

## 12. Bilanțul de materiale

Bilanțul de materiale este prezentat în tabelul 12.1.

Monooxidul de carbon – CO – ce rezultă din oxidarea carbonului se află în gaze.

Apa – H<sub>2</sub>O – conținută de materialele ce se introduc în cuptor, se evaporă și trece în gaze.

Se apreciază că toate sorturile metalice și toate materialele de corecție conțin maximum 0,5% H<sub>2</sub>O în cazul în care nu se realizează preîncălzirea sau calcinarea acestora. În acest caz particular, sorturile metalice din încărcătură aduc în cuptor o cantitate de apă dată de relația (12.1) atunci când elaborarea se face în cuptoare ce funcționează la frecvența rețelei și o cantitate de apă dată de relația (12.1) atunci când elaborarea se face în cuptoare ce funcționează la frecvența rețelei și o cantitate de apă dată de relația (12.2) atunci când elaborarea se face în cuptoare ce funcționează la frecvență medie sau mare.

$$Q_{\text{umid.s.m.f.j.}} = 0,7 \cdot \text{max. } 0,5 \quad (12.1)$$

în care  $Q_{\text{umid.s.m.f.j.}}$  reprezintă cantitatea de apă adusă în cuptor de către sorturile metalice în cazul elaborării fontei în cuptoare ce funcționează la frecvență joasă (frecvența rețelei), în kg/100 kg de încărcătură metalică; max. 0,5 – cantitatea de apă din sorturile metalice.

$$Q_{\text{umid.s.m.m.m.}} = \text{max. } 0,5 \quad (12.2)$$

în care  $Q_{\text{umid.s.m.m.m.}}$  reprezintă cantitatea de apă adusă în cuptor de către sorturile metalice în cazul elaborării fontei în cuptoare ce funcționează la frecvență medie sau mare, în kg/100 kg de încărcătură metalică.

De asemenea, se apreciază că și materialele de corecție, dacă nu sunt preîncălzite sau calcinate, aduc în cuptor max. 0,5% H<sub>2</sub>O, respectiv o cantitate de apă –  $Q_{\text{umid.m.c.}}$  –, în kg/100 kg de încărcătură metalică, dată de relația (12.3).

$$Q_{\text{umid.m.c.}} = Q_{\text{m.c.}} \frac{\text{max.}0,5}{100} \quad (12.3)$$

în care  $Q_{\text{m.c.}}$  este cel calculat cu relația (6.24).

Materialele de reducere și materialele de formare a zgurii, pot conține umiditate în proporție de max. 0,5%, ceea ce înseamnă că la bilanțul de materiale trebuie să se ia în considerație și cantitățile de apă conform relațiilor (12.3.1) și (12.3.2).

$$Q_{\text{umid.m.f.zg.}} = Q_{\text{m.f.zg.}} \frac{\text{max.0,5}}{100}, \quad (12.3.1)$$

în care  $Q_{\text{umid.m.f.zg.}}$  reprezintă cantitatea de apă adusă în cuptor de către materialele de formare a zgurii, în kg/100 kg de încărcătură metalică;  $Q_{\text{m.f.zg.}}$  – cantitatea de materiale de formare a zgurii ce se introduce în cuptor, în kg/100 kg de încărcătură metalică.

$$Q_{\text{umid.m.r.}} = Q_{\text{m.r.}} \frac{\text{max.0,5}}{100}, \quad (12.3.2)$$

în care  $Q_{\text{umid.m.r.}}$  reprezintă cantitatea de apă adusă în cuptor de către materialele reducătoare, în kg/100 kg de încărcătură metalică;  $Q_{\text{m.r.}}$  – cantitatea de materiale reducătoare introduse în cuptor, în kg/100 kg de încărcătură metalică.

În condiții de preîncălzire a materialelor ce se introduc în cuptor sau, dacă este cazul, în condiții de calcinare a unor materiale ce se introduc în cuptor, apa nu este prezentă în bilanțul de materiale.

Tabelul 12.1

**Bilanțul de materiale.**

Nr. crt.	Denumirea elementului chimic sau a compusului chimic	Intrat în cuptor din ..., în kg/100 kg de înc.met.											Obținut în cuptor sub formă de ..., în kg/100 kg de înc.met.									
		Fontă remanentă	Sorturi metalice, sm <sub>i</sub> *				Materiale de corecție, mc <sub>j</sub> **						Material de desulfurare	Alte materiale – oxigen, CCl <sub>4</sub> etc. Căpușeală refractară	Nisip sintetizat Material pentru formarea zgurii	Materiale reducătoare	Fontă Zgură	Fontă lichidă antrenată în zgură	Gaze			
			sm1	sm2	sm3	sm4	mc1	mc2	mc3	mc4	mc5	mc6										
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						0	0	0	
2	Si	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							0	0	0	
3	Mn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							0	0	0	
4	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							0	0	0	
5	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							0	0	0	
6	Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							0	0	0	
7	Ni	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							0	0	0	
8	W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							0	0	0	
9	V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							0	0	0	
10	Cu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							0	0	0	
11	Co	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							0	0	0	
12	Mo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							0	0	0	
13	Sn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							0	0	0	

Tabelul 12.1 – continuare

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
14	Bi	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o							o	o			
15	Ti	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o							o	o			
16	Al	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o							o	o			
17	Mg	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o							o	o			
18	FeO		o	o	o	o														o			
19	CO																				o		
20	SiO <sub>2</sub>															o	o			o			
21	MnO																			o			
22	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>																			o			
23	SO <sub>2</sub>																					o	
24	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>																				o		
25	NiO																				o		
26	WO <sub>2</sub>																				o		
27	MoO <sub>2</sub>																				o		
28	CoO																				o		
29	V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>																				o		
30	Cu <sub>2</sub> O																				o		
31	MgO															o	o				o		
32	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>															o	o				o		
33	SnO																				o		
34	Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>																				o		
35	TiO <sub>2</sub>															o					o		
36	CaO												o					o			o		
37	Na <sub>2</sub> O															o	o				o		
38	K <sub>2</sub> O															o	o						
39	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>															o	o						
40	CaS																				o		
41	MnCl <sub>2</sub>													o									
42	H <sub>2</sub> O		o	o	o	o										o	o					o	
43	CO <sub>2</sub>																						
44	Alți compuși chimici sau elemente chimice E <sub>k</sub> ***	E <sub>1</sub> =CaC <sub>2</sub>											o										
45		E <sub>2</sub> =O <sub>2</sub>																				o	
46		E <sub>3</sub> =																					
47		E <sub>4</sub> =																					
48		E <sub>5</sub> =																					
49	Total	kg/100 kg de încărcătură metalică	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
50		kg/cuptor	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
51	Total general:	kg/100 kg de înc.met.	Materiale intrate:														Materiale obținute						
		kg/cuptor	Materiale intrate:														Materiale obținute						

\*- sm<sub>i</sub> = sort metalic; i = 1, 2, 3, 4;

\*\* - cm<sub>j</sub> = material de corecție; j = 1, 2, 3, 4, 5, 6;

\*\*\*- E<sub>k</sub> = compus chimic sau element chimic; k = 1, 2, 3, 4, 5.

o = materialul în care este posibil să se afle elementul chimic sau compus chimic din bilanțul de materiale.

Conducerea riguroasă a unui calcul al gazelor este dificil de realizat, deoarece CO și H<sub>2</sub>O ce se degajă din cuptor, antrenează din acesta și oxigen împreună cu azot, ceea ce înseamnă că gazele conțin obligatoriu O<sub>2</sub> și N<sub>2</sub>, cantitatea acestor două elemente chimice depinzând de prezența sau nu a capacului la cuptor, frecvența curentului, capacitatea cuptorului, mărimea bucăților de sorturi metalice

etc.

În cazul în care se utilizează în încărcătura metalică materiale reducătoare, acestea generează în gaze volatile, H<sub>2</sub>O, N și CO.

În cazul în care demanganizarea se face cu CCl<sub>4</sub>, o parte din carbonul ce rezultă din reacția chimică (6.28) interacționează chimic cu FeO dizolvat în baia metalică, conform reacției chimice (6.29), formând CO ce trece în atmosfera gazoasă.

De asemenea, oxigenul ce se insuflă în baia metalică, azotul care se insuflă în baia metalică, CCl<sub>4</sub>, acolo unde este cazul, randamentele unor tratamente metalurgice etc., fac și mai relativ calculul riguros al gazelor.

Cantitatea de fontă lichidă care este antrenată în zgură, o dată cu eliminarea ei din cuptor, este de 1...3 kg/t de fontă lichidă.

Cantitatea de element chimic E<sub>i</sub> care este eliminată din cuptor o dată cu zgura – %E<sub>if.l.zgură</sub> –, în kg/100 kg de încărcătură metalică, se determină cu relația (12.4).

$$\%E_{if.l.zgură} = (0,1 \dots 0,3) \cdot \frac{\%[E_i]_{ef}}{100}, \quad (12.4)$$

în care %E<sub>if.l.zgură</sub> reprezintă proporția de element chimic E<sub>i</sub> din fontă care efectiv este elaborată – cea din coloana 19 din tabelul 12.1.

Eroarea bilanțului de materiale – ε<sub>bilanț materiale</sub> – se determină cu relația (12.5).

$$\epsilon_{bilanț \text{ de materiale}} = \frac{|\text{Cantitatea de materiale intrate} - \text{Cantitatea de materiale obținute}|}{\max(\text{Cantitatea de materiale intrate}, \text{Cantitatea de materiale obținute})} \cdot 100, \quad (12.5)$$

în care cantitățile de materiale intrate și de materiale obținute se pot exprima fie în kg/100 kg de încărcătură metalică, fie în kg/cuptor.

### **13. Controlul procesului de elaborare**

Elaborarea trebuie să asigure o serie întregă de caracteristici cum ar fi următoarele: compoziție chimică, conținut minim de gaze, conținut minim de incluziuni nemetalice, conținut minim de impurități, temperatură a băii metalice corespunzătoare, contracție liniară minimă, volum de retasură minim, tendință mică de formare a crăpăturilor la cald, fluiditate corespunzătoare, grad de compactitate al grafitului conform standardelor, grad de subrăcire la transformarea primară conform prescripțiilor, parțial caracteristici fizico-mecanice (o parte se reglează prin tratament termic), conform standardelor, parțial structură metalografică (în mare parte se reglează prin tratament termic), conform standardelor etc.

Pentru ca elaborarea să determine calitate corespunzătoare pentru toate caracteristicile anterioare se impune ca toate materialele ce se utilizează în încărcătura agregatelor de elaborare, materialele de modificare, gazele inerte de barbotare, gazele de afinare (aer, oxigen, bioxid de carbon etc.), natura căpușelii refractare a agregatelor de elaborare, a oalelor de turnare și a instalațiilor de modificare, combustibilul utilizat, aerul de combustie etc. să aibă calitatea impusă de standarde.

Caracteristicile ce definesc elaborarea alături de materialele implicate în

procesul de elaborare a fontei se interconstrucionează, elaborarea fiind un sistem de optimizare a factorilor implicați în obținerea fontei de o calitate impusă.

Controlul calității factorilor implicați în elaborare este complex, în acest paragraf reprezentându-se controlul câtorva factori metalurgici.

### **13.1. Gradul de albire al fontei**

Gradul de albire al fontei se poate aprecia cu proba pană. Proba pană simetrică ascuțită este prezentată în figura 13.1, figură în care se observă și un dispozitiv de măsurat lungimea zonei albe din secțiunea probei pană simetrice și nesimetrice.

Proba pană are dimensiunile convenționale.

Probele pană se toarnă în forme clasice (amestec de formare preparat cu argilă, bentonită etc.), amestec de formare preparat cu silicat de sodiu și întărit cu CO<sub>2</sub>, în forme coji și în forme metalice, fără răcitor (cu vârful ascuțit) și cu răcitor (proba pană nu are vârful ascuțit, răcitorul aplicându-se frontal, pe vârful plat).

Probele pană ascuțite (simetrice sau asimetrice) se utilizează, în principiu, pentru analiza fontelor hipoeutectice.



**Figura 13.1. Proba pană și rigla gradată specială de măsurare a lungimii zonei albe din ruptura probei pană.**

Proba pană reprezintă expresia influenței vitezei de răcire asupra transformărilor primară și secundară, așa încât, în zona groasă se întâlnește fontă cenușie cu structură grosolană și matrice metalică feritică sau preponderent feritică, în funcție de compoziția chimică a fontei, în zona cu grosime mijlocie se întâlnește fontă cenușie cu structură fină și matrice metalică perlitică sau preponderent perlitică (în aceste două zone culoarea rupturii este cenușie), în zona cu grosime mică se întâlnește fontă pestriță cu structură fină și matrice metalică perlitică (culoarea rupturii este eterogenă, existând zone punctiforme de culoare albă alternând cu zone punctiforme de culoare cenușie) și în zona vârfului probei pană se întâlnește fontă albă cu structură fină și fond metalic perlitic (culoarea este albă – argintie).

Aprecierea calității fontei se face fie prin înălțimile zonelor de fontă albă și pestriță, fie prin lățimile maxime ale zonelor de fontă albă și pestriță.

Proba pană simetrică ascuțită are lungimea ( $l$ ), iar secțiunea triunghiulară are înălțimea ( $h$ ) și lățimea – baza – ( $b$ ).

Pentru fontele nealiate ce conțin o cantitate de carbon și siliciu (împreună) cuprinsă în intervalul 3,7...4,5, se prezintă, de exemplu, în tabelul 13.1,

dimensiunile probelor și înălțimea zonei de fontă albă.

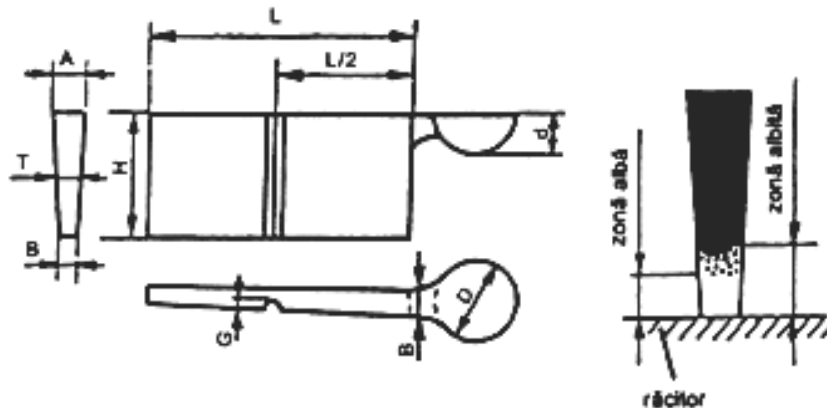
În turnătorii se pot trasa diagrame (de exemplu, interdependența dintre zona albă și gradul de saturație în carbon etc.), nomograme (de exemplu, interdependența dintre cantitatea de fontă pe de o parte, și cantitatea de FeSi75 ce trebuie adăugată în baia metalică, alături de creșterea gradului de saturație în carbon –  $\Delta S_C$  –, pe de altă parte etc.), tabele (de exemplu corelarea lungimilor zonelor albe cu sumele dintre conținuturile de carbon și siliciu) etc.

Tabelul 13.1

**Dimensiunile probelor pană simetrice ascuțite pentru diverse fonte**

Tipul de probă pană	Dimensiuni, în mm			Domeniile de utilizare – C+Si, în %	Înălțimea zonei albe (cu fontă albă), în mm
	h	b	l		
I	24	12	180	4,3...4,5	15...30
II	50	25	180	4,1...4,3	30...50
III	70	35	180	3,9...4,1	50...70
IV	100	50	180	3,7...3,9	70...90

Pentru fontele eutectice, hipereutectice și chiar hipoeutectice cu gradul de saturație în carbon ( $S_C$ ) mai mare de 0,95, se utilizează probe pană simetrice cu vârful plat turnate pe răcitor, așa cum se prezintă în figura 13.2 și în tabelul 13.2, conform standardului ASTM nr. A 469-55 T (probele pană simetrice cu vârful ascuțit nu mai sunt reprezentative – fonta albă nu mai apare în zona vârfului ascuțit).



**Figura 13.2. Proba pană simetrică cu vârful plat turnată pe răcitor.**

Probele pană trebuie utilizate în mod oportun, într-un timp foarte mic, cu scopul intervenirii spre corectarea compoziției chimice în agregatul de elaborare sau în oala de turnare, spre inocularea suplimentară sau chiar spre modificarea suplimentară etc. De aceea, după solidificare, probele pană se dezbat, se răcesc în apă până la temperatura de circa 20°C, după care se măsoară cu rigla gradată specială (în prealabil, în vederea măsurării, probele pană se secționează).

Proba pană este prevăzută de regulă cu o canelură pe una din fețe cu lățimea de circa 10 mm, adâncimea de maximum 3 mm și lungimea de maximum 0

doime din înălțimea probei pană – canelura este amplasată în zona grosă a probei pană – cu scopul spargerii ușoare cu ajutorul unui ciocan clasic.

În practică, prezintă interes ca piesele turnate să nu aibă pereți din fontă albă sau pestriță, situație în care prelucrarea mecanică este dificilă sau imposibilă prin mijloace clasice. De aceea, în timpul elaborării se toarnă proba pană, măsurându-se grosimea probei, în ruptură, la limita unde se termină fonta cenușie – această grosime trebuie să fie mai mică decât grosimea cea mai mică a pereților pieselor ce trebuie turnate. Dacă această inegalitate nu este realizată, este posibil ca tot lotul de piese turnate să fie compromis, de aceea impunându-se măsuri de corectare a compoziției chimice pentru ca inegalitatea menționată anterior să fie îndeplinită.

Tabelul 13.2

**Dimensiunile probelor pană simetrice cu vârful plat, turnate pe răcitor și înălțimea zonei albe**

Tipul de probă pană	Dimensiuni, în mm, conform figurii 13.2								Înălțimea zonei albe, în mm
	T	A	B	H	L	D	d	G	
1C	5	6	3	31	62	19	12	0,8	2...9
2C	6	8	5	37	75	22	12	0,8	3...12
3C	9	11	8	45	88	22	12	1,6	4...18
4C	12	14	11	50	100	25	16	1,6	6...24
5C	18	21	18	62	125	25	16	2,4	9...36

Probele pană trebuie turnate în aceleași condiții de răcire ca și piesele în forme, în principiu.

**13.2. Temperatura lichidus și solidus (eutectică)**

Aceste două temperaturi se determină din curbele de răcire, mai precis din punctele de inflexiune. În figura 13.3 se prezintă o curbă de răcire la care se observă temperatura lichidus, temperatura eutectică de echilibru, subrăcirea eutectică și intervalul de solidificare (pentru o fontă hipoeutectică). Temperaturii lichidus (sau mai precis, diferenței de temperatură  $\Delta T = T_L - T_E$  – figura 13.3), îi corespunde un carbon echivalent,  $C_{echiv}$ , ce dă informații importante despre compoziția chimică.

Pentru trasarea curbelor de răcire se utilizează euctometre, cum este, de exemplu cel de tip TECTIP, prezentat în figura 13.4, ce se cuplează la un aparat înregistrator, [40], [55], [56].

**13.3. Compoziția chimică**

Compoziția chimică se analizează prin analiză fizică spectrală sau prin analiză chimică clasică.

**13.4. Structura metalografică**

Structura metalografică se analizează la microscop pe probe prelevate de regulă din epruvetele utilizate pentru determinarea rezistenței la tracțiune, [57].

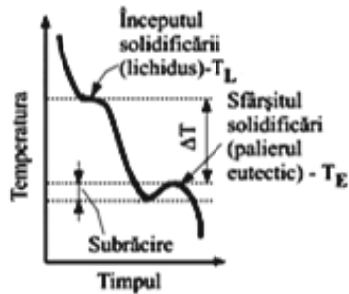


Figura 13.3. Curba de răcire a unei fonte hipoeutectice.  $T_L$  – temperatura liniei lichidus;  $T_E$  – temperatura eutectică;  $\Delta T$  – intervalul de solidificare.

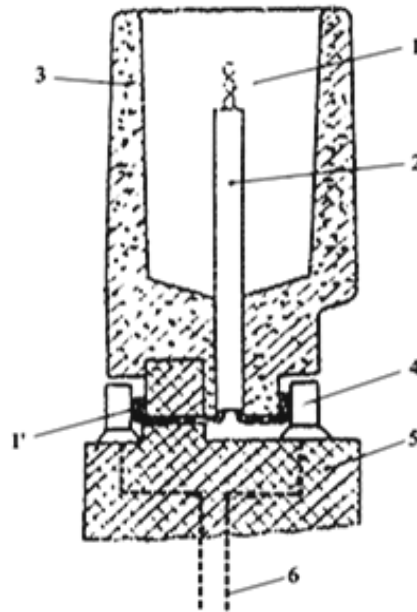


Figura 13.4. Euctometru pentru trasarea curbelor de răcire. 1 – termocuplu cromel-alumel; 1' – termocuplu; 2 – teacă ceramică; 3 – pahar de amestec de formare; 4 – ghidaje; 5 – suport de material plastic; 6 – cablu de compensație.

### 13.5. Forma grafitului

Controlul cu ultrasunete determină punerea în evidență a formei grafitului datorită legăturii acesteia cu viteza de propagare a sunetului. Trecerea de la grafitul lamelar la grafitul nodular este sesizată de mărirea vitezei de propagare a sunetului. Astfel, grafitul lamelar determină viteze de 3400...4600 m/s, grafitul compact/vermicular de 5100...5400 m/s, în timp ce grafitul nodular determină o viteză de propagare a sunetului de 5 500...5 800 m/s, [8], [58], [59].

Forma grafitului se poate determina și prin măsurarea volumului de retasură. Volumul de retasură se corelează direct cu contracția, adică cu forma grafitului. Astfel, se folosește o formă cu o cavitate cilindrosferică (o sferă cu diametrul de 100 mm și un cilindru perpendicular pe sferă cu diametrul de 3,5 mm și lungimea de circa 270 mm). Se măsoară micșorarea înălțimii fontei din proba cilindrică și apoi se calculează volumul de retasură cu o formulă empirică, [15]. Astfel, în cazul fontei cu grafit lamelar, volumul de retasură este de max. 6%, în cazul fontei cu grafit compact/vermicular volumul de retasură de 6...9% iar în cazul fontei cu grafit nodular volumul de retasură este mai mare de 9%.

Indirect, gradul de compactitate a grafitului se poate determina prin măsurarea rezistivității electrice a fontei ce este în interdependență cu cantitatea de magneziu remanent (dependență liniară). Pe măsură ce cantitatea de magneziu se mărește are loc micșorarea rezistivității electrice, [15].

Dacă se măsoară curenții induși, dintr-o piesă și se compară cu respectivii curenți dintr-o piesă de referință, se pot obține informații despre gradul de compactitate a grafitului, natura matricei metalice și duritate, [60]. [61].



Gradul de compactitate al grafitului, alături de natura matricei metalice și caracteristicile mecanice de rezistență sunt în interdependență cu o serie de proprietăți magnetice (inducția maximă, inducția remanentă, câmpul coercitiv, permeabilitatea diferențială etc.), [40].

### **13.6. Fluiditatea**

Cea mai utilizată probă pentru determinarea fluidității este proba spirală. Practic se măsoară lungimea parcursă de fonta lichidă până la solidificare (distanța dintre două noduri de spirală este de 50 mm).

### **13.7. Temperatura**

Temperatura se măsoară cu termometre bazate pe schimbarea volumului, a presiunii sau a stării fizice a fluidelor, cu termometre având rezistență electrică bazate pe modificarea rezistenței electrice a corpului, pirometre termoelectrice bazate pe efectul de generare a unei tensiuni electrice la punctul de sudură între două metale (termocupluri), pirometre bazate pe radiația termică a corpurilor (pirometre optice, monocromatice, pirometre de radiație totală, pirometre de culoare) etc., [62]).

### **13.8. Conținuturile de carbon echivalent și de siliciu**

Conținuturile de carbon echivalent și de siliciu se determină cu aparate rapide livrate de firmele Electro-Nite (Belgia), Elnilab (Italia), Leeds Northrup (S.U.A.) etc.

### **13.9. Conținutul de oxigen din metal**

Conținutul de oxigen se determină cu aparat tip Leco, de exemplu, ce analizează conținutul de oxigen între limitele 1...1 000 ppm. Analiza are loc în 35 s.

### **13.10. Conținutul de azot**

Conținutul de azot se poate determina, de exemplu, cu un aparat de analiză rapidă de tip TN – 15, în 50 s, pentru conținuturi de azot de 1...2 000 ppm.

### **13.11. Conținutul de hidrogen**

Conținutul de hidrogen se determină rapid cu un aparat de tip RH-2, în 3 min, în domeniul 0,01...60 ppm.

### **13.12. Controlul sumar, vizual, al calității zgurii**

Culoarea deschisă a zgurii – culoarea gălbuie – este dată de o cantitate mică de oxizi de fier.

Culoarea neagră a zgurii este explicată de un conținut mare al zgurii în oxizi de fier.

Un conținut mare de MnO în zgură, conferă acesteia o culoare brună.

Cantități mari de oxizi bazici (CaO și MgO) în zgură, conduc la trecerea zgurii de la un aspect sticlos la o spărtură mată.

#### 14. Bilanțul termic

Bilanțul termic pentru elaborarea fontei în cuptorul electric cu încălzire prin inducție, cu creuzet, se deosebește de bilanțul termic al cuptoarelor pentru care sursa de căldură este dată de arderea unui combustibil.

Elementul de pornire pentru calculul bilanțului termic este puterea nominală.

De regulă, puterea nominală se asociază capacității nominale a cuptorului.

În tabelul 14.1 se prezintă corespondența între capacitatea nominală a cuptorului și puterea nominală a sursei, precum și valori estimative ale frecvenței curentului, perioadei de topire și consumului specific de energie electrică, [42]. Tabelul 14.1 este un tabel cu valoare extinsă deoarece limitele menționate pot fi depășite prin extrapolare.

Tabelul 14.1

**Corespondența între capacitatea nominală a cuptoarelor și puterea nominală a sursei și alte date tehnice.**

Capacitatea nominală a cuptorului, în kg	Frecvența, în Hz	Puterea nominală a sursei, în kW	Perioada de topire, în min.	Consumul 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	60...40	800...2.000
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
12.000	50	2800	118	460
15.000	50	3300	129	475
20.000	50	4000	144	480
30.000	50	6000	144	480

În tabelul 14.2 se prezintă corespondența între capacitatea nominală a cuptorului și puterea nominală a sursei, împreună cu productivitatea cuptorului și consumul specific de energie electrică, în cazul cuptoarelor alimentate cu frecvență industrială (50 Hz).

Tabelul 14.2

**Corespondența capacitate nominală a cuptorului-putere nominală a sursei, în cazul cuptoarelor alimentate cu frecvență industrială (50 Hz), împreună cu productivitatea cuptorului și consumul specific de energie electrică.**

Capacitatea nominală a cuptorului, în kg	Puterea nominală a sursei, în kW	Productivitatea cuptorului, în t/h	Consumul de energie electrică, în kWh/t
0,5...31,0	90...5.000	0,1...11,0	530...590

În tabelul 14.3 se prezintă corespondența între capacitatea nominală a cuptorului și puterea nominală a sursei, alături de productivitatea cuptorului, în

cazul unor cuptoare personalizate.

Tabelul 14.3

**Correspondența capacitate nominală a cuptorului-putere nominală a sursei, alături de productivitatea cuptorului și frecvența rețelei, în cazul unor cuptoare personalizate.**

Capacitatea nominală a cuptorului, în kg	Puterea nominală a sursei, în kW	Productivitatea cuptorului, în kg/h	Frecvența, în Hz
2000	500	2000...4000	50
3500	800...850	5000...7000	50
6300	1200	6000...10000	50
12500	2200	12000...16000	50
20000	4000	20000...25000	50
75	100	150	8000
100	125	170	2500
160	125	170	2500
250	300	375	2500
400	300	375	2500
1000	600	700	2500
1000	600	700	2500

Cantitatea de căldură necesară elaborării se numește căldură utilă –  $Q_{util}$ .

În timpul elaborării, au loc procese exoterme și procese endoterme.

Se convine să se noteze cu semnul minus căldura ce provine din procesele exoterme și cu semnul plus căldura ce provine din procesele endoterme.

Căldura care se „asociază” cu procesul de elaborare se manifestă prin următoarele forme:

#### **14.1. Căldura utilă – căldura necesară elaborării**

Căldura utilă este formată din următoarele categorii de energie termică:

##### **14.1.a. Căldura utilă pentru topirea și supraîncălzirea fontei**

Se notează cu  $Q_{util,fontă\ f.m.}$  căldura utilă pentru topirea și supraîncălzirea fontei, aceasta calculându-se cu relația (14.1), în cazul în care elaborarea fontei se realizează în cuptoare ce funcționează cu frecvență medie sau mare.

$$Q_{util,fontă\ f.m.} = c_f \cdot Q_{efectiv} \quad (14.1)$$

în care  $Q_{util,fontă\ f.m.}$  se exprimă în kJ/cuptor;  $c_f$  – căldura specifică pentru topirea și supraîncălzirea fontei, în kJ/kg de fontă;  $Q_{efectiv}$  – capacitatea efectivă a cuptorului, în kg.

$c_f$  se calculează cu relația (14.2), [65], [66].

$$c_f = c_{p,i.s.}(1150 - T_{i,i.s.}) + L_f + c_{p,f.l.}(T_{f,l.s.} - 1150), \quad (14.2)$$

în care  $c_{p,i.s.}$  reprezintă căldura specifică la presiune constantă a încărcăturii metalice solide – din tabelul 14.4 – kJ/kg.°C; 1150 – temperatura eutectică medie,

în °C;  $T_{i.s.}$  – temperatura inițială a încălzirii metalice solide, în °C – se consideră mai mare de 0 °C;  $L_f$  – căldura latentă de topire a fontei, în kJ/kg de fontă – se consideră valoarea medie  $L_f = 272$  kJ/kg de fontă,  $c_{p.f.l.}$  – căldura specifică, la presiune constantă, a fontei în stare lichidă, în kJ/kg · °C – se consideră valoarea medie  $c_{p.f.l.} = 0,960$  kJ/kg · °C;  $T_{f.l.s.}$  – temperatura de supraîncălzire a fontei în stare lichidă, în °C.

În vederea utilizării unităților de măsură omogene se utilizează următoarele echivalențe:

$$1 \text{ kcal} = 4,1855 \cdot 10^3 \text{ J} \quad (14.3)$$

$$1 \text{ J} = 0,24 \cdot 10^{-3} \text{ kcal} \quad (14.4)$$

Cantitatea de fontă  $M$  este de regulă egală cu capacitatea nominală a cuptorului, însă poate fi egală cu capacitatea efectivă a cuptorului – în cazul în care capacitatea efectivă a cuptorului este mai mică decât capacitatea nominală a cuptorului, cresc semnificativ pierderile de energie, respectiv crește costul fontei elaborate.

De exemplu, dacă  $T_{i.s.} = 19^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{f.l.s.} = 1450^{\circ}\text{C}$ ;  $M = 10.000$  kg;

$Q_{\text{util. fontă f.m.}} = [0,67(1150-19) + 272 + 0,96(1450-1150)] \cdot 10.000 = 13.177.700$  kJ/cuptor = 3162,65 kcal/cuptor.

În cazul în care elaborarea se face în cuptoare ce funcționează la frecvența rețelei, căldura utilă pentru topirea și supraîncălzirea fontei –  $Q_{\text{util. fontă f.r.}}$  –, în kJ/cuptor, se determină cu relația (14.5).

$$Q_{\text{util. fontă f.r.}} = \frac{Q_{\text{efectiv}}}{100} [30 \cdot c_{p.f.l.} (T_{f.l.s.} - T_{f.rem.}) + 70 \cdot c_f], \quad (14.5)$$

în care  $Q_{\text{efectiv}}$  reprezintă capacitatea efectivă a cuptorului, în kg;  $c_{p.f.l.}$  – căldura specifică la presiune constantă, a fontei lichide remanente, în kJ/kg·°C – se poate considera valoarea medie 0,960 kJ/kg·°C;  $T_{f.rem.}$  – temperatura fontei remanente, în °C;  $c_f$  – căldura pentru topirea și supraîncălzirea fontei, în kJ/kg fontă.

De exemplu, dacă  $Q_{\text{efectiv}} = 10.000$  kg;  $c_{p.f.l.} = 0,960$  kJ/kg·°C;  $T_{rem.} = 1.300$  °C;  $c_f = 1.317$  kJ/kg de fontă;  $Q_{\text{util. fontă f.r.}} = \frac{10.000}{100} [30 \cdot 0,960(1450 - 1300) + 70 \cdot 1317] = 9.651.000 \frac{\text{kJ}}{\text{cuptor}} = 2.316,24 \frac{\text{kcal}}{\text{cuptor}}$ . S-a folosit, pentru comparație, în ultimele două exemple, aceeași capacitate efectivă a cuptorului, adică de 10.000 kg. Se observă cum cantitatea de căldură necesară topirii și supraîncălzirii fontei în cuptoare ce funcționează la frecvența rețelei, este mai mică decât cantitatea de căldură necesară topirii și supraîncălzirii fontei în cuptoare ce funcționează la frecvență medie sau mare, explicația bazându-se pe faptul că la cuptoarele ce funcționează la frecvența rețelei, fonta remanentă este deja lichidă –  $9.651.000$  kJ/cuptor <  $13.177.700$  kJ/cuptor.

#### **14.1.b. Căldura utilă pentru asimilarea materialelor de corecție**

Acest tip de căldură este dificil de calculat din cauză că există materiale de corecție a căror temperatură de topire este mai mare decât temperatura băii metalice dar care se dizolvă în baia metalică cu efect endoterm sau exoterm. Căldura de dizolvare este mai puțin cunoscută în literatura de specialitate. Dacă dizolvarea materialelor de corecție este cu efect exoterm, căldura de dizolvare trebuie să figureze cu semnul minus.

Într-o primă aproximație, căldura utilă pentru asimilarea materialelor de corecție –  $Q_{util\ m.c.}$  –, în kJ/cuptor, se determină cu relația (14.6).

$$Q_{util\ m.c.} = \frac{Q_{efectiv}}{100} \cdot Q_{m.c.} \cdot c_{m.c.}, \quad (14.6)$$

în care,  $Q_{efectiv}$  reprezintă capacitatea efectivă a cuptorului și se exprimă în kg;  $Q_{m.c.}$  – cantitatea de material de corecție, în kg/100 kg de încărcătură metalică, calculat cu relația (6.24);  $c_{m.c.}$  – căldura de mărire a temperaturii materialului de corecție, până la temperatura fontei lichide supraîncălzite – se determină cu relația (14.7).

Dacă temperatura de topire a materialului de corecție este mai mică decât temperatura fontei lichide supraîncălzite, pentru calculul  $c_{m.c.}$  se utilizează relația (14.7).

$$c_{m.c.} = c_{p.m.c.}(T_{f.l.s.} - T_{i.m.c.}) + c_{p.m.c.}(T_{t.m.c.} - T_{f.l.s.}), \quad (14.7)$$

în care  $c_{m.c.}$  se exprimă în kJ/kg de material de corecție;  $c_{p.m.c.}$  – căldura specifică la presiune constantă a materialului de corecție – valorile medii ale materialelor de corecție sunt prezentate în tabelul 14.4, [5], [63], [64], [67], [17], [18] – în kJ/kg·°C;  $T_{f.l.s.}$  – temperatura fontei lichide în stare supraîncălzită, °C;  $T_{i.m.c.}$  – temperatura inițială a materialului de corecție, în °C – se consideră mai mare de 0 °C;  $T_{t.m.c.}$  – temperatura de topire a materialului de corecție, în °C.

În cazul în care temperatura de topire a materialului de corecție este mai mică decât temperatura fontei lichide supraîncălzite – a se vedea tabelul 14.5 –,  $c_{m.c.}$  se calculează, estimativ, cu relația (14.8).

$$c_{m.c.} = c_{p.m.c.}(T_{t.m.c.} - T_{i.m.c.}) + L_{m.c.} + c_{p.m.c.}(T_{f.l.s.} - T_{t.m.c.}) \quad (14.8)$$

în care  $T_{t.m.c.}$  reprezintă temperatura de topire a materialului de corecție, în °C;  $L_{m.c.}$  – căldura latentă de topire a materialului de corecție, în kJ/kg de material de corecție.

Tabelul 14.4

**Căldura specifică la presiune constantă, căldura latentă de topire și temperatura de topire pentru diferite materiale.**

Denumirea materialului	Caracteristica			
	Căldura specifică la presiune constantă, în cal/g·°C (valoare medie)**	Căldura latentă de topire, în kcal/kg	Temperatura de topire, în °C	Temperatura de vaporizare (fierbere), în °C
0	1	2	3	4
Aluminiu – Al	0,222	94	660,2	2060
Cobalt – Co	0,099	59	1490	3185
Crom – Cr	0,110	75	1920	2327
Cupru – Cu	0,092	50,7	1083	2595
Fier – Fe	0,110	64,6	1535	2730
Magneziu – Mg	0,250	89,1	650	1102
Mangan – Mn	0,115	64	1247	2090
Molibden – Mo	0,061	70	2620	4800
Nichel – Ni	0,110	74,1	1455	3100
Siliciu – Si	0,162	334	1440	2630

Tabelul 14.4 – continuare

0	1	2	3	4
Staniu – Sn	0,055	13,5	231,9	2270
Titan – Ti	0,120	91	1727	>3000
Vanadiu – V	0,120	99,6	1720	3000
Wolfram – W	0,032	44	3380	6000
Fosfor – P	0,203	4,8	44,2	280
Carbon – C	0,259	l.d.	3727	4830
Sulf – S	0,175	1,1	119	444,6
Calciu – Ca	0,150	52,4	838	1440
Bismut – Bi	0,034	12,4	271	1560
FeO	0,176	l.d.	1377	l.d.
SiO <sub>2</sub>	0,211	l.d.	1710	2230
MnO	0,159	l.d.	1585	l.d.
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,368*	l.d.	563	l.d.
SO <sub>2</sub>	0,163	l.d.	l.d.	l.d.
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,68	l.d.	2140	l.d.
O	0,218	3,31	-218,8	-183
NiO	0,168	l.d.	1990	l.d.
WO <sub>2</sub>	0,060	l.d.	l.d.	l.d.
MoO <sub>2</sub>	0,098	l.d.	l.d.	l.d.
CoO	0,124	l.d.	l.d.	l.d.
CO	0,253	l.d.	-207	-192
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,150	l.d.	1970	l.d.
Cu <sub>2</sub> O	0,120	l.d.	l.d.	l.d.
MgO	0,245	l.d.	2800	3600
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,220	l.d.	2050	2250
SnO	0,6	l.d.	l.d.	l.d.
Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,052	l.d.	820	l.d.
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,176	l.d.	1565	l.d.
CaO	0,199	l.d.	2572	2850
Na <sub>2</sub> O	0,271	l.d.	l.d.	l.d.
K <sub>2</sub> O	0,178	l.d.	l.d.	l.d.
CaS	0,162	l.d.	l.d.	l.d.
MnCl <sub>2</sub>	0,116	l.d.	l.d.	l.d.
TiO <sub>2</sub>	0,168	l.d.	1640	l.d.
SnO	0,080	l.d.	l.d.	l.d.
CaC <sub>2</sub>	0,252	l.d.	l.d.	l.d.
MnS	0,137	l.d.	1620	l.d.
Clor – Cl	0,116	21,72	101	-34,7
Potasiu – K	0,17	14,1	63,7	760
Sodiu – Na	0,29	26,97	97,8	892
Oțel cu conținut de carbon de max. 0,35%C, în stare solidă	0,112	l.d.	l.d.	l.d.
Oțel cu conținut de carbon cuprins între limitele 0,35...0,45%, în stare solidă	0,114	l.d.	l.d.	l.d.
Oțeluri aliate complex, în stare solidă	0,110...0120	l.d.	l.d.	l.d.

Tabelul 14.4 – continuare

0	1	2	3	4
Fontă cenușie cu grafit lamelar, în stare solidă	0,110...0,130	l.d.	l.d.	l.d.
Fontă în stare lichidă	0,23	l.d.	l.d.	l.d.
Fontă cu grafit nodular, în stare solidă	0,130...0,170	l.d.	l.d.	l.d.
Cocs metalurgic	0,190	l.d.	l.d.	l.d.
Calcar (fondanți, în general)	0,190	l.d.	l.d.	l.d.
Fontă maleabilă, în stare solidă	0,110...0,120	l.d.	l.d.	l.d.
Fontă aliată cu siliciu, în stare solidă	0,130	l.d.	l.d.	l.d.
Fontă aliată cu nichel, în stare solidă	0,110...0,120	l.d.	l.d.	l.d.

l.d. – lipsă de date

\* – estimativ

\*\* – căldura specifică la presiune constantă a materialelor care nu figurează în tabelul 14.4, se calculează prin regula activității, reprezentată de relația (14.8.1), [16].

$$c_{p_m} = \frac{\sum_{i=1}^n (\%E_i \cdot c_{p_i})}{100}, \quad (14.8.1)$$

în care  $c_{p_m}$  reprezintă căldura specifică la presiune constantă a materialului în cal/g·°C;  $\%E_i$  – proporția de element  $E_i$  din material (proporția gravimetrică);  $c_{p_i}$  – căldura specifică la presiune constantă a elementului  $E_i$  din material, exprimată în cal/g·°C.

Exemplul 1. Pentru ferosiliciu cu 75% siliciu, format din 75% Si și 25% Fe, căldura specifică la presiune constantă are valoarea următoare:  $c_{p_{FeSi75}} = \frac{\%Fe \cdot c_{p_{Fe}} + \%Si \cdot c_{p_{Si}}}{100} = \frac{25 \cdot 0,110 + 75 \cdot 0,162}{100} = 0,149$  cal/g·°C.

Exemplul 2. Pentru o zgură care conține 65% SiO<sub>2</sub>; 20% FeO; 10% MnO; 5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, căldura specifică la presiune constantă are valoarea următoare:  $c_{p_{zgură}} = \frac{\%SiO_2 \cdot c_{p_{SiO_2}} + \%FeO \cdot c_{p_{FeO}} + \%MnO \cdot c_{p_{MnO}} + \%Al_2O_3 \cdot c_{p_{Al_2O_3}}}{100} = \frac{65 \cdot 0,211 + 20 \cdot 0,176 + 10 \cdot 0,159 + 5 \cdot 0,220}{100} = 0,199$  cal/g·°C.

Exemplul 3. Pentru SnO<sub>2</sub>,  $c_{p_{SnO_2}}$  are valoarea următoare:

$$c_{p_{SnO_2}} = \frac{\%Sn \cdot c_{p_{Sn}} + \%O \cdot c_{p_{O}}}{100} = \frac{\frac{M_{Sn} \cdot 100}{M_{SnO_2}} \cdot c_{p_{Sn}} + \frac{M_O \cdot 100}{M_{SnO_2}} \cdot c_{p_O}}{100} = \frac{\frac{118,6 \cdot 100}{150,6} \cdot 0,055 + \frac{16 \cdot 100}{150,6} \cdot 0,218}{100} =$$

0,066 cal/g·°C, în care  $M_{Sn}$ ,  $M_O$ ,  $M_{SnO_2}$  reprezintă masele atomice, respectiv moleculară ale Sn, O și, respectiv, SnO<sub>2</sub>. Prin urmare, trebuie să se țină seama de compoziția „stoechiometrică” a compusului chimic respectiv.

În cazul în care căldura latentă de topire nu se cunoaște, se determină cu regula activității, cu o formulă asemănătoare relației (14.8.1) – (14.9).

$$L_m = \frac{\sum_{i=1}^n (\%E_i \cdot L_i)}{100} \quad (14.9)$$

De exemplu, pentru FeSi75 de la cazul exemplului 1, anterior,  

$$L_{\text{FeSi75}} = \frac{\% \text{Fe} \cdot L_{\text{Fe}} + \% \text{Si} \cdot L_{\text{Si}}}{100} = \frac{25 \cdot 64,6 + 75 \cdot 334}{100} = 266,65 \text{ kcal/kg de FeSi75} = 1116,06 \text{ kJ/kg de FeSi75.}$$

În tabelul 14.5 se prezintă intervalul de solidificare, temperatura de topire și densitatea pentru câteva feroaliaje și prealiaje.

Tabelul 14.5

**Intervalul de solidificare și temperatura de topire și densitatea pentru câteva feroaliaje și prealiaje.**

Tipul feroaliajului	Intervalul de solidificare, în °C	Temperatura de topire, în °C*	Densitatea, în g/cm <sup>3</sup>
FeCr70 ce conține 0,2%C	1520...1600	–	7,31...7,36
FeCr70 ce conține 0,2%...0,5C	1500...1580	–	7,31...7,36
FeCr70 ce conține 0,5...0,7 %C	1470...1530	–	7,31...7,36
FeCr70 ce conține 0,7...1,0%C	1470...1530	–	7,31...7,36
FeCr70 ce conține 1,0...2,0%C	1460...1500	–	7,10...7,30
FeSi45	1270...1350	–	5,1
FeSi75	1250...1340	–	2,9
FeSi90 ce conține max. 1,0%C	1300...1400	–	2,4
SiMn20 ce conține 70% Mn	1072...1320	–	6,3
FeW80 ce conține 1,0%C	l.d.	2000	15,4
FeMo70 ce conține 0,1%C	1580...1620	–	9,4
FeW	1650...2100	–	15,4
SiMn	1130...1235	–	6,3
FeW	1650...2100	–	15,4
FeMo	1550...2000	–	9,4
FeMn	1150...1220	–	7,5
SiMn	1130...1235	–	6,3
FeV	1560...1770	–	6,4...6,9
FeVSi	1250...1400	–	l.d.
FeTi ce conține max. 48%Ti	1310...1500	–	5,5...6,2
FeTi ce conține 70% Ti	1070...1135	–	5,6
FeSi	1260...1300	–	5,8
Crom tehnic	–	1830	7,2
Mangan tehnic	1220...1240	–	7,2
Cobalt tehnic	–	1490	8,9
Siliciu tehnic	–	1410	2,3
Nichel tehnic	–	1450	8,8
Cupru tehnic	–	1083	8,9

l.d. – lipsă de date

\* – estimativ



#### **14.1.c. Căldura utilă pentru interacțiunea chimică a unor materiale cu fazele metalică și nemetalică**

Acest tip de căldură se referă la cantitatea de căldură necesară încălzirii materialelor introduse în cuptor cu scopul de interacțiune cu fazele metalică și nemetalică, de la temperatura inițială a lor la temperatura fontei lichide supraîncălzite – se determină cu relația (14.10)

$$Q_{\text{util m.i.c.}} = \frac{Q_{\text{efectiv}}}{100} \cdot Q_{\text{m.i.c.}} \cdot c_{\text{m.i.c.}}, \quad (14.10)$$

în care,  $Q_{\text{util m.i.c.}}$  reprezintă cantitatea de căldură necesară încălzirii materialelor de interacțiune chimică ce se introduc în cuptor, în kJ/cuptor;  $Q_{\text{efectiv}}$ , în kg;  $Q_{\text{m.i.c.}}$  – cantitatea de materiale ce se introduc în cuptor cu scopul interacțiunii chimice cu baia metalică, în kg/100 kg de încărcătură metalică;  $c_{\text{m.i.c.}}$  – căldura de mărire a temperaturii materialelor de interacțiune chimică de la temperatura lor inițială la temperatura fontei lichide supraîncălzite, în kJ/kg de material de interacțiune chimică – relația (14.11).

$$c_{\text{m.i.c.}} = c_{p_{\text{m.i.c.}}} (T_{\text{f.l.s.}} - T_{\text{i.m.i.c.}}), \quad (14.11)$$

în care  $c_{p_{\text{m.i.c.}}}$  reprezintă căldura specifică a materialelor de interacțiune chimică ce se introduc în cuptor, în kJ/kg·°C – tabelul 14.4;  $T_{\text{i.m.i.c.}}$  – temperatura inițială a materialelor de interacțiune chimică – se consideră mai mare de 0 °C.

Ca materiale de interacțiune chimică se enumeră următoarele: desulfuranți (carbid, de exemplu), demanganizanți ( $\text{CCl}_4$ , de exemplu), reducători (grafit, cocs, carbură de siliciu, de exemplu) etc.

#### **14.1.d. Căldura utilă pentru diluarea fontei lichide**

În principiu, diluarea fontei lichide este dificil de efectuat deoarece din cuptor trebuie să se evacueze o cantitate de fontă lichidă egală cu cantitatea de material de diluare.

Pe de altă parte, dacă se simulează pe calculator elaborarea fontei, ceea ce înseamnă că se poate anticipa diluarea fontei lichide, circumstanțe în care se utilizează o capacitate efectivă a cuptorului mai mică decât capacitatea nominală a cuptorului.

În cazul în care se elimină din cuptor o cantitate de fontă lichidă egală cu cantitatea de material de aliere, cantitatea de căldură utilă necesară diluării –  $Q_{\text{util.dil.}}$  –, în kJ/cuptor, se determină cu relația (14.12).

$$Q_{\text{util dil.}} = \frac{Q_{\text{efectiv}}}{100} \cdot \%m.d. \cdot c_{\text{m.d.}}, \quad (14.12)$$

în care,  $Q_{\text{efectiv}}$  se exprimă în kg;  $\%m.d.$  – proporția de material de diluare;  $c_{\text{m.d.}}$  – căldura pentru topirea și supraîncălzirea materialului de diluare, în kJ/kg de material de diluare – relația (14.13).

$$c_{\text{m.d.}} = c_{p_{\text{m.d.}}} (T_{\text{f.l.s.}} - T_{\text{i.m.d.}}), \quad (14.13)$$

în care  $c_{p,m.d.}$  reprezintă căldura specifică a materialului de diluare, în stare solidă, în kJ/ kg·°C – tabelul 14.4 ;  $T_{i,m.d.}$  – temperatura inițială a materialului de diluare, în °C.

În general, se folosesc pentru diluare oțeluri cu conținut mic de carbon.

De exemplu, dacă  $Q_{efectiv} = 10.000$  kg; % m.d. =20;  $c_{p,m.d.} = 0,112$  cal/g·°C;  $T_{f.s.l.} = 1.450$  °C;  $T_{i,m.d.} = 20$  °C;  $Q_{util\ dil.} = \frac{10.000}{100} \cdot 20 \cdot 0,468(1450-20) = 1.338.480$  kJ/cuptor. 0,468 provine de la transformarea cal/g·°C, în kJ/kg·°C.

#### **14.1.e. Căldura utilă pentru topirea și supraîncălzirea zgurii**

Cantitatea de căldură utilă necesară topirii și supraîncălzirii zgurii –  $Q_{util\ zgură}$  –, în kJ/cuptor, se calculează cu relația (14.14).

$$Q_{util\ zgură} = \frac{Q_{efectiv}}{100} \cdot Q_{zgură} \cdot c_{zg.}, \quad (14.14)$$

în care  $Q_{efectiv}$  se exprimă în kg;  $Q_{zgură}$  – cantitatea de zgură exprimată în kg/100 kg de încărcătură metalică – relația (11.45);  $c_{zg.}$  – căldura specifică necesară topirii și supraîncălzirii zgurii, în kJ/kg de zgură – relația informativă(14.15).

$$c_{zg.} = c_{p,zg.} (T_{f.l.s.} - 50 - T_{i,zg.}), \quad (14.15)$$

în care,  $c_{p,zg.}$  reprezintă căldura specifică la presiune constantă – valoare medie – a zgurii – tabelul 14.4 , în kJ/kg de zgură;  $T_{f.l.s.}$ , în °C;  $T_{i,zg.}$  – temperatura inițială a zgurii – se consideră valoarea medie de 690°C.

În relația (14.15) s-a considerat că temperatura maximă a zgurii este mai mică cu 50°C decât temperatura fontei lichide supraîncălzite.

De exemplu, dacă  $c_{p,zg.} = 0,199$  cal/g·°C;  $T_{f.l.s.} = 1450$ °C;  $T_{i,zg.} = 690$ °C;  $Q_{efectiv} = 10.000$  kg;  $Q_{zgură} = 2,5$  kg/100 kg de încărcătură metalică;  $Q_{util\ zgură} = \frac{10.000}{100} \cdot 2,5 \cdot 0,833(1450 - 50 - 690) = 147.680$  kJ/cuptor – 0,833 reprezintă rezultatul transformării cal/ g·°C în kJ/kg·°C.

#### **14.1.f. Căldura necesară carburării**

Se consideră că pentru un katogram de carbon care trece în fonta lichidă se consumă 27.202,5 kJ.

Cantitatea de căldură necesară carburării –  $Q_{carb.}$  –, în kJ/cuptor, se determină cu relația (14.16).

$$Q_{carb.} = \frac{Q_{efectiv}}{100} \cdot \frac{\Delta C \cdot 27202,5}{M_C}, \quad (14.16)$$

în care,  $Q_{efectiv}$  se exprimă în kg;  $\Delta C$  reprezintă proporția de carbon cu care se carburează fonta lichidă –  $\Delta C$  din relația (6.11) – ;  $M_C$  – masa atomică a carbonului, în kg.

De exemplu, dacă  $Q_{efectiv} = 10.000$  kg;  $\Delta C = 0,6\%$ ;  $M_C = 12$  kg;  $Q_{carb.} = \frac{10.000}{100} \cdot \frac{0,6 \cdot 27.202,5}{12} = 136.012,5$  kJ/cuptor.

#### **14.1.g. Căldura necesară evaporării apei**

Apa care se evaporă este aceea care provine din umiditatea sorturilor metalice din încărcătură, materialele pentru formarea zgurii, materiale reducătoare, și, după caz, materialele de corecție.

Cantitatea de căldură necesară evaporării apei –  $Q_{\text{evap.apă}}$  –, în kJ/cuptor, se determină cu relația (14.17).

$$Q_{\text{evap.apă}} = \frac{Q_{\text{efectiv}}}{100} \cdot Q_{\text{apă}} \cdot 2495, \quad (14.17)$$

în care,  $Q_{\text{efectiv}}$  se exprimă în kg;  $Q_{\text{apă}}$  – cantitatea de apă care se evaporă, în kg/100 kg de încărcătură metalică.

În cazul în care elaborarea se efectuează în cuptoare ce funcționează la frecvența rețelei,  $Q_{\text{apă}}$  se determină cu relația (14.18).

$$Q_{\text{apă}} = Q_{\text{umid.s.m.f.j.}} + Q_{\text{umid.m.c.}} + Q_{\text{umid.mf.zg.}} + Q_{\text{umid.m.r.}}, \quad (14.18)$$

în care,  $Q_{\text{umid.s.m.f.j.}}$  provine din relația (12.1),  $Q_{\text{umid.m.c.}}$  provine din relația (12.3),  $Q_{\text{umid.mf.zg.}}$  provine din relația (12.3.1) iar  $Q_{\text{umid.m.r.}}$  provine din relația (12.3.2).

În cazul în care elaborarea se efectuează în cuptoare ce funcționează cu frecvență medie sau mare,  $Q_{\text{apă}}$  se determină cu relația (14.19).

$$Q_{\text{apă}} = Q_{\text{umid.s.m.f.m.m.}} + Q_{\text{umid.m.c.}} + Q_{\text{umid.m.f.zg.}} + Q_{\text{umid.m.r.}}, \quad (14.19)$$

în care,  $Q_{\text{umid.s.m.f.m.m.}}$  provine din relația (12.2) iar ceilalți factori provin din aceleași relații cu acelea consemnate la relația (14.18).

$Q_{\text{apă}}$  se află consemnat în tabelul de bilanț de materiale 12.1, la intersecțiile liniei cu numărul de ordine 42 (linia corespunzătoare apei) cu coloanele 3, 4, 5, 6, 15, 17 și 18 sau la intersecția liniei cu numărul de ordine 42 (linia corespunzătoare apei) cu coloana 22.

De exemplu, dacă  $Q_{\text{efectiv}} = 10.000$  kg;  $Q_{\text{apă}} = 0,2$  kg/100 kg de încărcătură metalică;  $Q_{\text{evap.apă}} = \frac{10.000}{100} \cdot 0,2 \cdot 2495 = 49.900$  kJ/cuptor.

#### **14.1.h. Căldura ce se pierde prin barbotare cu gaze inerte**

În cazul demanganizării cu  $\text{CCl}_4$ , barbotarea cu azot determină micșorarea temperaturii băii metalice cu maximum 0,6 grade Celsius/minut (se are în vedere și efectul exoterm al formării  $\text{MnCl}_2 - 112,7$  kcal/mol de  $\text{MnCl}_2$ ), [68].

Cantitatea de căldură ce se pierde prin barbotare cu gaze inerte – cu azot, de regulă, în cazul antrenării de  $\text{CCl}_4$  –,  $Q_{\text{barbotare}}$ , în kJ/cuptor, se determină cu relația (14.20).

$$Q_{\text{barbotare}} = Q_{\text{efectiv}} \cdot c_{p_{f.l.}} \cdot \Delta T \cdot \tau_{\text{barbotare}}, \quad (14.20)$$

în care,  $Q_{\text{efectiv}}$  se exprimă în kg;  $c_{p_{f.l.}}$  – căldura specifică la presiune constantă, a fontei lichide, în kJ/kg·°C;  $\Delta T$  – intensitatea de scădere a temperaturii, în °C/min. – max. 0,6 °C/min.;  $\tau_{\text{barbotare}}$  – perioada de barbotare, în minute.

De exemplu, dacă  $Q_{\text{efectiv}} = 10.000$  kg;  $c_{p_{f.l.}} = 0,23$  cal/gram·°C;  $\Delta T = 0,3$  °C/min.;  $\tau_{\text{barbotare}} = 10$  min.;  $Q_{\text{barbotare}} = 10.000 \cdot 0,23 \cdot 0,3 \cdot 10 = 28.800$  kJ/cuptor.

#### **14.1.i. Căldura utilă totală**

Căldura utilă totală,  $Q_{\text{util total}}$ , în kJ/cuptor, se determină cu relația (14.21) în cazul în care elaborarea se face în cuptoare ce funcționează cu frecvență medie sau

mare și cu relația (14.22) în cazul în care elaborarea fontei se realizează în cuptoare ce funcționează la frecvența rețelei.

$$Q_{\text{util total}} = Q_{\text{util fontă f.m.}} + Q_{\text{util.m.c.}} + Q_{\text{util m.i.c.}} + Q_{\text{util dil.}} + Q_{\text{util zgură}} + Q_{\text{carb.}} + Q_{\text{evap.apă}} + Q_{\text{barbotare}} \quad (14.21)$$

$$Q_{\text{util total}} = Q_{\text{util fontă f.r.}} + Q_{\text{util.m.c.}} + Q_{\text{util m.i.c.}} + Q_{\text{util dil.}} + Q_{\text{util zgură}} + Q_{\text{carb.}} + Q_{\text{evap.apă}} + Q_{\text{barbotare}} \quad (14.22)$$

în care  $Q_{\text{util inc.cupt.}}$  este cel consemnat la relația (14.21).

## 14.2. Căldura rezultată din oxidarea metalelor

Toate reacțiile de oxidare sunt exoterme.

Cantitatea de căldură ce se degajă din oxidarea elementului chimic E, din încărcătură, în cazul elaborării în cuptoare ce funcționează la frecvență medie sau mare,  $Q_{E_x O_y \text{ c.f.m.m.}}$ , în kJ/100 kg de înc.met., se determină cu relația (14.33) iar în cazul în care elaborarea se face în cuptoare ce funcționează la frecvența rețelei,  $Q_{E_x O_y \text{ c.f.r.}}$ , se determină cu relația (14.33.1).

$$Q_{E_x O_y \text{ c.f.m.m.}} = g_{E_x O_y \text{ c.f.m.m.}} \cdot \frac{q_{E_x O_y}}{M_{E_x O_y}} \cdot 10^3, \quad (14.33)$$

în care,  $g_{E_x O_y}$  reprezintă cantitatea de oxid  $E_x O_y$  ce rezultă în urma oxidării metalelor în timpul topirii și supraîncălzirii fontei în stare lichidă, în kg/100 kg de înc.met. – înc.met. este prescurtarea expresiei încărcătură metalică și are și semnificația de fontă lichidă;  $q_{E_x O_y}$  – cantitatea de căldură ce se degajă din formarea unui mol de oxid  $E_x O_y$ , prin oxidare cu oxigen, în kJ/mol de  $E_x O_y$  – tabelul 14.6, [9];  $M_{E_x O_y}$  – masa moleculară a oxidului  $E_x O_y$  – tabelul 14.6.

$$Q_{E_x O_y \text{ c.f.r.}} = g_{E_x O_y \text{ c.f.r.}} \cdot \frac{q_{E_x O_y}}{M_{E_x O_y}} \cdot 10^3. \quad (14.33.1)$$

$g_{E_x O_y \text{ c.f.m.m.}}$  se determină cu relația (14.34)

$$g_{E_x O_y \text{ c.f.m.m.}} = Q_{E_x O_y \text{ zg.primară c.f.m.m.}} + Q_{E_x O_y \text{ supraîncălzire}}, \quad (14.34)$$

în care,  $Q_{E_x O_y \text{ zg.primară c.f.m.m.}}$  este calculat cu relația (11.16) în cazul în care elaborarea se face în cuptoare ce funcționează cu frecvență medie sau mare iar  $Q_{E_x O_y \text{ supraîncălzire}}$  este calculat cu relația (11.17).

$g_{E_x O_y \text{ c.f.r.}}$  se determină cu relația (14.34.1).

$$g_{E_x O_y \text{ c.f.r.}} = Q_{E_x O_y \text{ zg.primară c.f.r.}} + Q_{E_x O_y \text{ supraîncălzire}}, \quad (14.34.1)$$

unde,  $Q_{E_x O_y \text{ zg.primară c.f.r.}}$  este calculat cu relația (11.16) în cazul în care elaborarea se realizează în cuptoare ce funcționează la frecvența rețelei.

Cantitatea de căldură ce se degajă în timpul formării unui mol de oxid și masa moleculară a oxizilor.

Oxidul și reacția chimică de formare a lui	Masa moleculară a oxizilor (proveniența de la metal+proveniența de la oxigen)	Cantitatea de căldură ce se degajă din reacția chimică de oxidarea unui mol de oxid, în kJ/mol de oxid
$2V+5/2O_2=V_2O_5$	$102+80=182$	-1829,06
$2Al+3/2O_2=Al_2O_3$	$54+48=102$	-1686,75
$2B+3/2O_2=B_2O_3$	$22+48=70$	-1460,73
$3Mn+2O_2=Mn_3O_4$	$165+64=229$	-1372,84
$3Fe+2O_2=Fe_3O_4$	$168+64=232$	-1133,43
$2Cr+3/2O_2=Cr_2O_3$	$104+48=152$	-1130,08
$2Sb+5/2O_2=Sb_2O_5$	$240+80=320$	-967,68
$Ti+O_2=TiO_2$	$48+32=80$	-914,53
$Zr+O_2=ZrO_2$	$91+32=123$	-1079,85
$2Fe+3/2O_2=Fe_2O_3$	$112+48=160$	-818,68
$2Sb+3/2O_2=Sb_2O_3$	$240+48=288$	-698,55
$Ca+1/2O_2=CaO$	$40+16=56$	-634,94
$Mg+1/2O_2=MgO$	$24+16=40$	-610,24
$2Li+1/2O_2=Li_2O$	$14+16=30$	-595,59
$Sn+O_2=SnO_2$	$118+32=150$	-575,50
$2Bi+3/2O_2=Bi_2O_3$	$418+48=466$	-569,22
$Be+1/2O_2=BeO$	$9+16=25$	-577,59
$Ba+1/2O_2=BaO$	$137+16=153$	-558,34
$Sr+1/2O_2=SrO$	$88+16=104$	-548,30
$Mo+1/2O_2=MoO$	$96+32=128$	-548,30
$Mn+O_2=MnO_2$	$55+32=87$	-524,44
$Si+O_2=SiO_2$	$28+32=60$	-861,37
$2Na+1/2O_2=Na_2O$	$46+16=62$	-416,45
$Mn+1/2O_2=MnO$	$55+16=71$	-376,69
$2K+1/2O_2=K_2O$	$78+16=94$	-360,79
$Zn+1/2O_2=ZnO$	$65,4+16=81,4$	-348,23
$Sn+1/2O_2=SnO$	$118+16=134$	-295,91
$Cd+1/2O_2=CdO$	$112+16=128$	-277,49
$Fe+1/2O_2=FeO$	$56+16=72$	-274,98
$Ni+1/2O_2=NiO$	$58,5+16=74,5$	-243,59
$Pb+O_2=PbO_2$	$207+32=239$	-217,64
$Pb+1/2O_2=PbO$	$207+16=223$	-212,62
$Ti+1/2O_2=TiO$	$408+16=424$	-179,13
$2Cu+1/2O_2=Cu_2O$	$127,2+16=143,2$	-167,00
$Cu+1/2O_2=CuO$	$63,3+16=79,6$	-146,07

De exemplu, dacă  $g_{E_x O_y}=0,4$  kg/100 kg de înc.met.;  $q_{SiO_2}=-861,37$  kJ/mol de  $SiO_2$ ;  $M_{SiO_2}=60$  g,  $Q_{SiO_2}=0,4 \cdot \frac{861,37}{60} \cdot 10^3 = -5742,46$  kJ/100 kg

înc.met.

Cantitatea totală de căldură ce se degajă din oxidarea tuturor elementelor chimice din încărcătura metalică  $Q_{\text{total } E_x O_y \text{ c.f.m.m.}}$ , se determină cu relația (14.35), în cazul în care elaborarea se face în cuptoare ce funcționează cu frecvență medie sau mare și cu relația (14.35.1) în cazul în care elaborarea se face în cuptoare ce funcționează la frecvența rețelei,  $Q_{\text{total } E_x O_y \text{ c.f.r.}}$ , în kJ/100 kg înc.met.

$$Q_{\text{total } E_x O_y \text{ c.f.m.m.}} = \sum Q_{E_x O_y \text{ c.f.m.m.}} \quad (14.35)$$

$$Q_{\text{total } E_x O_y \text{ c.f.r.}} = \sum Q_{E_x O_y \text{ c.f.r.}} \quad (14.35.1)$$

Cantitatea de căldură ce se degajă din oxidarea tuturor elementelor chimice din încărcătura metalică, dintr-un cuptor,  $Q_{\text{total } E_x O_y \text{ cuptor}}$ , în kg/cuptor, se determină cu relația (14.36), în cazul în care elaborarea se face în cuptoare care funcționează cu frecvență medie sau mare, și cu relația (14.36.1), în cazul în care elaborarea se face în cuptoare care funcționează la frecvența rețelei,  $Q_{\text{total } E_x O_y \text{ cuptor c.f.r.}}$ , în kJ/cuptor.

$$Q_{\text{total } E_x O_y \text{ cuptor c.f.m.m.}} = \frac{Q_{\text{efectiv}}}{100} \cdot Q_{\text{total } E_x O_y \text{ c.f.m.m.}} \quad (14.36)$$

$$Q_{\text{total } E_x O_y \text{ cuptor c.f.r.}} = \frac{Q_{\text{efectiv}}}{100} \cdot Q_{\text{total } E_x O_y \text{ c.f.r.}} \quad (14.36.1)$$

### **14.3. Căldura de formare a zgurii**

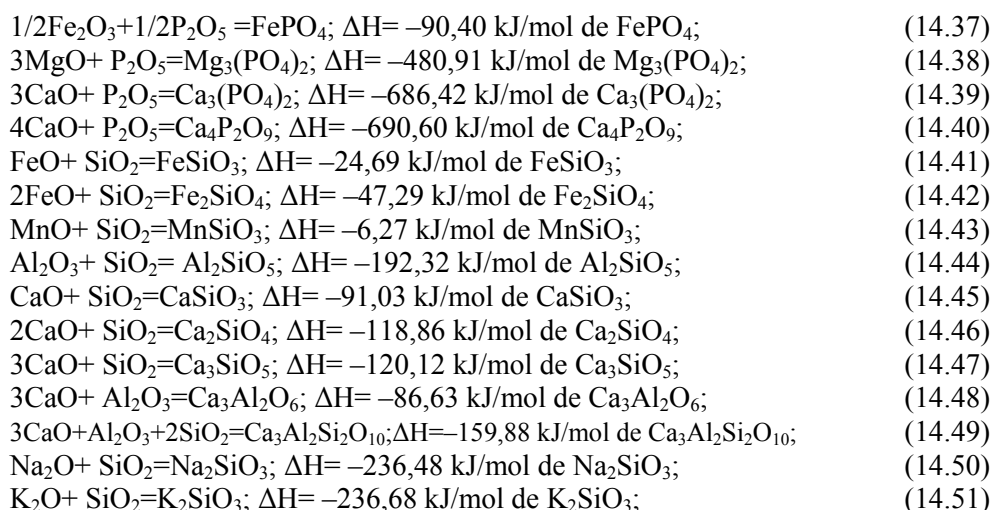
Marea majoritate a oxizilor  $E_x O_y$  formați în timpul topirii și supraîncălzirii în stare lichidă, o dată ajunși la suprafața băii metalice, interacționează chimic între ei și formează zgura, respectiv combinații chimice oxidice complexe.

Viteza de reacție dintre oxizi și natura combinațiilor chimice oxidice complexe care rezultă, sunt în funcție de mai mulți factori, temperatura zgurii, bazicitatea și aciditatea zgurii, respectiv caracterul neutru al oxizilor și cantitatea de oxizi fiind cei mai importanți.

Formarea zgurii este rezultatul unor interacțiuni chimice exoterme ce conduc la obținerea de combinații chimice oxidice complexe de tipul următor:  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ,  $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ ,  $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ ,  $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ,  $3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ ,  $5\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $2\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ,  $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$ ,  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ,  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ,  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO} \cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ,  $3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{CaO} \cdot 2\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $2\text{CaO} \cdot \text{FeO}$ ,  $\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $4\text{MgO} \cdot 5\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ,  $4\text{MgO} \cdot 5\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ,  $3\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$ ,  $2\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$  etc. Prin urmare, procesul de formare a zgurii este unul complex.

Deoarece nu se cunosc ponderile proceselor de formare a combinațiilor chimice oxidice complexe, un calcul simplu pentru cantitatea de căldură care se degajă în timpul formării respectivelor combinații chimice complexe, nu se poate realiza.

Efectele termice – variația de entalpie ale câtorva reacții chimice, se prezintă în continuare.



În funcție de compoziția chimică a zgurii, în funcție de oxidul predominant din zgură, în practică se utilizează formule empirice.

Cantitatea de căldură ce se degajă ca urmare a desfășurării reacțiilor chimice de formare a zgurii,  $Q_{\text{formare zg.}}$ , în kJ/100 kg de înc.met., se calculează cu relația (14.52).

$$Q_{\text{formare zg.}} = g_{\text{zg.}} \cdot c_{\text{for.,zg.}} \quad (14.52)$$

în care,  $g_{\text{zg.}}$  reprezintă cantitatea de zgură, în kg/100 kg de înc.met.;  $c_{\text{form.zg.}}$  – căldura specifică de formare a zgurii, în kJ/kg de zgură.

Cantitatea de căldură ce se degajă ca urmare a desfășurării reacțiilor chimice de formare a zgurii, dintr-un cuptor,  $Q_{\text{formare zg.cuptor}}$ , în kJ/cuptor, se determină cu relația (14.53)

$$Q_{\text{formare zg.cuptor}} = \frac{Q_{\text{efectiv}}}{100} \cdot Q_{\text{formare zg.}} \quad (14.53)$$

în care  $Q_{\text{efectiv}}$  se exprimă în kg;  $Q_{\text{formare zg.}}$  se exprimă în kJ/100 kg de înc.met.

Căldura de formare a zgurii reprezintă, în %, valori mici. De exemplu, la furnal, căldura de formare a zgurii are o pondere de 0,02% din totalul de căldură ce se introduce în furnal, [21].

Sursa [67] nu prezintă în bilanțurile termice ale elaborării fontei în cubilou căldura de formare a zgurii – prezintă doar căldura rezultată din oxidarea elementelor chimice din încărcătura metalică, căldura de formare a zgurii fiind neglijată.

Sursa [8] neglijează căldura de formare a zgurii, cel mult incluzând-o în categoria reacții exoterme (2,5...5% din totalul de surse de energie).

În cazul actualului bilanț termic se neglijează participarea la bilanțul

termic a căldurii de formare a zgurii, cu atât mai mult cu cât temperatura zgurii este mică – mai mică decât cea a băii metalice – și cu atât mai mult cu cât zgura are un caracter pronunțat acid – compoziția chimică clasică este 45...70% SiO<sub>2</sub>, 5...30% (FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 2...20% MnO și 0,2...20% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. În cazul în care în încărcătura cuptorului se introduc materiale reducătoare, cantitatea de FeO din zgură scade până la valori mai mici de 2%. De exemplu, o zgură obținută în urma utilizării în încărcătură de reducător SiC, are următoarea compoziție chimică: 62,14%SiO<sub>2</sub>, 1,81% FeO, 0,16%Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 12,25%CaO, 18,31% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,15%MnO și alți oxizi în rest până la 100%. În acest caz se remarcă doar prezența unui oxid bazic în zgură, respectiv CaO care va interacționa chimic semnificativ cu SiO<sub>2</sub>, o asemenea situație însemnând o cantitate mică de căldură de formare a zgurii.

#### **14.4. Cantitatea de energie preluată de la rețea**

Cantitatea de energie electrică preluată de la rețea, se notează cu  $Q_{rețea}$  și se determină cu relația (14.62).

$$Q_{rețea} = \frac{0,24 \cdot (\sum Q)}{860 \cdot \eta_{cuptor}} + P_n(1 - \eta_{cuptor}) \cdot \tau_{menținere} \quad (14.62)$$

în care,  $Q_{rețea}$  se exprimă în kWh/cuptor;  $\sum Q$  reprezintă suma dintre căldura utilă totală și celelalte categorii de căldură participante la bilanțul termic, în kJ/cuptor – relația (14.63) în cazul în care elaborarea se face în cuptorul ce funcționează cu frecvență medie sau mare și relația (14.64) în cazul în care elaborarea se face în cuptoare ce funcționează la frecvență industrială;  $\eta_{cuptor}$  – randamentul, în %.

$$\sum Q = Q_{util\ total} + Q_{total\ E_xO_y\ c.f.m.m.} \quad (14.63)$$

în care  $Q_{util\ total}$  s-a determinat cu relația (14.21);  $\sum Q$  se exprimă în kJ/cuptor.

$$\sum Q = Q_{util\ total} + Q_{total\ E_xO_y\ c.f.r.} \quad (14.64)$$

în care  $Q_{util\ total}$  s-a determinat cu relația (14.22);  $\sum Q$  se exprimă în kJ/cuptor.  
Randamentul cuptorului –  $\eta_{cuptor}$  – se determină cu relația (14.65).

$$\eta_{cuptor} = \eta_t \cdot \eta_e \quad (14.65)$$

în care  $\eta_t$  – randamentul termic;  $\eta_e$  – randamentul electric.

Randamentul termic al cuptorului se determină în funcție de diametrul interior al creuzetului, diametrul interior al spirei inductorului, coeficientul de zveltețe al băii metalice, conductivitatea termică a materialului refractar, timpul de topire și capacitatea nominală a cuptorului. În condiții practice, variază în intervalul 0,75...0,9, [42].

Randamentul electric al cuptorului se determină în funcție de coeficientul de zveltețe al băii metalice, capacitatea nominală a cuptorului, raportul funcțiilor



rezistențelor, factorul de umplere axială al țevilor, raportul dintre diametrul interior al inductorului și înălțimea inductorului și raportul dintre funcția auxiliară  $\alpha_M$  pentru calculul inductivității mutuale între țevi concentrice cuplate magnetic și funcția auxiliară  $\alpha$  pentru calculul inductivității de dispersie a unei țevi, raport considerat la partea a doua, [69]. În condiții practice, variază în intervalul 0,6...0,8, [42].

Conform relației (14.65),  $\eta_{\text{cuptor}}$  variază între limitele 0,45...0,72.

$P_n$  reprezintă puterea nominală a sursei, în kW – tabelul 14.1 sau tabelele 14.2 și 14.3.

$\tau_{\text{menț.}}$  reprezintă timpul de menținere a fontei lichide, la temperatura de supraîncălzire, în ore (h). Timpul necesar încălzirii materialelor de corecție sau a altor materiale (inclusiv cele de diluare) este inclus în factorul  $\frac{0,24 \cdot \sum Q}{860 \cdot \eta}$ , așa încât,  $\tau_{\text{menț.}}$  se referă la perioada de timp determinată de manevrele care se fac cu diverse utilaje în vederea introducerii în cuptor a respectivelor materiale.  $\tau_{\text{menț.}}$  se adoptă în funcție de dotare, numărul de operații de corectare a compoziției chimice a fontei lichide, natura tratamentului metalurgic etc., apreciindu-se că variază în intervalul – dacă există tratamente metalurgice – 0,15...0,85 h.

Puterea absorbită de cuptor se numește putere utilă –  $P_u$  –, în kW, și se determină cu relația (14.66)

$$P_u = P_n \cdot \eta_{\text{cupt.}}, \quad (14.66)$$

în care,  $P_n$  se exprimă în kW.

Perioada de topire calculată,  $\tau_{\text{topire calc.}}$ , în min., se determină cu relația (14.67).

$$\tau_{\text{topire calc.}} = \frac{0,24 \cdot (\sum Q) \cdot 60}{860 \cdot \eta_{\text{cuptor}} \cdot P_u}, \quad (14.67)$$

în care,  $(\sum Q)$  se exprimă în kJ/cuptor iar  $P_u$  se exprimă în kW.

Perioada de topire,  $\tau_{\text{topire}}$ , în accepțiunea tabelului 14.1 reprezintă perioada de încălzire, topire și preîncălzire a fontei în stare lichidă.

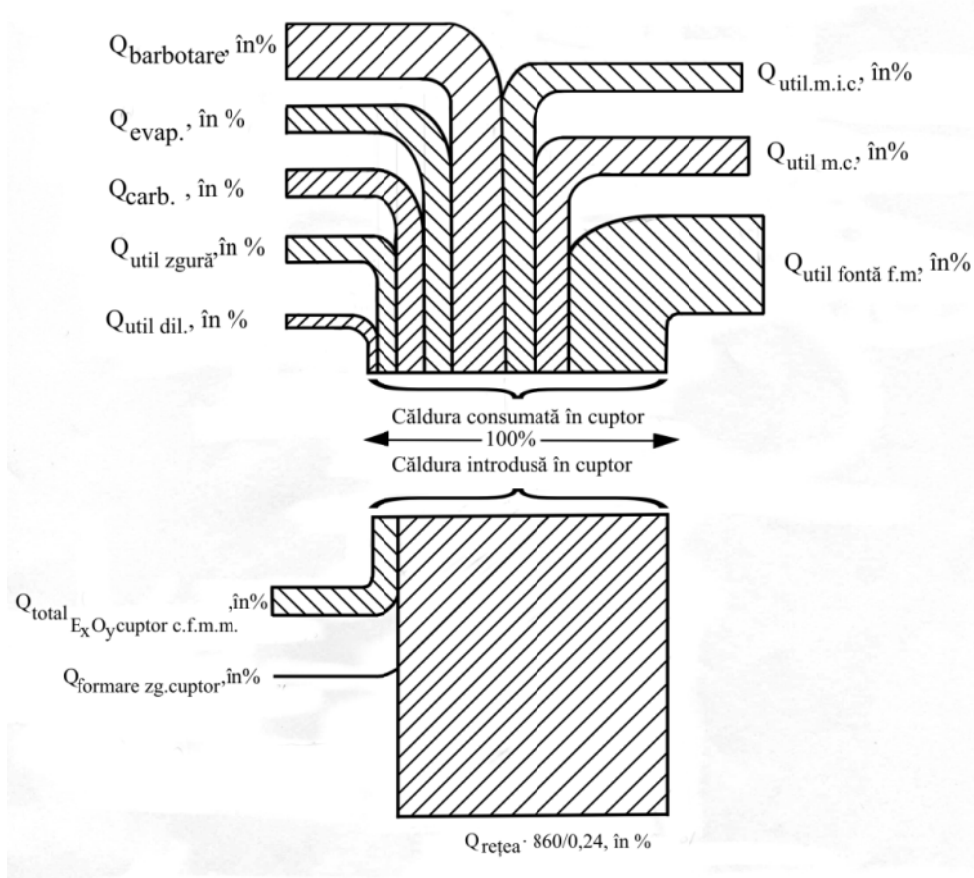
$\tau_{\text{topire calc.}}$  trebuie să se încadreze între limitele perioadei de topire –  $\tau_{\text{topire}}$  – din tabelul 14.1, sau să fie de ordinul de mărime al acestora.

În cazul în care perioada de topire calculată,  $\tau_{\text{topire calc.}}$ , este mai mare, semnificativ, decât perioada de topire,  $\tau_{\text{topire}}$ , trebuie utilizat pentru elaborarea fontei un cuptor electric cu încălzire prin inducție cu puterea nominală mai mare.

În cazul în care perioada de topire calculată –  $\tau_{\text{topire calc.}}$  – este mai mică, semnificativ, decât perioada de topire,  $\tau_{\text{topire}}$ , înseamnă că puterea nominală avută la dispoziție determină o perioadă de topire mai mică decât perioada de topire

calculată.

În cazul în care elaborarea se face în cuptor ce funcționează cu frecvența medie mai mare iar materialele ce se introduc în cuptor au temperatura mai mare decât  $0^{\circ}\text{C}$ , graficul bilanțului termic este de forma celui prezentat în figura 14.1 – toate participațiile la bilanțul termic se exprimă în kJ/cuptor, și sunt reprezentate în %.



**Fig.14.1. Graficul bilanțului termic în cazul în care elaborarea se realizează în cuptoare ce funcționează cu frecvență medie sau mare iar materialele ce se introduc în cuptor au temperatura mai mare decât  $0^{\circ}\text{C}$ .**

În vederea calculării participațiilor, consumatoare de căldură, la bilanțul termic din figura 14.1, în %, se aplică formulele (14.68), (14.70), (14.71), (14.72), (14.73), (14.74), (14.75) și (14.76).

$$Q_{\text{util fontă f.m.\%}} = 100 \frac{Q_{\text{util fontă f.m.}}}{\Sigma Q'}, \quad (14.68)$$

în care,  $Q_{\text{util fontă f.m.}}$  se exprimă în kJ;  $\Sigma Q'$  reprezintă suma participațiilor la bilanțul termic care sunt consumatoare de căldură, în kJ/cuptor – relația (14.69);  $Q_{\text{util fontă f.m.\%}}$  se exprimă în %.

$$\Sigma Q' = Q_{\text{util fontă f.m.}} + Q_{\text{util m.c.}} + Q_{\text{util m.i.c.}} + Q_{\text{util dil.}} + Q_{\text{util zgură}} + Q_{\text{carbon}} + Q_{\text{evap apă}} + Q_{\text{barbotare}} \quad (14.69)$$

$$Q_{\text{util m.c.\%}} = 100 \frac{Q_{\text{util m.c.}}}{\Sigma Q'} \quad (14.70)$$

$$Q_{\text{util m.i.c.\%}} = 100 \frac{Q_{\text{util m.i.c.}}}{\Sigma Q'} \quad (14.71)$$

$$Q_{\text{util dil.\%}} = 100 \frac{Q_{\text{util dil.}}}{\Sigma Q'} \quad (14.72)$$

$$Q_{\text{util zgură\%}} = 100 \frac{Q_{\text{util zgură}}}{\Sigma Q'} \quad (14.73)$$

$$Q_{\text{carb.\%}} = 100 \frac{Q_{\text{carb.}}}{\Sigma Q'} \quad (14.74)$$

$$Q_{\text{evap.apă\%}} = 100 \frac{Q_{\text{evap.apă}}}{\Sigma Q'} \quad (14.75)$$

$$Q_{\text{barbotare\%}} = 100 \frac{Q_{\text{barbotare}}}{\Sigma Q'} \quad (14.76)$$

În relațiile (14.70), (14.71), (14.72), (14.73), (14.74), (14.75) și (14.76), unitățile de măsură sunt cele utilizate, prin corespondență, în relația (14.68).

Pentru calcularea participațiilor, cu aport de căldură, la bilanțul termic din figura 14.1, se aplică formulele (14.77) și (14.80).

$$Q_{\text{rețea}} \cdot \frac{860}{0,24} \% = 100 \frac{Q_{\text{rețea}} \frac{860}{0,24}}{\Sigma Q''} \quad (14.77)$$

în care  $Q_{\text{rețea}}$  se exprimă în kJ/cuptor și este calculat prin intermediul relației (14.63);  $\Sigma Q''$  reprezintă suma participațiilor la bilanțul termic care aduc căldură în cuptor, în kJ/cuptor – relația (14.78);  $Q_{\text{rețea}} \cdot \frac{860}{0,24} \%$  se exprimă în %.

$$\Sigma Q'' = Q_{\text{rețea}} \cdot \frac{860}{0,24} + Q_{\text{formare zg.cuptor}} + Q_{\text{total E}_x\text{O}_y\text{cuptor c.f.m.m.}} \quad (14.78)$$

$Q_{\text{formare zg.cuptor}} = 0\%$  – se neglijează.

$$Q_{\text{total E}_x\text{O}_y\text{cuptor c.f.m.m.\%}} = \frac{Q_{\text{total E}_x\text{O}_y\text{cuptor c.f.m.m.}}}{\Sigma Q''} \quad (14.79)$$

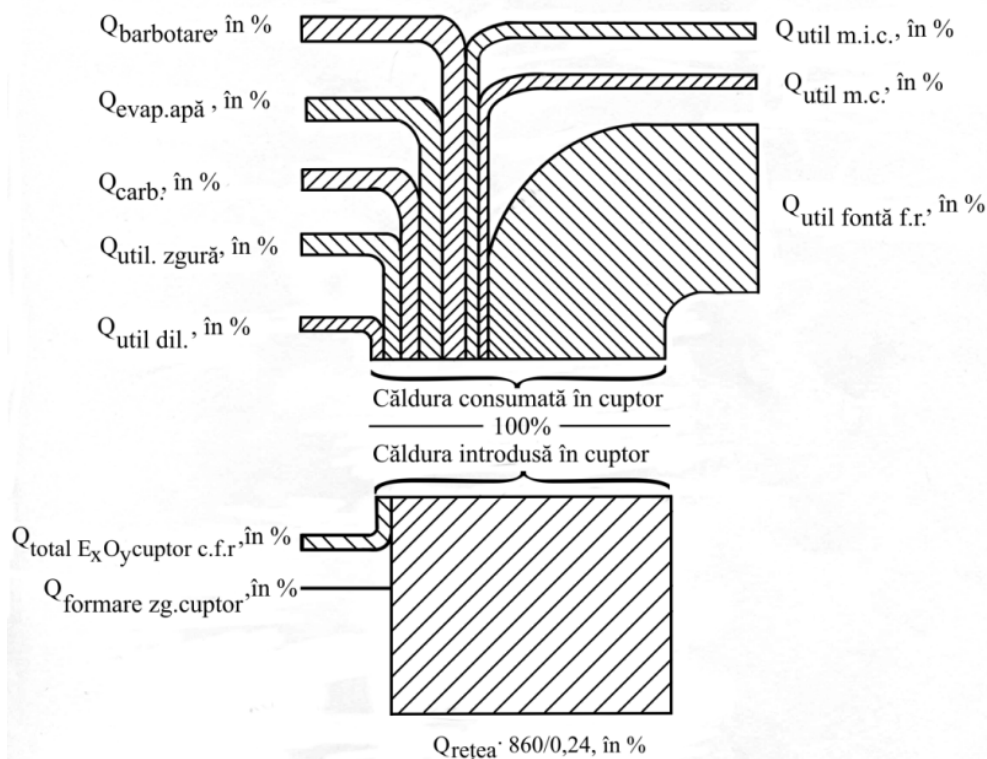
Iar relația (14.80), cantitățile de măsură sunt cele utilizate, prin corespondență, în relația (14.77).

În cazul în care elaborarea se face în cuptoare ce funcționează la frecvența rețelei iar materialele ce se introduc în cuptor au temperatura mai mare de 0°C, graficul bilanțului termic este de forma celui prezentat în figura 14.2 – toate participațiile la bilanțul termic se exprimă în kJ/cuptor și sunt reprezentate în %.

În vederea calculării participanților, consumatoare de căldură, la bilanțul termic din figura 14.2, în %, se aplică formulele (14.81), (14.83), (14.84), (14.85), (14.86), (14.87), (14.88) și (14.89).

$$Q_{\text{util fonta f.r.}\%} = 100 \frac{Q_{\text{util fonta f.r.}\%}}{\Sigma Q'''} \quad (14.81)$$

în care  $Q_{\text{util fonta f.r.}\%}$  se exprimă în kJ/cuptor;  $\Sigma Q'''$  se prezintă suma participațiilor la bilanțul termic care sunt consumatoare de căldură, în kJ/cuptor – relația (14.78);  $Q_{\text{util fonta f.r.}\%}$  se exprimă în %.



**Fig. 14.2. Graficul bilanțului termic în cazul în care elaborarea se realizează în cuptoare ce funcționează cu frecvența rețelei iar materialele ce se introduc în cuptor au temperatura mai mare decât 0°C.**

$$\Sigma Q''' = Q_{\text{util fonta f.r.}} + Q_{\text{util m.c.}} + Q_{\text{util m.i.c.}} + Q_{\text{util dil.}} + Q_{\text{util zgurã}} + Q_{\text{carb.}} + Q_{\text{evap.apã}} + Q_{\text{barbotare}} \quad (14.82)$$

$$Q_{\text{util m.c.}\%} = 100 \frac{Q_{\text{util m.c.}}}{\Sigma Q'''} \quad (14.83)$$

$$Q_{\text{util m.i.c.}\%} = 100 \frac{Q_{\text{util m.i.c.}}}{\Sigma Q'''} \quad (14.84)$$

$$Q_{\text{util dil.}\%} = 100 \frac{Q_{\text{util dil.}}}{\Sigma Q'''} \quad (14.85)$$

$$Q_{\text{util zgurã}\%} = 100 \frac{Q_{\text{util zgurã}}}{\Sigma Q'''} \quad (14.86)$$

$$Q_{\text{carb.}\%} = 100 \frac{Q_{\text{carb.}}}{\Sigma Q'''} \quad (14.87)$$

$$Q_{\text{evap.apã}\%} = 100 \frac{Q_{\text{evap.apã}}}{\Sigma Q'''} \quad (14.88)$$

$$Q_{\text{barbotare}\%} = 100 \frac{Q_{\text{barbotare}}}{\Sigma Q'''} \quad (14.89)$$

În relațiile (14.83), (14.84), (14.85), (14.86), (14.87) și (14.88), unitățile de măsură sunt cele utilizate, prin corespondență, în relația (14.81).

Pentru calcularea participațiilor, cu aport de căldură, la bilanțul termic din figura 14.2, se aplică formulele (14.90) și (14.92).

$$Q_{\text{rețea}} \cdot \frac{860}{0,24} \% = 100 \frac{Q_{\text{rețea}} \frac{860}{0,24}}{\Sigma Q^{IV}} \quad (14.90)$$

în care  $Q_{\text{rețea}}$  se exprimă în kJ/cuptor și este calculat prin intermediul relației (14.64);  $\Sigma Q^{IV}$  reprezintă suma participațiilor la bilanțul termic care aduc căldură în cuptor, în kJ/cuptor – relația (14.91);  $Q_{\text{rețea}} \cdot \frac{860}{0,24} \%$  se exprimă în %.

$$\Sigma Q^{IV} = Q_{\text{rețea}} \cdot \frac{860}{0,24} + Q_{\text{total E}_x\text{O}_y\text{c.f.r.}} + Q_{\text{formare zg.cuptor}} \quad (14.91)$$

$$Q_{\text{total E}_x\text{O}_y\text{c.f.r.}\%} = 100 \cdot \frac{Q_{\text{total E}_x\text{O}_y\text{c.f.r.}}}{\Sigma Q^{IV}} \quad (14.92)$$

$$Q_{\text{formare cuptor}} = 0\% - \text{se neglijează}$$

În relația (14.92), unitățile de măsură sunt cele utilizate, prin corespondență, în relația (14.90).