1.3 (și nu sub forma de interval) se introduce valoarea din tabel și pentru minimum și pentru maximum

Si min:1

Si max:1.4

Introduceți procentul de MANGAN minim și maxim ale fontei de elaborat; Mn min și Mn max ale fontei de elaborat; de ex: 0.4...1.6:

În cazul în care în tabel procentul de element este dat sub formă de

valoare fixă, de exemplu 0.8 și nu sub forma de interval se introduce aceeași valoare și pentru minimum și pentru maximum

Mnmin:0.6

Mnmax:1

Introduceți procentul de FOSFOR minim și maxim ale fontei de elaborat; Pmin și Pmax al fontei de elaborat; de ex: 0.5...0.8:

În cazul în care în tabel procentul de element este dat sub formă de valoare fixă, de exemplu 0.3 și nu sub forma de interval se introduce valoarea și pentru minimum și pentru maximum

Pmin:0.2

Pmax:0.2

Introduceți procentul de SULF minim și maxim ale fontei de elaborat; Smin și Smax al fontei de elaborat; de ex: 0.6...1.2:

În cazul în care în tabel procentul de element este dat sub formă de valoare fixă, de exemplu 0.1 și nu sub forma de interval se introduce aceeași valoare și pentru minimum și pentru maximum

Smin:0.1

Smax:0.1

Introduceți procentul de VANADIU minim și maxim ale fontei de elaborat; Vmin și Vmax al fontei de elaborat de ex: 1.1...1.6, valorile cu parte fracționară se scriu 1.2 sau 3.2. În cazul în care în tabel procentul de element este dat sub formă de valoare fixă, de exemplu 2.3 și nu sub forma de interval se introduce această valoare și pentru minimum și pentru maximum

Vmin:0

Vmax:0

Introduceți procentul de TITAN minim și maxim ale fontei de elaborat; Timin și Timax al fontei de elaborat; de ex: 2.1...2.6, valorile cu parte fracționară se scriu 1.2 sau 3.2. În cazul în care în tabel procentul de element este dat sub formă de valoare fixă, de exemplu 0.3 și nu sub forma de interval se introduce această valoare și pentru minimum și pentru maximum

Timin:0

Timax:0

Introduceți procentul de NICHEL minim și maxim ale fontei de

elaborat; Nimin și Nimax al fontei de elaborat; de ex: 1.2...1.9, valorile cu parte fracționară se scriu 1.2 sau 3.2.În cazul în care în tabel procentul de element este dat sub formă de valoare fixă,de exemplu 2.2 și nu sub forma de interval se introduce această valoare și pentru minimum și pentru maximum

Nimin:1

Nimax:1.5

Introduceți procentul de CROM minim și maxim ale fontei de elaborat; Crmin și Crmax al fontei de elaborat de ex: 3.1...3.6, valorile cu parte fracționară se scriu 1.2 sau 3.2.În cazul în care în tabel procentul de element este dat sub formă de valoare fixă,de exemplu 2.3 și nu sub forma de interval se introduce această valoare și pentru minimum și pentru maximum

Crmin:0.25

Crmax:0.45

Introduceți procentul de CUPRU minim și maxim ale fontei de elaborat; Cumin și Cumax al fontei de elaborat; de ex: 3.1...3.6, valorile cu parte fracționară se scriu 1.2 sau 3.2.În cazul în care în tabel procentul de element este dat sub formă de valoare fixă,de exemplu 2.3 și nu sub forma de interval se introduce această valoare și pentru minimum și pentru maximum

Cumin:0

Cumax:0

Introduceți procentul de MOLIBDEN minim și maxim al fontei de elaborat

Momin și Momax al fontei de elaborat; de ex: 4.1...4.6, valorile cu parte fracționară se scriu 1.2 sau 3.2.În cazul în care în tabel procentul de element este dat sub formă de valoare fixă, de exemplu 1.3 și nu sub forma de interval se introduce această valoare și pentru minimum și pentru maximum

Momin:0.2

Momax:0.4

Introduceți procentul de MAGNEZIU minim și maxim ale fontei de elaborat; Mgmin și Mgmax al fontei de elaborat; de ex: 3.1...3.6, valorile cu parte fracționară se scriu 1.2 sau 3.2

În cazul în care în tabel procentul de element este dat sub formă de valoare fixă, de exemplu 2.3 și nu sub forma de interval se introduce această valoare și pentru minimum și pentru maximum

Mgmin:0

Mgmax:0

Introduceți procentul de ALUMINIU minim și maxim ale fontei de elaborat; Almin și Almax al fontei de elaborat; de ex: 1.8...2.1, valorile cu parte fracționară se scriu 1.2 sau 3.2. În cazul în care în tabel procentul de element este dat sub formă de valoare fixă, de exemplu 3.3 și nu sub forma de interval se introduce această valoare și pentru minimum și pentru maximum

Almin:0

Almax:0

Introduceți procentul de WOLFRAM minim și maxim ale fontei de elaborat; Wmin și Wmax al fontei de elaborat; de ex: 3.3...3.6, valorile cu parte fracționară se scriu 1.2 sau 3.2. În cazul în care în tabel procentul de element este dat sub formă de valoare fixă, de exemplu 2.8 și nu sub forma de interval se introduce această valoare și pentru minimum și pentru maximum

Wmin:0

Wmax:0

Se introduc și alte elemente de aliere dacă este cazul, elemente conținute de fonta de elaborat

Introduceți procentul de element chimic de aliere minim și maxim, Amin și Amax ale fontei de obținut de ex: 0.8...2.6:

În cazul în care în tabel procentul de element este dat sub formă de valoare fixă, de exemplu 1.8 și nu sub forma de interval se introduce aceeași valoare și pentru minimum și pentru maximum

Amin:0

Amax:0

A1min:0

A1max:0

A2min:0

A2max:0

Tratamentele metalurgice, printre altele, trebuie să asigure

compoziția chimică a fontei propuse să fie elaborată. După etapa de topire, procesul de oxidare continuă pentru majoritatea elementelor chimice din topitura metalică. Prin raportare la compoziția chimică a fontei propuse să fie elaborată, luându-se în considerație pierderile prin oxidare în timpul tratamentelor metalurgice aplicate fontei în stare lichidă supraîncălzită, se calculează cât trebuie să fie compoziția chimică a fontei lichide după etapa de topire, numită compoziție chimică teoretică după topire în așa fel încât să se obțină fonta propusă a fi elaborată. Se compară compoziția chimică reală de după topire cu compoziția chimică teoretică de după topire și se trag concluzii în legătură cu natura operațiilor metalurgice care trebuie efectuate. Se utilizează, în continuare, noțiunile de proporția reală de element chimic și proporția teoretică de element chimic, după topire. Se apreciază că pierderile prin oxidare de elemente chimice, în timpul tratamentelor termice sunt cele prezentate în tabelul 6.1. În tabelul (6.1) se prezintă pierderile prin oxidare, de elemente chimice, în timpul topirii.

Pierderile reprezentate în tabelul 6.1 sunt relative, cel puțin din cauza faptului că intervine durata de menținere în stare lichidă a fontei pentru desfășurarea tratamentelor metalurgice, durată de menținere ce poate fi dictată și de alte cauze. Pentru elementele chimice C, Si, Mn și Cr pierderile prin ardere se pot calcula, mai aproape de realitate și în funcție de durata de menținere în stare lichidă prin intermediul relației (6.6). Introduceți  $t$  (tau) – timpul de menținere în stare lichidă la temperatura de supraîncălzire în stare lichidă, în ore (h).

$$t=1.8$$

$a_{Eitm}$  reprezintă proporția de element chimic  $E_i$  care arde în timpul tratamentelor metalurgice

$$a_{mSi1400} = 0$$

$$a_{mSi1450} = -0.7020$$

$$a_{mSi1500} = -2.7360$$

$$a_{mSi1550} = -6.7860$$

$$a_{mC1400} = 1.3140$$

$$a_{mC1450} = 4.0500$$

atmC1500 = 9  
atmC1550 = 14.4000  
atmMn1400 = 1.0980  
atmMn1450 = 1.0980  
atmMn1500 = 2.4300  
atmMn1550 = 3.2760  
atmCr1400 = 2.2860  
atmCr1450 = 2.6640  
atmCr1500 = 4.6260  
atmCr1550 = 5.0760

Dacă nu se cunosc date concrete despre pierderile prin oxidare în timpul supraîncălzirii , se iau în calcule mediile aritmetice ale extremelor din tabelul (6.1).

INTRODUCETI în funcție de temperatura proporția de element chimic care arde în timpul tratamentelor metalurgice pentru elementele Si, C, Mn și Cr

atmSi=0  
atmC=1.3140  
atmMn=1.0980  
atmCr=2.2860

Se calculează proporțiile teoretice de element chimic după topire ce se notează cu Ctinf și Cttsup în cazul în care avem intervale, Pmaxtt sau Smaxtt în cazul în care avem valori maxime

Ctinf = 2.9386  
Cttsup = 3.3439  
Ctt = 3.1413  
Sittinf = 1  
Sittsup = 1.4000  
Sitt = 1.2000  
Mnttinf = 0.6067  
Mnttsup = 1.0111  
Mntt = 0.8089  
Crttinf = 0.2558  
Crttsup = 0.4605  
Crtt = 0.3582

Smaxtt = 0.1005  
Pmaxtt = 0.2009  
Nittinf = 1  
Nittsup = 1.5000  
Nitt = 1.2500  
Tittinf = 0  
Tittsup = 0  
Titt = 0  
Mottinf = 0.2000  
Mottsup = 0.4000  
Mott = 0.3000  
Alttinf = 0  
Alttsup = 0  
Altt = 0  
Mgttinf = NaN  
Mgttsup = NaN  
Mgtt = NaN  
Wttinf = 0  
Wttsup = 0  
Wtt = 0  
Cutttinf = 0  
Cutttsup = 0  
Cuttt = 0  
Vttinf = 0  
Vttsup = 0  
Vtt = 0

Pentru a aplica tratamentele metalurgice de corectare a compoziției chimice, se compară compoziția chimică reală a fontei lichide de după topire cu compoziția chimică teoretică de după topire.

Primul element chimic ce trebuie verificat este siliciul. Deoarece siliciul micșorează solubilitatea carbonului în fosta lichidă, dacă baia metalică trebuie carburată, se efectuează întâi operația de carburare.

Prin urmare primul element chimic care se confruntă este carbonul.

În circumstanțele inegalității (6.14), baia metalică de la finalul topirii trebuie DILUATA în CARBON. Pentru diluarea fontei lichide într-un



element chimic  $E_i$  – deoarece este îndeplinită inegalitatea (6.15) – trebuie să se introducă în baia metalică un sort metalic care să conțină elementul chimic  $E_i$ , de diluat, într-o proporție mult mai mare decât baia metalică. Fie că se numește sortul metalic, menționat la aliniatul anterior, material de diluare – m.d. Proporția de material de diluare – %m.d. – se determină prin rezolvarea sistemului (6.16). Se determina proporția de fonta lichida de după topire și proporția de material de diluare

Introduceți proporția de Carbon din materialul de diluare

$C_{md}=0.06$

$A = 0.0472 \quad 0.0006 \quad 1.0000 \quad 1.0000$

$A1 = 3.1413 \quad 0.0006 \quad 100.0000 \quad 1.0000$

$A2 = 0.0472 \quad 3.1413 \quad 1.0000 \quad 100.0000$

$D = 0.0466$

$D1 = 3.0813$

$D2 = 1.5773$

$f = l: 66.1417$

$m = d: 33.8583$

Cantitatea de material de diluare ce se introduce în cuptor se calculează cu relația (6.18).

**INTRODUCEȚI CAPACITATEA EFECTIVA A CUPTORULUI -**  
Qefectiv:

De exemplu, există o capacitate efectivă a cuptorului de 12500 kg

$Q_{efectiv}=12500$

$Q_{mdcuptor} = 6.1429e+003$  in kg material de diluare/cuptor

Materialul de diluare poate dilua și alte elemente chimice din fonta care se tratează, după cum poate să aducă elemente chimice noi în fonta lichidă. Compoziția chimică a fontei care se diluează se schimbă, după caz, apărând și elemente chimice noi iar unele elemente chimice păstrându-și proporția. Pe lângă elementul chimic diluat –  $[\%E_i]_{tt}$  din relația (6.16) – noua compoziție chimică a fontei diluate, respectiv proporțiile elementelor chimice din compoziția chimică a fontei diluate se obține cu relația (6.19).

**SE INTRODUC PROCENTELE DE ELEMENTE CHIMICE DIN MATERIALUL DE CARBURARE în VEDEREA CALCULULUI**

## PROCENDELOR DUPA DILUARE

Simd=0.15

Sif =

d: 1.6901

Smd=0.05

Sf =

d: 0.0829

Mnmd=0.3

Mnf =

d: 0.5785

Almd=0

Alf =

d: 0

Pmaxmd=0.04

Pmaxf =

d: 0.2391

Timd=0

Tif =

d: 0

Vmd=0

Vf =

d: 0

Nimd=0

Nif =

d: 0.8282

Crmd=0

Crf =

d: 0.1757

Cumd=0

Cuf =

d: 0

Mgmd=0

Mgf =

d: 0

Momd=0

Mof =  
d: 0.1988  
Wmd=0  
Wf =  
d: 0  
Amd=0  
Af =  
d: 0

Așadar, după diluare, în cuptor se află o fontă lichidă nouă, cu o compoziție chimică nouă. Toate tratamentele metalurgice care se efectuează după diluare trebuie să ia în considerație noua compoziție chimică, adică, de exemplu, compoziția chimică dată de relația (6.1), se transformă în compoziția chimică dată de relația (6.19).

Ct = 3.1413  
Sit = 1.6901  
Alt = 0  
Smxt = 0.0829  
Mnt = 0.5785  
Pmxt = 0.2391  
Tit = 0  
Vt = 0  
Nit = 0.8282  
Crt = 0.1757  
Cut = 0  
Mgt = 0  
Mot = 0.1988  
Wt = 0  
At = 0

Problema diluării fontei în carbon se pune mai rar,  
SE TRECE LA CORECTAREA SILICIULUI

Proporția de siliciu din compoziția chimică teoretică, după topire se calculează cu relația (6.1) și este de forma [%Si]tt. Se compară proporția de siliciu din compoziția chimică reală, după topire, relația (6.1) – [%Si]t – cu proporția de siliciu din compoziția chimică teoretică, după topire, relația (6.5), – [%Si]tt. În circumstanțele

inegalității (6.27), baia metalică de la finalul topirii trebuie DILUATA în SILICIU

Pentru diluarea fontei lichide într-un element chimic  $E_i$  – deoarece este îndeplinită inegalitatea (6.15) – trebuie să se introducă în baia metalică un sort metalic care să conțină elementul chimic  $E_i$ , de diluat, într-o proporție mult mai mare decât baia metalică. Fie că se numește sortul metalic, menționat la aliniatul anterior, material de diluare – m.d. Proporția de material de diluare – %m.d. – se determină prin rezolvarea sistemului (6.16). Se determina proporția de fonta lichida de după topire și proporția de material de diluare

Introduceți proporția de siliciu din materialul de diluare

$S_{imd}=0.15$

$A = 0.0169 \quad 0.0015 \quad 1.0000 \quad 1.0000$

$A1 = 1.2000 \quad 0.0015 \quad 100.0000 \quad 1.0000$

$A2 = 0.0169 \quad 1.2000 \quad 1.0000 \quad 100.0000$

$D = 0.0154$

$D1 = 1.0500$

$D2 = 0.4901$

$f = l: 68.1770$

$m = d: 31.8230$

Cantitatea de material de diluare ce se introduce în cuptor se calculează cu relația (6.18).

INTRODUCEȚI CAPACITATEA EFECTIVA A CUPTORULUI -  
Qefectiv:

De exemplu, există o capacitate efectivă a cuptorului de 12500 kg

$Q_{efectiv}=12500$

$Q_{mduptor} = 5.6012e+003$  în kg material de diluare/cuptor

Materialul de diluare poate dilua și alte elemente chimice din fonta care se tratează, după cum poate să aducă elemente chimice noi în fonta lichidă. Compoziția chimică a fontei care se diluează se schimbă, după caz, apărând și elemente chimice noi iar unele elemente chimice păstrându-și proporția. Pe lângă elementul chimic diluat –  $[%E_i]_{tt}$  din relația (6.16) – noua compoziție chimică a fontei diluate, respectiv proporțiile elementelor chimice din compoziția chimică a fontei diluate se obține cu relația (6.19).

SE INTRODUC PROCENTELE DE ELEMENTE CHIMICE DIN  
MATERIALUL DE CARBURARE în VEDEREA CALCULULUI  
PROCENTELOR DUPA DILUARE

Cmd=0.06

Cf =

d: 2.1607

Smd=0.05

Sf =

d: 0.0724

Mnmd=0.3

Mnf =

d: 0.4898

Almd=0

Alf =

d: 0

Pmaxmd=0.04

Pmaxf =

d: 0.1757

Timd=0

Tif =

d: 0

Vmd=0

Vf =

d: 0

Nimd=0

Nif =

d: 0.5646

Crmd=0

Crf =

d: 0.1198

Cummd=0

Cuf =

d: 0

Mgmd=0

Mgf =

d: 0  
Momd=0  
Mof =  
d: 0.1355  
Wmd=0  
Wf =  
d: 0  
Amd=0  
Af =  
d: 0  
A1md=0  
A1f =  
d: 0  
A2md=0  
A2f =  
d: 0

Aşadar, după diluare, în cuptor se află o fontă lichidă nouă, cu o compoziție chimică nouă. Toate tratamentele metalurgice care se efectuează după diluare trebuie să ia în considerație noua compoziție chimică, adică, de exemplu, compoziția chimică dată de relația (6.1), se transformă în compoziția chimică dată de relația (6.19).

Sit = 1.2000  
Ct = 2.1607  
Alt = 0  
Smact = 0.0724  
Mnt = 0.4898  
Pmaxt = 0.1757  
Tit = 0  
Vt = 0  
Nit = 0.5646  
Crt = 0.1198  
Cut = 0  
Mgt = 0  
Mot = 0.1355  
Wt = 0

At = 0

În cazul căptușelii refractare de natură acidă, nu se recomandă diluarea fontei lichide în siliciu prin insuflare de oxigen în baia metalică, deoarece există riscul scăderii semnificative a conținutului de carbon dacă temperatura băii metalice este mare – de exemplu, dacă temperatura băii metalice, în timpul insuflării oxigenului este de 16000C, conținutul de carbon poate scădea chiar sub 0,5%. Pe de altă parte, dacă oxigenul se insuflă în baia metalică în cazul în care temperatura acesteia este de 13000C, conținutul de carbon scade puțin iar conținutul de siliciu poate scădea chiar până la 0%, așa cum se observă din figura 6.1, dacă baia metalică suporta mai multe corecturi prin adaos fiecare nouă corecție trebuie să ia în considerație schimbarea compoziției chimice a băii metalice corectate de către elementele chimice însoțitoare ale elementului chimic corectat din materialul de corecție

#### SE TRECE LA CORECTAREA MANGANULUI

Proporția de mangan din compoziția chimică teoretică, după topire se calculează cu relația (6.1) și este de forma [%Mn]<sub>tt</sub>. Se compară proporția de mangan din compoziția chimică reală, după topire, relația (6.1) – [%Mn]<sub>t</sub> – cu proporția de mangan din compoziția chimică teoretică, după topire, relația (6.5), – [%Mn]<sub>tt</sub>. Dacă este îndeplinită inegalitatea (6.21), TREBUIE să se realizeze CORECTAREA conținutului de MANGAN prin ADAOS de materiale metalice care conțin mangan în proporție mare și, dacă este posibil, să conțină doar mangan și fier. Alierea cu mangan în cuptorul electric cu încălzire prin inducție se face cu Feromangan și numai după efectuarea carburării, dacă a fost cazul, pentru ca să nu afecteze solubilitatea carbonului în fonta lichidă. În tabelul 6.11 se prezintă compoziția chimică a feromanganului și forma de livrare, conform STAS 7436-80. Cantitatea de mangan ce trebuie mărită în compoziția chimică a fontei se notează cu  $\Delta Mn$  și se determină cu relația (6.8). Cantitatea de material de corecție se calculează cu relația (6.24), se simbolizează cu Q<sub>m.c.</sub> și se exprimă în kg de material de corecție pentru 100 kg de fontă lichidă. Randamentul de asimilare al elementului chimic Ei în baia metalică este prezentat în tabelul 6.10.

Randamentele de asimilare prezentate în tabelul 6.10 sunt relative din cauză că sunt mulți factori care le influențează cum ar fi: compoziția chimică a băii metalice în momentul corecției, afinitatea chimică față de oxigen a elementelor chimice, tipul de constituent metalografic sub care se află în materialele de corecție, conținutul de element chimic Ei din materialul de corecție, starea de agregare a materialului de corecție în momentul în care acesta se introduce în baia metalică, cantitatea de baie metalică supusă corecției chimice, modalitatea de introducere a materialului de corecție în baia metalică – sub formă de porții sau integral – tehnica de introducere a materialului de corecție în baia metalică, masa specifică a materialului de corecție, mărimea bucăților de material de corecție, temperatura băii metalice în momentul introducerii materialului de corecție în baia metalică, temperatura materialului de corecție în momentul introducerii acestuia în baia metalică, gradul de agitare al băii metalice în momentul introducerii materialului de corecție în aceasta (mărimea brasajului), efectul caloric al dizolvării elementelor chimice Ei din materialul de corecție în baia metalică, gradul de puritate al materialelor de corecție, temperatura de topire a materialelor de corecție etc. De exemplu, prezintă interes, în ceea ce privește randamentul de asimilare, masa specifică a materialului de corecție – pentru câteva materiale de corecție, tabelul 6.11. Ca materiale de corecție se pot utiliza și fontele brute aliate – de exemplu fontele brute din tabelul 5 –, fonta veche aliată – de exemplu, fontele din tabelul 6 –, deșeuri de oțel aliate – de exemplu, deșeurile de oțel din tabelul 7 –, deșeuri de fontă aliată, prealiaje, metale brute de aliere, metale rafinate de aliere etc. Prealiajele reprezintă niște aliaje intermediare ce se utilizează cu scopul corectării compoziției chimice în cazul în care există probleme de asimilare a elementelor chimice de aliere sau de altă natură. Prealiajele trebuie să fie fragile cu scopul mărunțirii și dozării gravimetrice facile.

În cazul elaborării fontelor aliate este posibilă utilizarea următoarelor prealiaje: – prealiaje cupru-staniu (STAS 197/1-80), exceptând cele ce conțin zinc și plumb în proporții mari, ce conțin 9...15% Sn, 0...2%



Ni (cu excepția nichelului ca impuritate conținută în cupru), maximum 0,8% Zn, 1% Pb, 0,2% Sb, 0,2% Fe, 0,02% Al, 0,1% S, 0,01% Bi, 0,01% Mg, 0,15% As, 0,2% Mn, 1% Ni, 0,1% P și în rest Cu;

– prealiaj cupru-aluminiu (STAS 198/1-80), conținând 8,5...10% Al, maximum 0,6% impurități (exclusiv Mn, Fe și Ni) și în rest cupru;

– prealiaj cupru-aluminiu-fier (STAS 198/1-80), conținând 8,5...10,5% Al, 2...4% Fe, maximum 0,8% impurități (exclusiv Sn) și în rest Cu;

– prealiaj cupru-aluminiu-fier (STAS 198/1-80), conținând 9...11% Al, 2,0...4,5% Fe, maximum 0,5% impurități (exclusiv Mn și Ni) și în rest Cu;

– prealiaj cupru-aluminiu-fier-nichel (STAS 198/1-80), conținând 8,5...10,7% Al, 4...6% Fe, 4...6,5% Ni, maximum 1,5% Mn, 0,5% impurități și în rest Cu;

– prealiaj cupru-aluminiu-mangan (STAS 198/1-80), conținând 8...10% Al, 1,5...2,5% Mn, maximum 2,4% impurități (exclusiv Ni) și în rest Cu;

– prealiaje aluminiu-cupru, aluminiu-cupru-siliciu, aluminiu-siliciu, aluminiu-siliciu-cupru-fier, aluminiu-siliciu-cupru-nichel, aluminiu-siliciu-mangan-fier (STAS 201/1-80). În practică sunt posibile de utilizat și următoarele prealiaje:

aluminiu-fier (90% Al și 10% Fe sau 80% Al și 20% Fe), aluminiu-mangan (90% Al și 10% Mn sau 80% Al și 20% Mn), aluminiu-nichel (80% Al și 20% Ni), aluminiu-nichel-cupru (50% Al, 40% Ni și 10% Cu), aluminiu-siliciu-mangan (83% Al, 10% Si și 7% Mn),

aluminiu-titan (96% Al și 4% Ti sau 90% Al și 10% Ti), cupru-crom (90% Cu și 10% Cr), cupru-fier (90...95% Cu și 5...10% Fe), cupru-mangan (73% Cu și 27% Mn), cupru-nichel (67...85% Cu și 15...33% Ni), cupru-siliciu (84% Cu și 16% Si sau 75% Cu și 25% Si),

cupru-titan (96% Cu și 4% Ti sau 70% Cu și 30% Ti), titan-aluminiu (60% Ti și 40% Al), vanadiu-aluminiu (85% V și 14,5% Al) etc., aceste compoziții chimice fiind medii.

Conform [25], prealiajele sunt superioare, ca randament de asimilare, feroaliajelor și metalelor brute sau rafinate de aliere, și sunt indicate, sub formă de granulații de 3...10 mm, pentru obținerea de fonte aliate, plecând de la o fontă de bază nealiată. Compozițiile granulelor

solubile de prealiaje sunt în jurul celor eutectice, având, astfel, o temperatură minimă de topire. Utilizarea de prealiaje determină randamente de asimilare remarcabile și uniforme spre deosebire de feroaliaje (de exemplu, utilizarea de ferocrom prin adaos în baia metalică, creează pierderi mari de crom prin oxidare și apariția de «pete dure», ceea ce nu se întâmplă în cazul utilizării prealiajului cu 50% Ni, 17% Cr și 3% Si sau cu 30% Ni, 40% Cu, 5% Cr și 3%..Si).Foarte apreciate sunt și prealiajele nichel-cupru (65% Ni și 35% Cu), nichel-siliciu (60% Ni și 30% Si) sau nichel-siliciu (92% Ni și 6% Si), [25].

Metalele brute de aliere reprezintă metale nerafinate ce se utilizează pentru corectarea compoziției chimice a fontei. Dintre acestea se precizează următoarele: – Staniu; STAS 10309-75 (Sn 96,35, Sn 98,4, Sn 99); 1% total impurități; – Crom metalic; STAS 7386-75 (Cr 97, Cr 98, Cr 98,5, Cr 99); Cr = 97...99%; C = 0,03...0,05%; Si=0,03...0,05%; P=0,02...0,03%; S= 0,02...0,04%, Al = 0,5...1,5%; Fe = 0,6...1,2%; Cu = 0,01...0,05%;

– Mangan metalic; STAS 7387-81 (Mn 93, Mn 95); Mn = 93...95%; C=0,1...0,2%; Si=0,8...1,8%; P=0,05%; Fe = 2,5%; total impurități = 5...7%;

– Nichel primar; STAS 10502-76 (Ni 97, Ni 98,6); C = 0,10...0,15%; Co = 0,70%; S = 0,03...0,04%; Cu = 0,60...1,00%; Ni+Co = 97,6...98,6%;

– Siliciu tehnic; STAS 9675-80 (Si 95,5...Si 98,8); max. 0,2% C; max. 0,3% Ti; max. 0,0025% S; – Aluminiiu tehnic; STAS 201/1-80; 90% Al; 4,5% Cu; 5,5% impurități; max.0,01% P; 0,4...1,6% Fe; 0,3%...1,4% Ca; 0,4...1,5% Al.

Metalele rafinate de aliere se utilizează de regulă la elaborarea fontelor speciale aliate în cuptoare electrice cu atmosferă cu grad mare de depresurare.

Sunt posibile spre utilizare următoarele metale rafinate:

– aluminiiu de înaltă puritate (STAS 7607/1-80 sau STAS 7607/2-79) cu un conținut de aluminiiu de 99,90...99,99%;

– cupru fără oxigen (STAS 270/1-80), cu un conținut de cupru de 99,98%;

- mangan metalic (STAS 7387-81) conținând 99,70...99,95% Mn;
- nichel primar (STAS 10 502-76) conținând 99,5...99,99% Ni;
- siliciu tehnic (STAS 9675-80) conținând 99,2% Si;
- staniu (STAS 10 309-75) conținând 99,565...99,9% Sn.

Elementul chimic Ei din materialele de corecție se utilizează în relația (6.24) numai ca valori fixe. În consecință, acolo unde elementele chimice sunt consemnate cu valori extremă – limită inferioară și limită superioară – trebuie să se facă media aritmetică (ca în relația (6.17)).

De asemenea, în cazul în care elementele chimice figurează în literatura de specialitate sau în standarde ca valori minime sau maxime trebuie să se folosească valori fixe – se apelează la certificatele de calitate sau se determină compoziția chimică.

Introduceți valorile PROPORȚIA DE MANGAN și RANDAMENTUL DE ASIMILARE, în procente, în funcție de materialul de aliere ales

Mnfemnin=80

Mnfemnsup80

Mnfemn = 80

Rand.asimMn=90

Qm =

cPmax: 0.3388

ccuptor: 62.4016

cMo: 0.2092

cNi: 0.5200

cMn: 0.4431

**INTRODUCEȚI CAPACITATEA EFECTIVA A CUPTORULUI -**

Qefectiv:

De exemplu, există o capacitate efectivă a cuptorului de 12500 kg

Qefectiv=12500

Qm =

cPmax: 0.3388

ccuptor: 53.1730

cMo: 0.2092

cNi: 0.5200

cMn: 0.4431

Cu excepția metalelor rafinate de aliere, în celelalte materiale de corecție, elementele chimice Ei ce se corectează sunt însoțite de alte elemente chimice Ek. Prin urmare, materialele de corecție menționate anterior, schimbă compoziția chimică reală a băii metalice de după topire. La rândul lor, elementele chimice însoțitoare au un randament specific de asimilare în baia metalică, randament de asimilare care poate fi acceptat ca având valorile din tabelul 6.10.

Proporția de element chimic Ek din materialul de corecție care trece în baia metalică se calculează cu relația (6.25).

IN ACEST MOMENT NE AFLAM LA CORECTAREA MANGANULUI, DUPA ACEASTA ETAPA TOATE PROPORTIILE ELEMENTELOR CHIMICE SE POT MODIFICA în FUNCTIE DE COMPOZITIA CHIMICA A MATERIALULUI DE CORECTIE

după calculul aporturilor elementelor chimice noile proporții de elemente ale fontei după topire și tratamente metalurgice vor fi afișate se introduc pe rând valorile pentru proporția de element chimic Ek din materialul de corecție din compoziția chimică a materialului ales pentru corectare și randamentul de asimilare al elementului chimic Ek din materialul de corecție în baia metalică (din tabelul 6.10).

Mnt = 0.8089

Cc.m=0.5

Rand.asimC=90

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

Ck = 0.0020

Procentul de C din baia metalica după topire și corectarea manganului va fi egal cu

Ct = 2.1627

Sic.m=2

Rand.asimSi=90

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$Sik = 0.0080$

Procentul de Si din baia metalica după topire și corectarea manganului va fi egal cu

$Sit = 1.2080$

$Tic.m=0$

$Rand.asimTi=0$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$Tik = 0$

Procentul de Ti din baia metalica după topire și corectarea manganului va fi egal cu

$Tit = 0$

$Nic.m=0$

$Rand.asimNi=0$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$Nik = 0$

Procentul de Ni din baia metalica după topire și corectarea manganului va fi egal cu

$Nit = 0.5646$

$Crc.m=0$

$Rand.asimCr=0$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$Crk = 0$

Procentul de Cr din baia metalica după topire și corectarea siliciului va fi egal cu

$Crt = 0.1198$

$Vc.m=0$

$Rand.asimV=0$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$Vk = 0$

Procentul de Mn din baia metalica după topire și corectarea manganului va fi egal cu

$$Vt = 0$$

$$Wc.m=0$$

$$\text{Rand.asimW}=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$Wk = 0$$

Procentul de W din baia metalica după topire și corectarea manganului va fi egal cu

$$Wt = 0$$

$$\text{Moc.m}=0$$

$$\text{Rand.asimMo}=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$\text{Mok} = 0$$

Procentul de Mo din baia metalica după topire și corectarea manganului va fi egal cu

$$\text{Mot} = 0.1355$$

$$\text{Mgc.m}=0$$

$$\text{Rand.asimMg}=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$\text{Mgk} = 0$$

Procentul de Mg din baia metalica după topire și corectarea manganului va fi egal cu

$$\text{Mgt} = 0$$

$$\text{Pc.m}=0.3$$

$$\text{Rand.asimP}=90$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$\text{Pk} = 0.0012$$

Procentul de Mn din baia metalica după topire și corectarea manganului va fi egal cu

$$\text{Pmaxt} = 0.1769$$

$$\text{Sc.m}=0.03$$

$$\text{Rand.asimS}=90$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$S_k = 1.1964e-004$$

Procentul de S din baia metalica după topire și corectarea manganului va fi egal cu

$$S_{maxt} = 0.0725$$

$$Alc.m=0$$

$$Rand.asimAl=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$Alk = 0$$

Procentul de Al din baia metalica după topire și corectarea manganului va fi egal cu

$$Alt = 0$$

$$Cuc.m=0$$

$$Rand.asimCu=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$Cuk = 0$$

Procentul de Cu din baia metalica după topire și corectarea manganului va fi egal cu

$$Cut = 0$$

$$Ac.m=0$$

$$Rand.asimA=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$Ak = 0$$

Procentul de A din baia metalica după topire și corectarea manganului va fi egal cu

$$At = 0$$

$$A1c.m=0$$

$$Rand.asimA1=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$A1k = 0$$

Procentul de A1 din baia metalica după topire și corectarea manganului va fi egal cu

$$A1t = 0$$

$$A2c.m=0$$

$$\text{Rand.asim}A2=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$A2k = 0$$

Procentul de A2 din baia metalica după topire și corectarea manganului va fi egal cu

$$A2t = 0$$

Dacă elementul chimic Ek din materialul de corecție, însoțitor al elementului chimic corectat, nu se află în baia metalică ce este corectată, înseamnă că în baia metalică ce se corectează apare un element chimic nou, situație în care este posibil ca să se schimbe caracteristicile fontei obținute și situație în care se impune eliminarea lui din baia metalică sau micșorarea conținutului lui până la valori care nu mai prezintă pericol pentru caracteristicile fontei obținute. Se recomandă ca să nu se utilizeze materiale de corecție care aduc în baia metalică elemente chimice noi. De exemplu, dacă baia metalică ce se caracterizează are 1,4%Mn iar [%Mnk] calculat cu relația (6.25) are valoarea 0,2, după corectarea băii metalice în ceea ce privește un element chimic Ei, conținutul de mangan din baia metalică crește de la 1,5% la  $1,4 + 0,2 = 1,6\%$ . După fiecare corectare a compoziției cu materiale de corecție se calculează și schimbarea compoziției chimice cu elementele chimice din materialul de corecție – cu proporțiile calculate cu relația (6.25).

#### SE TRECE LA CORECTAREA FOSFORULUI

Proporția de fosfor din compoziția chimică teoretică, după topire se calculează cu relația (6.1) și este de forma [%Pmax]tt. Se compară proporția de fosfor din compoziția chimică reală, după topire, relația (6.1) – [%Pmax]t – cu proporția de fosfor din compoziția chimică teoretică, după topire, relația (6.5), – [%Mn]tt. Dacă este îndeplinită inegalitatea (6.21), trebuie să se realizeze CORECTAREA conținutului de FOSFOR prin ADAOS de materiale metalice care



conțin fosfor în proporție mare și, dacă este posibil, să conțină doar mangan și fier. Se aplică metodologia de calcul prezentată la paragraful 6.2, recomandându-se utilizarea ca material de corecție a fosforului (STAS 7433-77). Cantitatea de mangan ce trebuie mărită în compoziția chimică a fontei se notează cu  $\Delta Mn$  și se determină cu relația (6.8). Cantitatea de material de corecție se calculează cu relația (6.24), se simbolizează cu  $Q_{m.c.}$  și se exprimă în kg de material de corecție pentru 100 kg de fontă lichidă. Randamentul de asimilare al elementului chimic  $E_i$  în baia metalică este prezentat în tabelul 6.10. Randamentele de asimilare prezentate în tabelul 6.10 sunt relative din cauză că sunt mulți factori care le influențează cum ar fi: compoziția chimică a băii metalice în momentul corecției, afinitatea chimică față de oxigen a elementelor chimice, tipul de constituent metalografic sub care se află în materialele de corecție, conținutul de element chimic  $E_i$  din materialul de corecție, starea de agregare a materialului de corecție în momentul în care acesta se introduce în baia metalică, cantitatea de baie metalică supusă corecției chimice, modalitatea de introducere a materialului de corecție în baia metalică – sub formă de porții sau integral, tehnica de introducere a materialului de corecție în baia metalică, masa specifică a materialului de corecție, mărirea bucăților de material de corecție, temperatura băii metalice în momentul introducerii materialului de corecție în baia metalică, temperatura materialului de corecție în momentul introducerii acestuia în baia metalică, gradul de agitare al băii metalice în momentul introducerii materialului de corecție în aceasta (mărirea brasajului), efectul caloric al dizolvării elementelor chimice  $E_i$  din materialul de corecție în baia metalică, gradul de puritate al materialelor de corecție, temperatura de topire a materialelor de corecție etc. De exemplu, prezintă interes, în ceea ce privește randamentul de asimilare, masa specifică a materialului de corecție – pentru câteva materiale de corecție, tabelul 6.11. Ca materiale de corecție se pot utiliza și fontele brute aliate – de exemplu fontele brute din tabelul 5 –, fonta veche aliată – de exemplu, fontele din tabelul 6 –, deșeuri de oțel aliate – de exemplu, deșeurile de oțel din tabelul 7 –, deșeuri de fontă aliată, preliaje,

metale brute de aliere, metale rafinate de aliere etc. Prealiajele reprezintă niște aliaje intermediare ce se utilizează cu scopul corectării compoziției chimice în cazul în care există probleme de asimilare a elementelor chimice de aliere sau de altă natură. Prealiajele trebuie să fie fragile cu scopul mărunțirii și dozării gravimetrice facile.

În cazul elaborării fontelor aliate este posibilă utilizarea următoarelor prealiaje: – prealiaje cupru-staniu (STAS 197/1-80), exceptând cele ce conțin zinc și plumb în proporții mari, ce conțin 9...15% Sn, 0...2% Ni (cu excepția nichelului ca impuritate conținută în cupru), maximum 0,8% Zn, 1% Pb, 0,2% Sb, 0,2% Fe, 0,02% Al, 0,1% S, 0,01% Bi, 0,01% Mg, 0,15% As, 0,2% Mn, 1% Ni, 0,1% P și în rest Cu;

– prealiaj cupru-aluminiu (STAS 198/1-80), conținând 8,5...10% Al, maximum 0,6% impurități (exclusiv Mn, Fe și Ni) și în rest cupru;

– prealiaj cupru-aluminiu-fier (STAS 198/1-80), conținând 8,5...10,5% Al, 2...4% Fe, maximum 0,8% impurități (exclusiv Sn) și în rest Cu;

– prealiaj cupru-aluminiu-fier (STAS 198/1-80), conținând 9...11% Al, 2,0...4,5% Fe, maximum 0,5% impurități (exclusiv Mn și Ni) și în rest Cu;

– prealiaj cupru-aluminiu-fier-nichel (STAS 198/1-80), conținând 8,5...10,7% Al, 4...6% Fe, 4...6,5% Ni, maximum 1,5% Mn, 0,5% impurități și în rest Cu;

– prealiaj cupru-aluminiu-mangan (STAS 198/1-80), conținând 8...10% Al, 1,5...2,5% Mn, maximum 2,4% impurități (exclusiv Ni) și în rest Cu;

– prealiaje aluminiu-cupru, aluminiu-cupru-siliciu, aluminiu-siliciu, aluminiu-siliciu-cupru-fier, aluminiu-siliciu-cupru-nichel, aluminiu-siliciu-mangan-fier (STAS 201/1-80). În practică sunt posibile de utilizat și următoarele prealiaje:

aluminiu-fier (90% Al și 10% Fe sau 80% Al și 20% Fe), aluminiu-mangan (90% Al și 10% Mn sau 80% Al și 20% Mn), aluminiu-nichel (80% Al și 20% Ni), aluminiu-nichel-cupru (50% Al, 40% Ni și 10% Cu), aluminiu-siliciu-mangan (83% Al, 10% Si și 7% Mn),

aluminiu-titan (96% Al și 4% Ti sau 90% Al și 10% Ti), cupru-crom (90% Cu și 10% Cr), cupru-fier (90...95% Cu și 5...10% Fe), cupru-

mangan (73% Cu și 27% Mn), cupru-nichel (67...85% Cu și 15...33% Ni), cupru-siliciu (84% Cu și 16% Si sau 75% Cu și 25% Si), cupru-titan (96% Cu și 4% Ti sau 70% Cu și 30% Ti), titan-aluminiu (60% Ti și 40% Al), vanadiu-aluminiu (85% V și 14,5% Al) etc., aceste compoziții chimice fiind medii. Conform [25], prealiajele sunt superioare, ca randament de asimilare, feroaliajelor și metalelor brute sau rafinate de aliere, și sunt indicate, sub formă de granulații de 3...10 mm, pentru obținerea de fonte aliate, plecând de la o fontă de bază nealiată. Compozițiile granulelor solubile de prealiaje sunt în jurul celor eutectice, având, astfel, o temperatură minimă de topire. Utilizarea de prealiaje determină randamente de asimilare remarcabile și uniforme spre deosebire de feroaliaje (de exemplu, utilizarea de ferocrom prin adaos în baia metalică, creează pierderi mari de crom prin oxidare și apariția de «pete dure», ceea ce nu se întâmplă în cazul utilizării prealiajului cu 50% Ni, 17% Cr și 3% Si sau cu 30% Ni, 40% Cu, 5% Cr și 3%..Si). Foarte apreciate sunt și prealiajele nichel-cupru (65% Ni și 35% Cu), nichel-siliciu (60% Ni și 30% Si) sau nichel-siliciu (92% Ni și 6% Si), [25]. Metalele brute de aliere reprezintă metale nerafinate ce se utilizează pentru corectarea compoziției chimice a fontei.

Dintre acestea se precizează următoarele: – Staniu; STAS 10309–75 (Sn 96,35, Sn 98,4, Sn 99); 1% total impurități; – Crom metalic; STAS 7386-75 (Cr 97, Cr 98, Cr 98,5, Cr 99); Cr = 97...99%; C = 0,03...0,05%; Si=0,03...0,05%; P=0,02...0,03%; S= 0,02...0,04%, Al = 0,5...1,5%; Fe = 0,6...1,2%; Cu = 0,01...0,05%; – Mangan metalic; STAS 7387-81 (Mn 93, Mn 95); Mn = 93...95%; C=0,1...0,2%; Si=0,8...1,8%; P=0,05%; Fe = 2,5%; total impurități = 5...7%; – Nichel primar; STAS 10502-76 (Ni 97, Ni 98,6); C = 0,10...0,15%; Co = 0,70%; S = 0,03...0,04%; Cu = 0,60...1,00%; Ni+Co = 97,6...98,6%; – Siliciu tehnic; STAS 9675-80 (Si 95,5...Si 98,8); max. 0,2% C; max. 0,3% Ti; max. 0,0025% S; – Aluminiu tehnic; STAS 201/1-80; 90% Al; 4,5% Cu; 5,5% impurități; max.0,01% P; 0,4...1,6% Fe; 0,3%...1,4% Ca; 0,4...1,5% Al.

Metalele rafinate de aliere se utilizează de regulă la elaborarea fontelor speciale aliate în cuptoare electrice cu atmosferă cu grad mare de depresurizare.

Sunt posibile spre utilizare următoarele metale rafinate:

– aluminiu de înaltă puritate (STAS 7607/1-80 sau STAS 7607/2-79) cu un conținut de aluminiu de 99,90...99,99%;

– cupru fără oxigen (STAS 270/1-80), cu un conținut de cupru de 99,98%;

– mangan metalic (STAS 7387-81) conținând 99,70...99,95% Mn;

– nichel primar (STAS 10 502-76) conținând 99,5...99,99% Ni;

– siliciu tehnic (STAS 9675-80) conținând 99,2% Si;

– staniu (STAS 10 309-75) conținând 99,565...99,9% Sn.

Elementul chimic Ei din materialele de corecție se utilizează în relația (6.24) numai ca valori fixe. În consecință, acolo unde elementele chimice sunt consemnate cu valori extremă – limită inferioară și limită superioară – trebuie să se facă media aritmetică (ca în relația (6.17)).

De asemenea, în cazul în care elementele chimice figurează în literatura de specialitate sau în standarde ca valori minime sau maxime trebuie să se folosească valori fixe – se apelează la certificatele de calitate sau se determină compoziția chimică.

Introduceți valorile PROPORTIA DE FOSFOR și RANDAMENTUL DE ASIMILARE, în procente, în funcție de materialul de aliere ales

$P_{maxm.ainf}=22$

$P_{maxm.asup}=168$

$P_{maxm} =$

ainf: 22

asup: 168

a: 95

$Rand.asimP_{max}=90$

$Q_m =$

cPmax: 0.0281

ccuptor: 53.1730

cMo: 0.2092

cNi: 0.5200

cMn: 0.4431

INTRODUCEȚI CAPACITATEA EFECTIVA A CUPTORULUI -  
Qefectiv:

De exemplu, există o capacitate efectivă a cuptorului de 12500 kg

Qefectiv=12500

Qm =

cPmax: 0.0281

ccuptor: 3.3694

cMo: 0.2092

cNi: 0.5200

cMn: 0.4431

Cu excepția metalelor rafinate de aliere, în celelalte materiale de corecție, elementele chimice  $E_i$  ce se corectează sunt însoțite de alte elemente chimice  $E_k$ . Prin urmare, materialele de corecție menționate anterior, schimbă compoziția chimică reală a băii metalice de după topire. La rândul lor, elementele chimice însoțitoare au un randament specific de asimilare în baia metalică, randament de asimilare care poate fi acceptat ca având valorile din tabelul 6.10. Proporția de element chimic  $E_k$  din materialul de corecție care trece în baia metalică se calculează cu relația (6.25).

IN ACEST MOMENT NE AFLAM LA CORECTAREA FOSFORULUI, DUPA ACEASTA ETAPA TOATE PROPORȚIILE ELEMENTELOR CHIMICE SE POT MODIFICA în FUNCȚIE DE COMPOZIȚIA CHIMICA A MATERIALULUI DE CORECTIE

după calculul aporurilor elementelor chimice noile proporții de elemente ale fontei după topire și tratamente metalurgice vor fi afișate, se introduc pe rând valorile pentru proporția de element chimic  $E_k$  din materialul de corecție din compoziția chimică a materialului ales pentru corectare și randamentul de asimilare al elementului chimic  $E_k$  din materialul de corecție în baia metalică (din tabelul 6.10).

Pmaxt = 0.2009

Cc.m=0

Rand.asimC=0

**proportia** de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$C_k = 0$

Procentul de C din baia metalica după topire și corectarea fosforului va fi egal cu

$C_t = 2.1627$

Sic.m=0

Rand.asimSi=0

**proportia** de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$S_i k = 0$

Procentul de Si din baia metalica după topire și corectarea fosforului va fi egal cu

$S_{it} = 1.2080$

Tic.m=0

Rand.asimTi=0

**proportia** de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$T_i k = 0$

Procentul de Ti din baia metalica după topire și corectarea fosforului va fi egal cu

$T_{it} = 0$

Nic.m=0

Rand.asimNi=0

**proportia** de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$N_i k = 0$

Procentul de Ni din baia metalica după topire și corectarea fosforului va fi egal cu

$N_{it} = 0.5646$

Crc.m=0

Rand.asimCr=0

**proportia** de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$Cr_k = 0$$

Procentul de Cr din baia metalica după topire și corectarea fosforului va fi egal cu

$$Cr_t = 0.1198$$

$$V_{c.m}=0$$

$$Rand.asimV=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$V_k = 0$$

Procentul de Mn din baia metalica după topire și corectarea fosforului va fi egal cu

$$V_t = 0$$

$$W_{c.m}=0$$

$$Rand.asimW=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$W_k = 0$$

Procentul de W din baia metalica după topire și corectarea fosforului va fi egal cu

$$W_t = 0$$

$$M_{c.m}=0$$

$$Rand.asimMo=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$M_k = 0$$

Procentul de Mo din baia metalica după topire și corectarea fosforului va fi egal cu

$$M_t = 0.1355$$

$$M_{gc.m}=0$$

$$Rand.asimMg=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$M_{gk} = 0$$

Procentul de Mg din baia metalica după topire și corectarea fosforului va fi egal cu

$$Mgt = 0$$

$$Mnc.m=0$$

$$Rand.asimMn=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$Mnk = 0$$

Procentul de Mn din baia metalica după topire și corectarea fosforului va fi egal cu

$$Mnt = 0.8089$$

$$Sc.m=0$$

$$Rand.asimS=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$Sk = 0$$

Procentul de S din baia metalica după topire și corectarea fosforului va fi egal cu

$$Smxt = 0.0725$$

$$Alc.m=0$$

$$Rand.asimAl=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$Alk = 0$$

Procentul de Al din baia metalica după topire și corectarea fosforului va fi egal cu

$$Alt = 0$$

$$Cuc.m=0$$

$$Rand.asimCu=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$Cuk = 0$$

Procentul de Cu din baia metalica după topire și corectarea fosforului va fi egal cu

$$Cut = 0$$

$$Ac.m=0$$

$$Rand.asimA=0$$



proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$A_k = 0$$

Procentul de A din baia metalică după topire și corectarea fosforului va fi egal cu

$$A_t = 0$$

$$A_{1c.m}=0$$

$$\text{Rand.asim}A_1=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$A_{1k} = 0$$

Procentul de A<sub>1</sub> din baia metalică după topire și corectarea fosforului va fi egal cu

$$A_{1t} = 0$$

$$A_{2c.m}=0$$

$$\text{Rand.asim}A_2=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$A_{2k} = 0$$

Procentul de A<sub>2</sub> din baia metalică după topire și corectarea fosforului va fi egal cu

$$A_{2t} = 0$$

Dacă elementul chimic E<sub>k</sub> din materialul de corecție, însoțitor al elementului chimic corectat, nu se află în baia metalică ce este corectată, înseamnă că în baia metalică ce se corectează apare un element chimic nou,

situație în care este posibil ca să se schimbe caracteristicile fontei obținute și situație în care se impune eliminarea lui din baia metalică sau micșorarea conținutului lui până la valori care nu mai prezintă pericol

pentru caracteristicile fontei obținute. Se recomandă ca să nu se utilizeze materiale de corecție care aduc în baia metalică elemente chimice noi.

De exemplu, dacă baia metalică ce se caracterizează are 1,4%Mn iar [%Mn<sub>k</sub>] calculat cu relația (6.25) are valoarea 0,2, după corectarea

băii metalice în ceea ce privește un element chimic  $E_i$ , conținutul de mangan din baia metalică crește de la 1,5% la  $1,4 + 0,2 = 1,6\%$ .

După fiecare corectare a compoziției cu materiale de corecție se calculează și schimbarea compoziției chimice cu elementele chimice din materialul de corecție – cu proporțiile calculate cu relația (6.25).

Corectarea conținutului de SULF se manifestă numai prin DESULFURARE. Desulfurarea se poate realiza prin diluare și prin amplasarea agenților desulfuranți la suprafața băii metalice – carbid, cianamidă de calciu, amestecuri de agenți desulfuranți etc.

Baia metalică de la finalul topirii trebuie diluată în sulf

Pentru diluarea fontei lichide într-un element chimic  $E_i$  – deoarece este îndeplinită inegalitatea (6.15) – trebuie să se introducă în baia metalică un sort metalic care să conțină elementul chimic  $E_i$ , de diluat, într-o proporție mult mai mare decât baia metalică.

Fie că se numește sortul metalic, menționat la aliniatul anterior, material de diluare – m.d.

Proporția de material de diluare – %m.d. – se determină prin rezolvarea sistemului (6.16).

Se determina proporția de fonta lichida de după topire și proporția de material de diluare

Introduceți proporția de sulf din materialul de diluare

$S_{maxmd}=0.03$

$A =$

0.0007	0.0003
1.0000	1.0000

$A1 =$

0.1005	0.0003
100.0000	1.0000

$A2 =$

0.0007	0.1005
1.0000	100.0000

$D = 4.2531e-004$

$D1 = 0.0705$

$D2 = -0.0279$

$f = l: 165.6840$

$m = d: -65.6840$

Cantitatea de material de diluare ce se introduce în cuptor se calculează cu relația (6.18).

INTRODUCEȚI CAPACITATEA EFECTIVA A CUPTORULUI -  
Qefectiv:

De exemplu, există o capacitate efectivă a cuptorului de 12500 kg

$Q_{efectiv}=12000$

$Q_{mdcuptor} = -4.7573e+003$

in kg material de diluare/cuptor

Materialul de diluare poate dilua și alte elemente chimice din fonta care se tratează, după cum poate să aducă elemente chimice noi în fonta lichidă.

Compoziția chimică a fontei care se diluează se schimbă, după caz, apărând și elemente chimice noi iar unele elemente chimice păstrându-și proporția.

Pe lângă elementul chimic diluat – [%Ei]tt din relația (6.16) – noua compoziție chimică a fontei diluate, respectiv proporțiile elementelor chimice din compoziția chimică a fontei diluate se obține cu relația (6.19).

SE INTRODUC PROCENTELE DE ELEMENTE CHIMICE DIN MATERIALUL DE diluare a sulfului în VEDEREA CALCULULUI PROCENTELOR DUPA DILUARE

$C_{md}=0.1$

$C_f = d: 3.5176$

$P_{md}=0.04$

$P_f = d: 0.3066$

$S_{imd}=0.03$

$S_{if} = d: 1.9817$

$A_{imd}=0$

$A_{if} = d: 0$

$M_{nmd}=0.3$

$M_{nf} = d: 1.1431$

$T_{imd}=0$

$T_{if} = d: 0$

$V_{md}=0$

Vf = d: 0  
Nimd=0  
Nif = d: 0.9355  
Crmd=0  
Crf = d: 0.1984  
Cumd=0  
Cuf = d: 0  
Mgmd=0  
Mgf = d: 0  
Momd=0  
Mof = d: 0.2245  
Wmd=0  
Wf = d: 0  
Amd=0  
Af = d: 0  
A1md=0  
A1f = d: 0  
A2md=0  
A2f = d: 0  
Așadar, după diluare, în cuptor se află o fontă lichidă nouă, cu o compoziție chimică nouă.  
Toate tratamentele metalurgice care se efectuează după diluare trebuie să ia în considerație noua compoziție chimică, adică, de exemplu, compoziția chimică dată de relația (6.1), se transformă în compoziția chimică dată de relația (6.19).  
Smxt = 0.1005  
Ct = 3.5176  
Alt = 0  
Pmaxt = 0.3066  
Sit = 1.9817  
Tit = 0  
Vt = 0  
Nit = 0.9355  
Crt = 0.1984  
Cut = 0

Mgt = 0  
Mot = 0.2245  
Wt = 0  
At = 0  
A1t = 0  
A2t = 0

Cel mai utilizat agent desulfurant este carbidul în varianta de compoziție eutectică. Deoarece carbidul are greutatea specifică cu mult mai mică decât fonta lichidă (de exemplu, 2,27 g/cm<sup>3</sup> față de 6,9 g/cm<sup>3</sup>), plutește la suprafața băii metalice, fiind nevoie de o agitare intensă a băii metalice pentru ca suprafața de contact dintre agentul desulfurant și baia metalică să fie cât mai mare – pentru ca randamentul de desulfurare să fie cât mai mare.

În cuptorul cu inducție sunt realizate cele mai bune condiții de agitare electromagnetică a băii metalice, curenții de metal lichid determinând o vehiculare a întregii băi metalice din cuptor și punerea în contact a acestora cu carbidul aflat la suprafața ei (conform [9], particulele de carbid ar fi antrenate în interiorul băii metalice, până la fundul creuzetului).

Desulfurarea cu carbid este un proces complex, având în vedere că în compoziția carbidului există, în principal, CaC<sub>2</sub> și CaO. Conținutul de CaC<sub>2</sub>, depășește valoarea de 72%. Ambii componenți principali ai carbidului au capacitate de desulfurare datorită calciului care are afinitatea

chimică față de sulf mai mare decât afinitatea chimică față de sulf a fierului, [48].

#### SE TRECE LA CORECTAREA TITANULUI

Proporția de titan din compoziția chimică teoretică, după topire se calculează cu relația (6.1) și este de forma [%Ti]<sub>tt</sub>.

Se compară proporția de titan din compoziția chimică reală, după topire, relația (6.1) – [%Ti]<sub>t</sub> – cu proporția de titan din compoziția chimică teoretică, după topire, relația (6.5), – [%Ti]<sub>tt</sub>.

În circumstanțele inegalității (6.13), BAIA METALICA are conținutul de TITAN corespunzător.

#### SE TRECE LA CORECTAREA MOLIBDENULUI

Proporția de molibden din compoziția chimică teoretică, după topire se calculează cu relația (6.1) și este de forma [%Mo]<sub>tt</sub>.

Se compară proporția de molibden din compoziția chimică reală, după topire, relația (6.1) – [%Mo]<sub>t</sub> – cu proporția de molibden din compoziția chimică teoretică, după topire, relația (6.5), – [%Mo]<sub>tt</sub>.

În circumstanțele inegalității (6.13), BAIA METALICA are conținutul de MOLIBDEN corespunzător.

#### SE TRECE LA CORECTAREA CROMULUI

Proporția de crom din compoziția chimică teoretică, după topire se calculează cu relația (6.1) și este de forma [%Cr]<sub>tt</sub>.

Se compară proporția de crom din compoziția chimică reală, după topire, relația (6.1) – [%Cr]<sub>t</sub> – cu proporția de crom din compoziția chimică teoretică, după topire, relația (6.5), – [%Cr]<sub>tt</sub>.

Dacă este îndeplinită inegalitatea (6.21), TREBUIE să se realizeze CORECTAREA conținutului de CROM prin adaos de materiale metalice care conțin crom în proporție mare și, dacă este posibil, să conțină doar crom și fier.

Alierea cu crom în cuptorul electric cu încălzire prin inducție se face cu Ferocrom și numai după efectuarea carburării dacă a fost cazul, pentru ca să nu afecteze solubilitatea carbonului în fonta lichidă.

În tabelul 6.13 se prezintă compoziția chimică a ferocromului, conform STAS 7438-82

Cantitatea de crom ce trebuie mărită în compoziția chimică a fontei se notează cu  $\Delta Cr$  și se determină cu relația (6.8).

Cantitatea de material de corecție se calculează cu relația (6.24), se simbolizează cu Q<sub>m.c.</sub> și se exprimă în kg de material de corecție pentru 100 kg de fontă lichidă.

Randamentul de asimilare al elementului chimic Ei în baia metalică este prezentat în tabelul 6.10.

Randamentele de asimilare prezentate în tabelul 6.10 sunt relative din cauză că sunt mulți factori care le influențează cum ar fi: compoziția chimică a băii metalice în momentul corecției, afinitatea chimică față de oxigen a elementelor chimice, tipul de constituent metalografic sub care se află în materialelor de corecție, conținutul de element chimic Ei din materialul de corecție,

starea de agregare a materialului de corecție în momentul în care acesta se introduce în baia metalică, cantitatea de baie metalică supusă corecției chimice, modalitatea de introducere a materialului de corecție în baia metalică – sub formă de porții sau integral – tehnica de introducere a materialului de corecție în baia metalică, masa specifică a materialului de corecție, mărimea bucăților de material de corecție, temperatura băii metalice în momentul introducerii materialului de corecție în baia metalică, temperatura materialului de corecție în momentul introducerii acestuia în baia metalică, gradul de agitare al băii metalice în momentul introducerii materialului de corecție în aceasta (mărimea brasajului), efectul caloric al dizolvării elementelor chimice Ei din materialul de corecție în baia metalică, gradul de puritate al materialelor de corecție, temperatura de topire a materialelor de corecție etc. De exemplu, prezintă interes, în ceea ce privește randamentul de asimilare, masa specifică a materialului de corecție – pentru câteva materiale de corecție, tabelul 6.11.

Ca materiale de corecție se pot utiliza și fontele brute aliate – de exemplu fontele brute din tabelul 5 –, fonta veche aliată – de exemplu, fontele din tabelul 6 –, deșeuri de oțel aliate – de exemplu, deșeurile de oțel din tabelul 7 –, deșeuri de fontă aliată, prealiaje, metale brute de aliere, metale rafinate de aliere etc.

Prealiajele reprezintă niște aliaje intermediare ce se utilizează cu scopul corectării compoziției chimice în cazul în care există probleme de asimilare a elementelor chimice de aliere sau de altă natură. Prealiajele trebuie să fie fragile cu scopul mărunțirii și dozării gravimetrice facile.

În cazul elaborării fontelor aliate este posibilă utilizarea următoarelor prealiaje: – prealiaje cupru-staniu (STAS 197/1-80), exceptând cele ce conțin zinc și plumb în proporții mari, ce conțin 9...15% Sn, 0...2% Ni (cu excepția nichelului ca impuritate conținută în cupru), maximum 0,8% Zn, 1% Pb, 0,2% Sb, 0,2% Fe, 0,02% Al, 0,1% S, 0,01% Bi, 0,01% Mg, 0,15% As, 0,2% Mn, 1% Ni, 0,1% P și în rest Cu;

– prealiaj cupru-aluminiu (STAS 198/1-80), conținând 8,5...10% Al, maximum 0,6% impurități (exclusiv Mn, Fe și Ni) și în rest cupru;

- prealiaj cupru-aluminiu-fier (STAS 198/1-80), conținând 8,5...10,5% Al, 2...4% Fe, maximum 0,8% impurități (exclusiv Sn) și în rest Cu;
  - prealiaj cupru-aluminiu-fier (STAS 198/1-80), conținând 9...11% Al, 2,0...4,5% Fe, maximum 0,5% impurități (exclusiv Mn și Ni) și în rest Cu;
  - prealiaj cupru-aluminiu-fier-nichel (STAS 198/1-80), conținând 8,5...10,7% Al, 4...6% Fe, 4...6,5% Ni, maximum 1,5% Mn, 0,5% impurități și în rest Cu;
  - prealiaj cupru-aluminiu-mangan (STAS 198/1-80), conținând 8...10% Al, 1,5...2,5% Mn, maximum 2,4% impurități (exclusiv Ni) și în rest Cu;
  - prealiaje aluminiu-cupru, aluminiu-cupru-siliciu, aluminiu-siliciu, aluminiu-siliciu-cupru-fier, aluminiu-siliciu-cupru-nichel, aluminiu-siliciu-mangan-fier (STAS 201/1-80). În practică sunt posibile de utilizat și următoarele prealiaje:  
 aluminiu-fier (90% Al și 10% Fe sau 80% Al și 20% Fe), aluminiu-mangan (90% Al și 10% Mn sau 80% Al și 20% Mn), aluminiu-nichel (80% Al și 20% Ni), aluminiu-nichel-cupru (50% Al, 40% Ni și 10% Cu), aluminiu-siliciu-mangan (83% Al, 10% Si și 7% Mn), aluminiu-titan (96% Al și 4% Ti sau 90% Al și 10% Ti), cupru-crom (90% Cu și 10% Cr), cupru-fier (90...95% Cu și 5...10% Fe), cupru-mangan (73% Cu și 27% Mn), cupru-nichel (67...85% Cu și 15...33% Ni), cupru-siliciu (84% Cu și 16% Si sau 75% Cu și 25% Si), cupru-titan (96% Cu și 4% Ti sau 70% Cu și 30% Ti), titan-aluminiu (60% Ti și 40% Al), vanadiu-aluminiu (85% V și 14,5% Al) etc., aceste compoziții chimice fiind medii.
- Conform [25], prealiajele sunt superioare, ca randament de asimilare, feroaliajelor și metalelor brute sau rafinate de aliere, și sunt indicate, sub formă de granulații de 3...10 mm, pentru obținerea de fonte aliate, plecând de la o fontă de bază nealiată.
- Compozițiile granulelor solubile de prealiaje sunt în jurul celor eutectice, având, astfel, o temperatură minimă de topire. Utilizarea de prealiaje determină randamente de asimilare remarcabile și uniforme spre deosebire de feroaliaje (de exemplu, utilizarea de ferocrom prin adaos în baia metalică,



crează pierderi mari de crom prin oxidare și apariția de «pete dure», ceea ce nu se întâmplă în cazul utilizării prealiajului cu 50% Ni, 17% Cr și 3% Si sau cu 30% Ni, 40% Cu, 5% Cr și 3%..Si).

Foarte apreciate sunt și prealiajele nichel-cupru (65% Ni și 35% Cu), nichel-siliciu (60% Ni și 30% Si) sau nichel-siliciu (92% Ni și 6% Si), [25].

Metalele brute de aliere reprezintă metale nerafinate ce se utilizează pentru corectarea compoziției chimice a fontei.

Dintre acestea se precizează următoarele: – Staniu; STAS 10309–75 (Sn 96,35, Sn 98,4, Sn 99); 1% total impurități; – Crom metalic; STAS 7386-75 (Cr 97, Cr 98, Cr 98,5, Cr 99); Cr = 97...99%; C = 0,03...0,05%; Si=0,03...0,05%; P=0,02...0,03%; S= 0,02...0,04%, Al = 0,5...1,5%; Fe = 0,6...1,2%; Cu = 0,01...0,05%;

– Mangan metalic; STAS 7387-81 (Mn 93, Mn 95); Mn = 93...95%; C=0,1...0,2%; Si=0,8...1,8%; P=0,05%; Fe = 2,5%; total impurități = 5...7%;

– Nichel primar; STAS 10502-76 (Ni 97, Ni 98,6); C = 0,10...0,15%; Co = 0,70%; S = 0,03...0,04%; Cu = 0,60...1,00%; Ni+Co = 97,6...98,6%;

– Siliciu tehnic; STAS 9675-80 (Si 95,5...Si 98,8); max. 0,2% C; max. 0,3% Ti; max. 0,0025% S; – Aluminu tehnic; STAS 201/1-80; 90% Al; 4,5% Cu; 5,5% impurități; max.0,01% P; 0,4...1,6% Fe; 0,3%...1,4% Ca; 0,4...1,5% Al.

Metalele rafinate de aliere se utilizează de regulă la elaborarea fontelor speciale aliate în cuptoare electrice cu atmosferă cu grad mare de depresurizare.

Sunt posibile spre utilizare următoarele metale rafinate:

– aluminu de înaltă puritate (STAS 7607/1-80 sau STAS 7607/2-79) cu un conținut de aluminu de 99,90...99,99%;

– cupru fără oxigen (STAS 270/1-80), cu un conținut de cupru de 99,98%;

– mangan metalic (STAS 7387-81) conținând 99,70...99,95% Mn;

– nichel primar (STAS 10 502-76) conținând 99,5...99,99%

Ni;

- siliciu tehnic (STAS 9675-80) conținând 99,2% Si;
- staniu (STAS 10 309-75) conținând 99,565...99,9% Sn.

Elementul chimic Ei din materialele de corecție se utilizează în relația (6.24) numai ca valori fixe. În consecință, acolo unde elementele chimice sunt consemnate cu valori extremă – limită inferioară și limită superioară – trebuie să se facă media aritmetică (ca în relația (6.17)).

De asemenea, în cazul în care elementele chimice figurează în literatura de specialitate sau în standarde ca valori minime sau maxime trebuie să se folosească valori fixe – se apelează la certificatele de calitate sau se determină compoziția chimică.

Introduceți valorile PROPORȚIA DE CROM și RANDAMENTUL DE ASIMILARE, în procente, în funcție de materialul de aliere ales

Crfecrinf=99

Mnfecrsup0

Crfecr = 49.5000

Rand.asimCr=99

Qm =

cPmax: 0.0281

ccuptor: 3.3694

cMo: 0.2092

cNi: 0.5200

cMn: 0.4431

cCr: 0.3260

**INTRODUCEȚI CAPACITATEA EFECTIVA A CUPTORULUI -**

Qefectiv:

De exemplu, există o capacitate efectivă a cuptorului de 12500 kg

Qefectiv=12500

Qm =

cPmax: 0.0281

ccuptor: 39.1188

cMo: 0.2092

cNi: 0.5200

cMn: 0.4431

cCr: 0.3260

Cu excepția metalelor rafinate de aliere, în celelalte materiale de corecție, elementele chimice  $E_i$  ce se corectează sunt însoțite de alte elemente chimice  $E_k$ . Prin urmare, materialele de corecție menționate anterior,

schimbă compoziția chimică reală a băii metalice de după topire. La rândul lor, elementele chimice însoțitoare au un randament specific de asimilare în baia metalică, randament de asimilare care poate fi acceptat ca având valorile din tabelul 6.10.

Proporția de element chimic  $E_k$  din materialul de corecție care trece în baia metalică se calculează cu relația (6.25).

IN ACEST MOMENT NE AFLAM LA CORECTAREA MANGANULUI, DUPA ACEASTA ETAPA TOATE PROPORTIILE ELEMENTELOR CHIMICE SE POT MODIFICA în FUNCTIE DE COMPOZITIA CHIMICA A MATERIALULUI DE CORECTIE

după calculul aporturilor elementelor chimice noile proporții de elemente ale fontei după topire și tratamente metalurgice vor fi afișate

se introduc pe rând valorile pentru proporția de element chimic  $E_k$  din materialul de corecție din compoziția chimică a materialului ales pentru corectare și randamentul de asimilare al elementului chimic  $E_k$  din materialul de corecție în baia metalică (din tabelul 6.10).

$$C_{rt} = 0.3582$$

$$C_{c.m}=0$$

$$R_{and.asimC}=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$C_k = 0$$

Procentul de C din baia metalica după topire și corectarea cromului va fi egal cu

$$C_t = 3.5176$$

$$S_{ic.m}=0$$

$$R_{and.asimSi}=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$S_{ik} = 0$$

Procentul de Si din baia metalica după topire și corectarea cromului  
va fi egal cu

$$S_{it} = 1.9817$$

$$T_{ic.m}=0$$

$$Rand.asimTi=0$$

propoția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul  
de aliere

$$T_{ik} = 0$$

Procentul de Ti din baia metalica după topire și corectarea cromului  
va fi egal cu

$$T_{it} = 0$$

$$N_{ic.m}=0$$

$$Rand.asimNi=0$$

propoția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul  
de aliere

$$N_{ik} = 0$$

Procentul de Ni din baia metalica după topire și corectarea cromului  
va fi egal cu

$$N_{it} = 0.9355$$

$$M_{nc.m}=0$$

$$Rand.asimMn=0$$

propoția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul  
de aliere

$$M_{nk} = 0$$

Procentul de Mn din baia metalica după topire și corectarea cromului  
va fi egal cu

$$M_{nt} = 0.8089$$

$$V_{c.m}=0$$

$$Rand.asimV=0$$

propoția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul  
de aliere

$$V_{k} = 0$$

Procentul de Mn din baia metalica după topire și corectarea cromului  
va fi egal cu

$$V_{t} = 0$$

$$Wc.m=0$$

$$\text{Rand.asimW}=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$Wk = 0$$

Procentul de W din baia metalica după topire și corectarea cromului va fi egal cu

$$Wt = 0$$

$$\text{Moc.m}=0$$

$$\text{Rand.asimMo}=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$Mok = 0$$

Procentul de Mo din baia metalica după topire și corectarea cromului va fi egal cu

$$Mot = 0.2245$$

$$\text{Mgc.m}=0$$

$$\text{Rand.asimMg}=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$\text{Mgk} = 0$$

Procentul de Mg din baia metalica după topire și corectarea cromului va fi egal cu

$$\text{Mgt} = 0$$

$$\text{Pc.m}=0$$

$$\text{Rand.asimP}=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$Pk = 0$$

Procentul de Mn din baia metalica după topire și corectarea cromului va fi egal cu

$$Pmaxt = 0.3066$$

$$\text{Sc.m}=0$$

$$\text{Rand.asimS}=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul

de aliere

$$S_k = 0$$

Procentul de S din baia metalica după topire și corectarea cromului va fi egal cu

$$S_{maxt} = 0.1005$$

$$Alc.m=0$$

$$Rand.asimAl=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$Al_k = 0$$

Procentul de Al din baia metalica după topire și corectarea cromului va fi egal cu

$$Al_t = 0$$

$$Cuc.m=0$$

$$Rand.asimCu=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$Cuk = 0$$

Procentul de Cu din baia metalica după topire și corectarea cromului va fi egal cu

$$Cu_t = 0$$

$$Ac.m=0$$

$$Rand.asimA=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$Ak = 0$$

Procentul de A din baia metalica după topire și corectarea cromului va fi egal cu

$$A_t = 0$$

$$A1c.m=0$$

$$Rand.asimA1=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$A1_k = 0$$

Procentul de A1 din baia metalica după topire și corectarea cromului

va fi egal cu

$$A1t = 0$$

$$A2c.m=0$$

$$\text{Rand.asim}A2=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$A2k = 0$$

Procentul de A2 din baia metalica după topire și corectarea cromului va fi egal cu

$$A2t = 0$$

Dacă elementul chimic Ek din materialul de corecție, însoțitor al elementului chimic corectat, nu se află în baia metalică ce este corectată, înseamnă că în baia metalică ce se corectează apare un element chimic nou,

situație în care este posibil ca să se schimbe caracteristicile fontei obținute și situație în care se impune eliminarea lui din baia metalică sau micșorarea conținutului lui până la valori care nu mai prezintă pericol

pentru caracteristicile fontei obținute. Se recomandă ca să nu se utilizeze materiale de corecție care aduc în baia metalică elemente chimice noi.

De exemplu, dacă baia metalică ce se caracterizează are 1,4%Mn iar [%Mnk ] calculat cu relația (6.25) are valoarea 0,2, după corectarea băii metalice în ceea ce privește un element chimic Ei, conținutul de mangan din baia metalică crește de la 1,5% la  $1,4 + 0,2 = 1,6\%$ .

După fiecare corectare a compoziției cu materiale de corecție se calculează și schimbarea compoziției chimice cu elementele chimice din materialul de corecție – cu proporțiile calculate cu relația (6.25).

#### SE TRECE LA CORECTAREA NICHELULUI

Proporția de nichel din compoziția chimică teoretică, după topire se calculează cu relația (6.1) și este de forma [%Ni]tt.

Se compară proporția de nichel din compoziția chimică reală, după topire, relația (6.1) – [%Ni]t – cu proporția de nichel din compoziția chimică teoretică, după topire, relația (6.5), – [%Ni]tt.

Dacă este îndeplinită inegalitatea (6.21), TREBUIE să se realizeze

CORECTAREA conținutului de NICHEL prin adaos de materiale metalice care conțin nichel în proporție mare și, dacă este posibil, să conțină doar nichel și fier

Cantitatea de nichel ce trebuie mărită în compoziția chimică a fontei se notează cu  $\Delta Ni$  și se determină cu relația (6.8).

Cantitatea de material de corecție se calculează cu relația (6.24), se simbolizează cu  $Q_{m.c.}$  și se exprimă în kg de material de corecție pentru 100 kg de fontă lichidă.

Randamentul de asimilare al elementului chimic  $E_i$  în baia metalică este prezentat în tabelul 6.10.

Randamentele de asimilare prezentate în tabelul 6.10 sunt relative din cauză că sunt mulți factori care le influențează cum ar fi: compoziția chimică a băii metalice în momentul corecției,

afinitatea chimică față de oxigen a elementelor chimice, tipul de constituent metalografic sub care se află în materialele de corecție, conținutul de element chimic  $E_i$  din materialul de corecție,

starea de agregare a materialului de corecție în momentul în care acesta se introduce în baia metalică, cantitatea de baie metalică supusă corecției chimice, modalitatea de introducere a materialului de corecție în baia metalică – sub formă de porții sau integral – tehnica de introducere a materialului de corecție în baia metalică, masa specifică a materialului de corecție, mărimea bucăților de material de corecție, temperatura băii metalice în momentul introducerii materialului de corecție în baia metalică,

temperatura materialului de corecție în momentul introducerii acestuia în baia metalică, gradul de agitare al băii metalice în momentul introducerii materialului de corecție în aceasta (mărimea brasajului), efectul caloric al dizolvării elementelor chimice  $E_i$

din materialul de corecție în baia metalică, gradul de puritate al materialelor de corecție, temperatura de topire a materialelor de corecție etc. De exemplu, prezintă interes, în ceea ce privește randamentul de asimilare, masa specifică a materialului de corecție – pentru câteva materiale de corecție, tabelul 6.11.

Ca materiale de corecție se pot utiliza și fontele brute aliate – de exemplu fontele brute din tabelul 5 –, fonta veche aliată – de



exemplu, fontele din tabelul 6 –, deșeuri de oțel aliate – de exemplu, deșeurile de oțel din tabelul 7 –, deșeuri de fontă aliată, prealiaje, metale brute de aliere, metale rafinate de aliere etc.

Prealiajele reprezintă niște aliaje intermediare ce se utilizează cu scopul corectării compoziției chimice în cazul în care există probleme de asimilare a elementelor chimice de aliere sau de altă natură. Prealiajele trebuie să fie fragile cu scopul mărunțirii și dozării gravimetrice facile.

În cazul elaborării fontelor aliate este posibilă utilizarea următoarelor prealiaje: – prealiaje cupru-staniu (STAS 197/1-80), exceptând cele ce conțin zinc și plumb în proporții mari, ce conțin 9...15% Sn, 0...2% Ni (cu excepția nichelului ca impuritate conținută în cupru), maximum 0,8% Zn, 1% Pb, 0,2% Sb, 0,2% Fe, 0,02% Al, 0,1% S, 0,01% Bi, 0,01% Mg, 0,15% As, 0,2% Mn, 1% Ni, 0,1% P și în rest Cu;

– prealiaj cupru-aluminiu (STAS 198/1-80), conținând 8,5...10% Al, maximum 0,6% impurități (exclusiv Mn, Fe și Ni) și în rest cupru;

– prealiaj cupru-aluminiu-fier (STAS 198/1-80), conținând 8,5...10,5% Al, 2...4% Fe, maximum 0,8% impurități (exclusiv Sn) și în rest Cu;

– prealiaj cupru-aluminiu-fier (STAS 198/1-80), conținând 9...11% Al, 2,0...4,5% Fe, maximum 0,5% impurități (exclusiv Mn și Ni) și în rest Cu;

– prealiaj cupru-aluminiu-fier-nichel (STAS 198/1-80), conținând 8,5...10,7% Al, 4...6% Fe, 4...6,5% Ni, maximum 1,5% Mn, 0,5% impurități și în rest Cu;

– prealiaj cupru-aluminiu-mangan (STAS 198/1-80), conținând 8...10% Al, 1,5...2,5% Mn, maximum 2,4% impurități (exclusiv Ni) și în rest Cu;

– prealiaje aluminiu-cupru, aluminiu-cupru-siliciu, aluminiu-siliciu, aluminiu-siliciu-cupru-fier, aluminiu-siliciu-cupru-nichel, aluminiu-siliciu-mangan-fier (STAS 201/1-80). În practică sunt posibile de utilizat și următoarele prealiaje:

aluminiu-fier (90% Al și 10% Fe sau 80% Al și 20% Fe), aluminiu-mangan (90% Al și 10% Mn sau 80% Al și 20% Mn), aluminiu-nichel (80% Al și 20% Ni), aluminiu-nichel-cupru (50% Al, 40% Ni și 10% Cu), aluminiu-siliciu-mangan (83% Al, 10% Si și 7% Mn),

aluminu-titan (96% Al și 4% Ti sau 90% Al și 10% Ti), cupru-crom (90% Cu și 10% Cr), cupru-fier (90...95% Cu și 5...10% Fe), cupru-mangan (73% Cu și 27% Mn), cupru-nichel (67...85% Cu și 15...33% Ni), cupru-siliciu (84% Cu și 16% Si sau 75% Cu și 25% Si), cupru-titan (96% Cu și 4% Ti sau 70% Cu și 30% Ti), titan-aluminu (60% Ti și 40% Al), vanadiu-aluminu (85% V și 14,5% Al) etc., aceste compoziții chimice fiind medii.

Conform [25], prealiajele sunt superioare, ca randament de asimilare, feroaliajelor și metalelor brute sau rafinate de aliere, și sunt indicate, sub formă de granulații de 3...10 mm, pentru obținerea de fonte aliate, plecând de la o fontă de bază nealiată.

Compozițiile granulelor solubile de prealiaje sunt în jurul celor eutectice, având, astfel, o temperatură minimă de topire. Utilizarea de prealiaje determină randamente de asimilare remarcabile și uniforme spre deosebire de feroaliaje

(de exemplu, utilizarea de ferocrom prin adaos în baia metalică, creează pierderi mari de crom prin oxidare și apariția de «pete dure», ceea ce nu se întâmplă în cazul utilizării prealiajului cu 50% Ni, 17% Cr și 3% Si sau cu 30% Ni, 40% Cu, 5% Cr și 3%..Si).

Foarte apreciate sunt și prealiajele nichel-cupru (65% Ni și 35% Cu), nichel-siliciu (60% Ni și 30% Si) sau nichel-siliciu (92% Ni și 6% Si), [25].

Metalele brute de aliere reprezintă metale nerafinate ce se utilizează pentru corectarea compoziției chimice a fontei.

Dintre acestea se precizează următoarele: – Staniu; STAS 10309–75 (Sn 96,35, Sn 98,4, Sn 99); 1% total impurități; – Crom metallic; STAS 7386-75 (Cr 97, Cr 98, Cr 98,5, Cr 99); Cr = 97...99%; C = 0,03...0,05%; Si=0,03...0,05%; P=0,02...0,03%; S= 0,02...0,04%, Al = 0,5...1,5%; Fe = 0,6...1,2%; Cu = 0,01...0,05%;

– Mangan metallic; STAS 7387-81 (Mn 93, Mn 95); Mn = 93...95%; C=0,1...0,2%; Si=0,8...1,8%; P=0,05%; Fe = 2,5%; total impurități = 5...7%;

– Nichel primar; STAS 10502-76 (Ni 97, Ni 98,6); C = 0,10...0,15%; Co = 0,70%; S = 0,03...0,04%; Cu = 0,60...1,00%; Ni+Co = 97,6...98,6%;

– Siliciu tehnic; STAS 9675-80 (Si 95,5...Si 98,8); max. 0,2% C; max. 0,3% Ti; max. 0,0025% S; – Aluminii tehnic; STAS 201/1-80; 90% Al; 4,5% Cu; 5,5% impurități; max.0,01% P; 0,4...1,6% Fe; 0,3%...1,4% Ca; 0,4...1,5% Al.

Metalele rafinate de aliere se utilizează de regulă la elaborarea fontelor speciale aliate în cuptoare electrice cu atmosferă cu grad mare de depresurizare.

Sunt posibile spre utilizare următoarele metale rafinate:

– aluminii de înaltă puritate (STAS 7607/1-80 sau STAS 7607/2-79) cu un conținut de aluminii de 99,90...99,99%;

– cupru fără oxigen (STAS 270/1-80), cu un conținut de cupru de 99,98%;

– mangan metalic (STAS 7387-81) conținând 99,70...99,95% Mn;

– nichel primar (STAS 10 502-76) conținând 99,5...99,99% Ni;

– siliciu tehnic (STAS 9675-80) conținând 99,2% Si;

– staniu (STAS 10 309-75) conținând 99,565...99,9% Sn.

Elementul chimic Ei din materialele de corecție se utilizează în relația (6.24) numai ca valori fixe. În consecință, acolo unde elementele chimice sunt consemnate cu valori extremă – limită inferioară și limită superioară – trebuie să se facă media aritmetică (ca în relația (6.17)).

De asemenea, în cazul în care elementele chimice figurează în literatura de specialitate sau în standarde ca valori minime sau maxime trebuie să se folosească valori fixe – se apelează la certificatele de calitate sau se determină compoziția chimică.

Introduceți valorile PROPORTIA DE NICHEL și RANDAMENTUL DE ASIMILARE, în procente, în funcție de materialul de aliere ales

Nifeniinf=99.5

Nifenisup99.5

Nifeni =

99.5000

Rand.asimNi=99

Qm =

cPmax: 0.0281

ccuptor: 39.1188

cMo: 0.2092

cNi: 0.3193

cMn: 0.4431

cCr: 0.3260

## INTRODUCEȚI CAPACITATEA EFECTIVA A CUPTORULUI -

Qefectiv:

De exemplu, există o capacitate efectivă a cuptorului de 12500 kg

Qefectiv=12500

Qm =

cPmax: 0.0281

ccuptor: 38.3157

cMo: 0.2092

cNi: 0.3193

cMn: 0.4431

cCr: 0.3260

Cu excepția metalelor rafinate de aliere, în celelalte materiale de corecție, elementele chimice  $E_i$  ce se corectează sunt însoțite de alte elemente chimice  $E_k$ . Prin urmare, materialele de corecție menționate anterior,

schimbă compoziția chimică reală a băii metalice de după topire. La rândul lor, elementele chimice însoțitoare au un randament specific de asimilare în baia metalică, randament de asimilare care poate fi acceptat ca având valorile din tabelul 6.10.

Proporția de element chimic  $E_k$  din materialul de corecție care trece în baia metalică se calculează cu relația (6.25).

IN ACEST MOMENT NE AFLAM LA CORECTAREA MANGANULUI, DUPA ACEASTA ETAPA TOATE PROPORȚIILE ELEMENTELOR CHIMICE SE POT MODIFICA în FUNCȚIE DE COMPOZIȚIA CHIMICA A MATERIALULUI DE CORECTIE

după calculul aporturilor elementelor chimice noile proporții de elemente ale fontei după topire și tratamente metalurgice vor fi afișate

se introduc pe rând valorile pentru proporția de element chimic  $E_k$  din materialul de corecție din compoziția chimică a materialului ales pentru corectare și randamentul de asimilare al elementului chimic  $E_k$

din materialul de corecție în baia metalică (din tabelul 6.10).

$$N_{it} = 1.2500$$

$$C_{c.m} = 0$$

$$R_{and.asimC} = 0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$C_k = 0$$

Procentul de C din baia metalică după topire și corectarea nichelului va fi egal cu

$$C_t = 3.1176$$

$$S_{i.c.m} = 0$$

$$R_{and.asimSi} = 0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$S_{i.k} = 0$$

Procentul de Si din baia metalică după topire și corectarea nichelului va fi egal cu

$$S_{i.t} = 1.2817$$

$$M_{n.c.m} = 0$$

$$R_{and.asimMn} = 0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$M_{n.k} = 0$$

Procentul de Mn din baia metalică după topire și corectarea nichelului va fi egal cu

$$M_{n.t} = 0.8089$$

$$T_{i.c.m} = 0$$

$$R_{and.asimTi} = 0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$T_{i.k} = 0$$

Procentul de Ti din baia metalică după topire și corectarea nichelului va fi egal cu

$$T_{i.t} = 0$$

$$C_{r.c.m} = 0$$

Rand.asimCr=0

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

Crk = 0

Procentul de Cr din baia metalica după topire și corectarea nichelului va fi egal cu

Crt = 0.3582

Vc.m=0

Rand.asimV=0

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

Vk = 0

Procentul de Mn din baia metalica după topire și corectarea nichelului va fi egal cu

Vt = 0

Wc.m=0

Rand.asimW=0

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

Wk = 0

Procentul de W din baia metalica după topire și corectarea nichelului va fi egal cu

Wt = 0

Moc.m=0

Rand.asimMo=0

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

Mok = 0

Procentul de Mo din baia metalica după topire și corectarea nichelului va fi egal cu

Mot = 0.2245

Mgc.m=0

Rand.asimMg=0

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$Mg_k = 0$$

Procentul de Mg din baia metalica după topire și corectarea nichelului va fi egal cu

$$Mg_t = 0$$

$$Pc.m=0$$

$$Rand.asimP=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$Pk = 0$$

Procentul de Mn din baia metalica după topire și corectarea nichelului va fi egal cu

$$Pmaxt =$$

$$0.1866$$

$$Sc.m=0$$

$$Rand.asimS=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$Sk = 0$$

Procentul de S din baia metalica după topire și corectarea nichelului va fi egal cu

$$Smaxt = 0.0905$$

$$Alc.m=0$$

$$Rand.asimAl=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$Alk = 0$$

Procentul de Al din baia metalica după topire și corectarea nichelului va fi egal cu

$$Alt = 0$$

$$Cuc.m=0$$

$$Rand.asimCu=0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$Cuk = 0$$

Procentul de Cu din baia metalica după topire și corectarea

nicHELULUI va fi egal cu

$$C_{ut} = 0$$

$$A_{c.m} = 0$$

$$R_{and.asimA} = 0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$A_k = 0$$

Procentul de A din baia metalica după topire și corectarea nichelului va fi egal cu

$$A_t = 0$$

$$A_{1c.m} = 0$$

$$R_{and.asimA1} = 0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$A_{1k} = 0$$

Procentul de A1 din baia metalica după topire și corectarea nichelului va fi egal cu

$$A_{1t} = 0$$

$$A_{2c.m} = 0$$

$$R_{and.asimA2} = 0$$

proporția de element chimic introdusă în baia metalică de materialul de aliere

$$A_{2k} = 0$$

Procentul de A2 din baia metalica după topire și corectarea nichelului va fi egal cu

$$A_{2t} = 0$$

Dacă elementul chimic  $E_k$  din materialul de corecție, însoțitor al elementului chimic corectat, nu se află în baia metalică ce este corectată, înseamnă că în baia metalică ce se corectează apare un element chimic nou,

situație în care este posibil ca să se schimbe caracteristicile fontei obținute și situație în care se impune eliminarea lui din baia metalică sau micșorarea conținutului lui până la valori care nu mai prezintă pericol

pentru caracteristicile fontei obținute. Se recomandă ca să nu se



utilizeze materiale de corecție care aduc în baia metalică elemente chimice noi.

De exemplu, dacă baia metalică ce se caracterizează are 1,4%Mn iar [%Mn]<sub>t</sub> calculat cu relația (6.25) are valoarea 0,2, după corectarea băii metalice în ceea ce privește un element chimic Ei, conținutul de mangan din baia metalică crește de la 1,5% la  $1,4 + 0,2 = 1,6\%$ .

După fiecare corectare a compoziției cu materiale de corecție se calculează și schimbarea compoziției chimice cu elementele chimice din materialul de corecție – cu proporțiile calculate cu relația (6.25).

SE TRECE LA CORECTAREA VANADIULUI

Proporția de vanadiu din compoziția chimică teoretică, după topire se calculează cu relația (6.1) și este de forma [%V]<sub>tt</sub>.

Se compară proporția de vanadiu din compoziția chimică reală, după topire, relația (6.1) – [%V]<sub>t</sub> – cu proporția de vanadiu din compoziția chimică teoretică, după topire, relația (6.5), – [%V]<sub>tt</sub>.

În circumstanțele inegalității (6.13), baia metalică are conținutul de vanadiu corespunzător.

SE TRECE LA CORECTAREA TUNGSTENULUI (W)

Proporția de tungsten din compoziția chimică teoretică, după topire se calculează cu relația (6.1) și este de forma [%W]<sub>tt</sub>.

Se compară proporția de tungsten(W) din compoziția chimică reală, după topire, relația (6.1) – [%W]<sub>t</sub> – cu proporția de tungsten din compoziția chimică teoretică, după topire, relația (6.5), – [%W]<sub>tt</sub>.

În circumstanțele inegalității (6.13), BAIA METALICA are conținutul de WOLFRAM CORESPUNZATOR

SE TRECE LA CORECTAREA CUPRULUI

Proporția de cupru din compoziția chimică teoretică, după topire se calculează cu relația (6.1) și este de forma [%Cu]<sub>tt</sub>.

Se compară proporția de cupru din compoziția chimică reală, după topire, relația (6.1) – [%Cu]<sub>t</sub> – cu proporția de cupru din compoziția chimică teoretică, după topire, relația (6.5), – [%Cu]<sub>tt</sub>.

În circumstanțele inegalității (6.13), BAIA METALICA are conținutul de CUPRU CORESPUNZATOR

SE TRECE LA CORECTAREA ALUMINIULUI

Proporția de aluminiu din compoziția chimică teoretică, după topire se

calculează cu relația (6.1) și este de forma  $[\%Al]_{tt}$ .

Se compară proporția de aluminiu din compoziția chimică reală, după topire, relația (6.1) –  $[\%Al]_t$  – cu proporția de aluminiu din compoziția chimică teoretică, după topire, relația (6.5), –  $[\%Al]_{tt}$ .

În circumstanțele inegalității (6.13), BIA METALICĂ are conținutul de ALUMINIU CORESPUNZATOR

SE TRECE LA CORECTAREA MAGNEZIULUI

Proporția de magneziu din compoziția chimică teoretică, după topire se calculează cu relația (6.1) și este de forma  $[\%Mg]_{tt}$ .

Se compară proporția de magneziu din compoziția chimică reală, după topire, relația (6.1) –  $[\%Mg]_t$  – cu proporția de magneziu din compoziția chimică teoretică, după topire, relația (6.5), –  $[\%Mg]_{tt}$ .

În circumstanțele inegalității (6.13), BIA METALICĂ ARE conținutul de MAGNEZIU CORESPUNZATOR

ETAPA A LUAT SFARSIT , S-A REALIZAT CORECTAREA COMPOZITIEI CHIMICE PRIN TRATAMENTE METALURGICE (se notează materialele de corecție folosite).

## **7. Menținerea fontei în stare lichidă, în cuptor, în circumstanțele în care inductorul este decuplat de la rețeaua electrică**

Înainte de evacuarea zgurii și fontei din cuptor, se decuplează inductorul de la rețeaua electrică și se menține fonta în stare lichidă în cuptor timp de 5...10 min. Astfel, se micșorează conținutul de gaze reținute mecanic și dizolvate în fonta lichidă – [53] – și conținutul de incluziuni nemetalice exogene și endogene.

Se apreciază că se micșorează semnificativ conținutul de hidrogen sub formă de bule și conținutul de oxizi și nitruri.

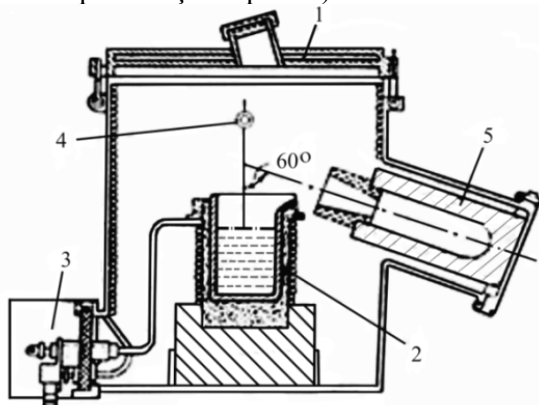
## **8. Evacuarea fontei și a zgurii**

În cazul cuptoarelor electrice cu încălzire prin inducție cu creuzet, în vederea evacuării zgurii, se înclină cuptorul

înspre jgheabul de evacuare al cuptorului până când partea superioară a stratului de zgură ajunge la jgheabul de evacuare al cuptorului, după care, prin intermediul sculelor consacrate, este evacuată zgura într-o cochilă metalică. Se recomandă ca zgura să fie evacuată din cuptor în totalitate sau într-o măsură cât mai avansată. Inevitabil, o dată cu evacuarea zgurii pe jgheabul de evacuare al cuptorului, este antrenată și o cantitate mică de fontă lichidă în cochilă, cantitate ce este nerecuperabilă.

Fonta se evacuează prin basculare.

Fonta se evacuează într-o oală de turnare, sau, după caz, în mai multe oale de turnare și chiar în formă (în figura 8.1 se prezintă un cuptor electric cu încălzire prin inducție ce este amplasat într-o oală depresiurată cu grad de depresiurizare de  $10^{-3} \dots 10^{-4}$  torr și ce evacuează fonta într-o formă metalică amplasată în peretele mantalei răcite prin țevi cu apă – forma poate fi și temporară).



**Figura 8.1. Schema unui cuptor electric cu încălzire prin inducție amplasat într-o incintă depresiurată. 1 – capac răcit cu apă; 2 – inductor; 3 – instalație de răcire; 4 – sistem de conexiune cu instalația de vidare; 5 – formă metalică sau temporară.**

În momentul evacuării fontei lichide, pe jgheabul agregatului de elaborare se pot efectua următoarele operații :

- aliere;
- inoculare (pe jgheabul de evacuare);
- dezoxidare.

Se va avea în vedere că operațiile de aliere, inoculare și dezoxidare ale fontei pe jgheabul de evacuare generează o nouă zgură ce va trebui să fie evacuată din oala de turnare înainte de începerea turnării în forme.

## Bibliografie

- [1]. Lupincă, C.I. și Ripoșan, I. Influența fontelor brute sintetice asupra calității fontelor cenușii nealiate, elaborate în cuptoare cu inducție. București. Revista de Turnătorie. nr. 7, 8. 2003. p.3...5;
- [2]. Ripoșan, I. Sorelmetal face posibilă utilizarea fierului vechi obișnuit la producerea pieselor de înaltă calitate turnate din Fgn. București. Revista de Turnătorie nr. 3/2002. p.5...11;
- [3]. Ripoșan, I. Stabilizarea producerii Fgn feritice și perlitice prin utilizarea Sorelmetal în încărcătură. București. Revista de Turnătorie nr. 1, 2/2003, p. 6...12;
- [4]. Prodan, N. Utilizarea unor produse metalurgice secundare în turnătorie. București. Revista de Turnătorie, nr. 2/2000.p.43...46;
- [5]. Ștefănescu, C.ș.a. Îndrumătorul proiectantului de tehnologii în turnătorii. București. Editura Tehnică.1985, vol. I;
- [6]. Cojocaru-Filipiuc, V. Fonte–obținere. Iași. Editura “Samia”.2003;
- [7]. Cojocaru, V. Bazele teoretice ale elaborării aliajelor. Iași. Institutul Politehnic Iași. 1993;
- [8]. Sofroni, L., Ripoșan, I., Brabie, V. și Chișamera, M. Turnarea fontei. București. Editura Didactică și Pedagogică. 1985;
- [9]. Cosneanu, C., Covacevici, V., Dumitrescu, V. și Vicenz, C. Elaborarea aliajelor de turnătorie în cuptoare electrice prin inducție. București. Editura Tehnică.1974;
- [10]. Ripoșan, I. și Chișamera, M. Tehnologia elaborării și turnării fontei. București. Editura Didactică și Pedagogică. 1981.
- [11]. Cojocaru, V. Elaborarea și turnarea aliajelor feroase (elaborarea și turnarea fontei). Iași. Institutul Politehnic. 1987.

- [12]. Anghel, I. Sudarea oțelurilor aliate. București. Editura Tehnică. 1993;
- [13]. Comisia de standardizare. Fonte și oțeluri. București. Editura Tehnică. 1955;
- [14]. Tripșa, I., Hătărăscu, O. și Rozolimo, P. Obținerea directă a fierului din minereu. București. Editura Tehnică. 1976.
- [15]. Ripoșan, I. și Sofroni, L. Fonta cu grafit vermicular. București. Editura Tehnică. 1984.
- [16]. Oprea, F., Taloi, D., Constantin, I. și Roman, R. Teoria proceselor metalurgice. București. Editura Didactică și Pedagogică. 1978;
- [17]. Tripșa, I., Oprea, F. și Dragomir, I. Bazele teoretice ale metalurgiei extractive. București. Editura Tehnică. 1967;
- [18]. Dragomir, I. Teoria proceselor siderurgice. București. Editura Didactică și Pedagogică. 1985;
- [19]. Tripșa, I. ș.a. Mică enciclopedie de metalurgie. București. Editura Științifică și Enciclopedică. 1980;
- [20]. Sofroni, L. și Ștefănescu, D.M. Fonte speciale. București. Editura Tehnică. 1974;
- [21]. Gâdea, S. ș.a. Manualul inginerului metalurg. București. Editura Tehnică. 1978. vol. I;
- [22]. Sofroni, L. Elaborarea și turnarea aliajelor. București. Editura Didactică și Pedagogică. 1975;
- [23]. Cojocaru-Filipiuc, V. Instalație de preîncălzire și încărcare. Brevet de invenție. România. Nr. 114.037.1998;
- [24]. Cojocaru-Filipiuc, V. Instalație de preîncălzire a materialelor de adaos. Brevet de invenție. România. Nr. 114281.1999;
- [25]. Laplanche, H. Les fontes et leurs traitements thermiques. Paris. Pyc – Edition – Desforges. 1975;
- [26]. Sterian, C., Catană, V., Holban, V. și Popovici, R. Economia de coals la elaborarea fontelor în cubilou. București. Editura Tehnică. 1986;

- [27]. Ripoșan, I. Materiale de carburare performante românești pentru fonte. București. Revista de Turnătorie. Nr. 5, 6.2004. p. 18...22;
- [28]. Ripoșan, I. Evaluarea materialelor de carburare pentru fonte. București. Revista de Turnătorie. Nr. 1. 2002. p. 10...13;
- [29]. Bednar, V. și Bednar, H. Chimie fizică generală. București. Editura Didactică și Pedagogică. 1978;
- [30]. Gâdea, S. ș.a. Manualul inginerului metalurg. București. Editura Tehnică. 1982; vol. al II-lea;
- [31]. Cheșa, I., Lașcu-Simion, N., Mureșanu, C., Rizescu, C. și Teodorescu, M.S. Mărci și produse de oțel. București. Editura Tehnică. 1989;
- [32]. Cojocar, V. Fonte utilizate în construcția de mașini. Iași. Editura "Gh. Asachi". 1996;
- [33]. Vacu, S. ș.a. Metalurgia feroaliajelor. București. Editura Didactică și Pedagogică. 1980;
- [34]. Ștefănescu, C. ș.a. Îndrumătorul proiectantului de tehnologii în turnătorii. Editura Tehnică. Volumul al II-lea. 1986;
- [35]. Oficiul de Informare Documentară. Normativ de protecție a muncii pentru industria de utilaj greu, construcții de mașini și electrotehnică. București. I.C.I.E. 1987. volumul 2;
- [36]. Oficiul de Informare Documentară pentru industria constructoare de mașini. Normativ de protecție a muncii pentru industria de utilaj greu, construcții de mașini și electrotehnică. București. I.C.I.E. 1987. volumul 1;
- [37]. Rădulescu, C.G. Îndrumător tehnologic al muncitorilor turnători. București. Editura Tehnică. 1981;
- [38]. Rău, A. și Tripșa, I. Metalurgia oțelului. București. Editura Didactică și Pedagogică. 1973;
- [39]. Sofroni, L. și Ștefănescu, D.M. Fonte modificate. București. Editura Tehnică. 1971.
- [40]. Sofroni, L., Ștefănescu, D.M. și Vincenz, C. Fonta cu grafit nodular. București. Editura Tehnică. 1978;

- [41]. Cojocaru-Filipiuc, V. Nodulizarea grafitului în fonte – aspecte teoretice. Iași. Editura „Politehniunm”. 2007;
- [42]. Comșa, D. și Pantelemon, L. Electrotermie. București. Editura Didactică și Pedagogică. 1983;
- [43]. Saimac, A., Roșu, E. și Gostian, C. Utilizarea energiei electrice în metalurgie. București. Editura Didactică și Pedagogică. 1980;
- [44]. Bauman, B.A. Topituri metalice. București. Editura Tehnică. 1974;
- [45]. Cojocaru-Filipiuc, V. The best moment of the introduction of the carbonizing material in the furnace, for iron manufacture. București. Metalurgia Internațional. Nr. 8. 2009.p.10-15;
- [46]. Saimac, A., Roșu, E. și Gostian, C. Utilizarea energiei electrice în metalurgie. București. Editura Didactică și Pedagogică. 1980;
- [47]. Vacu, S., Berceanu, E., Niță, P.S. și Nicolae, M. Metalurgia feroaliajelor . București. Editura Didactică și Pedagogică.1980.
- [48]. Chișamera, M. ș.a. Influența caracteristicilor fizico-chimice ale carburii de calciu tehnice asupra capacității sale desulfurante. Revista de Turnătorie. Nr. 2. 2000. P. 12...16;
- [49]. xxx. Normativ de protecție a muncii. București. Oficiul de Informare Documentară. Volumul al 2-lea. 1987;
- [50]. xxx. Normativ de protecție a muncii. București. Oficiul de Informare Documentară. Volumul 1. 1987;
- [51]. Mîcu, E. Construcția și exploatarea cuptoarelor de topire din industrie. București. Editura Tehnică. 1975;
- [52]. Abramov, G. Foundry practice. Moscova. Mir Publishers, 1986;
- [53]. Rău, A. și Tripșa, I. Metalurgia oțelului. București. Editura Didactică și Pedagogică. 1973;
- [54]. Ștefănescu, C. și Ștefănescu, D.M. Îndreptar pentru turnători. Editura Tehnică.1972;



[55]. Plessiers, J.ș.a. The quick determinativ of the degree of nodularity of magnesium treated irons by measuring the relative thermal conductivity two, parts of a sample composed of two bars of different diameters by means of a single cooling curve. Fonderie belge, 1978, nr. 4, p.15...24;

[56]. Horak, L. și Hala, M. Ověření termické a diferenciální termické analýzy při provozní kontrole jakosti šede a tvárné litiny. Slévarenství, nr.11, 1981. P. 456...460;

[57]. Luca, E. ș.a. Analiza structurală prin metode fizice. București. Editura Academiei R.S.R. Vol. Al II-lea. 1985,

[58]. Tuller, A.G. Nondestructive Assessment of the Properties of Ductile Iron Casting. Trans. Amer. Foundry men's Soc. Proc. 84<sup>th</sup>, Annu. Meet. St. Luis. Miss. 1980. Vol.88, Des Plaines, III, 1980. p.751...768 (Ekspress informația, nr. 29, 1983, p.1...14);

[59]. Sofroni, L. și Onica, V.C. Tendințe și realizări în domeniul producției de piese turnate. Revista de Turnătorie, nr.1. 2002. P. 36...42;

[60]. Cojocaru, V. și Iosef-Mihăilescu, C. Analiza gradului de compactitate a grafitului utilizând metoda cu curenți turbionari. Metalurgia. Nr.12. 1996.p.57...61;

[61]. Kučera, P. Využití přístroje Magnatest pro zjišťování tvrdosti odlitků z tvárné litiny. Slévarenství, nr.8, 1982. P. 322...324;

[62]. Asavinei, I. și Niculescu, C. Măsurarea temperaturilor înalte – metode pirometrice. București. Editura Tehnică. 1988;

[63]. Matlab 7. The MathWorks.

[64]. Nicanor Cimpoșu și Vasile Cojocaru-Filipiuc. Aspecte ale elaborării și pachetul de programe pentru proiectarea asistată de calculator a elaborării fontei în cuptoare cu inducție, cu creuzet, Iași, Editura Universitas XXI, 2010.