

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

**OBTINEREA OTELULUI  
ȘI  
ASPECTE STRUCTURALE  
ALE  
ALIAJELOR FEROASE**



**Editura "Samia"**  
**Iași -2005**

**Editura "Samia"**

Str. Cuza Vodă, nr. 17, 700040 – Iași / România

Tel.: 0232-26.23.00; 21.03.49

**Tipărit:**

S.C. Print Color SRL

Str. Cuza Vodă, nr. 17, 700040 – Iași / România

Tel.: 0232-26.23.00; 21.03.49

**Autor:**

VASILE COJOCARU-FILIPCIUC

Dr.ing., prof.univ.

**Referent științific:**

Gelu Barbu

Dr.ing., prof.univ.

**Coperta:**

VASILE COJOCARU-FILIPCIUC

Dr.ing., prof.univ.

**Procesare figuri:**

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

Camelia-Lena Aioanei

**Tehnoredactare:**

Camelia-Lena Aioanei

**Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României**

**Vasile Cojocaru – Filipciuc**

**Fonte: obținerea oțelului și aspecte structurale ale aliajelor  
feroase /Dr. ing. prof. univ. Vasile Cojocaru-Filipciuc. – Iași :**

**Samia, 2005**

**p. 190 cm. 17/24**

**Bibliogr. 11**

**ISBN: 973-86865-1-2**

**CIP nr. 7123 / 10.06.2005**

**669.14**

**669.15**

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

**OBTINEREA OTELULUI**  
**ȘI**  
**ASPECTE STRUCTURALE**  
**ALE**  
**ALIAJELOR FEROUȘI**



## **Prefață**

Obținerea oțelului și aspecte structurale ale aliajelor feroase reprezintă un manual destinat cu predilecție studenților de la specializările (tiința Materialelor, Ingineria Materialelor și Ingineria Procesării Materialelor).

Manualul conține aspecte teoretice și practice în legătură cu elaborarea oțelului în cuptoare electrice (cu arc și cu inducție), căpușite acid și bazic, modelarea insuflării oxigenului în oțelul lichid, implicarea maselelor asupra integrității pieselor, corectarea prin tratament termic a structurilor metalografice ale pieselor brut turnate precum și câteva considerații privind structura metalografică a pieselor din fontă – utilizarea scărilor etalon, corectarea prin tratament termic, inocularea și influența asupra caracteristicilor.

Manualul se conturează pe lucrări cu potențial de realizare din punct de vedere didactic.

Aspectele teoretico-practice fac din acest manual și un îndrumar tehnologic pentru cadrele de specialitate care lucrează în industrie.



## Cuprins

	Pag.
O1. Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic .....	7
O2. Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite acid .....	61
O3. Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin inducție fără miez .....	73
O4. Influența structurii oțelurilor nealiate, turnate sub formă de piese, asupra caracteristicilor mecanice de rezistență ale acestora .....	80
O5. Modelarea insuflării cu oxigen în oțelul lichid .....	109
O7. Influența maseletării, asupra gradului de compactitate al pieselor de oțel .....	125
O11. Corectarea prin tratament termofizic de recoacere a structurii metalografice a oțelurilor brut turnate nealiate ..	143
F9. Influența structurii fontelor nealiate asupra caracteristicilor acestora .....	161
F16. Caracterizarea fontelor utilizând structuri și scări etalon standardizate.....	180
F20. Corectarea prin tratament termic a structurii metalografice a fontei cu grafit nodular .....	211
F22. Inocularea fontelor .....	229
C1. Măsuri de asigurare a securității muncii .....	246

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

## **O1. Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic**

### **1. Scopul lucrării**

Prezentarea ordonată a etapelor din fluxul tehnologic de elaborare a unui oțel, împreună cu particularitățile procedurii bazic de elaborare. Această lucrare prezintă doar latura tehnologică a elaborării oțelului, adică nu și procesele chimice care însoțesc procesarea încărcăturii metalice.

### **2. Considerații generale**

Această lucrare prezintă elaborarea oțelului prin procesarea unei încărcături metalice solide.

Cuptorul cu arc electric ce se utilizează pentru elaborarea oțelului este același, ca principii constructive, cu cel utilizat la elaborarea fontei. Deosebirile mai importante se referă la capacitatea nominală ce, în cazul elaborării oțelului, poate ajunge la valori cuprinse în intervalul 200 ... 300 t, [1].

Fluxul tehnologic de elaborare a unui oțel, la modul cel mai general, conține următoarele etape:

1. Pregătirea încărcăturii
2. Ajustarea
3. Încărcarea
4. Topirea
5. Fierberea (afinarea)
6. Dezoxidarea
7. Alierea
8. Evacuarea
9. Tratarea oțelului în afara agregatului de elaborare
10. Turnarea
11. Tratamentul termic primar al pieselor brut turnate.

Fluxul tehnologic prezentat anterior ia în considerație niște etape distincte, etape care, însă, pot conține tratamente metalurgice ce



### Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

se aplică de-a lungul mai multor etape și etape care pot lipsi. Astfel, dacă etape precum pregătirea încărcăturii și a agregatului de elaborare, încărcarea, topirea, evacuarea, turnarea și tratamentul termic primar al pieselor brut turnate se întâlnesc în mod obligatoriu, celelalte etape se întâlnesc, după caz, în funcție de natura agregatului de elaborare, tipul de elaborare abordat, calitatea oțelului propus a fi elaborat etc.

Există trei categorii de elaborare a oțelului, dictate, în special, de particularitățile etapei de topire, acestea fiind următoarele: cu oxidare totală, cu oxidare parțială și fără oxidare.

#### **2.1. Elaborarea cu oxidare totală**

Atmosfera cuptorului, în timpul topirii, are, relativ, următoarea compoziție chimică: 55% N<sub>2</sub>, 34% CO, 6% O<sub>2</sub>, 3% CO<sub>2</sub> și 2% H<sub>2</sub>.

Elaborarea cu oxidare totală se indică în cazul în care fierul vechi este ruginit, bucățile de fier vechi au dimensiuni mici (ușoare) și conținutul de fosfor din încărcătura metalică este mare (maximum 0,08%).

Încărcătura metalică nu conține deșeuri proprii de oțel aliat.

Încărcătura conține și minereu de fier, în cantitate calculată, în așa fel încât, la finalul topirii, conținutul de carbon să fie de maximum 0,1% (minereul de fier se poate înlocui și cu “arsură” de fier, denumire consacrată pentru oxizii de fier rezultați din oxidarea superficială a lingourilor sau a altor tipuri de semifabricate în timpul încălzirii cu scopul efectuării unor tratamente metalurgice cum ar fi laminarea, forjarea, tratamentul termic etc. Arsura de fier are aspect de foițe subțiri, sfărâmicioase, alcătuite din Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> în exterior, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> la mijloc și FeO la fostul contact cu suprafața neoxidată, mai denumindu-se țunder, [2].

Oxigenul din atmosfera cuptorului, dar și bioxidul de carbon, și din agentul oxidant introdus o dată cu încărcătura, în timpul etapei de topire, oxidează complet siliciul din încărcătura metalică, oxidează maximum 75% din cantitatea de mangan din încărcătură, oxidează

### Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

fosforul până la 0,01%, oxidează carbonul relativ puțin – 5 ... 10% – și nu oxidează sulfurul.

Conținutul foarte mic de carbon de la finalul etapei de topire arată că fierberea oțelului nu are loc doar ca etapă distinctă în fluxul tehnologic, ci se desfășoară și în timpul topirii – fierberea reprezintă, succint, oxidarea carbonului cu formare de CO, bulele de CO rezultate evacuându-se din baia metalică, părăsirea băii metalice de către respectivele bule justificând denumirea de fierbere.

În timpul topirii și o dată cu încărcătura se introduce în cuptor până la 6% var, în reprize, așa cum se va arăta ulterior și, de asemenea, minereu de fier ce să asigure scăderea conținutului de carbon sub 0,1%.

### **2.2. Elaborarea cu oxidare parțială**

Elaborarea cu oxidare parțială se indică în cazul în care încărcătura metalică nu este ruginită în mod avansat și conține sau nu deșeuri de oțel aliat, [3].

Oxigenul din atmosfera cuptorului și cel introdus de încărcătură oxidează siliciul din încărcătură, în timpul topirii, în proporție de 70 ... 100%, manganul în proporție de maximum 50%, fosforul în proporție de maximum 60%, fierul în proporție de maximum 2%, carbonul în proporție de maximum 20%, vanadiul și titanul, în totalitate, wolframul și cromul, parțial etc., [4].

Dacă se cere o defosforare mai avansată încărcătura trebuie să conțină var în cantitate de 3 ... 4% și minereu de fier în cantitate de 1 ... 2%, astfel, în timpul topirii, conținutul de fosfor scăzând până la maximum 0,02%, siliciul oxidându-se în totalitate, Mn, Cr și W oxidându-se două treimi etc.

Fluidificarea zgurii se realizează cu circa 0,5% spărturi de cărămizi acide în combinație sau nu cu bauxită și fluorină.

Elaborarea cu oxidare parțială permite desfășurarea etapei de fierbere, pentru aceasta fiind nevoie de un surplus de carbon la finalul etapei de topire cu 0,3...0,4% mai mare decât conținutul de carbon la finalul etapei de fierbere, pentru oțelurile obișnuite și un surplus de

### Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

carbon mai mare pentru oțelurile de calitate superioară.

Elaborarea cu oxidare parțială este cea mai răspândită la scară industrială, deoarece este o metodă de elaborare flexibilă, adaptabilă multor regimuri de încărcătură metalică.

Scurtarea duratei de topire prin utilizarea oxigenului spre finalul etapei de topire, determină oxidarea redusă a elementelor chimice de aliere.

Oxizii elementelor chimice de aliere se reduc în mare măsură în timpul etapelor de fierbere și dezoxidare, pentru aceasta fiind nevoie ca zgura să nu se elimine din cuptor.

### **2.3. Elaborarea fără oxidare**

Elaborarea fără oxidare se indică în cazul încărcăturii metalice foarte curate ce conține deșeuri de oțel aliat, în circumstanțele în care se asigură în timpul topirii condiții de oxidare foarte mici – durată mică de topire, utilizare de transformator puternic, absență de minereu de fier în încărcătură, utilizare de 0,5...1,0% var ce se amplasează pe vatră înainte de încărcarea cuptorului, desfășurare a topirii cu ușa închisă și cu orificiul de evacuare a oțelului obturat cu scopul evitării pătrunderii aerului în cuptor, asigurare de atmosferă reducătoare în timpul topirii prin adaos de mangal sau cocs (de granulație mică) – mangalul sau cocsul generează monoxid de carbon în atmosfera cuptorului, ceea ce diminuează accentuat oxidarea elementelor chimice de aliere din încărcătură – etc.

Zgura ce se formează în timpul topirii nu se elimină din cuptor, cu scopul reducerii unor oxizi din zgură la temperaturi mari.

Se apreciază că în timpul topirii siliciul se oxidează în totalitate.

Elementele chimice de aliere ce în atmosferă oxidantă se oxidează, în condițiile elaborării fără oxidare se oxidează foarte puțin.

Dezoxidarea se realizează sub zgură albă. O zgură albă este o zgură bazică ce se formează dintr-un amestec de var, cocs și fluorină, în general, și ce conține 0,5...1,0 CaC<sub>2</sub>– reprezintă o zgură dezoxidantă (există și situații în care dezoxidarea se realizează prin

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic  
difuzie și prin precipitare).

Alierea se realizează sub zgură albă.

În continuare, se prezintă caracteristicile din fluxul tehnologic de elaborare, pentru cazul particular al procedurii bazic, în cuptorul cu arc electric.

## **2.4. Pregătirea încărcăturii**

Încărcătura se pregătește din următoarele puncte de vedere: dimensional, aranjament spațial, chimic, calitativ și al greutateii specifice.

### **2.4.1. Pregătirea dimensională**

Există trei categorii de bucați metalice, de sorturi metalice, sub aspectul dimensiunilor, acestea fiind următoarele:

– sorturi ușoare sau mărunte. Acestea au dimensiuni mici (până la 100x100x100 mm) și corespund grupei de masă 2...7 kg/bucată;

– sorturi mijlocii. Acestea au dimensiuni medii (de la 100x100x100 mm la 250x250x200 mm) și corespund grupei de masă de la 8 kg/bucată până la 40 kg/bucată;

– sorturi grele sau mari. Acestea au dimensiuni mari (de la 250x250x200 mm până la 600x350x250 mm) și corespund grupei de masă de la 40 kg/bucată până la o masă egală cu a cincizeca parte din masa de încărcătură metalică.

Pentru câteva capacități de cuptoare se prezintă în tabelul 1/O1 proporțiile pe care le dețin în încărcătură sorturile ușoare, mijlocii și grele.

Sorturile metalice din încărcătură se pregătesc sub aspect dimensional prin tăiere cu flacără oxiacetilenică, cu foarfece tip ghilotină acționat hidraulic sau tip aligator, prin balotare (șpanul ) etc.

Dimensiunile sorturilor din încărcătură coroborate cu geometria acestora definesc și următoarele trei categorii de sorturi metalice în funcție de masa specifică:

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

Tabelul 1/O1

**Proporțiile din încărcătură ale sorturilor ușoare, mijlocii și grele, în cazul câtorva capacități.**

Nr. crt.	Capacitatea cuptorului, în t	Proporțiile sorturilor din încărcătură, în %		
		Sorturi ușoare	Sorturi mijlocii	Sorturi grele
1	1,5 ... 5,0	30...35	30...40	20...30
2	6,0... 10,0	25...30	30...40	25...35
3	12,0 ... 15,0	20...25	25...40	30...40
4	20,0... 40,0	15...20	25...35	40...50

– masa specifică situată în intervalul 800...1.300 kg/m<sup>3</sup> (sorturi ușoare) ;

– masa specifică situată în intervalul 1.300...1.700 kg/m<sup>3</sup> (sorturi mijlocii);

– masa specifică mai mare de 1.700 kg/m<sup>3</sup> (sorturi grele) ;

#### **2.4.2. Aranjamentul spațial**

Aranjamentul spațial se realizează direct, în cuptor sau indirect, în bena de încărcare. În cazul realizării încărcării în bene, aranjamentul din benă se transmite prin descărcarea acesteia în cuptor.

Pe vatră se încarcă sorturi metalice ușoare, în acest fel protejându-se vatra, în timpul încărcării, de șocurile mecanice provocate de componentele ascuțite ce pot perfora vatra, astfel, creîndu-se un potențial de străpungere a vetrei cu metal lichid în timpul topirii sau în etapele ulterioare când temperatura oțelului depășește temperatura de 1.600<sup>0</sup>C. Ulterior, peste sorturile ușoare se încarcă sorturile metalice grele, după care se încarcă sorturile metalice mijlocii iar la partea superioară a încărcăturii se încarcă restul de sorturi metalice ușoare.

Partea de deasupra a încărcăturii se recomandă să fie sub formă de semisferă.

Se recomandă să se evite următoarele situații, scopul principal

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

fiind micșorarea duratei de topire :

- amplasarea bucățile mari deasupra încărcăturii, sub electrozi. Astfel, electrozii nu pot pătrunde în încărcătură, fiind nevoie să se lucreze de la început cu tensiune mare, ceea ce înseamnă lungime mare și grosime mică pentru arcul electric, arc descoperit și radieră puternică de căldură de către arcul electric și electrozii incandescenti către boltă și peretele cuvei. Consecința este uzarea căptușelii refractare, pierderi mari de căldură și, astfel, prelungirea nejustificată a duratei de topire – creșterea costului oțelului elaborat;

- încărcătură compactă. În această situație arcul electric se întrerupe mereu, există zgomot puternic, acele indicatoare de la ampermetre săltând mereu;

- în încărcătură există materiale rele conducătoare de electricitate sub formă de strat continuu. Consecința, în acest caz, este întreruperea arcului electric;

- încărcătură necompactă. În acest caz, electrozii pătrund repede prin respectiva încărcătură, ajung la vatră înainte de a se forma baia metalică, riscându-se deteriorarea vetrei;

- amplasarea necorespunzătoare a bucăților mari. O asemenea situație conduce la prăvălirea respectivelor bucăți peste electrozi, determinând fie ruperea lor fie dirijarea lor oblic;

- folosirea incorectă a puterii transformatorului – consecința este formarea unor punți (poduri) de către încărcătura metalică, ceea ce poate determina ruperea electrozilor.

Ordinea de încărcare trebuie să asigure o rezistivitate termică a încărcăturii cât mai mică. În consecință, materialele metalice greu fuzibile și cele cu conductivitate termică mică (var, minereu de fier, bauxită, fluorină etc.) nu se încarcă deasupra încărcăturii.

Deasupra stratului de sorturi metalice ușoare, ce se amplasează pe vatra cuptorului, se introduce jumătate din cantitatea de material de carburare, restul de var, adică 70...75% din cantitatea de var necesară pentru formarea zgurii și toată bauxita pentru fluidizarea zgurii (sau fluorina). Ulterior, se continuă cu încărcarea sorturilor metalice grele, așa cum s-a precizat la începutul acestui paragraf.

Deasupra încărcăturii metalice, sub electrozi, se amplasează

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

strunjitură de oțel sau cocs de petrol de granulație mică cu scopul stabilizării arcului electric.

În funcție de metoda de elaborare adoptată și de gradul de ruginită al sorturilor metalice, încărcătura conține și minereu de fier care variază între limitele 1...3% și care se introduce deasupra stratului de sorturi metalice ușoare ce s-a amplasat pe vatră. Trebuie acordată atenție ca varul, minereul de fier și agentul de fluidizare (bauxita sau fluorina) să nu formeze un strat continuu.

**2.4.3. Pregătirea din punct de vedere chimic**

Deoarece alierea oțelului se realizează după etapa de dezoxidare, încărcătura metalică suferă defosforarea în timpul topirii și fierberii, desulfurarea în timpul etapei de dezoxidare iar siliciul și manganul se pot corecta după etapa de fierbere, încărcătura metalică are în vedere, în principal, realizarea conținutului de carbon – realizarea conținutului de carbon din încărcătură, respectiv <%C> ce se calculează cu relația 1/O1.

$$\langle \%C \rangle = \frac{[\%C]_t}{100 - a_{ct}} \cdot 100, \quad (1/O1)$$

în care  $[\%C]_t$  reprezintă conținutul de carbon din oțel de la finalul etapei de topire, cunoscut în limbaj tehnic sub denumirea de „carbonul la topire”;  $a_{ct}$  – proporția de carbon ce arde în timpul etapei de topire.

În cazul celui mai utilizat procedeu de elaborare – elaborarea cu oxidare parțială – proporția de carbon ce arde în timpul topirii este de 20, în aceste circumstanțe, relația (1/O1) devenind (2/O1).

$$\langle \%C \rangle = \frac{[\%C]_t}{0,80} \quad (2/O1)$$

Carbonul de la topire se determină cu relația (3/O1).

$$[\%C]_t = [\%C]_0 + [\%C]_{af}, \quad (3/O1)$$

în care  $[\%C]_0$  reprezintă proporția de carbon din oțelul lichid, la finalul etapei de fierbere, cunoscută în limbajul tehnic sub denumirea

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

de „carbonul la oprire”, adică de la oprirea fierberii oțelului ; [%C]<sub>af</sub> – proporția de carbon care arde în timpul etapei de fierbere.

Dacă oțelul nu este aliat, carbonul la oprire se adoptă ca fiind proporția de carbon egală cu limita inferioară a conținutului de carbon din oțelul propus a fi elaborat, relația (3/O1) devenind (4/O1) iar proporția de carbon din încărcătură căpătând forma (5/O1).

$$[\%C]_t = [\%C] + [\%C]_{af}, \quad (4/O1)$$

în care [%C]<sub>t</sub> reprezintă limita inferioară a proporției de carbon din oțelul propus să se elaboreze.

$$\langle \%C \rangle = \frac{[\%C] + [\%C]_{af}}{0,80} \quad (5/O1)$$

sau, la modul general, pentru toate tipurile de elaborare a oțelurilor nealiate,

$$\langle \%C \rangle = \frac{[\%C] + [\%C]_{af}}{100 - a_{ct}} \cdot 100 \quad (6/O1)$$

Se adoptă limita inferioară a carbonului din oțelul propus a fi elaborat pentru carbonul la oprire, luându-se în considerație aportul în carbon al materialelor de dezoxidare.

Dacă oțelul este aliat, carbonul la oprire se consideră ca având valoarea egală cu limita inferioară a carbonului din oțelul propus a fi elaborat din care se scade cantitatea de carbon ce urmează să o aducă în oțelul lichid materialele metalice de aliere, relația (5/O1) căpătând forma (7/O1) iar relația generală (6 /O1) devenind (8/O1).

$$\langle \%C \rangle = \frac{[\%C] - [\%C]_{m.a.} + [\%C]_{af}}{0,80} \quad (7/O1)$$

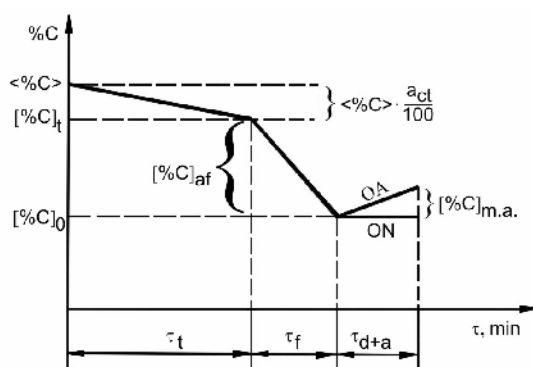
$$\langle \%C \rangle = \frac{[\%C] - [\%C]_{m.a.} + [\%C]_{af}}{100 - a_{ct}} \cdot 100 \quad (8/O1)$$



Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

Cantitatea de carbon care arde în timpul etapei de fierbere este de 0,2...0,6%.

În figura 1/O1 se prezintă modul de variație al conținutului de carbon din încărcătura metalică în timpul elaborării oțelului.



**Fig. 1/O1. Variația conținutului de carbon din încărcătura metalică, %C, în timpul elaborării oțelului,  $\tau$  : OA – oțel aliat ; ON – oțel nealiat ;  $\tau_f$ – etapa de fierbere ;  $\tau_{d+a}$  – etapele de dezoxidare și aliere ;  $\tau_t$ – etapa de topire.**

Sorturile metalice se aleg, pe cât este posibil, ca să asigure proporția de carbon din încărcătura calculată cu relația (8/O1), la calculul căreia contribuie și cantitățile de materiale metalice de aliere împreună cu materialele de dezoxidare – în special materialele pentru formarea zgurii reducătoare. Cantitatea de material de aliere,  $Q_{m.a.}$ , necesar pentru alierea cu elementul chimic E, se calculează cu relația (9/O1), [5].

$$Q_{m.a.} = \frac{[\%E] - [\%E]_0}{\%E_{m.a.} \cdot \eta_E} \cdot 100, \quad (9/O1)$$

în care [%E] reprezintă valoarea medie a proporției de element chimic de aliere din oțelul propus a fi elaborat ; [%E]<sub>0</sub> – proporția de element chimic de aliere la oprire ; %E<sub>m.a.</sub> – proporția de element chimic de

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

aliere E din materialul de aliere ;  $\eta_E$  – randamentul de asimilare în oțelul lichid a elementului chimic de aliere din materialul de aliere, în %.

Relația (9/O1) este valabilă pentru elementele chimice de aliere ce nu se regenerează din zgură în timpul etapei de dezoxidare sau chiar în timpul etapei de fierbere.

În cazul în care elementul chimic de aliere E se regenerează din zgură în baia metalică, necesarul de material de aliere se calculează cu relația (10/O1).

$$Q_{m.a.} = \frac{[\%E] - [\%E]_t + [\%E]_{reg.}}{\%E_{m.a.} \cdot \eta_E} \cdot 100, \quad (10/O1)$$

în care  $[\%E]_t$  reprezintă proporția de element chimic de aliere la topire ;  $[\%E]_{reg.}$  – proporția de element chimic de aliere ce s-a regenerat din zgură în baia metalică în timpul etapelor de afinare și dezoxidare.

Relația (10/O1) poate fi scrisă și sub forma (11/O1).

$$Q_{m.a.} = \frac{[\%E] - \langle \%E \rangle \left(1 - \frac{\%a_{Et}}{100}\right) + [\%E]_{reg.}}{\%E_{m.a.} \cdot \eta_E} \cdot 100, \quad (11/O1)$$

în care  $\langle \%E \rangle$  reprezintă proporția de element chimic de aliere din încărcătura metalică – adusă de sorturile metalice din încărcătură ;  $\%a_{Et}$  – proporția de element chimic de aliere ce se pierde prin ardere în timpul etapei de topire ;  $[\%E]_{reg.}$  – proporția de element chimic de aliere ce s-a regenerat în timpul etapelor de fierbere și dezoxidare.

Materialele nemetalice din încărcătură se referă la cele pentru carburarea încărcăturii metalice și la cele pentru formarea zgurii.

Ca materiale de carburare se utilizează deșeuri de electrozi de grafit și cocsul de petrol (deșeurile de electrozi de grafit și cocsul de petrol se utilizează cu o granulație de maximum 50 mm/buc.), fontă de afinare – fontă albă – etc. Cocsul de petrol trebuie calcinat în prealabil la temperatura de circa 100°C (nu se recomandă utilizarea, ca material

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

de carburare, a cocsului metalurgic). Nu se recomandă carburarea băii metalice prin imersarea electrozilor de grafit în aceasta.

Fonta de afinare trebuie să aibă conținutul de fosfor mic.

Ca materiale pentru formarea zgurii în timpul topirii se utilizează var proaspăt în proporție de 4...6% cu granulația de maximum 50 mm/buc. – deci concasat – dar fără componente prăfoase, preîncălzit la o temperatură de 150...200°C și fluorină cu granulația de 25...30 mm, preîncălzită la o temperatură de 150...200°C, în proporție de circa 1%, fluorina putând fi substituită și de minereu de bauxită, în aceeași proporție și cu aceeași granulație ca și fluorina.

Încărcătura metalică este alcătuită din fierul vechi, ce reprezintă o denumire comercială a deșeurilor de oțel, achiziționat din afara societăților comerciale sau reprezentând și proveniență proprie, fierul vechi propriu reprezentând 22...25% din masa încărcăturii metalice și provenind de la oțelărie, laminoare, forjă, secția de întreținere, din demontări etc.

**2.4.4. Pregătirea din punct de vedere calitativ**

Se va avea în vedere că sorturile metalice să nu conțină zăpadă, gheață, apă, materiale nemetalice (materiale plastice, cauciuc, textolit, clingherit, vaseline, uleiuri, vopsele etc.), materiale metalice neferoase, componente de proveniență militară fără certificat ce autorizează utilizarea lor, recipiente închise, nisip, pământ etc.

Încărcătura metalică se poate utiliza și în stare preîncălzită, în instalații consacrate acestui scop, utilizându-se ca sursă de încălzire arderea gazului metan. Temperatura de preîncălzire este de 500...800°C. În felul acesta se micșorează durata de topire, consumul de energie electrică și costul oțelului elaborat, obținându-se oțel de calitate superioară. Preîncălzirea încărcăturii se poate realiza și în cuptor, apelându-se la combustibili ieftini – gaz metan, păcură etc.

**2.4.5. Pregătirea din punct de vedere al masei specifice**

Încărcătura metalică de pe vatră trebuie să fie compactă iar încărcătura metalică de la suprafață trebuie să fie mai puțin compactă

### Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

cu scopul pătrunderii ușoare a electrozilor în încărcătură.

În medie, se acceptă o masă specifică în vrac de  $3,0 \dots 4,5 \text{ t/m}^3$ .

Dacă masa specifică a încărcăturii scade sub  $2 \text{ t/m}^3$ , sunt necesare două până la patru încărcări cu bena pentru a se ajunge la capacitatea nominală a cuptorului.

#### **2.5. Ajustarea**

Ajustarea reprezintă operația de reparare a căptușelii refractare granulare din zona vetrei și peretelui cuvei.

Etapa de ajustare durează  $5 \dots 8\%$  din durata de elaborare în cuptor.

Ajustarea se efectuează cu cuptorul deconectat de la tensiune și imediat după evacuarea oțelului din cuptor.

În funcție de experiența societăților comerciale, posibilitățile de aprovizionare etc., în practică, se utilizează, de exemplu, următoarele mase de ajustare :

- 90% magnezită granulată (mărimea granulației de  $4 \dots 10 \text{ mm}$ ) și 10% liant carbonic. Liantul carbonic este format din  $85 \dots 90\%$  smoală de cărbune deshidratată și  $10 \dots 15\%$  gudron de ulei ;

- dolomită granulată și magnezită granulată, în proporții relative egale, pentru partea inferioară a vetrei ;

- mortar de magnezită granulată preparat cu silicat de sodiu, pentru zonele de vatră cu înclinație mare ;

- mortar de magnezită granulată sau  $33,3\%$  dolomită granulată și  $66,7\%$  magnezită granulată, în proporție de  $90\%$ , pe de o parte, și var stins, pe de altă parte, pentru planul zgurii și zonele din vecinătatea stâlpilor ușii etc.

Se recomandă ca, înainte de utilizare, magnezita și dolomita granulate să se încălzească la temperatura de  $60 \dots 70^\circ\text{C}$  în utilajele de amestecare.

După ce s-a basculat cuptorul înspre jgheabul de evacuare, imediat după evacuarea oțelului, cât mai mult posibil, în timpul revenirii cuptorului la poziția inițială, se examinează calitatea suprafețelor vetrei, planului zgurii etc., în vederea ajustării.

#### Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

Într-o ultimă etapă ce precede ajustarea, se elimină restul de oțel și de zgură din adânciturile existente în vatră, după care se repară căptușeala refractară granulară, mai întâi în planul zgurii și apoi în zonele înclinate ale vetrei, în final reparându-se fundul vetrei. În partea a doua a ajustării se înlocuiește pragul ușii de lucru cu unul nou, se obturează orificiul de evacuare și se repară jgheabul de evacuare.

Dacă în vatră există adâncituri mai mari, masa de ajustare se adaugă sub formă de straturi. În vederea sudării granulelor fiecărui strat se coboară electrozii incandescenti până la apropierea vetrei (ușa cuptorului se menține închisă în timpul sudării).

Masa de ajustare se aruncă pe locurile ce trebuie reparate cu lopata – în cazul cuptoarelor de capacitate mică – sau prin intermediul dispozitivelor de ajustare (torcretare) – în cazul cuptoarelor de capacitate mare.

Se recomandă ca grosimea unui strat de masă de ajustare să fie de circa 50 mm.

Masa de ajustare, odată amplasată pe căptușeala refractară granulară, trebuie să suporte operația de fritare.

Prin fritare se urmărește ca, printr-un regim termic adecvat, materialele granulare din masa de ajustare să formeze un monolit. În cazul magnezitei, temperatura de fritare este de circa 1.650<sup>0</sup>C.

Pentru realizarea fritării, este nevoie de o cantitate de căldură, cantitate de căldură, care, dacă este asigurată și de căldura din cuptor rămasă de elaborarea anterioară, determină micșorarea duratei de elaborare – micșorarea costului oțelului elaborat. Dacă ajustarea se face imediat după evacuarea oțelului din cuptor, o cantitate mai mare de căldură va fi folosită pentru topirea încărcăturii metalice, în caz contrar, consumându-se căldură pentru operația de fritare în timpul etapei de topire.

Fritarea masei de ajustare se finalizează în timpul etapei de topire.

Dacă ajustarea se efectuează imediat după evacuarea oțelului din cuptor, se realizează următoarele avantaje :

– micșorarea duratei de elaborare în cuptor;

#### Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

- se mărește durabilitatea vetrei și a peretelui cuvei cuptorului;
- se realizează economie de materiale de ajustare ;
- se micșorează conținutul de incluziuni nemetalice exogene din oțel ;
- se micșorează cantitatea de masă de ajustare ce trece în zgură ;
- se măresc performanțele etapei de fierbere datorită faptului că crește cantitatea de bule de monooxid de carbon ce iau naștere la interfața vatră-baie metalică ;
- micșorarea consumului de energie electrică.

#### **2.6. Încărcarea**

Prin încărcare se înțelege totalitate operațiilor ce se întreprind pentru ca încărcătura metalică și nemetalică să fie amplasată în cuptor în așa fel încât durata de elaborare în cuptor să fie minimă iar oțelul să se obțină cu calitate superioară.

Pentru cuptoarele de capacitate mică (capacitatea mai mică decât o tonă) încărcarea se face manual, prin ușa de lucru, de regulă.

La cea mai mare parte dintre cuptoarele utilizate în industrie încărcarea se face mecanizat, prin ușa de lucru, utilizându-se jghebul metalic acționat de podul rulant sau vehicule ce se deplasează pe sol și sunt de regulă acționate electric sau pe deasupra cuvei, după ce bolta a fost rabătută în plan orizontal, cuva fiind imobilă sau mobilă, în cel de al doilea caz cuva deplasându-se pe o cale de rulare la baza de șarjare. În cazul încărcării pe deasupra cuvei, se utilizează bene prevăzute cu mecanisme de descărcare (au fundul format din două părți mobile ce se deschid și se închid prin acționare de către podul rulant sau din benzi metalice flexibile blocate în vederea încărcării de către o sfoară, sfoară căreia i se dă foc în vederea descărcării benei – sfoara ia foc datorită temperaturii mari din cuptor și ca urmare a apropierii fundului coșului de vatra cuptorului).

### Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

Încărcarea trebuie să se facă cu viteză maximă, cu scopul ca pierderile de căldură din cuptor să fie minime.

Ordinea de încărcare a componentelor încărcăturii a fost prezentată la paragraful 2.4.2 și se asigură în benă, la baza de șarjare, sau în cuptor.

Înainte de încărcarea cuptorului se verifică, vizual, starea zidăriei, în ceea ce privește următoarele aspecte:

- bolta să fie integrală (să nu aibă cărămizi lipsă);
- peretele cuvei să nu aibă tendință de surpare;
- vatra să nu prezinte denivelări, gropi, resturi de zgură sau oțel de la șarja anterioară ;
- jghebul de evacuare să fie vopsit cu vopsea refractară și să fie uscat cu un uscător mobil etc.

Înainte de bascularea benei sau de încărcarea manuală, se amplasează pe vatră 25 ... 30% din cantitatea de var necesară formării zgurii, adică circa 20 kg/t de oțel lichid.

### **2.7. Topirea**

Etapa de topire are în vedere trecerea încărcăturii metalice din starea de agregare solidă în starea de agregare lichidă, formarea zgurii și defosforarea băii metalice, pe măsură ce aceasta se formează.

Etapa de topire durează mai mult de jumătate din perioada de elaborare în cuptor, în această etapă consumându-se 60...80% din cantitatea de energie electrică necesară elaborării unei șarje, cu referire la partea din fluxul tehnologic de elaborare a oțelului care are loc în cuptor (nu și tratamentele metalurgice ce au loc în afara cuptorului).

Durata etapei de topire depinde de gradul de pregătire al încărcăturii, aranjamentul spațial al sorturilor din încărcătură, gradul de compactitate al încărcăturii, puterea transformatorului, modul de folosire a transformatorului, evitarea deranjamentelor, compoziția chimică a încărcăturii metalice, gradul de impurificare al încărcăturii (rugină, oxizi, nisip etc.) etc.

Compoziția chimică a încărcăturii metalice are o influență

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

semnificativă asupra duratei etapei de topire. Astfel, majoritatea elementelor chimice micșorează temperatura liniei lichidus – tabelul 2/O1 –, pentru ca un oțel cu grad mare de aliere ce conține până la 50% elemente chimice de aliere, să aibă temperatura liniei lichidus din diagrama de echilibru Fe-C mai mică cu circa 100°C decât cea a unui oțel nealiat.

Tabelul 2/O1

**Influența, în sensul micșorării, a unor elemente chimice din compoziția chimică a încărcăturii metalice, asupra temperaturii liniei lichidus din diagrama de echilibru Fe-C.**

Denumirea elementului chimic	Micșorarea temperaturii liniei lichidus, în °C, de către 1% element chimic însoțitor al fierului	Limita maximă a concentrației elementului chimic considerat, pentru care s-a considerat micșorarea temperaturii liniei lichidus, în %
C	80,0	1
Si	14,0	5
Mn	4,0	23
Ni	2,6	20
Cr	1,4	15
Mo	1,2	10
Al	3,4	10
S și P	35,0	2

În vederea topirii, se coboară electrozii până aproape de încărcătură, prin comenzi manuale, se închide ușa, și apoi se conectează cuptorul la rețeaua electrică prin intermediul bobinei de șoc la cuptoarele de capacitate mică și mijlocie și prin intermediul întrerupătorului de tensiune mare, la cuptoarele de capacitate mare.

Dacă arcul electric este stabil chiar de la începutul topirii, se introduce în circuit instalația de reglare automată a electrozilor, utilizându-se o tensiune mijlocie. Se mărește apoi, treptat, puterea



Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

activă până la două treimi din puterea transformatorului.

Dacă arcul electric nu este stabil la începutul topirii, se utilizează o tensiune mică, reglându-se poziția fiecărui electrod prin intermediul comenzilor manuale. Se poate interveni, în acest caz, și prin introducerea cu lopata de strunjitură sau cocs de petrol de granulație mică – se influențează pozitiv ionizarea particulelor gazoase din zona arcelor electrice – sau var de granulație mică – se mărește rezistivitatea zgurii. Pe măsură ce topirea avansează, arcele electrice devin mai stabile și după 10 ... 20 min se pune în funcțiune instalația de reglare automată, mărindu-se tensiunea la valori mijlocii – se leagă bobinajul primar al transformatorului în triunghi (puterea activă se mărește treptat).

După 15...20 min de reglare automată, electrozii ajung la baia metalică ce a prins contur pe vatră, arcele electrice nu se mai întrerup, astfel, putându-se trece pe treapta de tensiune maximă. Astfel, intensitatea curentului se mărește corespunzător unei puteri active apropiate de puterea transformatorului, bobina de șoc fiind scoasă din circuit. În această perioadă arcele electrice sunt acoperite.

Atunci când nivelul băii metalice ajunge la circa o jumătate din nivelul final, influența băii metalice asupra topiturii (topirii prin dizolvare a bucăților de metal) devine semnificativă.

O dată cu creșterea nivelului băii metalice, electrozii se ridică automat iar arcele electrice devin treptat descoperite. În felul acesta se mărește riscul de supraîncălzire a zidăriei cuvei și bolții, acest fenomen contracarându-se prin amplasarea de var pe zgură, var ce micșorează capacitatea de radieră de căldură a băii metalice.

Atunci când se constată că încărcătura este topită în mod avansat, se micșorează tensiunea la valori de 75...80% din cea maximă (la o tensiune mare, arcul electric este lung și subțire iar la o tensiune mică, arcul electric este gros și scurt).

Spre finalul topirii, dacă este cazul, se deconectează cuptorul de la rețeaua electrică, se împinge încărcătura netopită de la marginea băii metalice în baia metalică, apoi se reia topirea, apelându-se și la amestecarea băii metalice cu scule consacrate acestui scop. În ultima parte a topirii, se recomandă să se reducă tensiunea până la valori ce

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

reprezintă 60% din valoarea maximă, dar nu mai mici de 115 V, din cauza riscului de imersie a electrozilor în zgură, deci de scurtcircuitare a lor și, astfel, de mers neuniform.

Durata de topire se micșorează semnificativ dacă se insuflă oxigen în baia metalică, începând din perioada în care încărcătura metalică s-a topit în proporție de 75% sau chiar mai devreme. Oxigenul, ce provine de la fabrica de oxigen (dacă există în dotarea societății comerciale) sau de la baterii de butelii de oxigen, se introduce în baia metalică prin intermediul țevilor cu diametrul interior de 8...10 mm, la presiunea de 3...15 at. Concret, cu oxigenul se taie, la început, punțile de încălzire de la marginea încălzirii și dintre electrozi, ulterior, insuflându-se în baia metalică. De exemplu, utilizându-se oxigen 10...15 m<sup>3</sup>/t, timp de 10 ... 15 min., la cuptoare cu capacitatea de 1,5...5 t, se realizează o reducere a duratei specifice de topire de 3...5 min./t. Utilizarea oxigenului mai determină îmbunătățirea caracteristicilor mecanice de rezistență și a proprietăților de plasticitate ale oțelului (scade conținutul de gaze și de incluziuni nemetalice), micșorarea costului oțelului elaborat, micșorarea pierderilor de elemente chimice de aliere prin oxidare, accelerarea vitezei de oxidare a carbonului și, astfel, protejarea contra oxidării a elementelor chimice de aliere, proporții mai mici de FeO în zgură etc.

Dacă masa specifică a încălzirii este foarte mică, după ce s-a topit 80...90% din încălzirea metalică, se efectuează a doua încălzire, iar dacă este cazul, după topirea celei de a doua încălziri, de asemenea, în proporție de 80...90%, se efectuează a treia încălzire.

Etapa de topire se conduce în mod diferit, după cum topirea se realizează fără oxidare, cu oxidare completă sau cu oxidare parțială.

În cazul topirii fără oxidare se ține seama de particularitățile prezentate la paragraful 2.3. Încălzirea nu conține minereu de fier și nici nu se adaugă minereu de fier în timpul topirii, iar adaosul de var în încălzire este de 0,5...1,0%. În timpul etapei de topire, se adaugă din când în când cocs de petrol de granulație mică pe suprafața zgurii, cocs ce să protejeze elementele chimice de aliere de oxidare prin intermediul monoxidului de carbon pe care îl generează.

### Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

În cazul topirii cu oxidare completă, se ține seama de particularitățile prezentate la paragraful 2.1. Pe suprafața vetrei, înainte de încărcare se amplasează 0,5...1,0% var, după care, deasupra, urmează stratul de sort metalic ușor, deasupra acestuia amplasându-se 2,5...3,0% var împreună cu circa 1% minereu de fier. Cu 20...30 min înaintea terminării topirii se adaugă pe suprafață zgurii 0,5...1,0% minereu de fier și 0,5...2,0% var. Se recomandă să se evite utilizarea de var care conține și componente prăfoase, deoarece praful de var interacționează chimic cu bolta, formează compuși chimic ușor fuzibili ce cad pe zgură, schimbându-i natura chimică. Dacă fosforul s-a aflat în încărcătură în cantitate mare, se recomandă, ca pe parcursul topirii, zgura să fie eliminată de câteva ori, o dată cu aceasta eliminându-se și fosforul sub formă de fosfați de calciu. Imediat după evacuarea zgurii se formează o nouă zgură cu var și minereu de fier, păstrându-se proporțiile din încărcătură, însă, micșorându-se cantitatea în mod corespunzător cu gradul de defosforare ce trebuie realizat.

În cazul topirii cu oxidare parțială, se ține seama de particularitățile prezentate la paragraful 2.2. Încărcătura conține 3...4% var (dacă varul este vechi și, în plus, are și o cantitate mare de steril, efectul de defosforare și de separare a zgurii de baia metalică este mult diminuat și crește nejustificat de mult viscozitatea zgurii) și 1...2% minereu de fier. Dacă încărcătura metalică este relativ ruginită se poate elimina minereul de fier din încărcătura metalică solidă. Dacă încărcătura metalică este foarte curată (neruginită), cantitatea de var din încărcătură poate fi de 2%. Deasupra stratului de sort ușor ce s-a amplasat pe vatră, se recomandă introducerea a circa 0,5% spărturi de cărămizi acide la care se pot adăuga bauxită și fluorină (fluorina este mai eficientă decât bauxita, însă, are costul de achiziție mai mare decât aceasta), scopul fiind mărirea fluidității zgurii. Zgura nu se evacuează din cuptor dacă încărcătura conține elemente de aliere și se urmărește recuperarea lor din zgură.

Pe măsură ce procesul de topire decurge, baia metalică își mărește volumul – înălțimea ei crește – iar la suprafața ei se separă zgura. Zgura este formată din  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

$Al_2O_3$ , CaO, oxizi ai elementelor de aliere etc.

CaO din var zgurifică oxizii FeO, MnO,  $SiO_2$ ,  $P_2O_5$  etc. Constituenții principali ai zgurii sunt  $(CaO)_2SiO_2$  și  $(FeO)_2SiO_2$ . După topirea încărcăturii, raportul CaO/ $SiO_2$  din zgură este de circa 4.

Există și varianta de topire la care se realizează prelevarea unei probe din baia metalică atunci când mai sunt de topit doar bucăți mari de metal. Astfel, se determină compoziția chimică a băii metalice și se pot estima următoarele intervenții: carburarea cu fontă de afinare, demararea fierberii chiar în timpul topirii dacă proporția de carbon este prea mare (se insuflă oxigen în baia metalică), schimbarea destinației șarjei dacă nu corespunde compoziția chimică în mod semnificativ etc.

După topirea încărcăturii metalice, bazicitatea zgurii este de 2,0...2,5.

Odată topită toată încărcătura metalică, dacă nu există în dotarea cuptorului inductor de amestecare a băii metalice, se amestecă baia metalică cu bare de oțel consacrate, după care se prelevează o probă pentru determinarea compoziției chimice (se recomandă să se analizeze C, Mn, Si, P și S).

În funcție de conținutul de fosfor al încărcăturii metalice se decide adaosul de minereu de fier pe suprafața zgurii (după topirea integrală a încărcăturii metalice). Astfel, dacă se cere o defosforare avansată, se adaugă pe suprafața zgurii 3...5 kg/t de minereu de fier calcinat și de granulație mică.

După topire, temperatura băii metalice crește intens, oxigenul dizolvat în baia metalică, sub formă de FeO, declanșând reacția de oxidare a carbonului în toată masa de oțel lichid, ceea ce înseamnă rezultarea de CO și eliminarea lui din baia metalică. Consecința oxidării carbonului cu o viteză mai mare este începerea spumării zgurii de la topire.

Dacă oțelul ce se elaborează este nealiat, la puțin timp după ce zgura a început să spumeze, se evacuează zgura din cuptor.

Dacă oțelul ce se elaborează este aliat – încărcătura conține deșeuri aliate – și se urmărește reducerea unor oxizi ai elementelor de aliere la temperaturi mari, nu se mai evacuează zgura de la topire din

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

cuptor. În schimb, se va avea în vedere ca fosforul să fie legat în zgură sub formă de fosfat tetracalcic, cu scopul ca să nu fie posibilă refosforarea băii metalice.

Zgura se evacuează din cuptor numai după ce electrozii au fost ridicați din pozițiile de lucru.

## **2.8. Fierberea**

Scopul fierberii este micșorarea conținuturilor de hidrogen, azot și incluziuni nemetalice și omogenizarea chimico-termică, în principal, și desfășurarea unor procese de reducere a elementelor de aliere din zgură cu reducători din baia metalică, continuarea procesului de defosforare început în timpul etapei de topire, reglarea conținutului de carbon, demararea procesului de desulfurare etc., în plan secundar.

Pentru ca fierberea să se declanșeze trebuie ca temperatura băii metalice să fie de minimum  $1.580^{\circ}\text{C}$ . Dacă această condiție nu este îndeplinită fenomenul de fierbere (de oxidare a carbonului cu viteză mare) nu demarează, chiar dacă se introduce agentul oxidant în baia metalică – introducerea, de exemplu, de minereu de fier în exces nu declanșează fierberea, mai mult, existând pericolul ca atunci când începe fenomenul de fierbere, zgura să fie debordată pe ușa de lucru și să producă accidente.

După terminarea topirii se lucrează cu arc electric scurt și gros (tensiune mică), în felul acesta fiind protejată căptușeala cuptorului și dizolvându-se o cantitate mai mică de azot în baia metalică (moleculele de azot se disociază în zona arcului electric puternic, azotul atomic dizolvându-se ușor în oțelul lichid).

Fierberea se conduce în mod diferit, în funcție de metoda de elaborare adoptată – cu oxidare completă, cu oxidare parțială și fără oxidare.

### **2.8.1. Fierberea după topirea cu oxidare totală**

În cazul elaborării cu oxidare totală, după terminarea topirii, se elimină din cuptor circa jumătate din cantitatea de zgură. Cantitatea

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

de zgură care rămâne în cuptor se corectează, astfel ca la finalul etapei de fierbere, zgura să conțină 10...24% SiO<sub>2</sub>, 40...60% CaO, 6...8% MgO, maximum 35% oxizi de fier (maximum 20% FeO), maximum 5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> și maximum 2% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Raportul %CaO/%SiO<sub>2</sub> trebuie să aibă valoarea de circa 3,4.

În mod normal, deoarece conținutul de carbon la topire este de maximum 0,1%, etapa de fierbere nu există, ceea ce afectează calitatea oțelului – gradul de puritate este mic.

În realitate, este posibil ca proporția de carbon la topire să fie de până la 0,35%, ceea ce impune o subperioadă de fierbere intensă de circa 50 minute și apoi o subperioadă de fierbere liniștită de 15...20 minute. În acest fel, conținutul de carbon scade până la 0,05%.

Agentul oxidant necesar oxidării carbonului nu se introduce într-o porție ci treptat – pentru desfășurarea fierberii intense.

La finalul etapei de fierbere, se elimină 60...70% din cantitatea de zgură iar dacă se impun conținuturi mai mici de fosfor și mangan se elimină zgura în totalitate.

Dacă oțelul propus să fie elaborat are un conținut de carbon mai mare, se realizează carburarea prin introducerea în baia metalică de materiale de carburare (deșeuri de electrozi de grafit – conțin cantități mici de sulf, cenușă și substanțe volatile –, cocs de petrol, antracit, mangal etc., randamentele de asimilare a carbonului depinzând de temperatura oțelului – 70% pentru deșeurile de electrozi de grafit și antracit, 60% pentru cocsul de petrol, 50% pentru mangal etc., temperaturile mari determinând o mărire cu circa 10% a randamentelor de asimilare a carbonului tocmai menționate iar temperaturile mici determinând o micșorare cu circa 10% a respectivelor randamente de asimilare a carbonului. Carburarea se face cu cuptorul decuplat de la rețeaua electrică, dacă temperatura oțelului este mare, sau cu cuptorul cuplat la rețeaua electrică, dacă temperatura oțelului este mică. Materialul de carburare trebuie să aibă granulația mică – 1...3 mm.

Carbonul la oprire este cu 0,05% sub limita inferioară a conținutului de carbon din oțelul propus a fi elaborat, dacă oțelul este nealiat, și cu mai mult decât 0,05% în cazul în care oțelul este aliat,

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

această situație fiind justificată de carburarea pe care o generează zgura reducătoare, respectiv de carburarea cauzată de materialele de aliere.

### **2.8.2. Fierberea după topirea cu oxidare parțială**

În cazul în care se prelevează o probă din baia de oțel înainte ca bucățile mari de metal din încărcătură să fi fost topite și dacă se “anunță” un carbon la topire mare, în circumstanțele în care temperatura este mare, se declanșează fierberea oțelului prin introducerea de agent oxidant în baia metalică (minereu de fier sau oxigen). Astfel, se micșorează durata de fierbere. Dacă temperatura este mică, nu se introduce agent oxidant în baia metalică fiindcă fierberea are randament mic – se produce și o supraoxidare a oțelului.

Dacă temperatura și carbonul la topire sunt bune și nu există restricții severe pentru conținutul de fosfor, se elimină din cuptor circa jumătate din zgura existentă în cuptor după topire.

Dacă se cere un conținut de fosfor mic, se elimină zgura în totalitate din cuptor și apoi se formează o nouă zgură din var și fluorină cu raportul var:fluorină = 4,00...4,75:1, sau din var, fluorină și șamotă (sau silica) cu raportul var:fluorină:șamotă = 6:1,5:1. Stratul de zgură ce se obține, trebuie să aibă grosimea de 30 mm, ceea ce corespunde la un amestec de var, fluorină și șamotă de 2,3...2,5%.

Ulterior, pe zgura nouă se adaugă, minereu de fier calcinat, de exemplu, 0,5%, cu scopul accelerării procesului de defosforare, lucrându-se cu o tensiune mică (127 V, de exemplu) și intensitate a curentului mare, pentru ca baia metalică să aibă temperatură mare.

După 10...15 min de la adăugarea celor 0,5% de minereu de fier, baia metalică începe să fiarbă, timp în care se prelevează o probă pentru determinarea conținuturilor de carbon și oxigen și, de asemenea, se determină și temperatura. Dacă se constată că proporția de carbon este cea corespunzătoare, se adaugă agent oxidant în oțel cu scopul intensificării reacției de oxidare a carbonului – cu scopul intensificării fierberii (nu trebuie să se neglijeze nici temperatura, care, așa cum s-a mai menționat trebuie să fie de minimum 1.580<sup>0</sup>C). Așa începe oxidarea intensă a surplusului de carbon, dar și a fosforului.

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

Așa se declanșează subperioada de fierbere intensă, care, dacă se realizează prin adaos de minereu de fîre, asigură o viteză de oxidare a carbonului de 0,36...0,48% C/h, în medie, viteza de oxidare a carbonului avînd inițial valori de 0,5...0,7% C/h. Minereul de fier calculat se adaugă pe suprafața zgurii sub formă de porții.

Subperioada de fierbere intensă durează circa 35...45 min.

După subperioada de fierbere intensă, nu se mai adaugă minereu de fier sau nu se mai insuflă oxigen în baia metalică, viteza de oxidare a carbonului scăzînd sub 0,27%C/h, influență asupra scăderii vitezei de oxidare a carbonului avînd și micșorarea conținutului de carbon din baia metalică, în special sub 0,20%. Dacă viteza de oxidare a carbonului scade sub 0,12%C/h, fierberea are randament mic.

Viteza de oxidare a carbonului foarte mare provoacă eroziunea vetrei.

În timpul subperioadei de fierbere intensă, pe lângă carbon se oxidează și manganul, tehnologiile de elaborare impunînd un raport între viteza de oxidare a manganului și viteza de oxidare a carbonului de 1,00...1,25 ceea ce impune ca baia de oțel să aibă un conținut de mangan mai mare de 0,20% cît timp conținutul de carbon este mai mare de 0,15%.

Subperioada de fierbere liniștită durează 15...25 min.

La finalul fierberii raportul dintre conținuturile de CaO și SiO<sub>2</sub> ale zgurii trebuie să se situeze în intervalul 2,0...2,6.

Durata fierberii este în funcție și de calitatea oțelului propus a fi elaborat. Astfel, dacă se cere un conținut de azot mai mic în oțel, durata etapei de fierbere trebuie să fie de 55...65 min. Dacă zgura ce se formează în perioada de fierbere este de la început fluidă și cu bazicitatea de 2,0...2,6, se realizează în mod eficient defosforare, o desulfurare de 50% dacă se asigură un conținut mare de MnO în zgură și o micșorare accentuată a conținutului de hidrogen – acesta scade liniar o dată cu creșterea vitezei de oxidare a carbonului (se subliniază importanța calcinării adaosurilor și a eliminării umidității din încărcătura metalică, surse importante de hidrogen în oțelul lichid). Însă, dacă se urmărește eliminarea avansată a incluziunilor nemetalice,



### Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

este nevoie de o durată mai mare de fierbere, de o viteză de oxidare a carbonului mai mare și de o cantitate mai mare de carbon care să se oxideze în timpul fierberii – 75 minute durată de fierbere, 0,2...0,4%C/h viteză de oxidare a carbonului și o cantitate de carbon oxidată de 0,3...0,4%, dacă proporțiile de fosfor și mangan la topire sunt relativ mici (dacă proporțiile de P și Mn sunt mari, durata de fierbere trebuie prelungită la 80...90 min. iar cantitatea de carbon ce trebuie oxidată ajunge până la 0,6%; în plus, pentru a decarbura baia de oțel de la 0,55% C la 0,07% C și pentru a se obține în oțel un conținut de fosfor de 0,015%, trebuie să se elimine din cuptor de mai multe ori zgura de afinare – de fiecare dată, după evacuare, zgurile se refac). Eficiența mică a fierberii are în vedere obținerea în oțel a unor conținuturi mari de gaze și incluziuni nemetalice, afectând în special proprietățile de plasticitate. Eficiența mică a fierberii este întâlnită și atunci când lipsește subetapa de fierbere intensă iar în timpul subperioadei de fierbere liniștită, viteza de oxidare a carbonului scade sub valoarea de 0,12%C/h.

Semnificativ pentru eficiența fierberii, în cazul oțelurilor nealiate, este conținutul de mangan la oprire – la finalul fierberii – ce trebuie să fie cu cel puțin 0,10% sub limita inferioară a conținutului de mangan din oțelul propus să fie elaborat, în caz contrar, un conținut mare de mangan mărește viscozitatea oțelului lichid și determinând, în oțelul lichid, un conținut mare de incluziuni nemetalice și gaze iar în oțelul solid o austenită cu grăunți metalografici de dimensiuni mari, adică oțeluri susceptibile de crăpături la cald, de fulgi, cu călibilitate redusă etc.

O metodă de diminuare a efectelor negative ale unei fierberi intense, însă, cu viteză de oxidare a carbonului mică, este imersarea electrozilor, deconectați de la tensiune, în baia de oțel și menținerea în oțelul lichid timp de 45...90 s. Astfel, se produce o oxidare intensă a carbonului de la suprafața electrozilor, adică o fierbere violentă, ceea ce are ca rezultat degazarea și eliminarea incluziunilor nemetalice într-o măsură semnificativă, însă, cu consum mare de electrozi.

În momentul în care s-a obținut carbonul de la oprire iar fierberea este liniștită și uniformă, se elimină zgura din cuptor

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

60...70% sau în totalitate, după cum se urmăresc conținuturi mici de fosfor și mangan, respectiv foarte mici.

Eliminarea zgurii, în totalitate, din cuptor, se realizează prin bascularea cuptorului, nedeconectat de sub tensiune, înspre ușa de lucru, zgura debordându-se peste pragul de lucru într-o cochilă metalică consacrată pentru manipularea zgurii, debordarea având loc până când oțelul atinge pragul ușii de lucru. Urmează întreruperea alimentării la tensiune a cuptorului, ridicarea electrozilor și apoi eliminarea zgurii prin intermediul sculelor acționate manual.

Importanță trebuie să se acorde și cantității de sorturi metalice aliate din încărcătură. Elemente de aliere precum Cr, W, V, Mn, Nb și Si se oxidează parțial în timpul topirii, oxizii lor din zgură având posibilitatea să se regenereze parțial la temperaturi mari, [3]. În plus, are importanță natura oxizilor, care, în cazul  $Cr_2O_3$ , determină mărirea viscozității zgurii – scăderea activității ei metalurgice. Prin urmare, se recomandă evitarea utilizării în încărcătură de deșeuri aliate cu crom, de exemplu.

**2.8.3. Fierberea după topire fără oxidare**

După topirea fără oxidare nu se realizează fierbere cu minereu de fier și, de asemenea, nu se elimină zgura din cuptor deoarece este rentabil ca să se reducă și cantitatea mică de oxizi care se formează și sunt în zgură, în timpul etapei de dezoxidare.

Lipsa etapei de fierbere impune ca proporția de carbon din încărcătură să fie cu circa 0,10% mai mică decât limita inferioară a conținutului de carbon din oțelul propus să fie elaborat – cele circa 0,10% de carbon vor proveni din zgura reducătoare, în timpul etapei de dezoxidare și din materialele de aliere. În cazul în care conținutul de carbon din încărcătură este mai mare decât conținutul de carbon din oțelul propus să fie elaborat, trebuie să se facă diluarea cu deșeuri de oțel cu conținut de carbon foarte mic, iar dacă este cu mult mai mic decât conținutul de carbon din oțelul propus să fie elaborat se impune carburarea cu fontă de afinare.

Pentru ca proporția de gaze și de incluziuni nemetalice să scadă semnificativ, se poate face o fierbere de scurtă durată,

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic  
utilizându-se ca agent oxidant oxigenul.

#### **2.8.4. Fierberea oțelului cu minereu**

Cantitatea de minereu de fier se calculează ținând cont de necesarul de FeO pentru oxidarea elementelor chimice din baia metalică în timpul etapei de fierbere, apoi necesarul de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> care interacționează cu fierul din baia metalică și în final ținând cont de concentrația de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> din minereul de hematită.

Sursa [7] indică pentru elaborarea unui oțel nealiat un necesar de minereu de fier de 0,8 kg/t pentru fiecare 0,01% C ce trebuie oxidat în timpul etapei de fierbere și mai precizează că necesarul de var din perioada de afinare este egal cu necesarul de minereu de fier.

În timpul fierberii cu minereu de fier, în baia metalică pătrunde – se absoarbe – oxigen din atmosfera cuptorului datorită prezenței stropilor de oțel, are loc un transfer direct de oxigen de la bucățile mari de minereu de fier la baia de oțel, suprafața de contact dintre zgură și baia metalică crește semnificativ datorită prezenței stropilor de oțel iar în baia metalică ajung și stropi de zgură – zgura formează o emulsie în baia metalică – iar arcul electric, prin temperatura mare, creează condiții specifice pentru ca oxigenul din atmosfera cuptorului să ajungă în baia metalică, [7].

La începutul fierberii, când conținutul de carbon este mare, oxidarea carbonului are la bază difuzia oxigenului prin baia metalică iar la finalul fierberii, când conținutul de carbon este mic, oxidarea carbonului are la bază difuzia carbonului.

Pentru elaborarea oțelurilor aliate se recomandă utilizarea minereului de fier împreună cu insuflarea oxigenului gazos, ceea ce determină o temperatură mai mică a oțelului – în cazul fierberii oțelului cu oxigen gazos, temperatura maximă a băii metalice ajunge până la 1.950<sup>0</sup>C (minereu de fier se folosește împreună cu oxigenul, fie se alternează adaosul de minereu de fier cu insuflarea oxigenului gazos).

În cazul utilizării minereului de fier are loc micșorarea moderată a temperaturii băii metalice și creșterea, în aceeași măsură a viscozității ei. De aici rezultă și că adaosul de minereu de fier la

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

temperaturi mai mici de  $1.580^{\circ}\text{C}$  ale băii metalice și, în egală măsură, în cantități mari – sub formă de porții mari – nu determină mărirea vitezei de oxidare a carbonului.

În cazul elaborării oțelurilor aliate, la afinarea mixtă cu minereu de fier și oxigen gazos se utilizează nomograme de dependență a consumului de minereu de fier de intensitatea de insuflare a oxigenului, temperatura băii metalice, puritatea oxigenului gazos și valoarea fluxului termic.

Minereu de fier se utilizează pentru fierbere cu granulația de 40...150 mm și calcinat și la temperaturi de  $300...500^{\circ}\text{C}$ .

În timpul fierberii se prelevează câteva probe prin turnarea oțelului în cochilă metalică, în vederea controlului evoluției procesului de oxidare a carbonului.

O determinare relativă a conținutului de carbon se poate realiza prin turnarea a circa un kilogram de oțel lichid, pe o placă de oțel, de la înălțime mică, obținându-se o „scoarță” de oțel cu grosimea de 3...5 mm, scoarță ce se desprinde imediat de pe placă, se răcește în apă și apoi se îndoaie pe muchia unei plăci de oțel cu ajutorul unui ciocan, manual. În funcție de mărimea unghiului de îndoire înainte de rupere și de forța cu care se lovește cu ciocanul, se poate aprecia conținutul de carbon din oțel. De exemplu, dacă unghiul de îndoire este  $0^{\circ}$ , adică scoarța de oțel se rupe prin simpla lovire, conținutul de carbon este de circa 0,35%, pentru ca scoarța de oțel să se îndoaie la rupere cu alte unghiuri și în funcție de conținutul de carbon, prezentându-se în continuare câteva „asocieri” unghi de îndoire înainte de rupere – conținut de carbon:  $20^{\circ}$  – circa 0,30% C ;  $45^{\circ}$  – circa 0,25% C ;  $60^{\circ}$  – circa 0,23% C ;  $90^{\circ}$  – circa 0,20% C ;  $120^{\circ}$  – circa 0,17% C ;  $135^{\circ}$  – circa 0,15% C ;  $180^{\circ}$  și început de ruptură – circa 0,12% C ;  $180^{\circ}$  și ruptură incompletă – circa 0,10% C. O asemenea metodă este relativă, depinde de experiența oțelarului, depinde de compoziția chimică a oțelului, însă, cu certitudine poate decide momentul oportun de prelevare a probei din cuptor în vederea determinării compoziției chimice – se elimină prelevările din timpul perioadei de fierbere (exemplul dat este absolut orientativ și a fost dat cu titlu informativ).

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

**2.8.5. Fierberea oțelului cu oxigen**

Folosirea oxigenului determină următoarele efecte : concentrații locale mari de oxigen, temperaturi foarte mari în zona de impact (maximum  $2.500^{\circ}\text{C}$ ) ceea ce protejează elementele de aliere de o oxidare puternică, disocierea carburilor din baia metalică, grad mare de agitare a băii metalice, ceea ce conduce la creșterea suprafeței de reacție dintre carbon și oxigen (viteza de oxidare a carbonului depinde mai puțin de difuzia reactanților spre suprafața de reacție), micșorarea tensiunii interfazice oțel lichid-aer, creșterea fluctuațiilor de energie, accelerarea fenomenului de germinare a bulelor de CO pe suprafața oxigenului molecular etc.

Viteza de oxidare a carbonului variază de la  $1,8...2,4\%/\text{h}$ , cât se constată la concentrații mari de carbon, la  $0,15...0,20\%/\text{h}$ , cât se constată la conținuturi foarte mici de carbon – sub  $0,05\%/\text{C}$  (cu minereu de fier nu se poate face fierberea oțelului până la conținuturi de carbon mai mici de  $0,05\%$ ).

Începând de la temperaturi de  $1.580...1.590^{\circ}\text{C}$ , adică de la începutul insuflării oxigenului în baia metalică, începe procesul de regenerare a elementelor de aliere din zgură în baia metalică, viteze mari de regenerare constatându-se în cazul cromului și manganului.

Durata de fierbere a oțelului este de circa 10 min.

Fierberea oțelului cu oxigen determină continuarea procesului de defosforare care s-a desfășurat cu o viteză maximă în timpul topirii.

Presiunea de insuflare a oxigenului în baia metalică este  $8...10$  at.

În timpul insuflării oxigenului, cuptorul este decuplat de la rețeaua electrică, electrozii sunt ridicați iar zgura se menține fluidă și cu bazicitate mare (se adaugă pe suprafața zgurii var și fluorină).

Oxigenul se insuflă prin țevi de oțel consumabil ce au diametrul interior de 28 mm și grosimea de perete de 4 mm, prin ușa de lucru. Țeava de oțel se fixează într-un dispozitiv prevăzut cu pereți dubli, de cupru, printre care circulă apă de răcire. În același dispozitiv se montează și o țeavă de cupru care prin intermediul unui furtun este pusă în legătură cu sursa de oxigen. Mișcarea țevii de insuflare se face

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

numai într-un plan ce are înclinarea față de orizontală de  $20^{\circ}$ , în stânga și în dreapta, cu scopul evitării pericolului de formare de gropi în zidăria vetrei sau a peretelui cuvei. Țeava se imersează prin zgură în baia metalică, imersarea în baia metalică făcându-se o treime din înălțimea băii metalice.

Oxigenul se poate insufla și prin lănci răcite cu apă introduse în cuptor prin boltă, fără ca lancea să fie imersată în baia metalică, adică oxigenul insuflându-se de la distanță.

În perioada de fierbere cu oxigen, se formează  $2.500 \dots 5.000 \text{ m}^3\text{N}$  de gaze/t de oțel, cantitate ce ajunge la  $7.500 \dots 11.000 \text{ m}^3\text{N/t}$  de oțel dacă se ia în considerație și aspirarea de către gaze a aerului. Gazele degajate conțin  $5,4 \dots 10,0 \text{ g/m}^3\text{N}$  praf (constituentul de bază al prafului este dat de oxizii de fier). Gazele, de culoare cafenie, atacă zidăria peretelui cuvei și a bolții, ceea ce impune captarea lor cu un ventilator prin intermediul unui orificiu din boltă.

În timpul insuflării oxigenului, cuptorul este înclinat spre ușa de lucru, astfel ca zgura fluidă, să se poată evacua.

**2.8.5.1. Particularități de fierbere în cazul elaborării oțelurilor nealiate și slab aliate**

După terminarea topirii, când temperatura băii metalice a ajuns în intervalul  $1.580 \dots 1.600^{\circ}\text{C}$ , începe insuflarea oxigenului și se poate mări raportul  $(\text{CaO})/(\text{SiO}_2)$  din zgură până la  $3,0 \dots 3,5$  prin adăugarea de circa 2% var și maximum 1% fluorină.

Conținutul de carbon la topire trebuie să fie mai mare decât conținutul de carbon la oprire cu  $0,3 \dots 0,4\%$ .

O dată cu oxigenul se poate insufla în baia metalică var și arsură de fier sub formă de pulbere.

În timpul insuflării oxigenului, pe suprafața zgurii se adaugă var, sub formă de porții mici, cu scopul fluidificării zgurii.

Conținutul de fosfor poate scădea până la maximum 0,015% iar cel de carbon până la minimum 0,03%.

După terminarea insuflării oxigenului, oxigenul dizolvat în baia metalică determină o fierbere intensă timp de minimum 6 min, după care are loc o fierbere liniștită din cauza scăderii conținutului de

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic  
carbon din baia metalică.

Se preferă ca oxigenul să se insuflă de la distanță, adică fără imersarea lăncii în baia metalică.

#### **2.8.5.2. Particularitățile de fierbere cu oxigen în cazul elaborării oțelurilor cu grad de aliere mediu și mare**

În cazul în care încărcătura metalică conține deșeuri aliate (în mod curent, 35...70%), nu se elimină zgura de la topire, în vederea recuperării semnificative a unor elemente de aliere din zgură – în mod deosebit, cromul și manganul.

În vederea recuperării avansate a unor elemente de aliere, se scurtează durata de topire, se utilizează cuptoare dotate cu transformatoare puternice care să determine atingerea în scurt timp a temperaturii de  $1.580^{\circ}\text{C}$  necesară fierberii, se insuflă oxigen cu debit mare pentru ca temperatura să crească mult și în timp scurt, zgura trebuie să fie în cantitate relativ mică pentru ca să se satureze repede în oxizii elementelor de aliere ce urmează a fi recuperate, încărcătura metalică trebuie să aibă un conținut mic de fosfor (mai mic decât cel din oțelul propus să fie elaborat), trebuie să se evite surplusurile de carbon la topire mari deoarece această situație conduce la mărirea cantității de oxigen din oțel etc.

Dacă temperatura în timpul fierberii atinge valoarea maximă de  $1.950^{\circ}\text{C}$ , se recomandă să se efectueze fierberea și cu minereu de fier.

Elementele chimice Si, Al, Ti și Ta se oxidează complet în timpul topirii și nu pot fi regenerate din zgură.

Oțelurile inoxidabile se elaborează în cuptoare electrice cu arc, cu capacitatea de 20... 150 t, de tip UHP (Ultra High Power). Topirea se realizează într-o perioadă scurtă. Materialele refractare sunt de înaltă calitate și sunt cromitomagnezite sau magnezitice, cu un conținut mare de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Asemenea oțeluri sunt elaborate prin conducerea proceselor cu calculatorul de proces. Cuptoarele sunt prevăzute cu sisteme de amestecare electromagnetică și sisteme de depresurizare, obținându-se conținuturi minime de gaze și incluziuni nemetalice, [8]. Cuptorul UHP este etanșat în mod corespunzător, ceea

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

ce determină diminuarea accentuată a oxidării cromului. Încărcătura metalică are în componență deșeuri de oțel cu grad mare de aliere în crom (10...13% Cr) – topirea durează 1,5...2 h. După afinare, conținutul de crom este de 7...8%, contându-se pe recuperarea cromului din zgură în perioada de dezoxidare. Astfel, coeficientul de scoatere al cromului ajunge până la 90%, adică pierderile de crom sunt de 10%. Surplusul de carbon la topire este de 0,15...0,30% peste limita prescrisă a oțelului, în circumstanțele în care încărcătura se realizează prin amplasarea pe vatră a fierului vechi cu conținut de crom, apoi a materialelor de aliere (nichel, ferocrom cu conținut mare de carbon etc.), fierului vechi mijlociu nealiat și apoi a maximumului 15% strunjituri. Cantitatea de zgură trebuie să fie mică (se utilizează maximum 1% var). Încărcătura trebuie să conțină minimum 1% Si, cu scopul ca zgura să fie acidă. Pentru mărirea acidității zgurii se introduce pe suprafața zgurii și maximum 1,15% spărturi de șamotă, însă, măcinate. În aceste condiții, cromul se oxidează mai puțin, zgura nu este viscoasă iar viteza de decarburare în perioada de fierbere este mare. În perioada de fierbere, se insuflă oxigen timp de 15...20 min, temperatura ajungând la 1.500...1.850<sup>0</sup>C. În timpul insuflării oxigenului, cromul se oxidează în continuare rezultând CrO și Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. CrO este redus de către carbonul din baia metalică la temperaturi mari iar Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> formează, în zgură, spineli solizi. În timpul fierberii, atât timp cât conținutul de carbon este mare, carbonul consumă oxigen și, astfel, cromul este protejat împotriva oxidării. Acum, oxigenul se insuflă cu debit mare – 1,00...2,5 m<sup>3</sup>N/t-min. După ce conținutul de carbon a scăzut în baia metalică, există pericolul de oxidare intensă a cromului. Acest risc este eliminat prin creșterea temperaturii băii metalice până la 1.850...1.900<sup>0</sup>C, creșterea temperaturii obținându-se prin insuflare de oxigen cu debit relativ mare – de exemplu, 1 m<sup>3</sup>N/t-min, pentru cuptoare cu capacitatea mai mică de 13 t.

În cazul oțelurilor cu grad de aliere mare pentru mangan (12...14%), carbonul se oxidează și prin intermediul MnO din zgură. În timpul fierberii, are loc și procesul de regenerare a manganului din zgură. Dacă zgura este saturată cu MnO, procesul de reducere a MnO



Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

este accentuat, această situație obținându-se lucrând cu o cantitate mai mică de zgură.

## **2.9. Dezoxidarea oțelului**

Dezoxidarea reprezintă micșorarea conținutului de oxigen, din oțelul lichid, rămas după etapa de fierbere, până la concentrații care să nu mai permită formarea bulelor de monooxid de carbon în intervalul de solidificare și până la concentrații ce să confere oțelului proprietăți de plasticitate mari (eliminarea cât mai avansată a oxizilor ce se formează în timpul dezoxidării).

Dezoxidarea se realizează în trei subetape, acestea fiind predezoxidarea, dezoxidarea prin difuzie și dezoxidarea prin precipitare.

### **2.9.1. Predezoxidarea**

În momentul în care, în oțelul lichid, în timpul etapei de fierbere, s-a obținut carbonul de la oprire, se frânează procesul de oxidare a carbonului prin adaos în baia metalică de feromangan. Se calculează cantitatea de feromangan în așa fel încât conținutul de mangan din oțelul lichid să se apropie de limita inferioară a conținutului de mangan din oțelul propus a fi elaborat. Sursa ș9ț indică și utilizarea, ca înlocuitor al feromanganului, fonta aliată cu mangan, cunoscută și cu denumirea de fontă oglindă.

Urmează amestecarea băii metalice și prelevarea unei probe de oțel. Se elimină din cuptor circa 75% din cantitatea de zgură rămasă de la afinare.

Între timp, trebuie să sosească de la laboratorul de analize chimice rezultatul referitor la compoziția chimică a probei prelevate. Astfel, dacă fosforul este în proporție prea mare, se elimină din cuptor și celelalte 25% de zgură rămasă de la afinare. Dacă se impune o carburare slabă, se introduce în baia metalică fontă de afinare (fonta de afinare micșorează temperatura oțelului lichid). Dacă se impune o carburare puternică, se introduce în cuptor cocs de petrol.

Fie că se elimină 75% fie 100% din zgura de la afinare,

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

trebuie ca zgura să fie refăcută, în așa fel încât să aibă o grosime de 30 mm și să reprezinte 2,0...2,3% din masa băii metalice. Se va avea în vedere ca să se realizeze un raport var mărunt:fluorină: nisip cuarțos de (5...8):(0,5...2,0):(0,5...1,5) sau un raport var mărunt: fluorină de (4,0...5,5):1, existând și varianta var mărunt: fluorină: spărturi de cărămizi de siliciu sau șamotă măcinată cu valoarea de 6:1:1.

Aceste materiale de formare a noii zguri se pot introduce amestecate în prealabil (varul trebuie obligatoriu utilizat în stare calcinată) sau se pot introduce separat, în ordinea prezentată anterior la rapoarte.

În timpul în care zgura este finalizată – 15... 20 min – se lucrează cu tensiune mică (circa 140 V) și intensitate mare, în așa fel încât temperatura băii metalice să atingă valori de 1.600..1.650<sup>0</sup>C.

Dacă este nevoie de regenerarea unor elemente chimice de aliere din zgură nu se elimină zgura de la finalul etapei de fierbere, însă, se fac corecturile de rigoare pentru carbon – dacă este cazul.

În continuare, se face predezoxidarea cu mangan. Concret, se introduce în baia metalică feromangan, în așa fel calculat încât să se obțină în oțel un conținut de mangan egal cu conținutul de mangan mediu al oțelului propus să se elaboreze. Astfel, ia naștere un produs oxidic de forma  $m\text{MnO} \cdot n\text{FeO}$  ce este în stare lichidă și care se separă cu ușurință în zgură, astfel, eliminându-se o parte din oxigenul din baia metalică. Este obligatoriu ca în momentul introducerii feromanganului în baia metalică, proporția de oxigen din aceasta să fie mai mare.

Urmează predezoxidarea cu siliciu. Siliciul este introdus în baia metalică sub formă de ferosiliciu. Cantitatea de ferosiliciu se calculează în așa fel încât în baia metalică să rămână 0,03...0,07% Si. Dacă raportul dintre conținuturile de Mn și Si –  $[\text{Mn}]/[\text{Si}]$  – are valori cuprinse în intervalul 4...8, este permisă utilizarea unei cantități mai mari de siliciu ca predezoxidant. Utilizarea predezoxidării cu siliciu după predezoxidarea cu mangan este justificată de faptul că manganul mărește capacitatea de dezoxidare a siliciului și de faptul că produșii ușor fuzibili de tipul  $m\text{MnO} \cdot n\text{FeO}$  joacă rol de fondant, [3], pentru

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

SiO<sub>2</sub> ce se formează ulterior. Așa iau naștere produșii de dezoxidare din sistemul MnO–SiO<sub>2</sub>–FeO ce sunt ușor fuzibili, se află în stare lichidă, separându-se cu ușurință în zgură și, astfel, oțelul dezoxidându-se.

Dacă predezoxidarea cu siliciu s-ar face înaintea predezoxidării cu mangan, ar rezulta SiO<sub>2</sub> și produse bogate în SiO<sub>2</sub> care se separă greu în zgură, sunt greu fuzibile, rămân în stare de suspensie în oțel, oțelul dezoxidându-se slab – același efect se obține dacă se face predezoxidarea numai cu siliciu sau dacă se introduce în oțel o cantitate prea mare de ferosiliciu sau o cantitate prea mică de feromangan.

Sursa [9] indică obținerea unui grad de dezoxidare superior dacă predezoxidarea se face cu silicomangan în care raportul Mn/Si este de 4...8 – silicații de mangan complecși ce iau naștere se separă mai ușor în zgură. Aceeași sursă bibliografică indică și posibilitatea de predezoxidare cu aluminiu, după predezoxidările cu mangan și siliciu, în cantitate de circa 0,15 kg/t, rezultând Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> care se decantează în mare măsură în zgură datorită tensiunii interfazice Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - matrice metalică mari.

**2.9.2. Dezoxidarea prin difuzie – prin extractie**

Dezoxidarea prin difuzie are la bază menținerea oțelului sub un strat de zgură reducătoare – fără FeO – conform principiului repartiției elementelor, asigurându-se transferul oxidului feros din baia metalică în zgură.

Se are în vedere ca materialele utilizate pentru formarea zgurii reducătoare să îndeplinească următoarele condiții :

- varul să fie proaspăt, să aibă dimensiuni de 20...40 mm, înainte de utilizare să fie preîncălzit la o temperatură de minimum 150<sup>0</sup>C și să conțină max. 1% SiO<sub>2</sub> și min. 3% CO<sub>2</sub>;
- fluorina să fie uscată și cu granulație de maximum 20 mm;
- materialele de carburare – cocsul de petrol și deșeurile de electrozi de grafit – să fie uscate și să aibă granulația de maximum 1 mm.

Dacă nu sunt îndeplinite condițiile anterioare, se mărește

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

cantitatea de gaze din oțel – în special hidrogenul ce provine din umiditatea materialelor nemetalice de adaos –, acestea nemaiputându-se elimina prin fierbere. Modalitatea de eliminare a gazelor în exces este, în principal, prin barbotare cu gaze inerte în afara agregatului de elaborare.

Zgura reducătoare, necesară dezoxidării prin difuzie, se obține prin prelucrarea zgurii din perioada de predezoxidare – a celei prezentate la paragraful 2.9.1. Dacă elaborarea se face fără oxidare, zgura care se prelucrează pentru a deveni dezoxidantă este aceea obținută după etapa de topire.

Dezoxidarea prin difuzie se poate face cu una din următoarele variante: zgură albă, zgură carbidică și zgură reducătoare cu adaos de siliciu și aluminiu.

**2.9.2.1. Dezoxidarea prin difuzie cu zgură albă**

Această metodă de dezoxidare se realizează în trei etape, respectiv formarea zgurii de primire, albirea zgurii și menținerea băii metalice sub zgură albă.

Pe zgura rezultată de la predezoxidare se adaugă un amestec format din var, cocs de petrol și fluorină, în proporție de 5:3:1, în cazul elaborării oțelurilor cu un conținut mai mare de 0,25%, sau se adaugă un amestec format din var, cocs de petrol, ferosiliciu și fluorină, în proporțiile 5:1,5:1,5:1, în cazul elaborării oțelurilor cu un conținut de carbon mai mic de 0,25% – în cazul oțelurilor cu un conținut foarte mic de carbon cocsul de petrol se înlocuiește cu ferosiliciu sau silicocalciu sau aluminiu sub formă de granule.

Cantitatea de amestec var, cocs de petrol și fluorină este de 9...9,5 kg/t pentru oțelurile cu un conținut de carbon mai mare de 0,25% iar cantitatea de amestec var, cocs de petrol, ferosiliciu și fluorină este de 9,5...10,5 kg/t.

După circa 30 min de la introducerea amestecului de la aliniatul anterior – amestecul se poate introduce în mai multe reprize – zgura se deschide la culoare, trecând prin nuanțele cafenie și gălbuie, pentru ca în final să devină de culoare albă (zgura albă, în contact cu aerul se transformă în praf de culoare albă ca urmare a formării ortosilicatului de

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

calciu, formare ce are loc cu mărire de volum).

După formarea zgurii albe se prelevează o probă de oțel pentru determinarea conținuturilor de carbon și mangan, apoi se amestecă baia metalică timp de 10 min, după care se prelevează altă probă de oțel.

Urmează adăugarea unui amestec reducător în cantitate de 7,5...14 kg/t, format din var, ferosiliciu cu 75% Si și fluorină în următoarele proporții de var:ferosiliciu 75 : fluorină :

- 6:2:1 pentru oțelurile nealiate;
- 8:2:1 pentru oțeluri cu grad de aliere mic;
- 3:2 :1 pentru oțelurile cu un grad de aliere mare.

Cantitatea totală de zgură reducătoare este de 3...5%.

Zgura albă trebuie să conțină, în general, 55...65% CaO, 15...20% SiO<sub>2</sub>, max. 10% MgO, 1,5...3,0% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, max. 1,5% FeO, max. 1% MnO, max. 1% CaS, 7...10% CaF<sub>2</sub> și 0,5...1,0% CaC<sub>2</sub>.

Sub o asemenea zgură, oțelul se menține până la evacuarea din cuptor.

Durata medie de dezoxidare sub zgură albă este de 50...60 min, însă se poate prelungi această durată până la 70...90 min, prelungire care, în circumstanțele unei temperaturi de 1.600...1.650<sup>0</sup>C, asigură scăderea conținutului de oxigen din oțel lichid până la 0,004...0,007%, dar, în schimb, conduce la creșterea conținutului de azot.

Pentru oțelurile cu conținut mic de carbon sau cu limite înguste – de asemenea, în cazul în care, la începutul dezoxidării, conținutul de carbon este prea mare – dacă există metoda de elaborare cu eliminarea din cuptor a zgurii de la finalul fierberii – există tehnologia de dezoxidare sub zgură albă ce se prezintă în continuare. Se formează zgură nouă, în cantitate de circa 2%, din var și fluorină – de exemplu, 20 kg/t var și 3 kg/t fluorină. Ulterior, se micșorează tensiunea – sub 140 V – și se adaugă ferosiliciu, măcinat, în cantitate de 1,5...2,0 kg/t. Astfel, zgura devine liniștită și lucioasă. După 5...8 min se mărește tensiunea – de exemplu, la 155 V – și se adaugă pe zgură un amestec format din cocs, ferosiliciu 75% și fluorină. Așa, zgura spumează și devine albă în 10...20 min. Ulterior, se adaugă

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

periodic ferosiliciu, după caz, amestecat cu cocs.

Sub zgura albă, fierberea băii metalice încetează. Monoxidul de carbon care se mai formează în baia metalică sau la interfața baie metalică-zgură este redus de siliciul adăugat în zgură conform reacției chimice  $2[\text{CO}] + (\text{Si}) = 2[\text{C}] + (\text{SiO}_2)$ , conform acestei reacții chimice baia metalică carburându-se, viteza de carburare luându-se în considerație și carburarea cauzată de zgură, fiind de 0,02% C/h.

### **2.9.2.2. Dezoxidarea prin difuzie cu zgură carbidică**

Denumirea de carbidică provine de la conținutul de  $\text{CaC}_2$  al zgurii – 1...3%.

$\text{CaC}_2$  provine în urma interacțiunii  $\text{CaO}$  cu carbonul din cocsul de petrol, sub influența arcului electric.  $\text{CaC}_2$  este constituintul principal al carbidului.

Alegerea dezoxidării cu zgură carbidică trebuie să aibă în vedere că o asemenea zgură reflectă puternic căldura spre zidărie – o uzează accentuat –, carburează baia metalică, viteza de carburare fiind 0,03...0,05%C/h și se separă greu de baia metalică, determinând, în timpul amestecării băii metalice în cuptor și în timpul evacuării, impurificarea oțelului cu incluziuni nemetalice. De asemenea, zgura carbidică, micșorează pericolul ca în timpul dezoxidării prin precipitare produșii reacțiilor de dezoxidare să fie în cantitate mare și să rămână în cantitate mare în oțelul lichid.

Dezoxidarea cu zgură carbidică se aplică în cazul elaborării oțelurilor ce au conținut de carbon mare și a oțelurilor care admit limite largi pentru conținutul de carbon.

Se are în vedere că zgura carbidică trebuie să asigure și o bună desulfurare, cantitatea de zgură carbidică luând în considerare impunerea unui coeficient de repartiție al sulfurii între zgură și baia metalică ce depinde, la rândul său, de gradul de desulfurare al oțelului, [10].

Pe zgura rezultată de la predezoxidare se adaugă un amestec compus din var, cocs de petrol și fluorină în proporțiile var: cocs de petrol : fluorină de 5:3:1. Cantitatea de amestec menționat se adaugă în porții în cantitate de 11...15 kg/t (mai mare decât în cazul formării zgurii albe) și se

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

distribuie uniform pe toată suprafața zgurii.

Se închide ușa cuptorului cu scopul evitării pătrunderii aerului în cuptor.

Se lucrează cu regimul electric de intensitate maximă consacrat etapei de dezoxidare.

După 20...25 min se deschide ușa de lucru a cuptorului și pe zgura spumantă se adaugă amestec de var, cocs de petrol și fluorină (var: cocs de petrol: fluorină cu valoarea de 5:3:1) în cantitate de 9...15 kg/t, astfel ca adaosul total de amestec carburant să fie de 2...3%.

Compoziția chimică a zgurii carbidice are valorile prezentate în tabelul 3/O1, [9].

Tabelul 3/O1

**Compoziția chimică a zgurii carbidice**

Varianta	Compoziția chimică, în %								
	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	CaS	CaF <sub>2</sub>	CaC <sub>2</sub>
1	55...65	9...22	max. 10	max. 4,0	max. 0,8	max. 0,8	max. 2,0	8...12	1,0...3,0
2*	60...65	18...22	7...9	0,3	0,5	max. 0,1	0,3	10	1,0...1,5

\* zgură tipică

Se păstrează același regim termic intens 20...40 min, zgura devenind liniștită pe măsură ce se reduc unii oxizi din ea (FeO, MnO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> etc.).

Conținutul minim de oxigen în oțelul lichid se obține dacă zgura carbidică conține maximum 0,5% FeO în majoritatea timpului de dezoxidare prin difuzie.

Pentru diminuarea fenomenului de carburare dar și a fenomenului de impurificare a oțelului lichid cu incluziuni nemetalice, înainte de dezoxidarea prin precipitare și de aliere, se amestecă baia metalică, se prelevează o probă pentru analiza compoziției chimice și apoi se transformă zgura carbidică în zgură albă, adică se micșorează concentrația de CaC<sub>2</sub> din zgură, fenomen ce mai poartă denumirea de „spargere”. „Spargerea” se realizează practic prin deschiderea ușii de lucru a cuptorului timp

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

de 5 minute sau prin adăugarea pe suprafața zgurii a unei cantități mici de arsură de fier – are loc oxidarea carbonului din  $\text{CaC}_2$ .

Dacă este cazul, se adaugă pe suprafața zgurii un amestec de var, ferosiliciu cu 75% Si și fluorină în proporțiile var :ferosiliciu 75% : fluorină de 6 :2 :1 – pentru oțelurile nealiate –, de 8 :2 :1 – pentru oțelurile cu grad de aliere mic – și de 3 :2 :1 – pentru oțelurile cu grad de aliere mare.

Durata de dezoxidare cu zgură carbidică nu trebuie să depășească 90...100 min, avându-se în vedere, în afară de motivele prezentate la începutul acestui paragraf, și faptul că se perturbă semnificativ echilibrul dintre oxizii de fier din baia metalică și oxizii de fier din masa de ajustare – căptușeala refractară granulară. Consecința este că se creează un flux unidirecțional de oxizi de fier de la căptușeala refractară la baia metalică, ceea ce determină micșorarea rezistenței mecanice a căptușelii refractare granulare, desprinderea de părți din ea, și, astfel, impurificarea oțelului.

În timpul dezoxidării prin difuzie, indiferent de natura zgurii, se controlează compoziția chimică a oțelului și, în mod deosebit, conținutul de oxigen.

Conținutul de oxigen se controlează, fie prin prelevare de probe cu diametrul de 5 mm cu dispozitive consacrate (tuburi de sticlă depresurizate), probe analizate apoi prin metode fizice, fie prin turnare de oțel în cochile metalice cu capacitatea de circa 1 kg și cu secțiunea longitudinală ușor tronconică. Concret, se toarnă oțelul cu lingura în cochilă și apoi se analizează vizual oțelul turnat. Astfel, oțelul este „bine dezoxidat” – această expresie având „doza” de relativism inerentă – dacă oțelul turnat nu emană gaze și scânteii, iar după solidificare suprafața probei este concavă. De asemenea, se poate turna o probă cilindrică în cochilă – de exemplu,  $\phi 50 \times 60$  mm – probă ce apoi se forjează până la înălțimea de 10 mm. Dacă pe marginea probei forjate nu apar crăpături, înseamnă că oțelul este bine dezoxidat.



Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

### **2.9.2.3. Dezoxidarea prin difuzie cu zgură și adaos de siliciu și aluminiu**

Această metodă de dezoxidare prin difuzie se aplică în cazul elaborării oțelurilor cu conținut de carbon mic, care au conținutul de carbon între limite strânse și în cazul elaborării oțelurilor aliate cu crom, cu grad de aliere mare, elaborate din încărcături ce conțin sorturi aliate cu crom și elaborate prin fierbere cu oxigen.

În cazul elaborării oțelurilor cu conținut foarte mic de carbon sau între limite strânse, după ce s-a eliminat zgura de la afinare, se formează o zgură nouă cu un amestec de var, fluorină, cuarțită și spărturi de cărămizi de șamotă, în proporțiile var : fluorină : cuarțită : spărturi de cărămizi de șamotă de 8 : 2...2,5 : 17,5...1. După formarea noii zguri se mărește fluiditatea prin adosuri de ferosiliciu cu 75% siliciu – i se mărește reactivitatea chimică. Siliciul din ferosiliciu își exercită rolul de reducător, în special pentru FeO ce provine din baia metalică. Cantitatea totală de zgură trebuie să fie în final de 3...5%.

În cazul elaborării oțelurilor aliate cu crom sau cu crom și mangan, cu grad de aliere mare, pe zgura de la afinare se adaugă un amestec de 50% ferosiliciu cu 75% siliciu și 50% var. În felul acesta trebuie să se obțină în zgură 30...35% SiO<sub>2</sub>. Cu o asemenea zgură, MnO este legat chimic de către SiO<sub>2</sub> – se formează silicați de mangan –, ceea ce înseamnă că se reduce mai puțin, iar Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> se reduce în proporție de 50%, dacă adaosul de ferosiliciu cu 75% siliciu este de 1,5...1,8%, și în proporție de 76%, dacă adaosul de ferosiliciu cu 75% siliciu este de 2,3% (aceste reduceri de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sunt caracteristice oțelurilor ce conțin 0,03%C, iar în cazul oțelurilor cu un conținut de carbon mai mare, gradul de recuperare a cromului din zgură este mai mare). Cantitatea totală de zgură este de 3...5%. SiO<sub>2</sub>, liber din zgură, suferă procese de reducere, ceea ce înseamnă creșterea conținutului de siliciu din baia metalică, adică nu se poate conta pe o recuperare avansată de crom din zgură. Gradul de recuperare al cromului, însă, crește iar durata de recuperare a cromului scade

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

(maximum 2 h), dacă pe zgura de la afinare se adaugă 1,1% amestec de ferosiliciu cu 75% Si, silicocalciu și aluminiu, în proporțiile ferosiliciu cu 75% Si: silicocalciu: aluminiu de 8 :2 :1. Zgura dezoxidată cu ferosiliciu este acidă –  $\text{CaO/SiO}_2 = 0,4 \dots 1,2$  – ceea ce și explică creșterea conținutului de siliciu în oțelul lichid, adică se creează circumstanțele unei dezoxidări prin precipitare. Se recomandă ca, cu puțin timp înainte de evacuarea oțelului, să se adauge pe suprafața zgurii un amestec de var, aluminiu și mangan, în proporțiile var: aluminiu :mangan de 10:8:1.

**2.9.3. Dezoxidarea prin precipitare**

Se recomandă ca dezoxidarea prin difuzie să fie completată cu dezoxidarea prin precipitare, în vederea obținerii unui conținut mai mic de oxigen în baia de oțel – prelungirea dezoxidării prin difuzie nu se justifică din motive economice.

Dezoxidanții se introduc în oțelul lichid în ordinea crescătoare a afinității chimice față de oxigen, adică Mn–Si–Al–Ca etc.

Pe măsură ce temperatura scade, capacitatea de dezoxidare a elementelor chimice dezoxidante se mărește.

Ordinea de introducere a dezoxidanților în baia de oțel, cantitatea de dezoxidanți dar și temperatura băii metalice reglează capacitatea de separare în zgură a produșilor procesului de dezoxidare, adică obținerea de produși ușor fuzibili cu densitate mică și capacitate mare de coalescență.

În practică se utilizează în mod curent Mn, Si și Al ce se introduc în oțel în ordinea enumerării.

Cantitățile de Mn, Si și Al necesare dezoxidării prin precipitare se calculează în funcție de echilibrele Mn–O, Si–O și Al–O, cei trei dezoxidanți introducându-se în oțelul lichid sub formă de feromangan, ferosiliciu și aluminiu tehnic.

Manganul se introduce în special pentru a crea condiții de obținere de produși de dezoxidare ușor fuzibili și care precipită ușor în zgură. Dezoxidarea cu mangan începe în perioada de

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

dezoxidare prin difuzie, când manganul se află în oțelul lichid în stare "născândă". În plus, introducerea în baia metalică a feromanganului sub formă de bucăți, creează concentrații locale mari de mangan, ceea ce înseamnă un efect sporit de dezoxidare (la modul general, acțiunea dezoxidantă a manganului este slabă fiindcă și conținutul de oxigen din oțelul lichid, după dezoxidarea prin difuzie, este mic). Dacă oțelul are conținut de mangan mai mare de 0,25%, devine semnificativ fenomenul de evaporare a manganului de la suprafața jetului de oțel (de la evacuare sau de la turnare în formă), atomii de mangan reacționând cu oxigenul din aer, micșorând presiunea parțială a acestuia în jetul de oțel și, în felul acesta, diminuând procesul de oxidare secundară a oțelului.

Siliciul, sub formă de ferosiliciu, în cazul oțelurilor nealiate, se introduce în baia metalică după mangan, cu 35...45 min înainte de evacuarea oțelului din oală, perioadă în care trebuie să se separe în zgură produșii reacției de dezoxidare. În cazul oțelurilor aliate, siliciul se introduce în baia de oțel înaintea alierii. Se poate face și un calcul estimativ al necesarului de siliciu, acesta trebuind să asigure valoarea medie a conținutului de siliciu din oțelul propus să fie elaborat, considerându-se o pierdere de 10...15% dacă se adaugă în cuptor sub formă de FeSi cu 75% siliciu. Dezoxidarea cu Si se poate realiza și în oala de turnare, ca de altfel și cu mangan, astfel, realizându-se o asimilare mai bună a manganului și siliciului datorită amestecării bune în timpul curgerii și umplerii oalei de turnare, un conținut de gaze mai mic (degajarea de CO, fiindcă oțelul se evacuează în stare necalmată, împiedică dizolvarea de gaze și, în principal, antrenează în afara jetului de oțel gaze), pierderi prin oxidare mai mici etc.

Aluminiul se introduce în baia de oțel, după siliciu, cu circa 10 min înainte de evacuare, în cantitate de 0,15...0,23 kg/t, sub formă de calupuri legate la capătul unei bare de oțel. Aceeași cantitate se poate introduce și în oala de turnare. Conform sursei

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

Tabelul 4/O1

**Dependența dintre consumul de aluminiu și conținutul de carbon din proba prelevată înainte de evacuare**

Nr. crt.	% C în proba de oțel	Consum de Al, în kg/t	Nr. crt.	% C în proba de oțel	Consum de Al, în kg/t	Nr. crt.	% C în proba de oțel	Consum de Al, în kg/t
1	0,04	1,00	9	0,12	0,50	17	0,20	0,34
2	0,05	0,90	10	0,13	0,46	18	0,21	0,33
3	0,06	0,80	11	0,14	0,44	19	0,22	0,31
4	0,07	0,73	12	0,15	0,42	20	0,24	0,30
5	0,08	0,67	13	0,16	0,40	21	0,26	0,28
6	0,09	0,62	14	0,17	0,39	22	0,28	0,26
7	0,10	0,57	15	0,18	0,37	23	0,30	0,25
8	0,11	0,52	16	0,19	0,35	24	0,40	0,25

[10], dependența dintre consumul de Al și conținutul de C din proba prelevată înainte de evacuare, este cea prezentată în tabelul 4/O1.

Sursele [1] și [6], indică o cantitate de aluminiu ca dezoxidant de 0,5...0,6 kg/t, introdusă în oala de turnare, sau în cuptor, în două reprize – 0,33...0,35 kg/t înainte cu 10 min de evacuare și 0,15...0,23 kg/t înainte cu 3...5 min de evacuare.

### **2.10. Alierea**

În fluxul tehnologic prezentat la paragraful 2, etapa de aliere este amplasată după etapa de dezoxidare. Amplasarea după dezoxidare este dictată de faptul că acum oțelul conține cea mai mică proporție de oxigen, adică pierderile de elemente chimice de aliere prin oxidare ar fi cele mai mici.

În realitate, elementele chimice de aliere se pot introduce în faza metalică de la încărcare până la turnare și, mai departe, și în formă.

Momentul introducerii elementelor chimice de aliere – de

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

fapt a materialelor de aliere – este dictat de afinitatea chimică față de oxigen a acestora. Din acest punct de vedere, elementele chimice de aliere se împart în trei grupe, acestea fiind următoarele:

– elemente chimice de aliere care se oxidează nesemnificativ (cu afinitatea chimică față de oxigen foarte mică) – Ni, Cu, Mo, Co etc;

– elemente chimice de aliere care au afinitatea chimică față de oxigen de același ordin de mărime cu al fierului și care se pot regenera parțial din zgură – Mn, Cr, W, V, Si etc.;

– elemente chimice de aliere care au afinitatea chimică față de oxigen foarte mare și care se oxidează complet în condițiile cuptoarelor cu arc electric – Ti, B, Al, dar și Mg, Zn, Ca etc.

**2.10.1. Elementele chimice de aliere care se oxidează nesemnificativ**

Materialele de aliere care conțin aceste elemente chimice se pot introduce în încărcătura metalică înainte și după topirea ei. Este preferabil ca aceste materiale de aliere să se introducă înainte de subetapa de fierbere liniștită cu scopul eliminării gazelor din ele – în special, hidrogenul.

Cantitatea de materiale de aliere se calculează, în principiu, fără pierderi.

Pentru corectarea finală ordinea de introducere în baia metalică este Ni, Mo, Cu și Co. Sursa [1] recomandă corectarea Ni și Cu în timpul fierberii iar corectarea Mo și Co după ce zgura a fost dezoxidată.

Sursa [3] indică pierderi de maximum 4%, prin vaporizare, sub influența arcului electric, în cazul Ni, Cu și Mo, atunci când sunt în proporții mari.

**Nichelul** se utilizează sub formă de nichel primar (puritatea de 97,6...99,99%) – plăcuțe sau pelete – și oxid de nichel sub formă de praf sau pelete (în stare calcinată la temperaturi de minimum 900<sup>0</sup>C). Oxidul de nichel se introduce în cuptor după evacuarea zgurii de afinare. Nichelul primar se introduce atât o dată cu încărcătura cât și după topirea acesteia. Dacă nichelul primar se introduce în încărcătura

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

solidă, trebuie luate în calcul pierderile prin vaporizare.

**Molibdenul** se utilizează sub formă de feromolibden cu 50...65% Mo, molibdat de calciu, oxid de molibden, molibdenită (conține MoS) etc. În cazul în care conținutul de molibden din încărcătura metalică este de maximum 1%, calculul materialelor de aliere se face fără a lua în considerație pierderi prin oxidare – în cazul în care conținutul este mai mare de 1%, se admit pierderi prin oxidare de 2%, pierderi ce adunate peste pierderile de 1% prin vaporizare, determină luarea în calcul a unor pierderi de până la 3% . În cazul în care se cere un conținut de molibden de 0,3...0,5%, se pot utiliza pentru aliere amestecuri de molibdenită cu fondanți și reducători, cum ar fi, de exemplu, materialul de aliere format din 1 kg molibdenită, 0,50 kg var, 0,17 kg cocs de petrol, 0,17 kg fluorină și 0,66 kg FeSi cu 75% sau materialul de aliere format din 1 kg molibdenită, 0,90 kg var, 0,36 kg cocs de petrol, 0,22 kg fluorină, 0,30 kg FeSi cu 75% Si și 0,22 kg aşchii de aluminiu tehnic etc. (asemenea materiale se introduc treptat în zona electrozilor și se pot combina cu adaos de feromolibden dacă se impun conținuturi mai mari de molibden). Molibdenita se introduce în cuptor după dezoxidarea zgurii și în condițiile în care temperatura băii metalice este mare.

**Cobaltul** se introduce ca atare sau sub formă de ferocobalt, după molibden, neluându-se în calcul pierderi prin oxidare.

**Cuprul** se introduce ca atare – cu diverse grade de puritate și sub formă de prealiaje pe bază de cupru, cum ar fi CuFe ce conține 90...95% Cu etc. Pierderile de cupru prin vaporizare sub influența arcului electric sunt neglijabile. Calculul materialelor de aliere nu ia în considerații pierderile prin oxidare.

**2.10.2. Elemente chimice de aliere care se oxidează parțial**

**Manganul** se introduce sub formă de feromangan (65..80% Mn), silicomangan, fontă brută aliată cu mangan etc. după ce s-a format zgura albă sau după “spargerea” zgurii carbidice. Feromanganul se calcinează la temperaturi de 800...900<sup>0</sup>C. Adaosul de feromangan se face în porții, după fiecare porție introducându-se în cuptor și amestec dezoxidant. Ulterior, se lasă baia metalică în repaos

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

3...5 min, după care se amestecă baia metalică. Conform [1], nu se iau în considerație pierderi prin oxidare deoarece zgura, prelucrată așa cum s-a precizat anterior, se menține albă în permanență și are un caracter reducător bun.

**Cromul** se adaugă sub formă de ferocrom ce se calcinează în prealabil timp de 3 h la temperatura de circa 850<sup>0</sup>C. Se recomandă ca ferocromul să se introducă preîncălzit la temperatura de circa 600<sup>0</sup>C. Ferocromul se introduce în baia metalică în timp ce baia metalică este menținută sub zgură albă timp de 30...60 min. În cazul în care se lucrează fără zgură albă, ferocromul se introduce în baia metalică după dezoxidarea zgurii, ferocromul dizolvându-se în circa 40 min (se impune amestecarea băii metalice ulterior – dacă în dotarea cuptorului există inductor pentru agitarea electromagnetică a băii metalice, timpul de dizolvare se reduce la jumătate). Pierderile de crom prin oxidare sunt de 4...6% pentru aliere cu crom până la 2% și cresc sensibil pentru grade de aliere mai mari.

**Wolframul** se adaugă sub formă de ferowolfram sau ca atare. Dacă oțelul este complex aliat, wolframul se introduce în baia metalică după Co și Mo. Alierea cu wolfram trebuie să se termine cu cel puțin 40 min înainte de evacuarea oțelului din cuptor. Dacă oțelul este aliat și cu mangan, wolframul se adaugă după feromangan. Alierea cu wolfram se efectuează numai sub zgură albă, în caz contrar temperatura oțelului lichid micșorându-se iar ferowolframul depunându-se pe vatră din cauza masei specifice mari. Pierderile de wolfram prin oxidare sunt de 4...15%. Conform [3], wolframul nu se regenerează din zgură unde se află sub formă de WO<sub>2</sub>, WO<sub>3</sub> și CaWO<sub>4</sub>.

**Vanadiul**, [3], se introduce în baia metalică sub formă de ferovanadiu împachetat în cutii de tablă, cu circa 8 min înaintea evacuării oțelului din cuptor. Dacă oțelul este complex aliat, vanadiul este ultimul element chimic de aliere ce se introduce în baia metalică. Calculul ferovanadiului se face luând în considerație pierderi de vanadiu prin oxidare de minimum 5% pentru alieri cu maximum 1% V și de minimum 10% pentru grade de aliere mari (împachetarea vanadiului atrage după sine pierderi prin oxidare de până la 20%).

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

Conform [3], vanadiul nu se regenerează din zgură, unde se află sub formă de  $V_2O_3$ ,  $V_2O_5$  și  $CaV_2O_6$ .

**Siliciul** se adaugă în baia metalică sub formă de ferosiliciu, calcinat la temperatura de  $1.150^{\circ}C$ . Ferosiliciul se introduce în cuptor după ce s-au introdus primele două treimi de materiale de formare a zgurii reducătoare, cu cel mult 30 min înainte de evacuarea oțelului din cuptor. Ferosiliciul se introduce integral sau sub formă de două porții dacă porția de ferosiliciu este mai mare de 2,3% (porția a doua se introduce în cuptor la un interval de 5 min). După 10 min de la introducerea adaosului de ferosiliciu se introduc în cuptor trei treimi de materiale de formare a zgurii reducătoare. După adăugarea ferosiliciului, trebuie ca baia metalică să se amestece bine și des, în caz contrar, din cauza masei specifice mici, ferosiliciul rămânând în zgură și oxidându-se parțial. Siliciul accelerează dizolvarea azotului în baia metalică, mai ales la temperaturi mari, motiv pentru care mărirea temperaturii băii metalice, în vederea evacuării, se face doar cu puțin timp înainte de evacuare. Pierderile de siliciu prin oxidare sunt de 10...15%.

**2.10.3. Elemente chimice de aliere ușor oxidabile**

Introducerea acestor elemente de aliere condiționează dezoxidarea oțelului în prealabil și avansată.

Adaosul acestor elemente în cuptor se face cu puțin timp înainte de evacuare sau chiar în oala de turnare.

**Titanul** se adaugă sub formă de ferotitan, ca atare (table sau țevi sau laminate), deșeuri de pulbere de titan (brichete) și burete de titan, după introducerea ferosiliciului, adică atunci când temperatura băii metalice este cea de evacuare, însă, obligatoriu în condiții de amestecare a băii metalice, în caz contrar în baia metalică rămânând cristale de ferotitan, de exemplu. Prezența cristalelor de ferotitan este accentuată de temperaturile mai mici ale oțelului lichid și de adaosul ferotitanului pe jetul de oțel, de-a lungul jgheabului de evacuare sau în timpul evacuării între jgheab și oala de turnare. În cazul alierii cu până la 1%, pierderile prin oxidare de titan sunt de 45...50% în cuptor și de 30...40% pe jet.

**Aluminiul** se adaugă ca atare, cu 5...10 min înainte de



Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

evacuarea oțelului, în continuarea celui adăugat pentru dezoxidare, în stare solidă sau în stare lichidă, în stare lichidă introducându-se în oala de turnare în timpul evacuării oțelului din cuptor în oala de turnare. Aluminiul se adaugă după siliciu, astfel, formându-se o cantitate mică de  $Al_2O_3$ .

**Calciul** se adaugă sub formă de silicocalciu în jet, în timpul evacuării.

**Borul, zirconiu și magneziul** se introduc în jet, în timpul evacuării.

### **2.11. Evacuarea**

Evacuarea se realizează prin bascularea cuptorului înspre orificiul de evacuare, în mod continuu, urmărindu-se ca jetul de oțel să nu cadă peste bara port-dop.

În perioada de supraîncălzire a băii metalice în vederea obținerii temperaturii de evacuare, se verifică jgheabul de evacuare dacă este în stare bună, dacă orificiul de evacuare este bine curățat și dacă mecanismul de obturare-dezobturare al orificiului oalei de turnare funcționează. Temperatura de preîncălzire a oalei de turnare trebuie să fie de minimum  $700^{\circ}C$ .

Oțelul se evacuează din cuptor numai dacă s-a confirmat compoziția chimică corespunzătoare a oțelului lichid și dacă temperatura de evacuare este cea prescrisă.

Temperatura de evacuare, măsurată cu termocuplul de imersie, trebuie să aibă, de exemplu, următoarele valori pentru câteva categorii de oțeluri:

- $1.680^{\circ}C$  pentru oțelurile nealiate ce conțin  $0,10 \dots 0,30\%C$ ;
- $1.650^{\circ}C$  pentru oțeluri nealiate ce conțin  $0,30 \dots 0,45\% C$ ;
- $1.640^{\circ}C$  pentru oțeluri nealiate ce conțin  $0,40 \dots 0,60\% C$ ;
- $1.680 \dots 1.690^{\circ}C$  pentru oțeluri slab aliate cu mangan;
- $1.650^{\circ}C$  pentru oțeluri aliate complex cu Cr, Ni și Mo, cu grad de aliere mic, ce urmează să fie tratate în atmosferă depresurizată, sau de  $1.600^{\circ}C$ , dacă același oțel nu se tratează ulterior în atmosferă depresurizată;
- $1.510 \dots 1.520^{\circ}C$  pentru oțeluri rapide pentru scule (complex

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

aliat cu Cr, Mo, W, V și Co, cu grad de aliere mare pentru crom);

– 1.610<sup>0</sup>C pentru oțeluri de rulmenți – RUL-1 – ce urmează să se trateze în atmosferă depresurizată sau 1.560<sup>0</sup>C dacă oțelul nu se tratează ulterior;

– 1.675...1.680<sup>0</sup>C pentru oțeluri silicioase (transformatoare electrice) ce se tratează ulterior în atmosferă depresurizată sau 1.600...1.615<sup>0</sup>C dacă oțelul nu se tratează ulterior;

– 1.480...1.490<sup>0</sup>C pentru oțelurile austenitice manganoase cu grad de aliere mare;

– 1.530...1.540<sup>0</sup>C pentru oțeluri inoxidabile 18/8 etc.

**2.12. Tratarea oțelului în stare lichidă în afara agregatului de elaborare**

În afara cuptorului se pot aplica diverse tratamente în stare lichidă, dintre acestea precizându-se următoarele, [11]:

– dezoxidarea în oală cu gloanțe de aluminiu (ABS) sau de calciu (SCAT);

– modificarea în oală cu modificatori sub formă de sârmă;

– barbotarea cu arbon în oală în paralel cu amestecare inductivă;

– vidarea jetului de metal la turnarea în forme metalice;

– vidarea oțelului în oală;

– vidarea urmată de insuflare de oxigen;

– tratarea oțelului cu zguri sintetice lichide;

– tratarea oțelului în vid prin recirculare etc.

**2.13. Turnarea**

Această etapă se referă la turnarea oțelului în forme și nu se detaliază în această lucrare.

În vederea turnării, după umplerea oalei de turnare, aceasta se menține pe solul turnătoriei 5...7 min cu scopul decantării incluziunilor nemetalice, dar și pentru a se ajunge la temperatura de turnare.

**2.14. Tratatamentul termic primar al pieselor brut turnate**

În vederea utilizării, piesele brut turnate trebuie să fie tratate

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

termic. Astfel, piesele se încălzesc în domeniul austenitic de temperaturi, se mențin pentru omogenizarea temperaturii pe întreaga grosime de perete și apoi se răcesc o dată cu cuptorul, obținându-se structură omogenă, cu grăunți metalografici relativ echiaxiali – recoacere de omogenizare – sau se răcesc în aer liber, obținându-se o structură, de asemenea, omogenă, cu grăunți metalografici dezvoltăți echiaxiali, însă, în număr mult mai mare decât în cazul recoacerii de omogenizare – normalizare.

În tabelul 5/O1 se prezintă temperatura maximă de încălzire în domeniul structural austenitic pentru câteva mărci de oțel nealiat, în cazul recoacerii de omogenizare și al normalizării – celelalte detalii despre parametrii tratamentului termic primar sunt prezentate la lucrarea O11.

Tabelul 5/O1

**Temperatura maximă de încălzire în domeniul austenitic, pentru recoacerea de omogenizare și normalizare, în cazul câtorva oțeluri nealiat.**

Nr. crt.	Conținutul de carbon al oțelului, în %	Tratamentul termic primar	Temperatura la care se încălzesc piesele, în °C
1	0,10...0,20	Recoacere de omogenizare	920
		Normalizare	930
2	0,20...0,30	Recoacere de omogenizare	900
		Normalizare	920
3	0,30...0,40	Recoacere de omogenizare	880
		Normalizare	900
4	0,35...0,45	Recoacere de omogenizare	860
		Normalizare	890
5	0,40...0,50	Recoacere de omogenizare	840
		Normalizare	880
6	0,50...0,60	Recoacere de omogenizare	830
		Normalizare	870

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

### **3. Modul de lucru**

Lucrarea se efectuează la o societate comercială care elaborează oțel în cuptor electric cu încălzire prin arc electric , căptușit bazic.

### **4. Măsuri de asigurare a securității muncii**

Măsurile speciale de asigurare a securității muncii sunt prezentate în lucrarea C 1.

### **5. Interpretarea rezultatelor**

Se urmăresc toate măsurile ce se întreprind pentru desfășurarea fluxului tehnologic de elaborare a oțelului, consemnându-se în referat ca atare, împreună cu timpul în care s-au desfășurat.

Se vor face și observații în legătură cu propuneri de îmbunătățire a fluxului tehnologic de elaborare a oțelului.

### **6. Bibliografie**

1. Rău, A. și Tripșa, I. Metalurgia oțelului. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1973.
2. Tripșa, I., Hătărăscu, O. Iordănescu, P. și Rozolimo, P. Mică enciclopedie de metalurgie. Editura Științifică și Enciclopedică. București. 1980;
3. Sofroni, L. Elaborarea și turnarea aliajelor. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1975;
4. Brabie, V., Bratu, C. și Chira, I. Tehnologia elaborării și turnării oțelului. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1979;
5. Cojocaru-Filipiuc, V. Fonte-obținere, Editura Samia. Iași. 2003;
6. Brabie, V., Bratu, C., Toboc, P și Neagu, G. Tehnologia elaborării și turnării oțelului. Institutul Politehnic. București. 1985;

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite bazic

7. Vacu, S.ș.a. Elaborarea oțelurilor aliate. Vol. I. Editura Tehnică. București. 1980;

8. Trușculescu, M. și Ieremia, A. Oțeluri inoxidabile și refractare. Editura Facla. Timișoara. 1983;

9. Tripșa, I. și Pumnea, C. Dezoxidarea oțelurilor. Editura Tehnică. București. 1981;

10. Tripșa, I., Berceanu, E., Vacu, S. și Butnaru, I. Lucrări practice de metalurgia oțelului. Institutul Politehnic. București. 1975;

11. Efimov, V.A. Calitatea oțelului lichid destinat turnării pieselor fasonate. Traducere de Cosneanu, C., din "Procedee speciale de turnare", Editura Mașinostroenie, Moscova, 1991. Revista de Turnătorie. București. nr. 1/1996.

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite acid

## **O2. Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite acid**

### **1. Scopul**

Diferențierea procedurii acid de elaborare față de procedura bazic de elaborare.

### **2. Considerații generale**

Cuptoarele electrice cu arc căptușite cu material refractar de natură chimică acidă au aceeași construcție ca și cuptoarele cu arc electric căptușite bazic.

Fluxul tehnologic de elaborare a oțelului este identic cu cel prezentat la lucrarea O1.

În turnătorii, se utilizează cuptoare de capacitate mică – în mod curent, 3 și 5 t –, dotate cu transformatoare cu puteri, de exemplu, de 1.500 kVA și 2.250 kVA, ce asigură cel puțin două trepte de tensiune – de exemplu, 220V pentru topire și 120 V pentru fierbere și dezoxidare, [1].

Procedeele acide de elaborare sunt destinate pentru elaborarea oțelului nealiat și cu grad de aliere mic (aliate cu Cr, Ni, Mo etc.).

Se apreciază următoarele avantaje ale procedurii acid de elaborare a oțelului, în comparație cu procedura bazic de elaborare:

- durata de elaborare este mai mică;
  - consumul specific de energie electrică este mai mic;
  - costul oțelului elaborat este mai mic;
  - oțelul elaborat are fluiditate mai mare;
  - zgura are rezistența electrică mai mare, rezultând un oțel cu temperatura mai mare;
  - conținutul de gaze din oțel este mai mic;
  - nu se efectuează dezoxidare prin difuzie;
  - costul căptușelii refractare este mai mic;
  - căptușeala refractară este mai ușor de întreținut;
  - durabilitatea zidăriei peretelui cuvei și a bolții este mai mare
- etc.

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite acid

---

Procedul acid de elaborare, însă, impune niște restricții, care, în principal, se referă la următoarele aspecte:

- încărcătura metalică nu trebuie să fie ruginită;
- nu se poate conduce un proces de defosforare;
- nu se poate desfășura desulfurarea băii metalice;
- încărcătura metalică trebuie să aibă conținuturile de sulf și fosfor mai mici decât cele prescrise pentru oțelul propus să se elaboreze;
- elaborarea impune o atenție mărită în respectarea instrucțiunilor tehnologice etc.

### **2.1. Pregătirea încărcăturii**

Fierul vechi trebuie să fie neruginit.

Conținuturile de sulf și fosfor din încărcătura metalică trebuie să fie mai mici decât conținuturile respective ale oțelului propus să fie elaborat, având în vedere că unele materiale de aliere, carburare și formare a zgurii aduc în baia metalică sulf sau fosfor. Prin urmare, nu orice marcă de oțel se poate elabora prin procedeul acid de elaborare.

Încărcătura nu conține minereu de fier.

Se recomandă ca încărcarea să se efectueze prin intermediul benelor consacrate încărcării, în așa fel încât încărcarea să se realizeze într-un timp foarte scurt, în caz contrar, crescând pierderile de elemente chimice prin oxidare și mărindu-se durata topirii.

În cazul în care nu se poate evita utilizarea în încărcătură a sorturilor metalice ruginite, se recomandă utilizarea în încărcătură de nisip uscat, cu scopul zgurificării oxizilor de fier – în caz contrar, oxizii de fier interacționează chimic cu bioxidul de siliciu din vatră, distrugând-o în mare măsură.

În bena de încărcare, se va amplasa la partea inferioară materialul carburant, după care urmează sorturile metalice ușoare (circa 10% din încărcătură) sorturile metalice grele și medii (maximum 70% din încărcătură) și apoi restul de sorturi ușoare.

Celelalte măsuri ce se au în vedere sunt comune cu cele precizate la procedeul bazic de elaborare (lucrarea O1).

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite acid

---

## **2.2. Ajustarea**

Se prezintă câteva variante de masă refractară granulară de ajustare, după cum urmează:

– 96% cuarțită sau nisip de râu spălat și 4% argilă, la această masă refractară de bază adăugându-se 3...5% silicat de sodiu dizolvat în apă caldă, în proporție de 1:1;

– 85% cuarțită sau nisip de râu spălat și 15% bentonită, la acest întreg adăugându-se 3...5% silicat de sodiu, ca la rețeta anterioară;

– 97% nisip de Aghireș fin (mărimea granulației sub 1,5 mm), 2,5% silicat de sodiu și 0,5% apă etc. Proporțiile prezentate anterior sunt relative.

Grosimea stratului ajustat pe vatră este de circa 50 mm.

După depunerea masei ajustante, se coboară electrozii înroșiți până în apropierea vetrei, se închide ușa cuptorului, estimându-se ca fritarea să se realizeze în timp de 10...15 min sau mai mult dacă există zone cu o grosime mai mare de amestec refractar granular.

Celelalte considerații privind ajustarea sunt comune cu cele prezentate la procedeul bazic de elaborare (lucrarea O1).

## **2.3. Încărcarea**

Încărcarea respectă aceleași modalități de lucru ca în cazul procedeului bazic de elaborare (lucrarea O1).

Dacă încărcarea se face cu jgheaburi metalice, se recomandă ca, după descărcarea câtorva jgheaburi, să se efectueze ajustarea pe peretele înclinat, avându-se în vedere răcirea căptușelii refractare și priza mai ușoară pe care o face masa ajustantă pe suportul refractar cu temperatura mai mică (pe căptușeala cu temperatură mare nisipul alunecă).

## **2.4. Topirea**

Pentru ca să se formeze cât mai puțin FeO și MnO, topirea



Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite acid

---

trebuie să dureze cât mai puțin, motiv pentru care topirea începe cu o tensiune mai mare decât la procedeul bazic de elaborare – de exemplu, 180 V. Până la stabilizarea arcelor, intensitatea curentului electric se utilizează cu valori de 50% din cea normală – de exemplu, 5.000 A pe fază la un cuptor cu capacitatea de 3 t.

După ce electrozii au pătruns în încărcătură iar arcele electrice s-au stabilizat, se lucrează cu valorile maxime ale regimului electric, cu scopul scurtării duratei de topire.

În condiții de topire normale, gazele ce se degajă din cuptor sunt colorate cafeniu roșcat, culoarea fiind albicioasă-gălbuie dacă electrozii au ajuns până la vatră, topind porțiuni din aceasta (carbonul din electrozi reduce  $\text{SiO}_2$  liber, nelegat chimic, din vatră, rezultând siliciu care este vaporizat și, apoi, oxidat în atmosfera cuptorului). Prezența fulgilor de culoare albă în gaze implică întreruperea curentului electric și împingerea bucăților de încărcătură sub electrozi cu scopul stopării topirii vetrei.

În timpul topirii, trebuie să se formeze cât mai puțin  $\text{FeO}$  și  $\text{MnO}$  prin oxidarea fierului și manganului din încărcătură, acești oxizi fiind de natură chimică bazică, interacționând cu  $\text{SiO}_2$  din vatră și distrugând-o.

Oxidul feros ce rezultă din oxidarea fierului din încărcătură împreună cu oxidul feros aflat în încărcătură sub formă de peliculă (ca atare sau sub formă de rugină) se topește la temperaturi de maximum  $1.400^\circ\text{C}$  (formează soluții cu alți oxizi) înainte ca încărcătura metalică să se topească în totalitate. Picăturile de  $\text{FeO}$  curg spre vatră și interacționează cu  $\text{SiO}_2$  din căptușeală, din nisipul aderent pe suprafața bucăților de deșeuri de oțel și din nisipul introdus în încărcătură ca fondant. Pentru ca  $\text{FeO}$ , dar în egală măsură și  $\text{MnO}$ , să nu interacționeze cu  $\text{SiO}_2$  din vatră, în încărcătură se introduce nisip cuarțos sau spărturi de cărămizi de șamotă.

Stratul de zgură care se formează are grosimea de 40...60 mm.

Zgura ce se formează face parte din sistemul  $\text{SiO}_2\text{--FeO--MnO}$  și are următoarea compoziție chimică: 42...47%  $\text{SiO}_2$ , 15...20%  $\text{FeO}$ , 20...30%  $\text{MnO}$ , 6...7%  $\text{CaO}$  și circa 2% alți oxizi, [3], [2].

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite acid

---

Zgura conține o cantitate mică de FeO liber, nelegat chimic de SiO<sub>2</sub>.

La finalul topirii, conținutul de siliciu din baia metalică este de 0,03...0,10% iar cel de mangan este de 0,30...0,40%, în condiții normale de lucru.

În condiții normale de lucru, arderea carbonului este de 5...10% iar în condiții necorespunzătoare de lucru (încărcătură ruginită, durată mare de topire, încărcătură necompactă etc.) poate ajunge la 30...35%.

Dacă după topire rezultă o cantitate mică de zgură, se adaugă în cuptor nisip cuarțos (pentru a asigura SiO<sub>2</sub>) și minereu de fier (pentru a asigura FeO), în cantități calculate în așa fel încât să se ajungă la cantitatea de zgură menționată anterior – se poate adăuga și zgură veche, până la 50 kg/t, variantă în care se obține o fluiditate mai mare a zgurii datorită conținutului mai mare de MnO.

Celelalte considerații ce privesc etapa de topire, referitoare la regimul termic, sunt în mare parte comune celor consemnate la procedeul bazic de elaborare (lucrarea O1).

La finalul etapei de topire, conținutul de carbon din baia metalică – "carbonul la topire" – trebuie să fie cu 0,20...0,25% mai mare decât valoarea medie a conținutului de carbon din oțelul propus să fie elaborat.

## **2.5. Fierberea**

Deoarece cantitatea de FeO liber nelegat chimic cu SiO<sub>2</sub>, din zgură, este mică, viteza de oxidare a carbonului este, în principiu, de două ori mai mică decât în cazul procedeului bazic de elaborare.

Fierberea se realizează în două subetape – fierberea intensă și fierberea liniștită.

### **2.5.1. Fierberea intensă**

După ce zgura și temperatura băii metalice corespund demarării fierberii oțelului, se adaugă în cuptor 0,75...1,00% minereu de fier, fierberea declanșându-se cu viteză mare de oxidare a

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite acid

---

carbonului la început – chiar mai mare de 0,6% C/h.

Atunci când se constată micșorarea vitezei de fierbere, se adaugă cantități mici de minereu de fier, din două în două minute, așa încât adaosul total de minereu de fier să fie de 2%. Astfel, conținutul de FeO din zgură crește la 35...40% (zgura solidificată, în spărtură, are culoarea neagră-cărbunoasă).

Timp de circa 20 minute, viteza medie de oxidare a carbonului este de 0,6% C/h.

Către finalul subperioadei de fierbere intensă, viteza de oxidare a carbonului scade la 0,30% C/h.

Conținutul de mangan scade până la 0,15% (regenerarea manganului din zgură, cu fier și carbon din baia metalică, este neînsemnată).

Siliciul se oxidează aproape complet – scade până la un conținut de circa 0,03%.

Fierberea intensă se poate realiza și prin insuflarea oxigenului în baia metalică imediat după terminarea topirii. Viteza maximă de oxidare a carbonului poate ajunge la 3% C/h, valorile maxime realizându-se atunci când baia metalică, după topire, conține mangan și siliciu în cantități mici (mai ales mangan).

Fenomenul de regenerare a siliciului din zgură de către fierul și carbonul din baia metalică devine semnificativ atunci când zgura se saturează în  $\text{SiO}_2$  – când conținutul de FeO din zgură scade sub 22%. În intervalul 12...17% FeO din zgură, o parte din siliciul aflat în stare născândă în baia metalică se oxidează cu oxigenul din baia metalică – siliciul își exercită rolul de dezoxidant. În perioada în care se constată o creștere semnificativă a conținutului de siliciu în baia metalică, reacția de oxidare a carbonului scade foarte mult în intensitate iar conținutul de FeO din zgură scade sub 17% – conținutul de siliciu crește cu atât mai mult în baia metalică cu cât temperatura băii metalice este mai mare și cu cât conținutul de carbon din aceasta are valori mai mari. Atunci când se constată că reacția de oxidare a carbonului a încetat, regenerarea siliciului din zgură cu carbonul din baia metalică încetează, regenerarea siliciului făcându-se în continuare cu fierul din baia metalică. Așa, fierul generează FeO ce se distribuie

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite acid

---

între zgură și baia metalică, adică se constată o creștere a conținutului de FeO – de oxigen – din baia metalică, deși conținutul de siliciu din aceasta crește (cu cât oțelul este menținut mai mult timp în cuptor după încetarea fierberii, cu atât oțelul este mai oxidat).

### **2.5.2. Fierberea liniștită**

Subperioada de fierbere liniștită este reperată atunci când fierberea are loc cu bule de CO rare, zgura are viscozitatea mare iar gazele care părăsesc cuptorul au culoarea albicioasă.

Sub aspectul conținutului de carbon din baia metalică, fierberea liniștită începe atunci când este mai mare cu 0,03...0,05% decât limita superioară a conținutului de carbon din oțelul propus a fi elaborat.

În timpul fierberii liniștite nu se adaugă minereu de fier.

Conținutul de FeO din zgură scade încontinuu, așa cum s-a precizat la paragraful 2.5.1. Scăderea conținutului de FeO din zgură poate fi apreciată și prin schimbarea culorii zgurii, respectiv de la neagră-cafenie pentru un conținut de FeO de minimum 25%, la cafenie-închisă pentru un conținut de FeO de 22...25%, la cafenie-deschisă pentru un conținut de FeO de 20...22%, la cafenie-deschisă-gălbuie pentru un conținut de FeO de 17...20% și la gălbuie-verde pentru un conținut de FeO de maximum 17%.

În funcție de modul cum decurge regenerarea siliciului din zgură în baia metalică, există două modalități de desfășurare a fierberii liniștite, adică cu regenerare completă a siliciului și cu regenerare parțială a siliciului.

#### **2.5.2.1. Fierberea liniștită cu regenerarea completă a siliciului**

După terminarea subperioadei de fierbere intensă nu se mai adaugă alte materiale în cuptor, de unde și denumirea de procedeu pasiv de elaborare.

Siliciul se regenerează și își mărește conținutul din baia metalică de la 0,05% până la circa 0,30%, și, așa cum s-a arătat la

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite acid

paragraful 2.5.1., contribuie la dezoxidarea oțelului – nu se mai impune dezoxidarea prin precipitare cu ferosiliciu.

Viteza de oxidare a carbonului scade foarte mult – până la 0,05% C/h.

Oțelul se obține cu un conținut mai mic de incluziuni nemetalice deoarece nu se mai introduce în oțelul lichid ferosiliciu pentru dezoxidare.

Obținerea conținutului de siliciu propus în oțel impune o atenție mărită ce trebuie acordată temperaturii, zgurii și conținuturilor de carbon și siliciu.

Adaosul de var pe suprafața zgurii este de maximum 0,5%.

Compoziția chimică a zgurii finale este următoarea: 57...61% SiO<sub>2</sub>, 15...20% FeO și 15...25% MnO.

#### **2.5.2.2. Fierberea liniștită cu regenerarea parțială a siliciului**

Creșterea conținutului de siliciu este limitată la valori de 0,10...0,12%. În acest scop, se adaugă în cuptor calcar, dar și minereu de fier sau de mangan și chiar oxigen gazos prin insuflare, ceea ce conduce la creșterea puterii oxidante a zgurii și la mărirea fluidității ei. În acest fel, viteza de oxidare a carbonului crește până la valori de 0,2...0,3% C/h, pentru ca să scadă spre finalul subperioadei de fierbere liniștită la 0,10...0,15% C/h.

Subperioada de fierbere liniștită durează 30...40 min.

Oțelul se obține cu un conținut de incluziuni nemetalice mai mare și cu un conținut de gaze mai mic.

Acest tip de fierbere liniștită impune dezoxidarea oțelului prin precipitare cu ferosiliciu.

Cu un adaos de var de 0,5...0,7% se obține o zgură cu următoarea compoziție chimică: 50...55% SiO<sub>2</sub>, 13...20% FeO, 15...25% MnO și 4...8% CaO.

Conținutul de mangan este în continuă scădere deoarece cantitatea de mangan ce se regenerează din zgură este mai mică decât cantitatea de mangan care se oxidează.

### **2.5.3. Fierberea redusă**

În cazul în care se urmărește elaborarea de oțeluri de calitate obișnuită – fără exigențe – se asigură la finalul topirii un surplus de carbon de 0,05...0,10% mai mare decât media conținutului de carbon din oțelul propus a fi elaborat.

Fierberea se realizează cu un adaos de minereu de fier de maximum 0,50% iar cantitatea de zgură este de 3...5%.

După subperioada de fierbere intensă se aplică subperioada de fierbere liniștită cu regenerare parțială a siliciului sau se renunță la subperioada de fierbere liniștită.

Oțelul elaborat se caracterizează printr-un conținut mai mare de gaze iar caracteristicile mecanice de rezistență respectă prescripțiile din standarde, însă, sunt situate către limitele inferioare ale valorilor.

### **2.5.4. Absența fierberii**

În cazul în care piesele de oțel turnat au destinații nepretențioase – nu se impune o tenacitate mare – elaborarea oțelului se poate dispensa de fierbere. Astfel, la topire, conținutul de carbon corespunde mediei conținutului de carbon din oțelul propus a fi elaborat. Nu se adaugă în cuptor minereu de fier. În condiții de temperatură mare, are loc regenerarea siliciului din zgură iar viteza de oxidare a carbonului este foarte mică, deoarece zgura este slab oxidantă. Spre finalul elaborării, oțelul conține mai mult hidrogen și azot decât încărcătura metalică solidă deși zgura acidă este "impermeabilă" la zot, iar conținutul de incluziuni nemetalice afectează proprietățile de plasticitate.

### **2.6. Dezoxidarea**

Procedeul acid de elaborare nu dispune de dezoxidarea prin difuzie deoarece adaosul de cocs de petrol sau ferosiliciu în zgură măresc viscozitatea zgurii, zgura devenind inactivă din punct de vedere metalurgic.

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite acid

---

În cazul fierberii liniștite cu regenerare parțială a siliciului, dar și în cazul fierberii reduse sau în cazul absenței fierberii, se realizează dezoxidarea prin precipitare cu mangan – se adaugă în baia metalică feromangan corespunzător unui adaos de 0,4...0,6% mangan, considerându-se pierderile prin oxidare de 0,10...0,15%, sau se adaugă silicomangan. Ulterior, se introduce în baia metalică ferosiliciu în vederea obținerii conținutului de siliciu din oțelul propus să se elaboreze.

În cazul utilizării fierberii reduse și absenței fierberii, imediat după fierberea redusă, respectiv după topire, se execută dezoxidarea prin precipitare prin adaos în baia metalică de feromangan și apoi de ferosiliciu, înainte de mărirea temperaturii în vederea evacuării oțelului.

În cazul în care se elaborează oțeluri de calitate superioară, se realizează și dezoxidarea prin precipitare în oala de turnare, cu aluminiu (până la 1,8 kg/t) sau cu silicocalciu și silicocalciumangan (1,0...2,2 kg/t) ce se adaugă în oțel, înainte, o dată cu aluminiul sau după acesta. Performanțele oțelului elaborat cresc dacă se utilizează pentru dezoxidarea prin precipitare Ti sau Zr sau mișmetal (50...55% Ce, 0,5...1,5% Fe, 22...25% La, 10...12% Nd, 1...6% Pr, 1...3% Sm, 1...2% pământuri ytrice și urme de C, S și Si) – rezultă oxizi, carburi și nitruri ce sunt insolubile în oțel –, acești dezoxidanți introducându-se în oala de turnare după aluminiu.

### **2.7. Alierea**

Alierea se face ca la procedeul bazic de elaborare.

### **2.8. Evacuarea**

Evacuarea se efectuează ca la procedeul bazic de elaborare.

### **2.9. Tratarea oțelului în stare lichidă în afara cuptorului**

Deoarece procedeul acid de elaborare este destinat elaborării

Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric, căptușite acid

---

oțelurilor nealiat și cu grad de aliere mic, în principiu, oțelul lichid nu este supus tratamentelor metalurgice indicate la procedeul bazic de elaborare.

Având în vedere că diferitele variante de elaborare determină conținuturi relativ mari de incluziuni nemetalice și gaze, oțelul se poate trata prin barbotare cu gaze inerte.

#### **2.10. Turnarea**

Turnarea respectă procedurile de la procedeul bazic de elaborare, subliniindu-se particularitatea unei fluidități mai mari în cazul oțelului obținut prin procedeul acid.

#### **2.11. Tratamentul termic primar al pieselor turnate**

Tratamentul termic primar este același cu cel întâlnit la piesele brut turnate din oțel obținut prin procedeul bazic de elaborare.

#### **3. Modul de lucru**

Modul de lucru este identic ca la lucrarea O1.

#### **4. Măsuri speciale de asigurare a securității muncii**

Asigurarea securității muncii este aceeași ca la lucrarea O1.

#### **5. Interpretarea rezultatelor**

Rezultatele obținute se interpretează ca la lucrarea O1.

#### **6. Bibliografie**

1. Rău, A. și Tripșa, I. Metalurgia oțelului. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1973;
2. Brabie, V., Bratu, C. și Chira, I. Tehnologia elaborării și



Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric,  
căptușite acid

---

turnării oțelului. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1979;

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

**O3. Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin inducție fără miez**

**1. Scopul lucrării**

Scopul lucrării este prezentarea particularităților privind elaborarea oțelurilor prin comparație cu elaborarea fontelor.

**2. Consideratii generale**

În general, fluxul tehnologic de elaborare este următorul:

1. pregătirea încărcăturii;
2. pregătirea cuptorului;
3. încărcarea;
4. topirea;
5. supraîncălzirea;
6. dezoxidarea primară;
7. alierea;
8. dezoxidarea intermediară;
9. dezoxidarea finală;
10. decantarea incluziunilor nemetalice;
11. evacuarea.

În cuptoarele cu inducție fără miez se pot elabora oțeluri de calitate și oțeluri speciale, de compoziții chimice foarte diverse (cu orice conținut de carbon, luându-se în considerație și tratarea oțelului în stare lichidă în afara agregatului de elaborare – în cuptor se pot elabora, de exemplu, oțeluri inoxidabile de tipul 18/8, adică 18% crom și 8% nichel, apelând la metoda de elaborare prin retopire, cu utilizare de deșeuri aliate în încărcătură alături de ferocrom ce are maximum 0,03% C, tehnologie de elaborare prin care se obține un oțel cu un conținut de incluziuni nemetalice și de gaze mai mare decât cel al oțelului obținut în cuptorul electric cu încălzire prin arc electric, pentru elaborarea căruia se execută fierberea cu oxigen).

### **2.1. Pregătirea încărcăturii**

În cea mai mare parte pregătirea încărcăturii respectă regulile de la elaborarea fontei în cuptorul cu inducție fără miez magnetic.

Încărcătura metalică poate fi și lichidă, cu proveniență la cuptorul electric cu arc.

Conținutul de carbon al încărcăturii metalice trebuie să fie egal cu limita inferioară a conținutului de carbon din oțelul propus să fie elaborat, [1].

În mod curent se utilizează la scară industrială cuptoarele cu inducție fără miez căptușite acid. Cuptoarele căptușite bazic se utilizează, în special, pentru elaborarea oțelurilor aliate cu mangan, cu grad de aliere mare, deoarece, dacă s-ar elabora în cuptoare căptușite acid, silicea din căptușeală ar interacționa chimic cu manganul din baia metalică – manganul ar reduce silicea din căptușeală.

Încărcătura metalică trebuie să fie compactă.

În cazul în care se urmărește ca încărcătura metalică să asigure toate elementele chimice din compoziția chimică a oțelului propus să fie elaborat, se calculează proporțiile elementelor chimice din încărcătură cu relația (1/O3).

$$\langle \%E \rangle = \frac{[\%E]_{\text{final}}}{100 - \%a_E} \cdot 100, \quad (1/O3)$$

în care  $\langle \%E \rangle$  reprezintă proporția de element chimic din încărcătură;  $[\%E]_{\text{final}}$  – proporția de element chimic din oțelul propus să fie elaborat, considerat ca fiind media aritmetică a limitelor;  $\%a_E$  – proporția de element chimic E ce se oxidează în timpul elaborării.

În tabelul (1/O3) se prezintă  $\%a_E$  pentru elementele chimice uzuale, în cazul căptușelii acide.

**Pierderile prin oxidare, pentru toată durata de elaborare, a elementelor chimice uzuale, în cazul căptușelii acide.**

Denumirea elementului chimic	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	W	V	Ti	Co
<b>Arderea, în %</b>	5 ... 10	10 ... 20	10 ... 20	*	0**	2 ... 8	0**	10 ... 15	20 ... 30	0**

\* – arderea cromului este de 3...5%, dacă încărcătura metalică conține maximum 5% Cr și este de 7...17% dacă încărcătura metalică conține 6...27% Cr; \*\* – există pierderi prin ardere, însă, se pot neglija.

În cazul căptușelilor bazice, dacă oțelurile ce se elaborează sunt aliate cu mangan (cu grad de aliere mare) sau sunt refractare, arderile pentru C, Si, Ni și Co sunt aceleași ca la căptușeala acidă iar pentru celelalte elemente chimice arderile sunt următoarele: 35% pentru mangan când încărcătura conține 12...14% mangan, 20...30% pentru Ti când încărcătura conține max. 1% Ti, max. 2% pentru W când încărcătura conține 4...13% W, max. 3% pentru Cr când încărcătura conține max. 5% Cr, 0% pentru Mo când încărcătura conține 0,1...0,6% Mo, 3% pentru Mo când încărcătura conține min. 1% Mo, 3% pentru V când încărcătura conține max. 1% V și 5% pentru V când încărcătura conține min. 1% V, de exemplu.

## **2.2. Pregătirea cuptorului**

Pregătirea cuptorului comportă aceleași reguli ca la elaborarea fontei în cuptoare cu inducție.

Pentru căptușeala acidă se recomandă utilizarea cuarțitei cu următoarele mărimi de granule: 65% pentru 2...4 mm, 15...23% pentru 0,75...1,25 mm și restul pentru maximum 0,75 mm.

În cazul căptușelii bazice se recomandă magnezită (35% granule de 2...3 mm și restul particule prăfoase) în amestec cu 1% acid boric (la partea superioară a creuzetului, ca și în cazul căptușelii

## Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin inducție fără miez

acide, acidul boric se poate înlocui cu silicat de sodiu). Se recomandă ca să se lucreze fără pauze între șarje din cauza rezistenței la șoc termic mici și coeficientului de dilatare mare ale căptușelii refractare granulare bazice, în principal.

### **2.3. Încărcarea**

La partea inferioară a creuzetului se încarcă puțin fier vechi ușor și circa 0,50% ferosiliciu cu 45% Si.

Urmează încărcarea bucăților grele iar printre acestea bucățile ușoare și materialele de aliere.

Marea majoritate a bucăților ușoare și strunjiturile se adaugă în cuptor după ce topirea s-a realizat în proporție de 70...90%.

### **2.4. Topirea**

Inițial, se lucrează cu tensiunea maximă și cu intensitatea curentului mică, acest regim electric utilizându-se până ce temperatura încălzirii metalice depășește temperatura punctului Curie (circa 770<sup>0</sup>C) pentru ca să nu scadă inductanța ce influențează capacitatea bateriei de condensatoare.

Urmează mărirea intensității curentului și micșorarea tensiunii, datorită acest regim accelerându-se topirea.

Topirea durează, în general, 55...60 min, în cazul cuptoarelor cu capacitatea de 0,5...3,0 t.

După terminarea topirii se elimină zgura din cuptor deoarece zgura este susceptibilă de antrenare în baia metalică și de a forma emulsii.

### **2.5. Supraîncălzirea**

În cazul elaborării oțelului, supraîncălzirea are ca rol principal obținerea temperaturii necesară dezoxidării prin precipitare și alierii (corectării compoziției chimice).

### **2.6. Dezoxidarea primară**

Dezoxidarea primară se realizează prin precipitare cu ferosiliciu deoarece în această fază cantitatea de oxigen din baia de oțel este mare iar  $\text{SiO}_2$  rezultat nu prezintă pericol pentru căpușeala acidă (dacă s-ar fi făcut dezoxidarea prin precipitare cu feromangan,  $\text{MnO}$  format ar fi interacționat chimic cu  $\text{SiO}_2$  din căpușeala acidă și ar fi format silicați distribuiți în baia metalică). Pierderile de siliciu pentru dezoxidare sunt de 10...20%.

### **2.7. Alierea**

Alierea reprezintă mai mult o corectare a compoziției chimice și constă în introducerea materialelor de aliere calculate în urma cunoașterii compoziției chimice a probei prelevate după terminarea topirii și eliminarea zgurii din cuptor.

### **2.8. Dezoxidarea intermediară**

Dezoxidarea intermediară prin precipitare se realizează cu feromangan afinat. Pierderile de mangan pentru dezoxidare sunt de 10...20%.

### **2.9. Dezoxidarea finală**

Dezoxidarea finală se realizează prin precipitare cu aluminiu în cantitate de 0,1 kg/100 kg oțel lichid, [3].

Urmează formarea unei zguri protectoare cu spărturi de sticlă (spărturile de sticlă se pot utiliza și în încărcătura metalică solidă).

### **2.10. Decantarea incluziunilor nemetalice**

După formarea zgurii, urmează decuplarea inductorului de la rețeaua electrică, baia metalică menținându-se în creuzet pentru

## Elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin inducție fără miez

decantarea în zgură a produșilor reacțiilor de dezoxidare prin precipitare.

Timpul de menținere a băii metalice în creuzet este dictat de obținerea temperaturii de evacuare (se poate face menținerea băii metalice în creuzet și în condițiile în care intensitatea curentului este redusă la o treime din intensitatea normală). În timpul menținerii în stare lichidă, în creuzet, temperatura băii metalice scade cu circa  $6^{\circ}\text{C}/\text{min}$ .

### **2.11. Evacuarea**

Înainte de evacuare, se elimină zgura din cuptor.

### **3. Modul de lucru**

Se elaborează un oțel cu 0,30...0,40% C, 0,40...0,80% Mn, 0,25...0,50% Si, max. 0,040% P și max. 0,040% S, în cuptorul electric cu inducție cu capacitatea de 35 kg de oțel și care funcționează cu frecvență medie.

Se elaborează o șarja de oțel luând în considerație instrucțiunile tehnologice prezentate în această lucrare coroborate cu conducerea cuptorului din punct de vedere electric.

Se prelevează probe pentru analiza incluziunilor nemetalice la finalul topirii, după dezoxidarea cu aluminiu și de trei ori în timpul menținerii oțelului în stare lichidă în creuzet, cu inductorul decuplat de la tensiune.

Înainte de evacuare, se prelevează o probă de oțel pentru analiza structurii metalografice în stare brut turnată.

### **4. Măsuri speciale de asigurare a securității muncii**

Măsurile speciale de asigurare a securității muncii sunt cele de la lucrarea C1.

### **5. Interpretarea rezultatelor**

Se face o comparație între fluxurile tehnologice de elaborare a oțelului și fontei în cuptoarele electrice cu inducție fără miez, cu căptușeală acidă.

Se analizează prin punctaj incluziunile nemetalice din probele prelevate în variantele neatacate și atacate cu reactivi chimici și structura secundară a oțelului brut turnat.

### **6. Bibliografie**

1. Rău, A. și Tripșa, I. Metalurgia oțelului. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1973;
2. Brabie, V., Bratu, C. și Chira, I. Tehnologia elaborării și turnării oțelului. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1979;
3. Brabie, V., Toboc, P., Bratu, C. și Neagu, G. Tehnologia elaborării și turnării oțelului. Institutul Politehnic București. 1985.



Influența structurii oțelurilor nealiat, turnate sub formă de piese, asupra caracteristicilor mecanice de rezistență ale acestora

#### **O4. Influența structurii oțelurilor nealiat, turnate sub formă de piese, asupra caracteristicilor mecanice de rezistență ale acestora**

##### **1. Scopul lucrării**

Analiza modului de formare a constituienților metalografici și implicațiile acestora asupra caracteristicilor mecanice de rezistență ale oțelurilor turnate nealiat.

##### **2. Considerații generale**

###### **2.1. Structura oțelului în stare lichidă**

Studierea structurii oțelului în stare lichidă (în general, a aliajelor Fe-C) este o problemă dificilă.

Cercetările efectuate pe mai multe căi, [1], înclină spre concluzia că factorii temperatură și conținutul de carbon determină unele modificări structurale.

Structura oțelului lichid poate fi abordată, la modul general, ca structura unei băi metalice – a unui aliaj lichid. Astfel, se pleacă de la considerarea, fundamentată pe baze experimentale, că metalele lichide au energie potențială și forțe de coeziune între particule de valori mijlocii, considerându-se extremele ca fiind considerate pentru solide și gaze. Ordinea dintre atomi pentru metalele lichide se situează între valorile celei corespunzătoare stărilor solidă și gazoasă ale metalelor respective.

Ordinea dintre particule în metalul lichid este de ordinul a câtorva zeci de distanțe interatomice, adică, se consideră că este o ordine apropiată, spre deosebire de ordinea îndepărtată ce se constată la metalele în stare solidă și absența ordinii la metalele în stare gazoasă, [2], [3] – unele investigații spectrometrice, în cazul unor metale, au indicat în stare gazoasă grupări de particule specifice stării solide (la germaniu, staniu și plumb).

Influența structurii oțelurilor nealiatate, turnate sub formă de piese, asupra caracteristicilor mecanice de rezistență ale acestora

Procedeele ce stau la baza analizei structurii metalelor lichide sunt statistice și bazate pe modele. Este de reținut ipoteza de bază – structura microneomogenă a metalelor lichide, [4].

În majoritatea cazurilor se ia în considerație starea sibotaxică a metalelor lichide, [5]. Astfel, prin sibotaxis sau cluster (dar și denumirea de “cvasicristal”) se înțelege o grupare de particule (atomi, ioni, molecule) – un aranjament ordonat de particule – în apropiere de temperatura corespunzătoare liniei lichidus din diagramele de echilibru. Printre clusteri există particule ce se mișcă în mod haotic. Pe măsură ce crește temperatura, peste cea din apropierea liniei lichidus, se mărește numărul de particule ce se mișcă în mod haotic, ceea ce înseamnă că un număr din ce în ce mai mare de particule părăsesc clusterii, adică se schimbă ordinea apropiată din clusteri (în centrul clusterului gradul de ordine are valoarea maximă, pentru ca în zona periferică a clusterului acesta să se reducă la valoarea zero). În apropierea temperaturii critice, ordinea apropiată dispare, nu mai există un aranjament ordonat al particulelor, particulele mișcându-se în mod haotic.

Într-o baie metalică multicomponentă, timpul  $\tau$  de existență a unui cluster depinde de perioada de oscilație a particulei (de exemplu, a atomului),  $\tau_0$ , de energia legăturilor dintre particule,  $E$  și energia agitației termice  $KT$  – relația (1/O4).

$$\tau = \tau_0 \exp (E/KT) \quad (1/O4)$$

Conform relației (1/O4), cu cât energia legăturilor dintre particule este mai mare cu atât durata de existență a unui cluster este mai mare, ceea ce înseamnă că în cazul oțelului, la care compoziția chimică poate fi foarte diferită iar gradul de aliere poate fi foarte mare, energia legăturilor să poată fi foarte diferită.

Dacă între niște particule există legături mai puternice, asemenea particule au o existență mai îndelungată, la temperaturi mai mari.

Se apreciază că ordinea apropiată din clustere se menține până

Influența structurii oțelurilor nealiat, turnate sub formă de piese, asupra caracteristicilor mecanice de rezistență ale acestora

la temperaturi ce depășesc cu 100 ... 300<sup>0</sup>C temperatura corespunzătoare liniei lichidus.

Structura aliajelor în stare lichidă este microneomogenă, complexă.

Experimentele au arătat, [1], că în cazul aliajelor Fe-C, în stare lichidă, există particularități structurale, la 0,2 ... 0,3% C și la circa 2% C, particularități confirmate de faptul că până la concentrația de 0,2%C viscozitatea aliajului scade intens, în intervalul 0,2 ... 2,2% viscozitatea rămâne practic constantă iar în cazul concentrațiilor mai mari de 2,2%, scade treptat. Schimbările viscozității de la concentrațiile de carbon de 0,2% și 2,2% arată o schimbare a ordinii apropiate din structura acestor aliaje – din structura clusterilor. Unii autori, [1], [6], consideră că aliajele Fe-C cu conținutul de carbon mai mare de 2% au o structură coloidală, în stare lichidă, în apropierea liniei lichidus.

Pe lângă teoria sibotaxisurilor – clusterilor – există și teoria golurilor – a vacanțelor –, teorie ce consideră foarte probabilă existența unor microcavități între particule, goluri ce se constată și în starea solidă, de alt fel. Numărul de goluri și dimensiunile acestora se schimbă în permanență, ceea ce înseamnă că ele apar, cresc și dispar în mod permanent. Prin teoria golurilor se explică și fenomenul de topire ce are loc la atingerea unui număr critic de goluri în stare solidă, [2].

Nu trebuie neglijată nici teoria roiurilor sau coloniilor, coloniile fiind o “extindere” a noțiunii de cluster, însă, bazate pe existența golurilor. O colonie se caracterizează printr-o grupare de particule ceva mai mari – 10 ... 100 Å –, o ordine apropiată bine definită și dimensiuni variabile în timp și în spațiu.

## **2.2. Structura primară**

Din punctul de vedere al structurii, oțelurile nealiat fac parte din clasa perlitică. Oțelurile din clasa perlitică, în timpul solidificării, se caracterizează prin separarea din lichid a feritei  $\delta$  și austenitei primare, sub formă de dendrite, începând cu temperaturile

Influența structurii oțelurilor nealiat, turnate sub formă de piese, asupra caracteristicilor mecanice de rezistență ale acestora  
corespunzătoare liniilor AB, respectiv BC, din diagrama de echilibru Fe-C – figura 1/O4.

Din clasa perlitică fac parte și oțelurile slab aliate.

Luând ca bază oțelurile nealiat, definite anterior ca structură primară, în practică se mai utilizează și următoarele clase de oțeluri:

– clasa martensitică. La această clasă, constituintul metalografic principal al structurii primare este austenita aliată ce se transformă în, bainită și martensită, în diferite proporții, în amestec sau nu cu austenita ce poate rămâne și netransformată până la temperatura mediului ambiant (oțeluri cu grad de aliere mediu și mare cu Cr, Ni, Mo);

– clasa feritică. La această clasă, constituintul metalografic principal al structurii primare este ferita ce nu suferă transformări până la temperatura mediului ambiant (oțeluri cu grad de aliere mare cu crom);

– clasa austenitică. La această clasă, constituintul metalografic principal al structurii primare este austenita ce nu suferă transformări până la temperatura mediului ambiant (oțeluri cu grad de aliere mare cu nichel și mangan).

Structura primară a oțelurilor nealiat depinde, în principal, de conținutul de carbon, dar și de viteza de răcire, gradul de modificare, tratamentul cu ultrasunete, solidificarea prin vibrație etc.

Prin prisma formării structurii primare, oțelurile nealiat se clasifică în următoarele trei grupe :

– oțeluri fără transformare peritectică, cu conținutul de carbon mai mic decât cel corespunzător punctului H din diagrama de echilibru termodinamic Fe-C. La aceste oțeluri, din lichid, cristalizează ferita delta, denumită și ferită primară, F'.

Ferita delta cristalizează sub formă de dendrite, conform unui mecanism specific. Așadar, din lichid, nu se formează cristale de formă holoedrică (calitate a unui sistem cristalin de a avea simetrie maximă ; holo = holos, în limba greacă = întreg, tot ; edrică = edrie = hedra, în limba greacă = bază, față; [7]) ci sub formă de dendrite, o dendrită fiind reprezentată schematic în figura 2/O4, [8] – se observă

Influența structurii oțelurilor nealiate, turnate sub formă de piese, asupra caracteristicilor mecanice de rezistență ale acestora

axa de simetrie de ordinul I (principală), respectiv axele de ordinele al II-lea și al III-lea (secundare și terțiare) ;

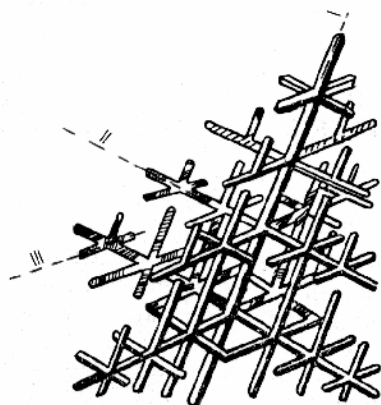
– oțeluri cu transformare peritectică, cu conținutul de carbon mai mare decât cel corespunzător punctului H și mai mic decât cel corespunzător punctului B. La aceste oțeluri, din lichid, cristalizează ferita delta, F', ce, de asemenea, este sub formă de dendrite. Peritecticul (în limba greacă, periteko înseamnă topesc) reprezintă o topitură în echilibru cu faze cristaline (combinații chimice sau soluții solide) al căror număr este egal cu numărul componentelor sistemului și care la scăderea temperaturii se micșorează la unu. Transformarea peritectică este transformarea în urma căreia, în procesul de cristalizare, din două faze rezultă o a treia fază, [9], adică din lichid și ferită primară rezultă austenită;



Influența structurii oțelurilor nealiatate, turnate sub formă de piese, asupra caracteristicilor mecanice de rezistență ale acestora

**Figura 1/O4. Diagrama de echilibru termodinamic Fe-C:  $\delta$  – ferita  $\delta$ ;  $\gamma$  – austenită;  $\alpha$  – ferită;  $A_3=GS$ ;  $A_2=$  punct Curie =  $770^{\circ}C$ ;  $A_1=PSK$ ;  $A_4=$  NJ; T – temperatură. În domeniile din diagramă sunt reprezentați constituienții metalografici ai echilibrului fier – cementită.  $C_{C'} = 4,26\%$  ;  $C_{E'} = 2,08\%$  ;  $C_{S'} = 0,68\%$  ;  $C_B = 0,54\%$  ;  $C_J = 0,16\%$  ;  $C_H = 0,1\%$  ;  $D = 1.227^{\circ}C$  ;  $D' = 3.727^{\circ}C$ ; L – lichid; K' – cementită primară.**

– oțeluri fără transformare peritectică, cu conținutul de carbon mai mare decât cel corespunzător punctului B. La aceste oțeluri, din lichid, cristalizează austenita primară, A', sub formă de dendrite.



**Figura 2/O4. Reprezentarea schematică a unei dendrite: I – axa de simetrie de ordinul I (ramură primară); II – axe de simetrie de ordinul al II-lea (ramuri secundare); III – axe de simetrie de ordinul al III-lea (ramuri terțiare).**

În concluzie, rezultă că din lichid se separă dendrite de ferită primară și austenită primară – F' + A' – adică se formează structura dendritică, [10].

Principalele cauze ce determină formarea structurii dendritice sunt următoarele:

- separarea căldurii latente de cristalizare;
- separarea în frontul de cristalizare a impurităților ce segregă;
- anizotropia conductibilității termice a cristalului, [11].

Influența structurii oțelurilor nealiat, turnate sub formă de piese, asupra caracteristicilor mecanice de rezistență ale acestora

Creșterea fiecărei dendrite se întrerupe în momentul întâlnirii acesteia cu o altă dendrită, ramurile îngroșându-se ca urmare a solidificării oțelului lichid din spațiile interdendritice.

Structura dendritică se caracterizează prin defecte de structură și segregării ale elementelor chimice și reprezintă structura primară a oțelurilor.

Fenomenul de segregare constă în aceea că în zona axelor de simetrie ale dendritelor, elemente chimice precum Mn, Si, Cr, W, dar și S, P, H etc. au concentrația mai mică decât în spațiile dintre axele de simetrie. Se apreciază că fenomenul de segregare se accentuează o dată cu micșorarea temperaturii și creșterea conținutului de carbon.

În spațiul interdendritic apar faze nemetalice denumite incluziuni interdendritice ca rezultat al concentrării incluziunilor nemetalice solide și lichide aflate în oțelul lichid în timpul solidificării și al interacțiunilor chimice dintre fier și elementele chimice cu care are afinitate chimică mare și care se află în cantitate mai mare ca urmare a fenomenului de segregare – de exemplu, FeS, Fe<sub>3</sub>P etc. Unii reactivi chimici interacționează tocmai cu unele din aceste incluziuni nemetalice interdendritice ce își păstrează amplasarea în spațiu, făcând, astfel, posibilă punerea în evidență, la microscop, a structurii primare ce este întotdeauna dendritică (indiferent de tipul oțelului).

Incluziunile nemetalice interdendritice pot fi sulfuri, fosfuri, nitruți, carburi, hidruți etc.

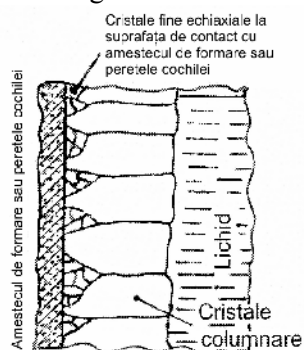
Structura primară dendritică poate influența caracteristicile mecanice de rezistență prin cele două cazuri extreme de existență, acestea fiind următoarele :

– structură dendritică grosolană. Dendritele au dimensiuni mari și sunt dezvoltate preferențial de-a lungul axei de simetrie de ordinul I și se mai numesc cristale (sau cristalite) columnare iar zona în care se află aceste cristale alungite se mai numește zonă columnară sau zonă de transcristalizare. Axele de simetrie ale cristalelor columnare sunt paralele cu direcția fluxului termic. Mărimea zonei columnare depinde de compoziția chimică a oțelului și viteza de răcire, în circumstanțele în care nu se intervine artificial, prin alte metode, asupra solidificării. În cazul în care cristalele sunt alungite –



Influența structurii oțelurilor nealiat, turnate sub formă de piese, asupra caracteristicilor mecanice de rezistență ale acestora

columnare – se precizează că dendritele sunt orientate, definindu-se noțiunea de grad de orientare. Gradul de orientare al dendritelor crește cu atât mai mult cu cât gradientul de temperatură pe secțiunea peretelui piesei turnate, în timpul solidificării, este mai mare (viteză de răcire mare împreună cu coeficientul de conductibilitate și căldură specifică mici). Mărimea zonei columnare este proporțională cu temperatura de turnare și se micșorează o dată cu mărirea concentrației elementelor chimice de aliere (există situații – la oțelurile inoxidabile – în care zona columnară se află pe toată secțiunea pereților pieselor). De regulă, zona columnară, în secțiunea peretelui unei piese turnate, se află între un strat de cristale fine, echiaxiale (dezvoltate în mod relativ uniform de-a lungul celor trei axe de simetrie – I, II și III sau așa, cum se mai numesc, primară, secundare și terțiare), strat ce se formează la marginea peretelui piesei, ca urmare a condițiilor de germinare eterogenă favorizate de peretele formeii, orientarea cristalelor fine fiind întâmplătoare – grad de orientare foarte mic – și un strat de cristale echiaxiale și uniforme amplasat în zona axei termice a peretelui piesei, mărimea acestor cristale fiind superioară celei a cristalelor echiaxiale fine, de la marginea piesei, [12]. În figura 3/O4 se prezintă, schematic, trecerea de la zona cu cristale echiaxiale fine de la marginea pereților piesei la zona columnară. Structura dendritică grosolană poate fi și cu grad de orientare foarte mic, adică dendritele sunt dezvoltate în mod uniform de-a lungul celor trei axe de simetrie ;



**Figura 3/O4. Schema trecerii de la zona cu cristale echiaxiale fine de la marginea peretelui piesei la zona columnară.**

Influența structurii oțelurilor nealiat, turnate sub formă de piese, asupra caracteristicilor mecanice de rezistență ale acestora

– structură dendritică fină. Dendritele au dimensiuni mici și sunt dezvoltate în mod uniform de-a lungul celor trei axe de simetrie – se numesc cristale echiaxiale, așa cum s-a prezentat anterior, la marginea pereților piesei și în zona axei termice a pereților piesei. Cu cât temperatura de turnare este mai mare, cu atât se micșorează tendința de formare a cristalelor echiaxiale – se măresc dimensiunile cristalelor echiaxiale (alierea accentuează tendința de formare a structurii dendritice fine). Cristalele echiaxiale din zona axei termice a pereților pieselor turnate, se apreciază că se formează din următoarele cauze (cauze posibile):

– fenomene de segregare ce creează condiții de germinare eterogenă în zona axei termice a pereților;

– germenii cristalelor echiaxiale se formează la începutul procesului de solidificare (la contactul oțelului lichid cu peretele forme) și sunt antrenati de curenții din oțelul lichid spre axa termică;

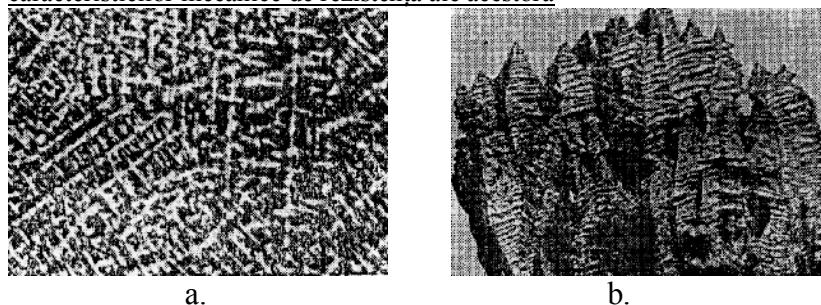
– retopirea parțială a unor ramuri ale dendritelor columnare și, astfel, formarea de cristale echiaxiale. Retopirea este cauzată de fluctuații de temperatură ca urmare a convecției naturale în timpul formării zonei columnare ;

– germenii de cristale echiaxiale se formează la suprafața liberă a piesei turnate, au masa specifică mai mare decât cea a oțelului lichid (a matricei metalice lichide), ceea ce determină deplasarea lor în baia metalică, în fața zonei columnare, crescând pe măsură ce se deplasează.

Structura dendritică nu se poate obține doar prin solidificare, din lichid, ci și prin creștere din vapori sau prin depunere electrolică.

În figura 4/O4 se prezintă structura primară dendritică a unui oțel turnat nesupus tratamentului termic de recoacere pentru omogenizare (a) și cristale dendritice de oțel nealiat (b).

Influența structurii oțelurilor nealiat, turnate sub formă de piese, asupra caracteristicilor mecanice de rezistență ale acestora



**Figura 4/O4. Structură primară (dendritică) pentru un oțel fără recoacere de omogenizare (mărirea x 25) – a – și dendrite la un oțel nealiat – b.**

Cu cât dendritele sunt mai fine și gradul de orientare este mai mic, cu atât caracteristicile mecanice de rezistență sunt mai bune. Explicația acestei corelații are la bază faptul că elementele chimice segregate și incluziunile nemetalice interdendritice sunt repartizate pe o suprafață mai mare (într-un volum mai mare) – se micșorează grosimea peliculei interdendritice. Dacă oțelul are gradul de puritate foarte mare, caracteristicile mecanice de rezistență, dar și proprietățile fizice, nu depind de gradul de finețe al structurii dendritice.

### **2.3. Granularea structurii primare (dendritice)**

Răcirea în continuare a oțelului, după finalizarea structurii primare, determină procesul de granulare a structurii dendritice.

Dendritele de ferită  $\delta$  se transformă parțial în austenită granulară după linia NJ. Ferita  $\delta$  se transformă în dendrite de austenită primară după linia JB. Dendritele de austenită primară se transformă în austenită granulară după linia JE. Așadar, structura dendritică, primară, se transformă în austenită granulară.

Austenita granulară este sub formă de grăunți metalografici, dezvoltăți mai mult sau mai puțin echiaxial.

Numărul de grăunți de austenită este mai mare decât numărul de dendrite de ferită primară și austenită primară din care provin datorită numărului mare de germeni de cristalizare formați ca urmare a

Influența structurii oțelurilor nealiat, turnate sub formă de piese, asupra caracteristicilor mecanice de rezistență ale acestora

vitezei de difuzie a carbonului relativ mare (în cazurile oțelurilor aliate, numărul cristalelor poliedrice – al grăunților de austenită – este egal cu numărul de dendrite de ferită și austenită primare).

În cazul în care răcirea oțelului se face cu viteză mică, poate avea loc creșterea grăunților de austenită, creștere ce poate fi semnificativă. Creșterea grăunților de austenită, la temperaturi mari, se bazează pe tendința de micșorare a energiei de suprafață a sistemului.

Ca urmare a micșorării solubilității sulfurului, oxigenului, azotului și aluminiului în oțelul solid – în grăunții de austenită –, o dată cu micșorarea temperaturii, în intervalul de temperaturi 1.050 ... 900°C, la limita dintre grăunții de austenită iau naștere incluziunile nemetalice intergranulare ca urmare a desfășurării unor reacții chimice de forma (1/O4).



în care A și B sunt elementele chimice segregate din grăunții de austenită sau care se află la limita intergranulară, iar  $A_mB_n$  reprezintă incluziunea nemetalică – incluziunea nemetalică intergranulară.

Procesele chimice de tipul (1/O4) sunt exoterme – dizolvarea lor în matricea metalică se realizează numai prin încălzirea ulterioară a oțelului, după solidificare și răcire în formă, adică prin tratament termic.

Incluziunile nemetalice de tipul  $A_mB_n$  se mai numesc incluziuni nemetalice endogene și fiindcă se formează la limita intergranulară se mai numesc de tipul II.

Incluziunile nemetalice intergranulare au formă de rețea discontinuă sau continuă.

Dacă tensiunea interfazică incluziune nemetalică intergranulare-matrice metalică este mare, incluziunile nemetalice intergranulare se separă la colțurile grăunților de austenită.

Dacă tensiunea interfazică incluziune nemetalică intergranulară-matrice metalică are valori moderate, incluziunile nemetalice intergranulare se separă la muchiile grăunților de austenită, pentru ca în cazul în care, tensiunea interfazică incluziune nemetalică

Influența structurii oțelurilor nealiat, turnate sub formă de piese, asupra caracteristicilor mecanice de rezistență ale acestora

intergranulară-matrice metalică are valori mici, incluziunile nemetalice intergranulare să se separe pe toată suprafața grăunților de austenită.

Dacă repartizarea incluziunilor nemetalice intergranulare este la colțurile grăunților de austenită, caracteristicile mecanice de rezistență sunt afectate foarte puțin.

Foarte periculoase sunt incluziunile nemetalice intergranulare ce se separă pe toată suprafața grăunților, de asemenea, din punct de vedere al proprietăților de plasticitate (alungirea și stricțiunea) și al tenacității (reziliența) – forma periculoasă se mai numește peliculă continuă (caracteristicile mecanice de rezistență sunt afectate mai puțin).

Incluziunile nemetalice intergranulare cele mai periculoase sunt sulfurile de fier și mangan și, de asemenea, nitrurile de aluminiu, ceea ce înseamnă că dacă oțelul este desulfurat și degazat în mod corespunzător în stare lichidă, se îmbunătățesc proprietățile de plasticitate.

Cu cât austenita granulară este mai fină, cu atât incluziunile nemetalice intergranulare se repartizează pe o suprafață mai mare, ceea ce înseamnă că forma de peliculă continuă a incluziunilor nemetalice intergranulare se transformă în formă de peliculă discontinuă iar forma de peliculă discontinuă se transformă în formă de șirag (incluziuni nemetalice intergranulare globulare).

O dată cu micșorarea temperaturii, crește puterea de dezoxidare a elementelor chimice cu afinitatea mare față de oxigen, adică și a celor ce se află la limita grăunților de austenită, ceea ce înseamnă favorizarea formării oxizilor de mangan, fier, aluminiu, fier etc.

Prin dezoxidarea oțelului cu aluminiu, mărirea vitezei de răcire, modificarea, tratarea cu ultrasunete, vibrarea etc., incluziunile nemetalice intergranulare sunt influențate să se separe sub formă de șirag-globulară-, astfel obținându-se caracteristici de plasticitate și de rezistență mecanică bune. Cantitatea mare de incluziuni nemetalice intergranulare poate determina rupțura intergranulară a pieselor de oțel (rupțura are aspect de conglomerat reliefat puternic, cu proeminențe

Influența structurii oțelurilor nealiatelor, turnate sub formă de piese, asupra caracteristicilor mecanice de rezistență ale acestora  
rotunjite, spre deosebire de rupitura interdendritică, ce are un aspect zimțuros, reliefat).

Deoarece viteza de răcire influențează semnificativ structura dendritică și prin aceasta și structura de austenită granulară, rezultă anizotropia proprietăților mecanice și de plasticitate pe grosimea pereților pieselor turnate, această consecință soldându-se, de exemplu, cu micșorarea alungirii în proporție de până la 70% și cu micșorarea stricțiunii și rezilienței în proporție de până la 50%, o dată cu creșterea grosimii pereților pieselor (o dată cu micșorarea vitezei de răcire).

#### **2.4. Structura secundară**

Dacă se are în vedere că structura secundară este structura metalografică de la temperatura de exploatare a pieselor de oțel, înseamnă că trebuie analizate toate transformările structurale ce au loc de la temperaturi corespunzătoare domeniului structural al austenitei granulare până la temperatura mediului ambiant, temperatură ce coboară la  $-40^{\circ}\text{C}$  sau chiar  $-50^{\circ}\text{C}$ .

Ca transformări structurale ce se referă la apariția de constituenți metalografici noi, trebuie luate în considerație transformări structurale la temperaturi mai mici decât temperatura eutectică, adică de  $1.148^{\circ}\text{C}$ , dacă se face referință la diagrama de echilibru termodinamic Fe-C – Fe-cementită.

Primele transformări au loc după linia ES, transformări ce sunt dictate de mărimea grăunților de austenită și a vitezei de răcire precum și de cantitatea de carbon.

Procesul de cristalizare a constituenților metalografici din structura secundară poate fi forțat (bazat pe incluziunile nemetalice, în special, cele intergranulare, dar și din interiorul grăunților de austenită) și spontan (bazat pe fluctuațiile atomilor de carbon care sunt mai intense la limita grăunților de austenită datorită condițiilor mai bune de difuzie ce există între suprafețele grăunților respectivi). Astfel, cu cât numărul de grăunți de austenită este mai mare, cu atât suprafața de contact dintre grăunții de austenită este mai mare, ceea ce înseamnă că potențialul de germinare este mai mare, și, cu atât

Influența structurii oțelurilor nealiate, turnate sub formă de piese, asupra caracteristicilor mecanice de rezistență ale acestora

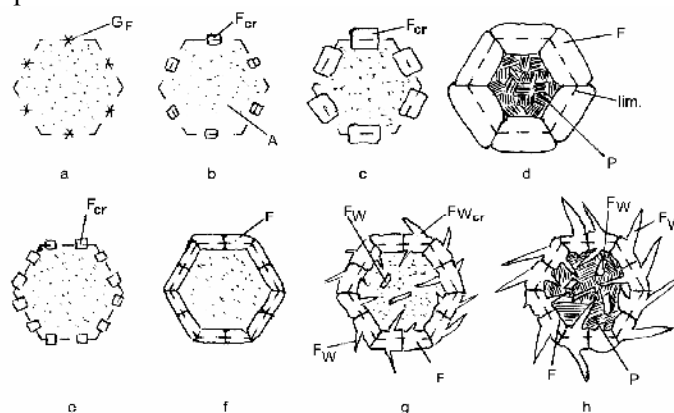
structura secundară este mai fină – s-ar putea spune că numărul de grăunți metalografici secundari este mai mare dacă se consideră că grăunții de austenită generează structura secundară de la temperatura mediului ambiant. Cu cât numărul de grăunți secundari – de cristalite secundare – este mai mare, cu atât se mărește gradul de dispersie al constituienților metalografici și se îmbunătățesc caracteristicile mecanice de rezistență ale oțelului.

### 2.4.1. Oțelurile hipoeutectoide

În diagrama de echilibru Fe-C, oțelurile hipoeutectoide au conținutul de carbon până la 0,77%.

Transformările structurale ce se referă la apariția de constituienți metalografici noi încep la temperaturile corespunzătoare liniei  $A_3$  (denumită  $A_{r3}$  în timpul răcirii) – GS.

În circumstanțele în care viteza de răcire este de maximum  $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ , din austenita granulară se separă grăunți metalografici de ferită hipoeutectoidă.



**Figura 5/O4. Reprezentarea schematică a formării feritei hipoeutectoide obișnuite (granulare) –a, b, c și d – și a feritei Widmannstätten –e, f, g și h: G<sub>F</sub> –germeni de ferită; F<sub>cr</sub> –ferită de creștere; lim. – limita grăuntelui inițial de austenită; P–perlită; F –ferită; F<sub>W</sub> –ferită Widmannstätten; F<sub>Wcr</sub> – ferită Widmannstätten în creștere; A – austenită.**

Influența structurii oțelurilor nealiat, turnate sub formă de piese, asupra caracteristicilor mecanice de rezistență ale acestora

Ferita hipoeutectoidă cristalizează în intervalul de temperaturi  $A_3 \dots A_1 - A_{r3} \dots A_{r1}$ , așa cum se mai obișnuiește în timpul răcirii.

Germenii de ferită se formează la limita grăunților de austenită – lim. din figura 5/O4 – și sunt notați cu  $G_F$  în figura 5/O4.

Formațiunile de ferită cresc în toate direcțiile, ajungând la o formă mai mult sau mai puțin compactă – grăunți metalografici – în figura 5/O4, b și c reprezentând două aspecte intermediare ale creșterii feritei în intervalul  $A_{r3} \dots A_{r1}$ .

La temperatura eutectoidă, austenita netransformată în intervalul de temperaturi  $A_{r3} \dots A_{r1}$ , denumită și austenită remanentă, [13], se transformă în perlită – figura 5/O4 d.

Raportul dintre suprafața ocupată de ferită și suprafața ocupată de perlită este în funcție de conținutul de carbon din oțel.

Toate cristalele de ferită – toți grăunții de ferită – se află amplasate în zonele periferice ale foștilor grăunți de austenită.

Conținutul de carbon din grăunții de ferită este de maximum 0,0218%, la temperatura eutectoidă.

Ferita hipoeutectoidă sub formă de grăunți – cu geometrie relativ compactă – se consideră a fi normală.

În timpul răcirii de la temperatura eutectoidă la temperatura mediului ambiant, ferita hipoeutectoidă devine suprasaturată în carbon, motiv pentru care cantitatea de carbon în exces iese din soluția de interstiție și formează cementita terțiară ( $K'''$ ). Cantitatea de cementită terțiară este foarte mică, deoarece și cantitatea de carbon ce interacționează cu fierul este foarte mică, adică  $0,0218 - 0,006 = 0,0158\%$  (la măriri obișnuite de investigație la microscopul metalografic, cementita terțiară nu poate fi pusă în evidență). Și din ferita existentă în perlită se separă cementita terțiară.

În cazul în care grăunții de austenită au dimensiuni mari, viteza de răcire are valori cuprinse în intervalul  $50 \dots 100^\circ\text{C}/\text{min}$  sau chiar mai mari iar conținutul de carbon este de maximum 0,3% C, numărul de germeni de ferită hipoeutectoidă devine mult mai mare decât în cazul prezentat anterior – cel referitor la viteze de răcire de



Influența structurii oțelurilor nealiate, turnate sub formă de piese, asupra caracteristicilor mecanice de rezistență ale acestora

maximum  $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$  –, așa încât o parte din germeii de cristalizare a feritei formându-se în interiorul grăunților de austenită, [13].

Creșterea germeilor de ferită determină creșterea volumului fontei deoarece masa volumică a austenitei este mai mare decât masa volumică a feritei. Creșterea în volum a fontei determină o deformare plastică a fontei – alunecări pe suprafețele de dislocație. Ferita ce se separă este o fază de suprasaturație. Pentru ca energia de deformare plastică să fie cât mai mică, cristalele de fază suprasaturată – de ferită hipoeutectoidă – se vor dezvolta sub formă de plăci (sub formă aciculară, în plan).

În cazul structurilor normale, obișnuite, germeii de ferită de la limita grăunților de austenită asigură cristalizarea întregii cantități de ferită hipoeutectoidă – figura 5/O4.d. O structură normală corespunde unei structuri fine, adică unei structuri ce provine dintr-un număr mare de grăunți de austenită – din grăunți de austenită de mărime mică.

Dacă grăunții de austenită au mărime mare, numărul de grăunți de austenită devine mic, limitele grăunților de austenită devin mici (cu suprafață și volum mici), ceea ce înseamnă că se va forma un număr mai mic de germeni de cristalizare a feritei hipoeutectoide ce sunt insuficienți pentru formarea întregii cantități de ferită hipoeutectoidă. Așa apare necesitatea formării unor germeni suplimentari de ferită, aceștia formându-se în interiorul grăunților de austenită.

Germeii de ferită din interiorul grăunților de austenită se formează în zonele cu dislocații, de alunecări unde există vacanțe, defecte de rețea și impurități, [14].

Deoarece suprafețele de dislocație de alunecare au formă liniară, ferita crește sub formă lamelară – la suprafața probelor metalografice, lamelele de ferită apar sub formă aciculară.

Deoarece suprafețele de dislocație/alunecare se intersectează și cu limita grăunților de austenită, formațiunile de ferită hipoeutectoidă ce cresc în interiorul grăunților de austenită se întretaie cu formațiunile de ferită hipoeutectoidă de la limita grăunților de austenită, rezultând forme foarte diferite de fază suprasaturată.

Influența structurii oțelurilor nealiat, turnate sub formă de piese, asupra caracteristicilor mecanice de rezistență ale acestora

Se subliniază, în mod suplimentar, rolul, la fel de important ca al grăunților mari de austenită, al vitezei de răcire mari ce generează un număr mare de germeni de cristalizare, ce nu-și găsesc locul, în întregime, la limita grăunților de austenită și, astfel, apărând și în interiorul grăunților de austenită.

Ferita aciculară în plan, în general, dar lamelară în volum, în toate cazurile, se numește ferită Widmannstätten, după numele lui Count Alois Van Widmannstätten care a descoperit structura tip Widmannstätten în meteoriții fier-nichel.

Conținutul de carbon din ferita Widmannstätten este de 0,03...0,05%.

Deoarece mai mult de 70% din producția mondială de oțel reprezintă oțel cu un conținut mic de carbon (sub 0,3%), înseamnă că ferita Widmannstätten are o mare arie de răspândire.

Proporția de ferită Widmannstätten este semnificativă în cazul oțelurilor sudate (în zona învecinată cusăturii sudate), semifabricatelor forjate ce necesită un regim termic care conduce la formarea unei structuri cu grăunți mari de austenită, pieselor tratate termic la temperaturi mari etc. Cel puțin la nivelul anului 2003, peste 200.000.000 t piese sudate, forjate și turnate/an conțin oțel cu ferită Widmannstätten.

În condițiile unor viteze mari de răcire, de exemplu, la început cristalizează ferita la limita grăunților de austenită într-un număr mare de cristale, cristale ce cresc (figura 5/O4, e și f), după care se formează germeni de cristalizare în interiorul grăunților de austenită ce generează creșterea feritei Widmannstätten (figura 5/O4, g) și apoi are loc finalizarea acesteia la temperatura eutectoidă, înaintea transformării eutectoide (figura 5/O4, h). În timpul transformării eutectoide austenita remanentă se transformă în perlită – figura 5/O4, h.

Raportul cantitativ dintre ferita echiaxială și ferita Widmannstätten este în funcție de cantitatea de carbon, mărimea grăunților de austenită și viteza de răcire.

Influența structurii oțelurilor nealiat, turnate sub formă de piese, asupra caracteristicilor mecanice de rezistență ale acestora

Se apreciază că, în sistemul binar Fe-C, pentru oțelurile ce conțin o cantitate de carbon între limitele 0,5 ... 0,77% ferita Widmannstätten nu se formează.

**2.4.2. Oțelurile eutectoide**

În sistemul Fe-C oțelul eutectoid corespunde conținutului de carbon de 0,77%.

În cazul oțelurilor industriale se utilizează în locul conținutului de carbon, atunci când se apelează la diagrama de echilibru Fe-C, conținutul de carbon echivalent a cărui valoare este în funcție de compoziția chimică a oțelului. Așadar, există o multitudine de oțeluri eutectoide nealiat sau aliate.

Oțelurile eutectoide nu au transformări ale austenitei după liniile  $A_{F3}$  și  $A_{cem}$ , așa cum au oțelurile hipoeutectoide, respectiv hipereutectoide, și nici transformările din intervalele  $A_{F3}$  ...  $A_1$ , respectiv  $A_{cem}$ ... $A_1$ , ci se caracterizează doar prin transformarea eutectoidă, ce în sistemul Fe-C are loc la temperatura de  $727^{\circ}C$ , într-o perioadă de timp.

În timpul transformării eutectoide, austenita granulară se transformă doar în perlită lamelară. Deoarece perlita este un amestec mecanic de ferită și cementită – se pare că există standarde sau norme ce consideră doar ca atare ferita și cementita, lamelare, ce se separă la temperatura eutectoidă din austenită, și nu ca formând un tot unitar, un sistem termodinamic ca atare (o fază termodinamică cu denumirea de perlită) – în timpul răcirii oțelului, între temperatura eutectoidă și temperatura mediului ambiant, din ferită se separă cementita terțiară, ce, însă, este în cantitate foarte mică. Se apreciază că procesul de difuzie limitat permite ca interacțiunea chimică Fe-C să aibă loc doar la marginea formațiunilor de ferită, cementita terțiară, așa cum s-a mai subliniat, fiind pusă în evidență, metalografic, cu dificultate.

Pentru oțelurile eutectoide nealiat se poate folosi și denumirea de oțeluri perlitice.

**2.4.3. Oțelurile hipereutectoide**

În sistemul binar Fe-C, oțelurile hipereutectoide sunt oțelurile ce conțin carbon în cantitate de 0,77...2,11%.

Influența structurii oțelurilor nealiat, turnate sub formă de piese, asupra caracteristicilor mecanice de rezistență ale acestora

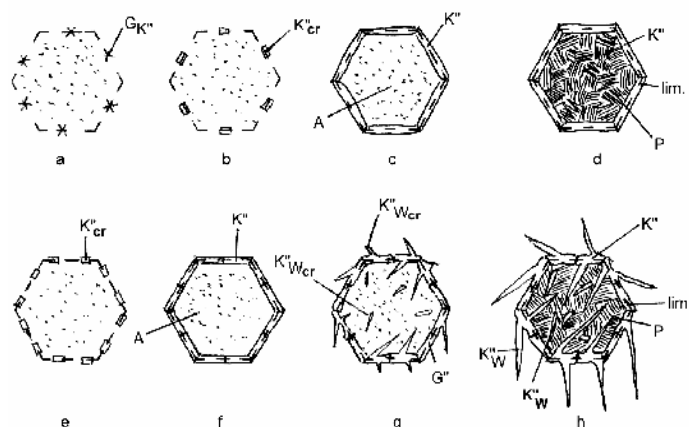
Structura secundară începe să se formeze prin transformarea austenitei granulare în cementită secundară după linia  $A_{cem}$  și în intervalul de temperaturi cuprinse între liniile  $A_{cem} \dots A_{r1}$  – în timpul răcirii.

În cazul în care viteza de răcire este mică (maximum  $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ), datorită micșorării solubilității carbonului în austenită (solubilitatea scade de la 2,11% cât este la temperatura de  $1.148^{\circ}\text{C}$ , la 0,77%, la temperatura de  $727^{\circ}\text{C}$ ), la limita grăunților metalografici de austenită, carbonul, într-o cantitate apreciabilă ( $2,11\% - 0,77\% = 1,34\%$ ), interacționează chimic cu fierul și formează cementita secundară ( $K''$ ) ce se mai numește normală sau obișnuită. Germeii de cementită (figura 6/O4, a), se formează doar la limita grăunților de austenită, cresc în intervalul de temperaturi corespunzătoare liniilor  $A_{cem} \dots A_{r1}$  – figura 6/O4, b – și formează o rețea de cementită secundară în jurul grăunților de austenită (figura 6/O4,c), până la temperatura eutectoidă. La temperatura eutectoidă, austenita se transformă în perlită, ceea ce înseamnă, de exemplu, că într-un "ochi" de rețea de cementită secundară se află mai mulți grăunți de perlită – figura 6/O4, d.

În timpul răcirii oțelului între temperatura eutectoidă și temperatura mediului ambiant, din ferita ce se află în amestec mecanic cu cementita în perlită se separă cementita terțiară ( $K'''$ ), ce, așa cum s-a mai precizat, este în cantitate foarte mică și este nesizabilă la analiza microscopică în condiții obișnuite de investigație – de fapt, cementita terțiară este neglijată în ceea ce privește influența sa asupra caracteristicilor mecanice de rezistență sau asupra proprietăților fizice, de exemplu.

Structura secundară a oțelurilor hipereutectoide nealiat, în circumstanțele unei viteze de răcire de maximum  $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ , este formată din perlită și cementită secundară, cementita terțiară fiind în proporție foarte mică. Cantitatea de cementită secundară variază între limitele 0...20%, în funcție de conținutul de carbon, 0% corespunzând punctului S din diagrama de echilibru Fe-C iar 20% corespunzând punctului E, din aceeași diagramă.

Influența structurii oțelurilor nealiat, turnate sub formă de piese, asupra caracteristicilor mecanice de rezistență ale acestora



**Figura.6/O4. Reprezentarea schematică a formării cementitei secundare normale, obișnuite (a, b, c și d) și cementitei Widmannstätten (e, f, g și h):**

$G_{K''}$  –germeni de cementită secundară;  $K''_{cr}$  – formațiuni de cementită secundară în creștere;  $K''_{Wcr}$  – cristalite de cementită Widmannstätten în creștere;  $K''$  – cementită secundară normală;  $K''_W$  – cementită Widmannstätten; lim. – limita grăunțului de austenită; P – perlită; A – austenită.

În cazul în care viteza de răcire este de ordinul de mărime 50 ... 100<sup>0</sup>C/min, sau mai mari chiar, iar conținutul de carbon are, în principiu, valori cuprinse în intervalul 0,9...2,11%, viteza de răcire mare determină un număr mare de germeni de cristalizare pentru cementita secundară, germeni ce nu se pot forma în totalitate la limita grăunților de austenită, așadar, formându-se în interiorul grăunților de austenită. Într-o primă fază, se formează germeni de cementită secundară normală la limita grăunților de austenită, după care încep să crească cristalitele de cementită secundară normală (figura 6/O4,e) luând naștere cristalite de cementită secundară normală ( $K''$ ) la limita grăunților de austenită (figura 6/O4, f). În a doua fază, iau naștere germeni de cementită secundară în interiorul grăunților de austenită

Influența structurii oțelurilor nealiatate, turnate sub formă de piese, asupra caracteristicilor mecanice de rezistență ale acestora

din care cresc lamele de cementită denumite cementită Widmannstätten, conform unui mecanism similar cu cel ce stă la baza formării feritei Widmannstätten (paragraful 2.4.1) – figura 6/O4,g. Cristalitele de cementită Widmannstätten cresc, finalizându-se până la temperatura eutectoidă – figura 6/O4,g. La temperatura eutectoidă, austenita granulară remanentă se transformă în totalitate în perlită – figura 6/O4,h. Cementita Widmannstätten, în timpul creșterii, întâlnește și cementita secundară normală, în plan, cementita Widmannstätten având, în general, formă aciculară, însă, în spațiu având formă lamelară datorită formei liniare a planurilor de alunecare din austenită.

#### **2.4.4. Aspecte generale**

Se apreciază că structurile tip Widmannstätten nu se formează în intervalul de concentrații de carbon de 0,5...0,9%, în sistemul binar Fe-C și relativ în cazul oțelurilor nealiatate.

Caracteristicile mecanice de rezistență sunt influențate puțin de către structurile Widmannstätten, practic acestea determinând creșterea lor cu 5 ... 10%.

Caracteristicile de plasticitate scad puțin dacă oțelul conține structuri Widmannstätten – alungirea, de exemplu, scade cu 5 ... 10%.

În figura 7/O4 se prezintă rapoartele dintre ferita obișnuită și ferita Widmannstätten precum și dintre cementita secundară normală și cementita Widmannstätten, în funcție de conținutul de carbon, pentru sistemul Fe-C, la diferite valori ale regimului vitează de răcire - mărime de grăunți de austenită.

La temperatura eutectoidă, ferita obișnuită deține proporția de 100% până la 0,0218% C și apoi scade până la 0% atunci când conținutul de carbon este de 0,77% – figura 7/O4,b. De asemenea, cementita secundară obișnuită variază de la 0%, ceea ce corespunde la un conținut de carbon de 0,77%, la 20%, ceea ce corespunde la un conținut de carbon de 2,11% și, apoi, scade la 0%, atunci când conținutul de carbon este de 4,3%.

Influența structurii oțelurilor nealiat, turnate sub formă de piese, asupra caracteristicilor mecanice de rezistență ale acestora

În cazul în care piesele de oțel nealiat sunt răcite în aer iar grăunții de austenită inițiali au dimensiunile de 80 ... 100 μm – figura 7/O4, c – alături de ferita obișnuită se formează și ferita Widmannstätten în proporție de maximum 35% în raport cu ferita obișnuită și se formează până la 0,5%C. Proporția de cementită Widmannstätten este de maximum 10% din proporția maximă de cementită secundară obișnuită ce este de 20%. Conform [15], proporția de ferită Widmannstätten se obține la concentrația de circa 0,1%C. Cementita Widmannstätten se formează pentru conținuturi de carbon ce variază între limitele 0,9 ... 4,3%.

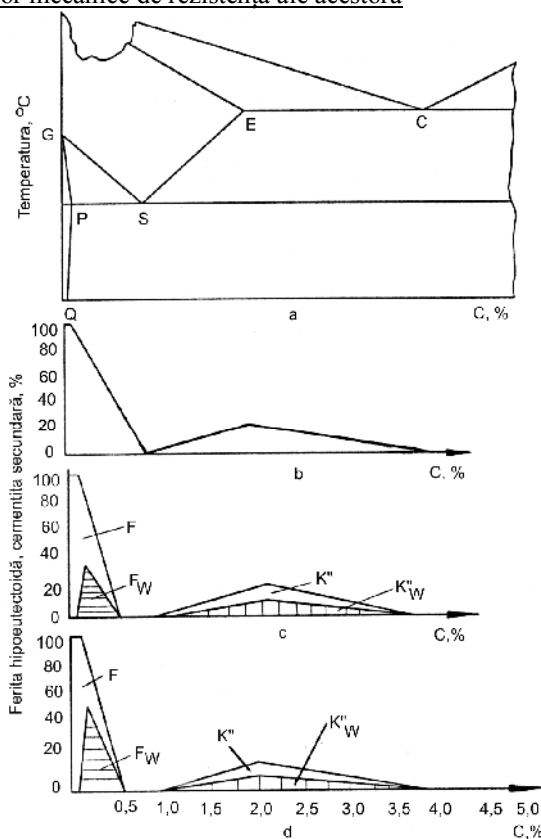
În cazul în care piesele de oțel nealiat se răcesc cu viteza de 200 ... 250<sup>0</sup>C/min – figura 7/O4, d – ferita Widmannstätten are proporția maximă de circa 50% în raport cu ferita obișnuită și se formează până la 0,5% C. Proporția maximă de cementită Widmannstätten este de circa 10% în raport cu cementita secundară. Și în acest caz, cementita Widmannstätten se formează pentru conținuturi de carbon ce variază între limitele 0,9 ... 4,3%.

Din figura 7/O4 rezultă că cementita Widmannstätten se formează și la fontele albe hipoeutectice.

Structurile tip Widmannstätten nu lipsesc doar de la oțelul eutectoid ci și de la oțelurile cvasiperlitice ce corespund unor conținuturi de carbon ce se situează în intervalul 0,5...0,9%.

Austenita eutectică din coloniile eutectice nu generează cementită Widmannstätten decât dacă grosimea austenitei eutectice este mai mare de 10 μm.

Influența structurii oțelurilor nealiate, turnate sub formă de piese, asupra caracteristicilor mecanice de rezistență ale acestora

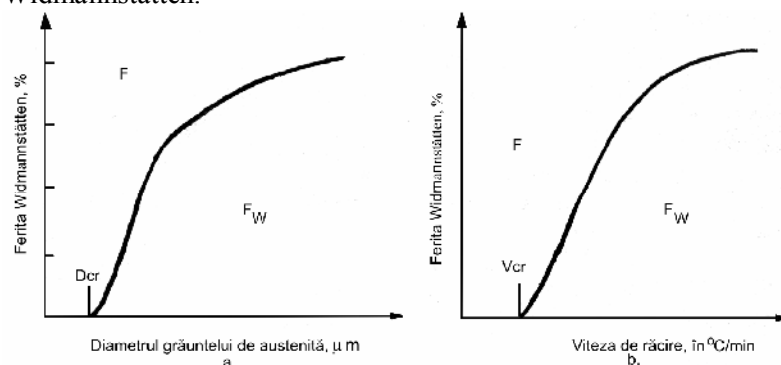


**Figura 7/O4. Rapoarte între cantitățile de ferită obișnuită -ferită Widmannstätten și cementită secundară obișnuită - cementită Widmannstätten, în funcție de conținutul de carbon, prin corespondență cu diagrama de echilibru Fe-C: a – secvență din diagrama Fe-C ; b – viteza de răcire este de maximum  $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$  (condiții de echilibru) ; c – piesele din oțel sunt răcite în aer iar dimensiunile grăunților inițiali de austenită variază între limitele  $80 \dots 100\mu\text{m}$  ; d – viteza de răcire este de  $200 \dots 250^{\circ}\text{C}/\text{min}$  ; F – ferita obișnuită ;  $F_W$  – ferita Widmannstätten ;  $K''$  – cementita secundară obișnuită ;  $K''_W$  – cementită Widmannstätten.**



Influența structurii oțelurilor nealiate, turnate sub formă de piese, asupra caracteristicilor mecanice de rezistență ale acestora

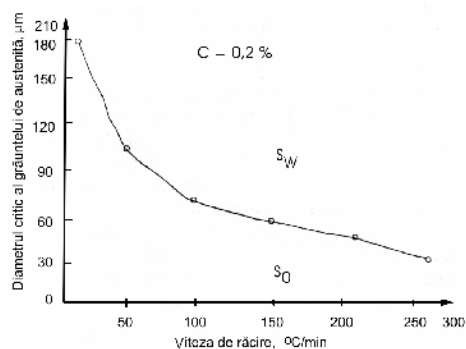
În figura 8/O4 se prezintă variația proporției de ferită Widmannstätten cu mărimea grăunților de austenită (a) și mărimea vitezei de răcire (b). Astfel, se observă că există o mărime critică a grăunților metalografici de austenită și o mărime critică a vitezei de răcire, până la care întreaga cantitate de ferită este obișnuită – se repartizează în zonele periferice ale grăunților de austenită – și începând de la care apar formațiuni de ferită Widmannstätten. Pe măsură ce diametrul grăunților de austenită și viteza de răcire se măresc peste valori critice, se mărește și proporția de ferită Widmannstätten.



**Figura 8/O4. Variația proporției de ferită Widmannstätten cu diametrul grăunților de austenită (a) și viteza de răcire (b): F – ferită obișnuită; F<sub>W</sub> – ferită Widmannstätten; D<sub>cr</sub> – diametrul critic al grăunților de austenită; V<sub>cr</sub> – viteza critică de răcire.**

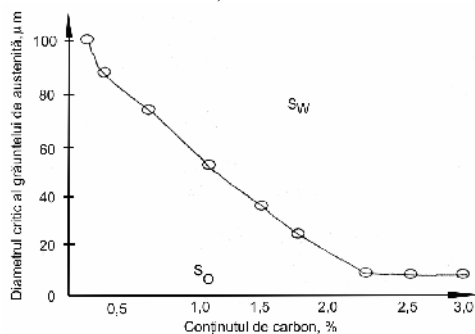
Pentru un oțel cu conținutul de carbon de 0,2%, în figura 9/O4, se prezintă variația diametrului critic al grăunților de austenită cu viteza de răcire, observându-se că pe măsură ce viteza de răcire se mărește, diametrul critic al grăunților de austenită se micșorează. Așa, chiar și în cazul vitezelor de răcire foarte mici – specifice echilibrului – dacă diametrul grăunților de austenită este foarte mare, există condiții de separare a feritei Widmannstätten, și, de asemenea, a cementitei Widmannstätten (relativ ușor se obțin structuri de tip Widmannstätten în cazul răcirii cu viteză foarte mică atunci când piesele de oțel se tratează termic – recoacere de omogenizare, de

Influența structurii oțelurilor nealiate, turnate sub formă de piese, asupra caracteristicilor mecanice de rezistență ale acestora (exemplu).



**Figura 9/O4. Dependența diametrului critic al grăunților de austenită de viteza de răcire pentru un oțel cu 0,2% C :  $S_W$  – structuri de tip Widmannstätten ;  $S_O$  – structuri de tip obișnuit.**

În figura 10/O4, în cazul unei viteze de răcire de 80 ... 100°C/min, se prezintă dependența diametrului critic al grăunților de austenită de conținutul de carbon. Se observă că cu cât conținutul de carbon este mai mare, cu atât mai ușor se face trecerea de la o structură obișnuită la o structură Widmannstätten, adică se obțin structuri Widmannstätten și dacă grăunții de austenită au dimensiuni mai mici (dacă structura este fină).



**Figura 10/O4. Variația diametrului critic al grăunților de austenită cu conținutul de carbon, în cazul unei viteze de răcire de 80 ... 100°C/min, pentru un oțel dat :  $S_W$  – structuri Widmannstätten ;  $S_O$  – structuri obișnuite.**

Influența structurii oțelurilor nealiat, turnate sub formă de piese, asupra caracteristicilor mecanice de rezistență ale acestora

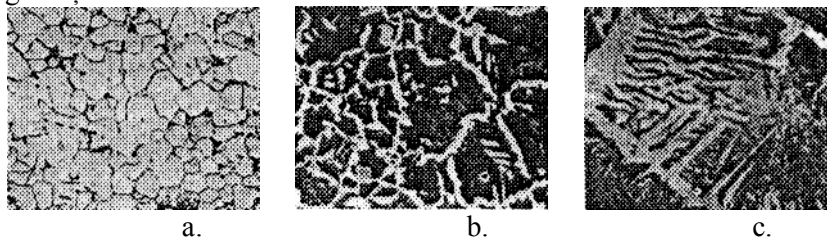
Raportul dintre structurile obișnuite și structurile Widmannstätten depinde de mărimea grăunților metalografici de austenită, viteza de răcire și conținutul de carbon.

În figura 11/O4 se prezintă structura secundară ce indică următoarele trei tipuri de ferită, [16] :

– figura 11/O4, a – ferită poliedrică într-un oțel recopt ce conține 0,048% C, 0,005% Si, 0,27% Mn, în principal, la mărirea x200. Ferita este normală ;

– figura 11/O4, b – ferită în rețea, separată la limita grăunților de austenită. Se poate anticipa ușor care a fost limita grăunților de austenită și cum austenita remanentă s-a transformat în perlită. Oțelul conține 0,55% C. Ferita este normală. Mărirea este de x 40 ;

– figura 11/O4, c – ferită Widmannstätten într-un oțel cu 0,4% C. Se observă ferita aciculară și ferita normală de la limita foștilor grăunți de austenită. Mărirea este de x200.



**Figura 11/O4. Structuri secundare reprezentând trei tipuri de ferită: a – ferită poliedrică (0,048% C), x200; b – ferită în rețea (0,55% C), x40; c – ferită Widmannstätten (0,4% C), x200**

### **3. Modul de lucru**

Se elaborează un oțel nealiat, cu conținut de carbon între 0,1 ...0,2%.

Oțelul se elaborează într-un cuptor electric cu încălzire prin inducție cu capacitatea de 30 kg de oțel, cu creuzet, ce funcționează la frecvență medie.

În încărcătură se utilizează doar deșeuri de oțel laminat.

Se elaborează două șarje de oțel – șarjele 1 și 2.

Influența structurii oțelurilor nealiat, turnate sub formă de piese, asupra caracteristicilor mecanice de rezistență ale acestora

Oțelul se toarnă în forma consacrată obținerii epruvetelor brute din care se prelevează epruvetele pentru încercarea la tracțiune.

Oțelul elaborat în șarja 1 se toarnă în formă fără să i se aplice tratamente metalurgice suplimentare.

Oțelurile – șarjele 1 și 2 – se elaborează conform tehnologiei prezentate în lucrarea O3.

Oțelul elaborat în șarja 2 se modifică prin adăugarea pe jetul de metal lichid de SiCa cu dimensiunile granulației de 1 ... 5 mm, în cantitate de 0,15%.

Prin prelevare de epruvete (apelând la prelucrări mecanice), conform STAS 600-65 reactualizat, se determină rezistența la tracțiune, alungirea și stricțiunea.

Din deșeurile epruvetelor se prelevează câte o probă cu dimensiunile  $\phi$  12x15, din cele două șarje, se pregătesc pentru analiza metalografică și se investighează la microscopul metalografice.

#### **4. Instrucțiuni speciale de asigurare a securității muncii**

Se va ține seama de instrucțiunile speciale de asigurare a securității muncii ce s-au prezentat la lucrarea C1.

#### **5. Interpretarea rezultatelor**

Se vor compara rezistența de rupere la tracțiune, alungirea, stricțiunea și structura metalografică ale probelor atacate cu reactiv chimic Nital, pentru oțelurile din cele două șarje.

#### **6. Bibliografie**

1. Tripșa, I., Oprea, F. și Dragomir, I. Bazele teoretice ale metalurgiei extractive. Editura Tehnică. București. 1967;

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

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

Influența structurii oțelurilor nealiat, turnate sub formă de piese, asupra caracteristicilor mecanice de rezistență ale acestora

1978;

4. Baum, B.A. Topituri metalice. Editura Tehnică. București. 1982;

5. Dragomir, I. Teoria proceselor siderurgice. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1985;

6. Andrei, V. Dicționar etimologic de termeni științifici. Editura Științifică și Enciclopedică. București. 1987;

7. Riposan, I. și Sofroni, L. Fonta cu grafit vermicular. Editura tehnică. București. 1984;

8. Malțev, M.V. Modificarea structurii metalelor și aliajelor. Editura Tehnică. București. 1966;

9. Tripșa, I., Hătărăscu, O. Iordănescu, P. și Rozolimo, P. Mică enciclopedie de metalurgie. Editura Științifică și Enciclopedică. București. 1980;

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

11. Efimov, V.A. Turnarea și cristalizarea oțelurilor. Editura Tehnică. București. 1980;

12. Sofroni, L., Brabie, V. și Bratu, C. Bazele teoretice ale turnării. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1980;

13. Todorov, R.P. și Hristov, H.G. Despre mecanismul structurilor obișnuite și Widmannstätten. Revista de Turnătorie, nr. 11, 12, 2003. Traducere de Sofroni, L. p. 7 ... 10 ;

14. Todorov, R.P. și Hristov, H.G. Structuri Widmannstätten în aliajele fier-carbon. Revista de Turnătorie, nr. 9, 10, 2003. Traducere de Sofroni, L. p. 29... 30 ;

15. Todorov, R.P. și Hristov, H.G. Factorii care determină cristalizarea structurilor obișnuite și Widmannstätten. Revista de Turnătorie, nr. 1, 2, 2004. Traducere de Sofroni, L. p. 13... 16.

## **O5. Modelarea insuflării cu oxigen în oțelul lichid**

### **1. Scopul**

Implicarea presiunii de insuflare, a locului de insuflare și a distanței dintre duza de insuflare și suprafața băii metalice asupra dinamicii curenților ce iau naștere în baia metalică.

### **2. Considerații generale**

Oxigenul se insuflă în oțelul lichid cu următoarele două scopuri:

– mărirea temperaturii băii metalice cu scopul măririi vitezei de desfășurare a unor procese chimice și fizice ce să conducă, inclusiv, la micșorarea duratei de elaborare – la eficientizarea elaborării oțelului, [1]. În cazul elaborării oțelului în cuptorul cu arc electric, în timpul etapei de topire, după ce pe vatră s-a format o cantitate relativ mică de baie metalică, după ce o mare parte din încărcătura metalică este încălzită la temperaturi de 800...900°C, se insuflă oxigen în cuptor prin țevi cu diametrul de 8...10 mm, la presiuni de 3...15 at, în modul următor: se taie punțile de încărcătură dinspre căptușeala cuptorului și dintre cei trei electrozi și ulterior se insuflă oxigenul în baia de oțel. Astfel, cu o durată de insuflare de 10...15 min, la cuptoare cu arc electric având capacitatea de 1,5...5,0 t, consumându-se 10...15 m<sup>3</sup> oxigen/t de oțel, se realizează o reducere a duratei de topire cu 10...20%, reducerea duratei de topire fiind de 3...5 min/t. Micșorarea duratei de topire determină îmbunătățirea calității oțelului elaborat deoarece se micșorează conținutul de gaze și de incluziuni nemetalice, [2]. Prin insuflarea de oxigen în baia de oțel, în timpul etapei de topire, temperatura băii metalice poate crește cu valoarea  $\Delta\theta$  – relația 1/O5.

$$\Delta\theta = \frac{\Delta Me \cdot Q_{MeO}}{M_m \cdot c_m + M_{zg} \cdot c_{zg}} \quad (1/O5)$$

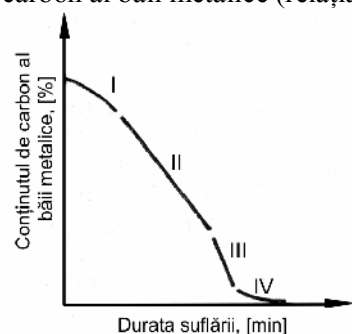
## Modelarea insuflării cu oxigen în oțelul lichid

în care  $\Delta\theta$  se exprimă în  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta\text{Me}$  – cantitatea de elemente Me oxidate prin intermediul oxigenului insuflat, în kg/100 kg;  $Q_{\text{MeO}}$  – cantitatea de căldură rezultată, în kcal/kg de Me, din reacțiile de oxidare (efectele termice);  $M_m$  – masa băii metalice, în kg;  $M_{zg}$  – masa zgurii, în kg;  $c_m$  – căldura specifică medie (căldura masică medie) a băii metalice (circa 0,200...0,300 kcal/kg· $^{\circ}\text{C}$ , pentru temperaturi uzuale din practica elaborării);  $c_{zg}$  – căldura specifică medie (căldura masică medie) a zgurii (circa 0,170...0,190 kcal/kg· $^{\circ}\text{C}$ , pentru temperaturi uzuale din practica elaborării). În relația (1/O5) s-a considerat că baia metalică și zgura se încălzesc în mod egal de la căldura degajată de reacțiile de oxidare;

– intensificarea reacțiilor de oxidare – în mod special, decarburarea avansată în cazurile în care se cere un conținut de carbon în baia metalică de oțel mai mic de 0,05%.

Oxigenul se utilizează pentru afinare în exclusivitate sau în combinație cu minereul de fier.

Conform [3], viteza de decarburare în timpul insuflării oxigenului variază ca în figura 1/O5. Astfel, în perioada I – de început de oxidare a carbonului – straturile superioare ale băii metalice conțin o cantitate mai mare de oxigen ca urmare a difuziei oxigenului prin baie, a difuziei atomilor de carbon spre aceeași zonă și a reținerii bulelor de monooxid de carbon formate în profunzimea băii metalice, de asemenea, în aceeași zonă. În perioada a II-a, denumită perioada “căderii liniare”, viteza de decarburare este proporțională cu admisia de oxigen – cu debitul de oxigen – și este dependentă de conținutul de carbon al băii metalice (relația (2/O5)).



**Fig.1/O5.Variația conținutului de carbon din baia de oțel în timpul insuflării: I – perioada de început de oxidare a carbonului; II – perioada “căderii liniare”; III – perioada “căderii abrupte”; IV – perioada de “sfârșit a oxidării carbonului”.**

$$v_{C_{II}} = \frac{I}{V} \cdot \mu_o \cdot Q_o, \quad (2/O5)$$

în care  $v_{C_{II}}$  reprezintă viteza de decarburare a băii de oțel în perioada a II-a;  $I$  – frecvența formării de nuclee de interacțiune C-O, în nuclee/ $m^3 \cdot s$ ;  $V$  – volumul băii metalice, în  $m^3$ ;  $\mu_o$  – raportul dintre cantitatea de oxigen consumat pentru decarburare și cantitatea de oxigen introdus în baia metalică;  $Q_o$  – debitul de oxigen. În perioada a II-a decarburarea se produce prin interacțiunea chimică C-O la suprafața băii metalice lipsite de zgură. În cazul în care oxigenul se insuflă printr-un strat de zgură, nucleele de CO se formează la interfața zgură-baie metalică. În perioada a III-a, curba oxidării carbonului are o “cădere abruptă” și corespunde vitezei maxime de decarburare. În perioada a IV-a de “sfârșit al oxidării carbonului” – sub conținutul critic de carbon al băii metalice (în intervalul 0,4...0,1%) –, viteza de decarburare,  $v_{C_{IV}}$ , depinde de conținutul de carbon și este de forma (3/O5).

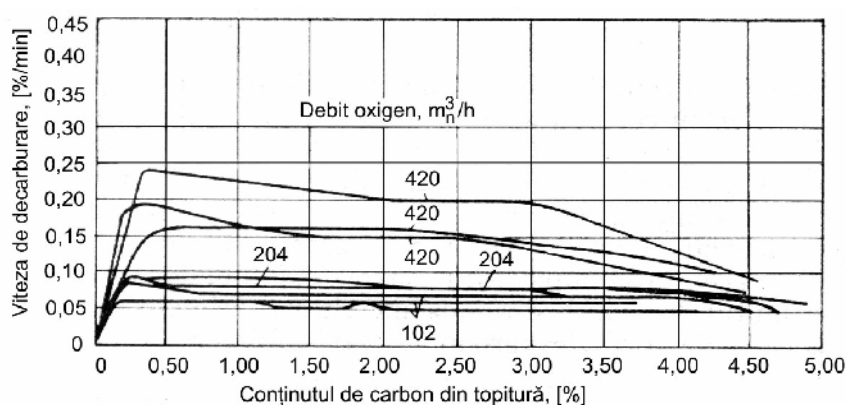
$$v_{C_{IV}} = \frac{A}{V} \beta \cdot \Delta[C], \quad (3/O5)$$

în care  $A$  reprezintă suprafața de reacție, în  $m^2$ ;  $\beta$  – coeficient de transfer de masă în stratul limită;  $V$  – volumul băii metalice;  $\Delta[C] = [C]_m - [C]_{fr}$  – diferența dintre conținutul de carbon mediu din interiorul băii metalice și conținutul de carbon din frontul de reacție. În perioada a IV-a viteza de decarburare depinde de viteza de difuzie a carbonului prin baia metalică.

În funcție de conținutul de carbon al băii metalice, prin variația debitului de oxigen, în figura 2/O5 se prezintă viteza de decarburare. Din această figură se observă că doar la conținuturi de carbon mici și mari ale băii metalice viteza de decarburare depinde de conținutul de carbon. Pentru o plajă mare de conținuturi de carbon (în figură, intervalul 0,50...3,00% carbon) viteza de decarburare nu depinde de conținutul de carbon al băii metalice, depinzând de mărimea debitului de oxigen – viteza de decarburare a băii metalice este cu atât mai mare cu cât debitul de oxigen este mai mare. Între



conținuturile de carbon de 0,4% și 0,1% există o valoare critică începând de la care spre conținuturi mai mici, între viteza de decarburare și conținutul de carbon al băii metalice există o dependență relativ liniară – viteza de decarburare scade o dată cu conținutul de carbon al băii metalice. În momentul în care se atinge concentrația critică de carbon respectivă, fierul din baia metalică începe să se oxideze conform reacției chimice (4/O5).



**Fig. 2/O5. Variația vitezei de decarburare în funcție de conținutul de carbon al băii metalice, în cazul mai multor debite de oxigen.**

În cazul conținuturilor de carbon mai mari decât cel critic, carbonul protejează fierul de o oxidare puternică.

Din figura 2/O5 se observă creșterea conținutului critic de carbon o dată cu mărirea debitului de oxigen. Înainte de “căderea” liniară a vitezei de decarburare toate curbele din figura 2/O5 prezintă un maxim.

În practică trebuie să se cunoască conținutul critic de carbon pentru fiecare marcă de oțel cu scopul adoptării regimului de insuflare a oxigenului. Corelația dintre debitul de oxigen și presiunea oxigenului pentru diferite diametre ale țevii de insuflare a oxigenului este prezentată în figura 3/O5.

Pentru temperatura băii de oțel, în momentul inițial al

insuflării oxigenului, de  $1.600^{\circ}\text{C}$ , consumul de oxigen, exprimat în  $\text{m}^3\text{N/t}$  de oțel lichid, în funcție de cantitatea de carbon propusă să se elimine din baia de oțel, în cazul mai multor conținuturi inițiale de carbon, se prezintă în figura 4/O5.

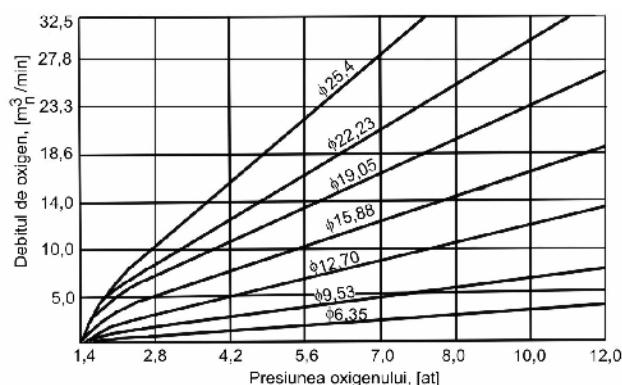


Fig. 3/O5. Dependența debitului de oxigen de presiunea de insuflare a oxigenului în funcție de diametrul, în mm, al țevii de insuflare.

Interacțiunea oxigen-carbon se realizează în următoarele patru faze:

- difuzia carbonului în baia de oțel spre zona de reacție;
- difuzia oxigenului în baia de oțel spre zona de reacție;
- reacția omogenă a carbonului cu oxigenul;
- trecerea monooxidului de carbon rezultat din reacția omogenă în faza gazoasă.

Concluzionând sintetic, în cazul conținuturilor mari de carbon, viteza de decarburare a oțelului lichid depinde de difuzia oxigenului iar în cazul conținuturilor mari de oxigen și mici de carbon – finalul decarburării – viteza de decarburare depinde de difuzia carbonului.

Efectele afinării cu oxigen sunt următoarele:

- în zona de impact oxigen-baie metalică temperatura ajunge până la valoarea de  $2.500^{\circ}\text{C}$ ;
- temperaturile mari ce se obțin determină frânarea termodinamică a reacțiilor de oxidare a elementelor chimice din

## Modelarea insuflării cu oxigen în oțelul lichid

compoziția oțelului lichid;

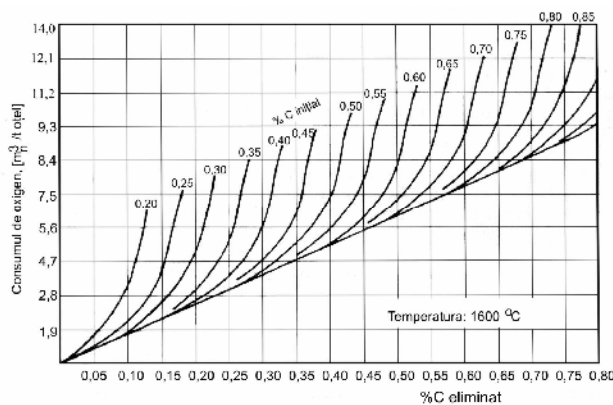
– temperaturile mari ale băii metalice conduc la disocierea carburilor;

– gradul de agitare al băii metalice crește semnificativ, ceea ce înseamnă mărirea suprafețelor de reacție și accelerarea fenomenului de eliminare a bulelor de monoxid de carbon;

– se obțin concentrații locale de oxigen, în baia metalică, mari;

– unele proprietăți ale băii metalice se schimbă, așa cum ar fi micșorarea tensiunii superficiale, mărirea fluctuațiilor de energie etc. – consecința este favorizarea germinării bulelor de monoxid de carbon etc.

Viteza de decarburare maximă poate ajunge la valori de 1,8...2,4% C/h în cazul conținuturilor de carbon mari și se menține la valori de 0,15...0,20% C/h în cazul conținuturilor de carbon mici – chiar sub 0,05% (în domeniul elaborării oțelurilor aliate, finalul decarburării, pentru oțeluri cu un conținut de carbon mai mic de 0,05%, poate fi asigurat numai prin afinare cu oxigen).



**Fig. 4/O5. Variația consumului de oxigen în funcție de cantitatea de carbon propusă să se elimine din baia de oțel în cazul diferitelor conținuturi de carbon inițial.**

Oxigenul se insuflă în cuptor în următoarele două moduri:

– pe baie metalică – figura 5/O5.a;

– în baia metalică – figura 5/O5.b.

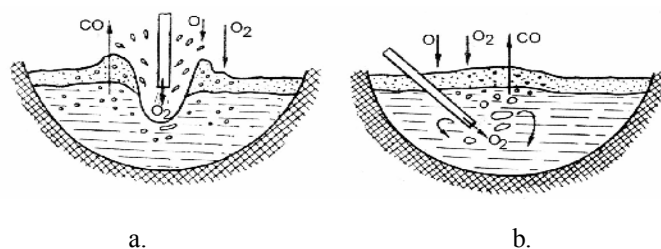


Fig. 5/O5. Schema modalităților de insuflare a oxigenului în cuptor: a – insuflare pe baie; b – insuflare în baie; O – oxigen atomic rezultat sub influența arcului electric (din disocierea moleculelor de oxigen din atmosfera cuptorului).

În baia metalică, oxigenul se insuflă prin intermediul unei lănci ce conține țeava de insuflare prevăzută cu un sistem de răcire cu apă. Țeava de insuflare este prevăzută la capăt cu duză ce are orificii sau cu duză continuă. În figura 6/O5 se prezintă o lance formată dintr-o țeavă de cupru prevăzută cu sistem de răcire cu apă, în figura 7/O5 este arătat un capăt de lance prevăzută cu o duză de evacuare iar figura 8/O5 indică un capăt de lance prevăzută cu trei duze de evacuare (duzele prezentate în figurile 7/O5 și 8/O5 se folosesc mai mult în cazul convertizorului).

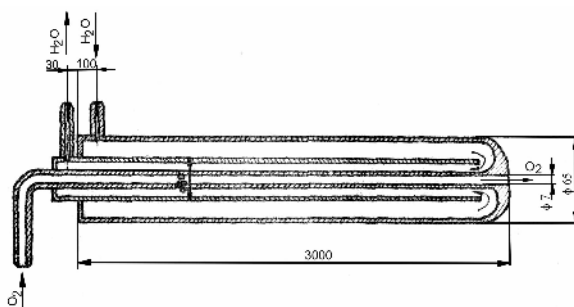
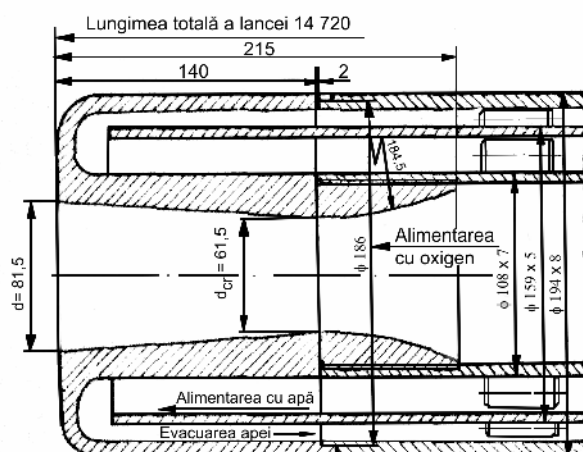


Fig. 6/O5. Schița unei lănci de insuflare a oxigenului prevăzută cu sistem de răcire cu apă.



**Fig.7/O5.Desenul unui corp de lance prevăzut cu o duză de evacuare.**

În baia metalică, oxigenul se insuflă prin intermediul unei țevi cu diametrul interior de 10...25 mm, izolată, [4], sau neizolată. De exemplu, pentru oțelurile cu grad de aliere mare pentru crom, oxigenul se insuflă în momentul în care temperatura băii metalice a atins valoarea de  $1.650^{\circ}\text{C}$  și prin intermediul unei țevi de oțel moale cu diametrul interior de 1,0...1,5 țoli – 1 țol = 1 inch = 25,4 mm –, cu o presiune de minimum 8 at – în mod curent 9...12 at –, cu un debit specific de 1,0...1,5  $\text{m}^3\text{N/t} \cdot \text{min}$ , consumul de oxigen fiind de 20  $\text{m}^3\text{N/t}$  de oțel lichid, [5]. Temperatura finală a băii metalice – după terminarea insuflării oxigenului – este de circa  $1.820^{\circ}\text{C}$  dacă oțelul are inițial circa 8% crom, este de circa  $1.860^{\circ}\text{C}$  dacă oțelul are inițial circa 12% crom și este de circa  $1.910^{\circ}\text{C}$  dacă oțelul are inițial circa 15% crom. Se precizează că la terminarea insuflării oxigenului, zgura obținută conține circa 20% crom, ceea ce impune, din motive de eficiență economică, desfășurarea, obligatoriu, a unui proces de reducere a zgurii în vederea recuperării cromului din zgură în baia metalică.

În vederea alimentării cu oxigen, se utilizează o instalație de alimentare, oxigenul provenind de la o fabrică de oxigen sau de la o baterie de butelii de oxigen (figura 9/O5), [6].

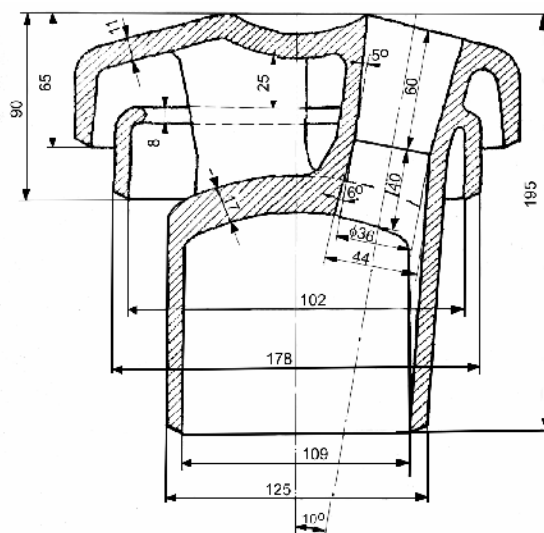


Fig. 8/O5. Desenul unui cap de lance, de insuflare a oxigenului, prevăzut cu trei duze de evacuare a oxigenului.

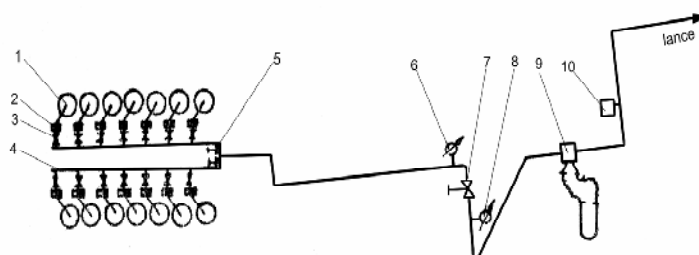
Dacă țeava de insuflare nu este protejată refractar, în general, poate avea diametrul de 28 mm și grosimea peretelui de 4 mm, este din oțel moale, și se montează într-o țeavă de cupru ce face legătura cu instalația de alimentare cu oxigen prin intermediul unui tub flexibil (furtun). Se recomandă ca în timpul insuflării cu oxigen, zgura să se mențină fluidă.

Pe toată durata insuflării cu oxigen, în cazul elaborării în cuptorul electric cu arc, este obligatoriu ca să se scoată de sub tensiune cuptorul iar electrozii să fie ridicați.

În timpul insuflării oxigenului în baia metalică, în funcție de procedeul de elaborare – bazic sau acid –, în cuptor se introduc adaosuri pentru fluidificarea zgurii iar cuptorul se înclină cu scopul evacuării zgurii.

În timpul insuflării oxigenului, țeava de insuflare, se deplasează într-un plan ce are înclinarea de  $20^{\circ}$ , în stânga și în dreapta, cu scopul evitării pericolului formării de gropi în vatră sau în peretele

cuvei și al îngroșării peretelui cuvei în vecinătatea zgurii.



**Fig. 9/O5. Schema instalației de alimentare cu oxigen: 1 – baterie de tuburi (butelii); 2 – reductoare de presiune (150:25 at); 3 – robinete cu ventil pentru oxigen; 4 – conducte de cupru ( $\phi$  30x5mm) colectoare; 5 – ventile de trecere ( $\phi$  10); 6 – manometru indicator al presiunii oxigenului pe coloană, la panoul de comandă ( $0 \dots 2.450 \text{ N/cm}^2$ ); 7 – ventil de comandă a debitului și presiunii oxigenului insuflat prin lance; 8 – manometru indicator al presiunii cu care se insuflă oxigenul ( $0 \dots 245 \text{ N/cm}^2$  sau 25 at); 9 – tub manometric U pentru măsurarea debitului de oxigen insuflat montat pe o conductă de cupru  $\phi$  60 x 5 mm (sau debitmetru consacrat); 10 – supapă de siguranță de 25 at ( $245 \text{ N/cm}^2$ ).**

Se recomandă ca profunzimea pătrunderii lăncii în cuptor, pe orizontală, să fie de  $1/3$  din diametrul băii metalice iar adâncimea de pătrundere în baia metalică să fie  $1/3$  din înălțimea băii metalice, [7].

Insuflarea oxigenului în cuptor determină desfășurarea unor reacții de oxidare puternic exoterme cu consecința supraîncălzirilor locale ale băii metalice și, astfel, a vaporizării intense a fierului. Așa, se degajă vapori de fier de culoare cafenie, tensiunea de vapori a fierului crescând conform relației (5/O5). Oxidarea unui kilogram de fier determină degajarea unei cantități de căldură de  $4,408 \cdot 10^6 \text{ J}$ .

$$\log p_{\text{Fe}} = \frac{-Q_v}{4,575 T} + 6,144, \quad (5/O5)$$

în care  $p_{\text{Fe}}$  reprezintă tensiunea de vapori a fierului;  $Q_v$  – căldura

latentă de vaporizare.

În cazul insuflării de oxigen în cuptor se formează 2.500...5.000 m<sup>3</sup>N gaze/t de oțel lichid, iar în urma amestecării cu aer fals, cantitatea de gaze ce se degajă poate ajunge la valori cuprinse în intervalul 7.500...11.000 m<sup>3</sup>N/t de oțel lichid. Gazele degajate conțin o cantitate de praf de 4,5...10 g/m<sup>3</sup>N de gaze și conțin în cea mai mare parte oxizi de fier.

Balanța de considerare a modului de oxidare a elementelor chimice din compoziția chimică a oțelului lichid înclină spre oxidarea directă a elementelor chimice cu oxigenul insuflat, cel mai important proces ce are loc în timpul afinării cu oxigen fiind cel prezentat cu mecanismul de desfășurare a reacțiilor chimice (6/O5), (7/O5) și (8/O5) – reacțiilor chimice (6/O5) și (7/O5)



Li s-a aplicat legea lui Hess. Reacția chimică (6/O5) are loc la contactul dintre bulele de oxigen și baia metalică, în această zonă oxigenul fiind în exces. Reacția chimică (7/O5) are loc în traiectoriile bulelor de CO<sub>2</sub> prin baia metalică.

Se acceptă și cazul ca oxigenul molecular insuflat în baia metalică să reprezinte germeni pentru formarea monooxidului de carbon.

Cu cât temperatura băii metalice este mai mare, cu atât tensiunea superficială a acesteia este mai mică, ceea ce înseamnă favorizarea condițiilor de formare a bulelor de CO.

Conform [4], oxigenul se poate insufla în cuptoare electrice cu arc și prin boltă, distanța de la capul lăncii de insuflare și până la suprafața băii metalice fiind, de exemplu, de minimum 0,25 m.

Studiul fenomenelor ce au loc în timpul insuflării oxigenului pe și în baia metalică, prin modelare, comportă dificultăți din cauza fenomenelor complexe ce au loc în baia metalică.



De regulă se modelează procesele ce au loc în realitate, corelându-se ulterior rezultatele obținute.

În condiții de laborator se poate modela ușor insuflarea prin boltă a oxigenului în cuptorul electric cu arc, analizându-se ca variabilă dependentă cantitatea de stropi improșcați – variația în timp – în funcție de mai mulți parametri, cum ar fi înălțimea de la care se realizează insuflarea (poziția capului lăncii de insuflare față de suprafața băii metalice), adâncimea de insuflare în baie, debitul de insuflare, presiunea de insuflare, diametrul duzei, numărul de duze etc. Analiza parametrilor menționați conduce la micșorarea uzurii căptușelii refractare a cuvei, micșorarea consumului de oxigen, intensificarea insuflării oxigenului etc.

Practic se poate modela un cuptor electric cu arc, mărimea caracteristică fiind diametrul băii metalice, alegându-se scara modelului ce se notează cu  $\lambda$  și care are valoarea dată de relația (9/O5). Astfel se aplică similitudinea geometrică.

$$\lambda = \frac{D_{\text{real}}}{D_{\text{model}}}, \quad (9/O5)$$

în care  $D_{\text{real}}$  reprezintă diametrul suprafeței băii metalice iar  $D_{\text{model}}$  reprezintă diametrul suprafeței lichidului de modelare.

Raportul dintre valoarea unei mărimi ce caracterizează o proprietate a lichidului sau gazului de modelare și valoarea analoagă a cuptorului electric cu arc trebuie să fie constant, acest lucru obținându-se prin similitudinea fizică.

Parametrii dimensionali ce derivă din ecuațiile diferențiale de mișcare sau din raportul forțelor ce participă la procesul examinat trebuie să fie egal în model și în cuptorul cu arc electric, această situație fiind reglementată de similitudinea dinamică.

Criteriile de similitudine ce se aplică sunt următoarele:

– criteriul de similitudine al lui Reynolds – relația (10/O5);

$$\text{Re} = \frac{v \cdot \rho \cdot l}{\eta} = \text{constant}, \quad (10/O5)$$

în care  $\text{Re}$  reprezintă criteriul de similitudine al lui Reynolds;  $v$  –

### Modelarea insuflării cu oxigen în oțelul lichid

---

viteza;  $\rho$  – densitatea;  $l$  – dimensiunea lineară caracteristică;  $\eta$  – viscozitatea dinamică;

– criteriul de similitudine al lui Euler,  $Eu$  – relația (11/O5);

$$Eu = \frac{\Delta p}{\rho v^2} = \text{constant}, \quad (11/O5)$$

în care  $\Delta p$  reprezintă pierderea de presiune iar  $v$  – viteza;

– criteriul de similitudine al lui Froude,  $Fr$  – relația (12/O5);

$$Fr = \frac{v^2}{g \cdot l} = \text{constant}, \quad (12/O5)$$

în care  $g$  reprezintă accelerația gravitațională iar celelalte simboluri au semnificațiile anterioare;

– criteriul de similitudine al lui Froude modificat,  $Fr'$  – relația 13/O5.

$$Fr' = \frac{\rho_{\text{gaz}} \cdot v_{\text{gaz}}^2}{\rho_{\text{lichid}} \cdot g \cdot l}, \quad (13/O5)$$

în care  $\rho_{\text{gaz}}$  reprezintă densitatea gazului;  $v_{\text{gaz}}$  – viteza gazului;  $\rho_{\text{lichid}}$  – densitatea lichidului;  $g$  – accelerația gravitațională;  $l$  – dimensiunea lineară caracteristică.

De asemenea, trebuie îndeplinită similitudinea de contur ce se referă la similitudinea condițiilor inițiale și condițiilor limită (în secțiunea de intrare a modelului trebuie să fie creată aceeași distribuție a vitezelor ca și la cuptorul cu arc electric).

Pe lângă respectarea similitudinii geometrice trebuie să se respecte și teorema Bedermann – Buckingham – criteriile de similitudine determinante.

### **3. Modul de lucru**

În figura 10/O5 se prezintă schița modelului.

Ca lichid de modelare se utilizează apa iar ca gaz de modelare se utilizează aerul sau bioxidul de carbon.

Se analizează următoarele fenomene:

– influența înălțimii de insuflare asupra cantității de stropi (se mențin constanți următorii parametri: înălțimea lichidului de modelare – 52 mm –, debitul gazului de modelare, presiunea gazului de modelare, diametrul duzei și numărul de duze). Stropii de lichid de modelare se colectează într-un vas colector și li se măsoară volumul. Se efectuează experimentări pentru următoarele distanțe dintre capul lăncii și suprafața lichidului de modelare: +70 mm, +50 mm, +30 mm, 0 mm (capul lăncii este amplasat la suprafața lichidului de modelare) și –20 mm (capul lăncii este imersat în lichidul de modelare). Timpul de insuflare este de 1 minut. Se trasează graficele  $Q_l = f(h_{ins.})$ , în care  $Q_l$  reprezintă volumul de stropi recuperați în vasul colector iar  $h_{ins.}$  este distanța dintre capul lăncii și suprafața lichidului de modelare;

– influența înălțimii lichidului de modelare asupra cantității de stropi (se mențin constanți următorii parametri: distanța dintre capătul lăncii de insuflare și suprafața lichidului de insuflare, debitul gazului de modelare, presiunea gazului de modelare, diametrul duzei și numărul duzelor). Se efectuează experimentări pentru următoarele înălțimi ale lichidului de modelare: 65 mm, 55 mm și 45 mm. Se trasează  $Q_l = f(h_{l.m.})$ , în care  $h_{l.m.}$  reprezintă înălțimea lichidului de modelare (timpul de insuflare este de 1 minut).

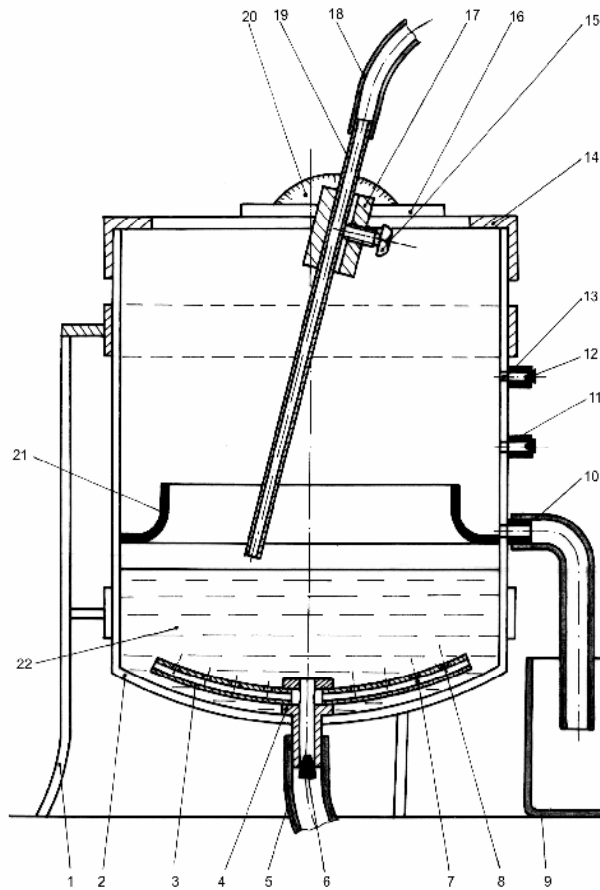
– influența unghiului format de lancea de insuflare cu verticala, asupra cantității de stropi (se mențin constanți următorii parametri: înălțimea lichidului de modelare – 52 mm –, debitul gazului de modelare, presiunea gazului de modelare, diametrul duzei și numărul de duze). Se efectuează experimentări pentru următoarele unghiuri ale lăncii de insuflare cu verticala:  $10^0$ ,  $20^0$  și  $30^0$ . Se studiază două distanțe dintre capul lăncii și suprafața lichidului de modelare, respectiv +20 mm și – 20 mm. Se trasează graficele  $Q_l = f(\alpha)$ , în care  $\alpha$  reprezintă unghiul lăncii cu verticala, pentru cele două poziții ale capului lăncii față de suprafața lichidului de modelare.

#### **4. Măsurile speciale de asigurare a securității muncii**

Se au în vedere aceleași măsuri speciale ca și la lucrarea C1.

Modelarea insuflării cu oxigen în oțelul lichid

---



**Fig. 10/O5. Schița modelului: 1 – cadru de susținere; 2 – recipientul modelului; 3 – brațe de insuflare; 4 – corp de insuflare; 5 – tub flexibil; 6 – dop de blocare I; 7 – orificiu prelungitor; 8 – orificii de distribuire; 9 – vas de colectare; 10 – tub flexibil II; 11 – ștuț; 12 – dop de blocare II; 13 – orificii de colectare; 14 – capac; 15 – șurub de fixare; 16 – sistem flexibil de acționare a lăncii pe orizontală și în sensul rotirii; 17 – bușă de fixare; 18 – tub flexibil III; 19 – lance model; 20 – raportor gradat; 21 – inel de recuperare a lichidului de modelare; 22 – lichid de modelare.**

### **5. Interpretarea rezultatelor**

Se analizează cele 18 grafice trasate, trăgându-se concluzii în legătură cu parametrii optimi implicați în erodarea căptușelii refractare.

### **6. Bibliografie**

1. Rău, A. și Tripșa, I. Metalurgia oțelului. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1973;
2. Sofroni, L. Elaborarea și turnarea aliajelor. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1975;
3. Vacu, S. ș.a. Elaborarea oțelurilor aliate. Editura Tehnică. București. Vol. I. 1980;
4. Brabie, V., Bratu, C. și Chira, I. Tehnologia elaborării și turnării oțelului. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1979;
5. Vacu, S. ș.a. Elaborarea oțelurilor aliate. Editura Tehnică. București. Vol.al II-lea, 1983;
6. Tripșa, I., Vacu, S., Berceanu, E. și Butnaru, I. Lucrări practice de metalurgia oțelului. Universitatea "Politehnica". București. 1975;
7. Brabie, V., Bratu, C., Toboc, P. și Neagu, G. Tehnologia elaborării și turnării oțelului – lucrări practice. Universitatea "Politehnica". București. 1985.

## **O7. Influența maselelor asupra gradului de compactitate al pieselor de oțel**

### **1. Scopul lucrării**

Cauzele ce generează utilizarea maselelor și metode de eliminare a microcavităților de la piesele turnate din oțel.

### **2. Considerații generale**

Factorul principal ce determină mecanismul explicării formării retasurii este volumul specific. Volumul specific este volumul unității de masă și se exprimă în  $\text{cm}^3/\text{g}$ , de exemplu.

Volumul specific variază cu temperatura conform relației (1/O7).

$$v = v_0 (1 + \beta \cdot \theta), \quad (1/O7)$$

în care  $v$  reprezintă volumul specific, în  $\text{cm}^3/\text{g}$ , la temperatura  $\theta$ ;  $v_0$  – volumul specific la temperatura de  $0^\circ\text{C}$ ;  $\beta$  – coeficient de dilatare cubică, în  $^\circ\text{C}^{-1}$ ;  $\theta$  – temperatura la care s-a realizat încălzirea metalului, în  $^\circ\text{C}$ .

Relația (1/O7) se poate explicita și pentru dimensiunile liniare – de exemplu, lungimea – , coeficientul de dilatare cubică,  $\beta$ , înlocuind-se cu coeficientul de dilatare liniară,  $\alpha$ . Între coeficienții  $\alpha$  și  $\beta$  există relația (2/O7).

$$\beta = 3\alpha \quad (2/O7)$$

Relația 1/O7 este valabilă pentru stările de agregare condense (solidă și lichidă), coeficientul de dilatare volumică în stare lichidă fiind mai mare decât coeficientul de dilatare volumică în stare solidă.

Fie că oțelul se toarnă în formă la temperatura de turnare  $\theta$  și că se adoptă următoarele notații :  $\theta_l$  – temperatura liniei lichidus;  $\theta_s$  – temperatura liniei solidus;  $\theta_0$  – temperatura mediului ambiant;  $V$  – volumul cavității formei.

Influența masei, asupra gradului de compactitate al pieselor de oțel

Volumul cavității formei ar trebui să fie ocupat de o cantitate de oțel solid egală cu  $m$ , conform relației (3/O7).

$$m_s = \gamma_s \cdot V = \frac{V}{v_s}, \quad (3/O7)$$

în care indicele  $s$  provine de la starea solidă;  $\gamma$  – masa specifică ;  $m = V/v_s$  rezultă din definiția volumului specific, respectiv  $v = V/m$ , în  $\text{cm}^3/\text{g}$ .

Așa cum s-a precizat,

$$v_l > v_s, \quad (4/O7)$$

în care  $l$  se referă la starea lichidă.

Masa oțelului lichid ce se toarnă în cavitatea formei de volum  $V$  este dată de relația (5/O7).

$$m_l = \gamma_l \cdot V = \frac{V}{v_l}, \quad (5/O7)$$

în care indicele  $l$  se referă la starea lichidă.

Având în vedere inegalitatea (4/O7) rezultă că

$$m_l < m_s \quad (6/O7)$$

Prin urmare, analizând inegalitatea (6/O7), rezultă că masa de oțel lichid turnată pentru obținerea unei piese, de exemplu, este mai mică decât masa piesei respective de la temperatura mediului ambiant, [1]. Diferența de masă este dată de relația (7/O7).

$$\Delta m = m_s - m_l = \frac{V}{v_s} - \frac{V}{v_l} = V \cdot \frac{v_l - v_s}{v_l \cdot v_s} \quad (7/O7)$$

La diferența de masă  $\Delta m$  corespunde o diferență de volum  $\Delta V$  – relația (8/O7).

$$\Delta V = \Delta m \cdot v_s = V \frac{(v_l - v_s)}{v_l}. \quad (8/O7)$$

$\Delta V$  reprezintă un gol în piesă provocat de compactizarea oțelului lichid și se numește retasură.

$\Delta V$  din relația (8/O7) se mai poate scrie și sub forma (9/O7).

$$\Delta V = \frac{V}{v_1} [(v_1 - v_{\theta_1}) + (v_{\theta_1} - v_s)] \quad (9/O7)$$

în care  $v_{\theta_1}$  reprezintă volumul specific la temperatura liniei lichidus;

Deoarece  $\frac{V}{v_1} = m_1$ , relația (9/O7) devine (10/O7).

$$\Delta V = m_1 [(v_1 - v_{\theta_1}) + (v_{\theta_1} - v_s)] \quad (10/O7)$$

Din relația (10/O7) rezultă că retasura este proporțională cu masa de oțel lichid (volumul piesei turnate), contracția oțelului lichid între temperatura de turnare și temperatura liniei lichidus și contracția oțelului din intervalul de solidificare (între temperatura liniei lichidus și temperatura liniei solidus).

Contracția în stare solidă nu participă la formarea retasurii, [2], însă, influențează mărimea ei – o micșorează sau o mărește nesemnificativ.

Din relația (10/O7) se trage concluzia că factorul  $m_1$  este specific fiecărei piese, prin volumul acesteia, diferența  $(v_1 - v_{\theta_1})$  poate fi influențată prin temperatura de turnare – temperatură de turnare mare înseamnă contracție în stare lichidă mare iar o temperatură de turnare mică înseamnă contracție în stare lichidă mică – iar diferența  $v_{\theta_1} - v_s$  este specifică fiecărei mărci de oțel.

De la temperatura de turnare până la temperatura mediului ambiant se disting următoarele trei tipuri de contracție:

– contracția oțelului în stare lichidă, în intervalul de temperaturi  $\theta_t \dots \theta_l - \theta_t =$  temperatura de turnare;  $\theta_l -$  temperatura liniei lichidus;

– contracția oțelului în timpul solidificării, în intervalul de temperaturi  $\theta_l \dots \theta_s - \theta_s =$  temperatura liniei solidus;



#### Influența maselotării, asupra gradului de compactitate al pieselor de oțel

– contracția oțelului în stare solidă, în intervalul de temperaturi  $\theta_s \dots \theta_0 - \theta_0 =$  temperatura mediului ambiant.

Eliminarea retasurii din piesele turnate de oțel se realizează prin alimentarea continuă cu oțel lichid a cavității formei aferente piesei propriu-zise, alimentare ce se realizează din niște adaosuri tehnologice denumite maselote.

Retasura totală – corespunzătoare piesei și maselotelor – este amplasată în maselotă, adică în afara piesei.

Contrația în stare lichidă se manifestă prin scăderea nivelului oțelului lichid din maselote.

Atunci când se vorbește despre retasură trebuie să se ia în considerație răcirea oțelului turnat, adică se apelează la contracție, ce, pe lângă exprimarea cu diferențele  $(v_l - v_{\theta_1})$  și  $(v_{\theta_1} - v_s)$  are și forma  $\varepsilon$ , (se exprimă în %), cu variantele următoare:

$$\varepsilon_{vl} = \alpha_{vl} (\theta_t - \theta_1) \cdot 100; \quad (11/07)$$

$$\varepsilon_{vcr} = \alpha_{vcr} (\theta_1 - \theta_s) \cdot 100; \quad (12/07)$$

$$\varepsilon_{vs} = \alpha_{vs} (\theta_s - \theta_0) \cdot 100, \quad (13/07)$$

în care  $\varepsilon_{vl}$  – contracția volumică a oțelului în stare lichidă;  $\varepsilon_{vcr}$  – contracția volumică a oțelului în timpul cristalizării;  $\varepsilon_{vs}$  – contracția volumică a oțelului în stare solidă;  $\alpha_{vl}$  – coeficient de contracție volumică în stare lichidă;  $\alpha_{vcr}$  – coeficient de contracție volumică în timpul cristalizării;  $\alpha_{vs}$  – coeficient de contracție volumică în stare solidă.

Coeficientul de contracție în stare lichidă depinde de temperatură, compoziția chimică a oțelului și cantitatea de gaze ce se degajă din oțel ca urmare a scăderii solubilității lor în oțelul lichid o dată cu micșorarea temperaturii și are o valoare ce se încadrează între limitele  $(0,4 \dots 1,6) \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Pentru un procent de carbon,  $\varepsilon_{vl}$  crește cu 2%. Variația contracției în stare lichidă, pentru un procent de element de aliere, este următoarea: +0,0585% pentru Mn, +1,03% pentru Si, +1,70% pentru Al, +0,12% pentru Cr, -0,0354% pentru Ni, -0,53% pentru W, +0,50% pentru P etc.

Contrația în timpul cristalizării este cauzată de micșorarea

bruscă a volumului specific la trecerea oțelului din starea lichidă în starea solidă și depinde de compoziția chimică a oțelului. De exemplu, pentru un oțel dat, contracția în timpul solidificării are următoarele valori în funcție de conținutul de carbon: 0,10% pentru 2,0% C, 0,35% pentru 3,0% C, 0,45% pentru 4,3% C, 0,70% pentru 5,3% C etc.

Echivalent cu coeficientul de dilatare volumică  $\beta$  – relația 2/O7 – coeficientul de contracție volumică în stare solidă  $\alpha_{vs}$  este legat de coeficientul de contracție liniară în stare solidă,  $\alpha_{ls}$ , prin relația (14/O7).  $\alpha_{vs}$  depinde de

$$\alpha_{vs} = 3\alpha_{ls} \quad (14/O7)$$

temperatură și de transformările alotropice ce au loc în stare solidă. De exemplu, pentru fier pur (echivalent cu un oțel ce conține carbon în cantitate mică),  $\alpha_{ls}$  are următoarele valori în funcție de temperatură:  $11,6 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  pentru  $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $12,7 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  pentru  $100 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $13,5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  pentru  $200 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $14,8 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  pentru  $400 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $16,0 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  pentru  $600 \text{ } ^\circ\text{C}$  etc.

Contracția volumică totală –  $\varepsilon_{vt}$  – este dată de relația (15/O7).

$$\varepsilon_{vt} = \varepsilon_{vl} + \varepsilon_{vcr} + \varepsilon_{vs} \quad (15/O7)$$

În tabelul (1/O7) se prezintă estimativ, contracția volumică totală pentru oțeluri nealiate, în funcție de conținutul de carbon, precum și contracția volumică în stare lichidă (la o supraîncălzire de  $100 \text{ } ^\circ\text{C}$ ), în timpul cristalizării și în stare solidă.

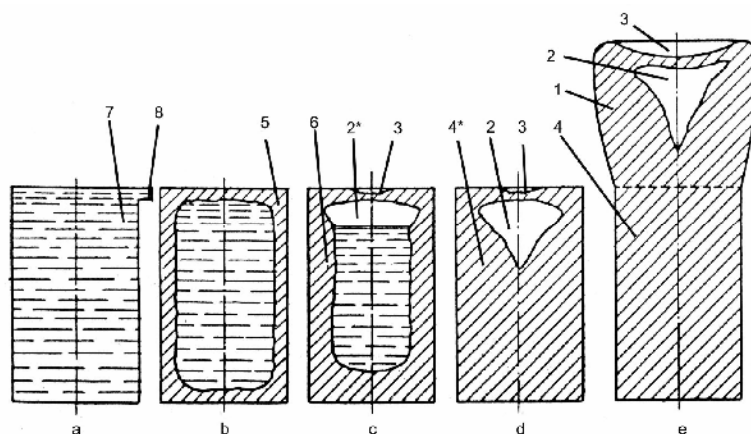
Mecanismul formării retasurii poate fi explicat și schematic, prin intermediul figurii 1/O7. Astfel, în faza inițială se toarnă oțelul lichid (7) prin alimentatorul (8) în cavitatea formei – figura 1/O7, a. În momentul în care temperatura oțelului lichid atinge temperatura liniei lichidus, la contactul metalului lichid cu amestecul de formare (sau cu pereții formei metalice) începe procesul de solidificare – apare o crustă (5) – figura 1/O7, b. Ulterior, grosimea crustei crește – (6) – și începe să apară retasura (2\*) din cauză că valoarea contracției oțelului în stare lichidă este mult mai mare decât cea în stare solidă (din crustă) – figura 1/O7, c. În același timp, se remarcă apariția unei depresiuni în

retasură.

Tabelul (1/O4)

**Valori estimative ale contracției volumice totale pentru oțeluri nealiate împreună cu contracțiile volumice în stare lichidă la un grad de supraîncălzire de 100<sup>0</sup>C, în timpul cristalizării și în stare solidă, în funcție de conținutul de carbon.**

Conținutul de carbon, %	Contracția volumică în stare solidă, $\epsilon_{vs}$ , %	Contracția volumică în timpul cristalizării, $\epsilon_{ver}$ , %	Contracția volumică în stare lichidă, $\epsilon_{vl}$ , %	Contracția volumică totală, $\epsilon_{vs}$ , %
0,00	6,67	1,98	1,51	10,16
0,10	6,50	3,12	1,50	11,12
0,20	6,47	3,39	1,50	11,36
0,30	6,41	3,72	1,59	11,72
0,40	6,38	4,03	1,59	12,00
0,50	6,35	4,13	1,62	12,10
0,60	6,38	4,04	1,62	12,04
0,70	6,37	4,08	1,62	12,07
0,80	6,35	4,05	1,68	12,08
0,90	6,34	4,02	1,68	12,04
1,00	6,29	3,90	1,75	11,94
1,50	6,10	3,13	1,96	11,19
2,00	5,85	2,50	2,11	10,46



**Figura 1/O7. Schemă reprezentând modul de formare a retasurii: a – faza inițială a umplerii cavității formei ; b – formarea unui strat solidificat (crustă); c – fază de solidificare în care contracția în stare lichidă este mult mai mare decât contracția în stare solidă; d – faza finală a solidificării piesei; e – faza finală a solidificării ansamblului piesă - maseletă; 1 – maseletă; 2 – retasură principală în stadiul final; 2\* – retasură principală în formare; 3 – cvasiretasură secundară cauzată de depresiune; 4 – piesa turnată fără retasură; 4\* – piesă turnată cu retasură (rebut); 5 – crustă în stadiul inițial; 6 – crustă cu grosimea în creștere avansată; 7 – oțelul lichid turnat în cavitatea formei în stadiul inițial; 8 – zona de alimentare a cavității formei.**

Dacă oțelul lichid nu a fost tratat, prin metode consacrate, pentru degazare, el conține gaze dizolvate în stare moleculară și atomică, gazele dizolvându-se conform unor procese de tipul (16/O7).

$$\{G_2\} = 2[G] \quad (16/O7)$$

Procesul (16/O7) este reversibil, având loc de la stânga spre dreapta în timpul creșterii temperaturii oțelului lichidul și de la dreapta spre stânga în timpul micșorării temperaturii oțelului lichid.

Echilibrul reacției chimice (16/O7) este definit de constanta de echilibru K – relația (17/O7).

$$K = \frac{a_{[G]}^2}{p_{\{G_2\}}} = \frac{f_{[G]}^2 \cdot [G]^2}{p_{\{G_2\}}}, \quad (17/O7)$$

în care  $a_{[G]}$  este activitatea termodinamică a gazului G în oțelul lichid;  $p_{\{G_2\}}$  – presiunea parțială la echilibru a gazului G ;  $f_{[G]}$  – coeficientul de activitate termodinamică a gazului G în oțelul lichid;  $[G]$  – concentrația gazului G în oțelul lichid.

Din relația (17/O7) se explicitează concentrația gazului G din oțelul lichid, rezultând relația (18/O7).

$$[G] = \frac{C}{f_{[G]}} \cdot p_{\{G_2\}}^{1/2}, \quad (18/O7)$$

în care C este o constantă la o temperatură dată –  $C = \sqrt{K}$ .

Relația (18/O7) arată că proporția de gaz G din oțelul lichid este cu atât mai mică cu cât presiunea parțială la echilibru a gazului G deasupra băii metalice este mai mică. Prin urmare, în atmosfera de depresiune creată în retasura în creștere (2\*) se vor acumula gaze din oțelul lichid aflat în zona centrală a piesei.

Acumularea de gaze în interiorul piesei reprezintă un efect negativ ce se adaugă efectului negativ creat de retasură, efecte ce micșorează caracteristicile mecanice de rezistență și, foarte accentuat, proprietățile de plasticitate.

Gradul de depresiune ce se creează în retasura în creștere (2\*) este atât de mare, încât, la începutul solidificării piesei, crusta de la partea superioară se deformează, apărând o cvasiretasură la partea superioară a piesei turnate – (3) –, adică o concavitate.

După terminarea solidificării se obține piesa turnată (4\*) ce, însă, reprezintă un rebut deoarece este deformată (are concavitatea (3) la partea superioară) și are retasura (2).

Eliminarea retasurii, dar și a concavității de la partea superioară, din piesa turnată, se realizează prin alimentarea – umplerea – retasurii ce se formează în timpul solidificării cu oțel lichid din

maselotă sub influența forțelor gravitaționale. În acest caz retasura (2) se formează în maselotă (1) – ca de alt fel și concavitatea de la partea superioară a piesei (3), piesa (4) obținându-se fără retasură sau deformații cauzate de retasură.

Din cauza depresiunii mari din retasură, crusta de sub concavitatea de la suprafața piesei sau a ansamblului piesă-maselotă se poate crăpa.

Conform sursei [2], volumul de retasură se calculează cu relația (19/O7).

$$\Delta V = 100[\alpha_{vl}(\theta_{ml} - \theta_s) + \varepsilon_{vcr} - 0,5\alpha_{vs}(\theta_s - \theta_{ms})] \cdot [1 - (k\sqrt{\tau}/2 \cdot g)], \quad (19/O7)$$

în care  $\theta_{ml}$  reprezintă temperatura medie a oțelului lichid la sfârșitul turnării în formă;  $\theta_{ms}$  – temperatura medie a oțelului solid (solidificat) la sfârșitul turnării în formă;  $k$  – coeficient de solidificare;  $g$  – grosimea echivalentă de perete;  $\tau$  – timpul de turnare;  $\Delta V$  se exprimă în %.

În relația (19/O7)  $k\sqrt{\tau}/2 \cdot g$  reprezintă cantitatea de oțel solidificat în timpul turnării iar  $1 - k\sqrt{\tau}/2 \cdot g$  reprezintă cantitatea de oțel lichid care participă la formarea retasurii.

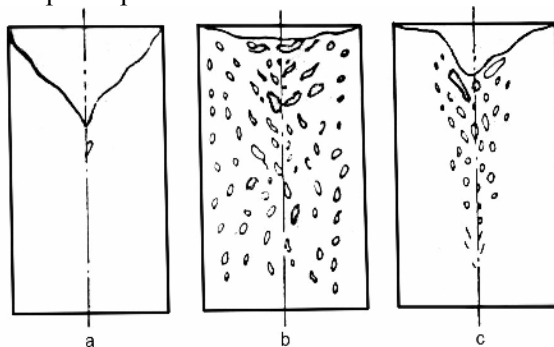


Figura 2/O7. Tipuri de retasură din punctul de vedere al gradului de dispersare: a – concentrată ; b – dispersată ; c – mixtă.

Din relația (19/O7) rezultă și că volumul retasurii scade dacă viteza de turnare este mică și dacă viteza de solidificare este mare.

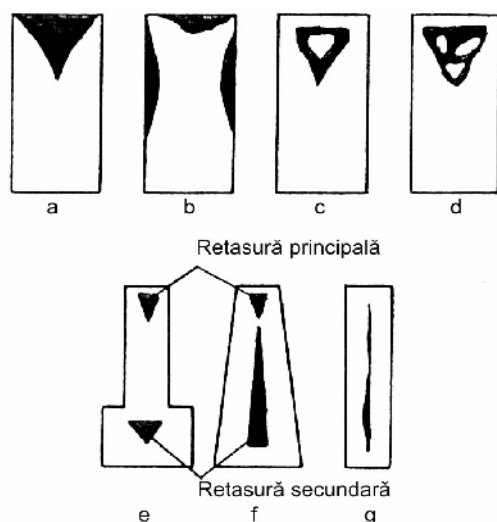
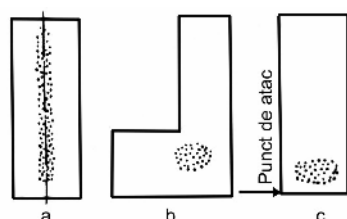


Figura 3/O7. Tipuri de retasură din punctul de vedere al locului în care se formează: a – deschisă ; b – deschisă și laterală ; c – închisă și cu o geometrie simplă ; d – închisă și cu o geometrie complexă ; e – principală și secundară în nodul termic ; f – principală și secundară în axa termică ; g – axială ; retasura reprezintă zona înnegrită.

Din punctul de vedere al gradului de dispersare, retasura poate fi concentrată – macroretasură – (figura 2/O7, a), dispersată – microretasură – (figura 2/O7, b) și mixtă (figura 2/O7, c), [4].

Din punctul de vedere al locului în care se formează, luând în considerație aceeași poziție a piesei în timpul turnării și solidificării – figura 3/O7 – există următoarele tipuri de retasuri: deschisă (a), deschisă și laterală (b), închisă și cu o geometrie complexă (c), închisă și cu o geometrie simplă (d), principală (e și f), secundară în nodul termic (e), secundară în axa termică (f) și axială (g). Această clasificare este relativă, în realitate existând diferite combinații între retasurile prezentate anterior. Se remarcă și prezența curentă a retasurilor închise ce se formează în zona de influență a alimentatorului.

Macroretasurile rezultă în urma solidificării unor cantități mari de oțel lichid iar microretasurile se formează prin solidificarea unor cantități mici de oțel lichid.



**Figura 4/O7. Tipuri de microretasuri zonale: a – în axa termică ; b – în nodurile termice ; c – în vecinătatea alimentatorului.**

În figura 4/O7 se prezintă principalele tipuri de microretasuri zonale – în axa termică (a), în nodurile termice (b) și în vecinătatea alimentatorului (c).

La modul general, retasura este influențată de următorii factori :

– compoziția chimică a oțelului. Estimativ, volumul de retasură al oțelului variază între limitele 3 ... 5%, volumul de retasură maxim obținându-se în cazul conținutului de carbon de 0,5 ... 0,7%. Oțelurile cu un conținut de carbon mai mare sunt susceptibile de formarea microretasurilor ca urmare a creșterii diferenței dintre temperaturile lichidus și solidus precum și a înrăutățirii condițiilor de autoalimentare a microretasurilor cu oțel lichid. Deoarece elementele de aliere micșorează conductivitatea termică a oțelului și măresc diferența de volum specific dintre stările lichidă și solidă, volumul de retasură al oțelurilor aliate este mai mare decât cel al oțelurilor carbon. Volumul macroretasurilor, la oțelurile cu grad de aliere mare, este cu mult mai mare decât cel al oțelurilor carbon, cu același conținut de carbon. Cu excepția oțelurilor cu grad de aliere mare pentru mangan, consumul de oțel lichid, în cazul oțelurilor cu grad de aliere mare este mai mare decât cel de la oțelurile carbon cu 10 ... 30%. Deoarece gazele creează contrapresiune în microretasuri, volumul microretasurilor se mărește. Microretasurile cresc și dacă există valori mari ale conductivității termice, capacității termice masice și căldurii latente de solidificare ale oțelului ;

– natura formei. O dată cu creșterea coeficientului de acumulare al căldurii formei, să măresc vitezele de răcire și de solidificare, ceea ce înseamnă micșorarea zonei bifazice, rezultatul fiind creșterea volumului macroretasurii ;



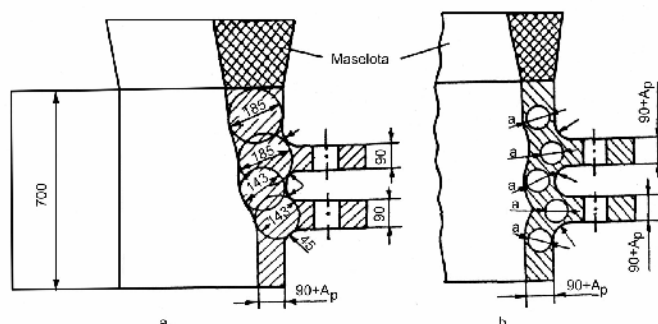
– condițiile de turnare. O dată cu mărirea temperaturii de turnare se mărește contracția în stare lichidă, ceea ce înseamnă mărirea volumului retasurii. Cu cât durata de turnare este mai mare, deoarece o parte din contracție este compensată în timpul umplerii formei, volumul total al retasurii se micșorează. Modul de amplasare a alimentatorului cavității formei influențează gradientul de temperatură, respectiv condițiile de solidificare dirijată (pentru piesele la care se asigură solidificarea dirijată și care se toarnă direct, se indică o temperatură de turnare mare și o viteză mică de turnare ; pentru piesele la care se asigură o solidificare simultană și care se obțin prin turnare în sifon, se indică o temperatură mică de turnare și o viteză mare de turnare);

– geometria pieselor turnate. Geometria piesei turnate se implică asupra volumului, formei și poziției retasurii. Construcția piesei turnate trebuie să corespundă unuia din cele două principii ce stau la baza obținerii de piese cu compactitate mare – solidificarea simultană (se consumă mai puțin oțel, maselele sunt mai mici, adaosurile de prelucrare pot lipsi, apar microretasuri în axa termică – scade compactitatea pieselor) sau solidificarea dirijată (este abordată în cazul pieselor de importanță mare). În figura 5/O7 se prezintă modificări constructive ale unei piese turnate cu scopul obținerii unei solidificări dirijate – a – și a unei solidificări simultane – b (s-a utilizat metoda cercurilor înscrise – rostogolirea sferelor de la partea inferioară a pieselor spre partea lor superioară).

Dacă piesa are o grosime uniformă de perete, solidificarea are loc simultan, rezultând o retasură concentrată la partea superioară ce se continuă cu microretasuri în axa termică denumite porozitate axială.

Dacă piesa are la partea superioară pereții mai groși, rezultă în zona superioară o retasură concentrată (zona groasă alimentează cu oțel lichid zona subțire a peretelui).

Dacă piesa are noduri termice, în acestea se formează retasuri concentrate denumite și secundare.



**Figura 5/O7. Modificări constructive ale unei piese turnate în vederea obținerii unei solidificări dirijate (a) și simultane (b) :  $A_p$  – adaosul de prelucrare.**

Cu scopul eliminării riscului de apariție a retasurii în piesele turnate de oțel, se apelează la maselote, răcitoare interioare, răcitoare exterioare și modificări constructive ale piesei.

Pentru ca o maselotă să-și îndeplinească rolul trebuie să îndeplinească următoarele trei condiții:

- să fie corect amplasată;
- să se solidifice în zona de alimentare după ce s-a solidificat peretele piesei pentru care acționează;
- în tot timpul solidificării peretelui pentru care acționează, în maselotă trebuie să existe un exces de metal lichid necesar compensării contracției volumetrice din peretele respectiv.

Utilizarea maselotelor pentru obținerea pieselor turnate de oțel este obligatorie și conduce și la creșterea consumului de oțel lichid – micșorarea indicelui de scoatere (conform [5], oțelul lichid din maselotă poate fi înlocuit și cu materiale nemetalice, cum ar fi bazaltul lichid supraîncălzit etc.) – și la cheltuieli suplimentare pentru detașarea lor.

Maselotele ce se utilizează în practică se clasifică după mai multe criterii, cele mai utilizate fiind următoarele :

- cu acțiune directă (așezate deasupra piesei și pot fi închise sau deschise) ;
- cu acțiune indirectă (așezate lateral față de piesă și sunt

numai închise) ;

- închise (nu au contact direct cu atmosfera);
- deschise (au contact direct cu atmosfera);
- cilindrice, tronconice, prismatice, ovale, combinate etc.;
- amplasate în contact cu amestecul de formare;
- izolate termic de amestecul de formare cu materiale ce au conductibilitatea termică mică;
- izolate de amestecul de formare sau învelite în materiale exoterme ;
- încălzite cu surse calorice exoteme (arc electric, ardere de combustibil etc.);
- care acționează fără măsuri suplimentare privind presiunea ;
- care acționează cu presiune atmosferică sau cu presiunea unor gaze;
- strangulate la contactul cu piesa, cu scopul eliminării prin șoc mecanic (manual sau cu ciocane);
- fără stangulare la contactul cu piesa (se elimină prin tăiere cu flacără oxiacetilenică sau alte metode);
- alcătuite din alt material decât oțelul etc.

Amplasarea maselotelor trebuie să respecte următoarele reguli, [2]:

- se amplasează în părțile cele mai groase ale piesei;
- se amplasează în părțile cele mai înalte ale piesei ;
- să determine accelerarea solidificării nodurilor de la partea inferioară a piesei ;
- să asigure solidificarea piesei de jos în sus în cazul în care sunt amplasate la niveluri diferite, în caz contrar existând riscul ca maselotele amplasate la partea superioară să alimenteze doar zonele de pereți din imediata vecinătate iar zonele intermediare să nu fie alimentate cu oțel lichid;
- nu trebuie să fie amplasate în zonele cu tensiuni mari generate de frânarea contracției de către formă – generează crăpături;
- se amplasează, de regulă, pe suprafețele ce sunt prevăzute cu prelucrare mecanică – în caz contrar se impun măsuri consacrate de finisare a respectivelor suprafețe afectate de metodele de eliminare a

maselotelor;

– nu se amplasează în apropierea alimentatoarelor deoarece oțelul lichid din alimentator și din maselotă încălzește în mod suplimentar amestecul de formare din zona respectivă, astfel micșorându-se viteza de solidificare;

– să nu creeze noduri termice suplimentare;

– să nu frâneze contracția piesei;

– să nu creeze dificultăți la tehnologia de obținere a formei;

– să nu afecteze dezbaterea piesei turnate;

– amplasarea în mod optim, cu scopul ca să alimenteze cu oțel lichid mai multe zone ale piesei;

– dacă în formă se obțin mai multe piese, se amplasează maselotele în așa fel încât să alimenteze mai multe piese;

– se preferă maselotele închise deoarece se umplu în mod corespunzător (se elimină deficitul sau surplusul de metal lichid), se elimină riscul de acces în cavitatea formei de impurități (inclusiv de amestec de formare), este posibilă îmbunătățirea alimentării cu oțel lichid prin utilizarea presiunii atmosferice sau a unor gaze etc.

Geometria maselotelor trebuie să aibă în vedere că o maselotă trebuie să se solidifice în urma piesei, adică trebuie să asigure un raport minim între suprafață și volum, adică pierderi minime de căldură. Deoarece sfera, ce corespunde pierderilor minime de căldură, este dificil de abordat ca geometrie pentru maselote, din considerente practice, se recomandă forma cilindrică (variantea cea mai bună este cu terminație sferică) și apoi cea ovală, urmând forma pătrată și în final cea dreptunghiulară.

Zona de influență a unei maselote este în funcție de presiunea pe care aceasta o exercită asupra oțelului lichid ce trebuie să alimenteze rețaturile și de grosimea pereților piesei. La modul general, în cazul maselotelor ce acționează fără măsuri suplimentare privind presiunea, zona de influență a unei maselote se încadrează între limitele următoare (conform autorului B.B. Guleaev):

– 200 ... 300 mm, în cazul pieselor cu grosimea de perete mai mică de 20 mm ;

– 300 ... 400 mm, în cazul pieselor cu grosimea de perete

cuprinsă în intervalul 20 ... 40 mm ;

– 350 ... 450 mm, în cazul pieselor cu grosimea de perete de ordinul a 50 mm.

Autorii H.F. Bishop și W. Pellini, [2], consideră că la capătul plăcilor, barelor etc. există un efect de capăt pe o distanță mai mare decât grosimea peretelui de 2,5 ori, distanță în care nu există retasuri, datorită schimbului de căldură mai intens la muchii și la colțuri. Amplasarea maselotelor la o distanță față de capăt de maximum 4,5 ori mai mare decât grosimea peretelui, a arătat că nu există retasuri în zona de la capăt până la maselotă. Așadar, zona de influență a unei maselote ar fi dublul grosimii peretelui, în zonele din afara acestei distanțe constatându-se apariția porozității axiale. Esențial este, însă, ca de la capătul piesei până la maselotă să existe un gradient de temperatură în timpul solidificării, adică temperatura oțelului lichid dinspre capătul peretelui să fie mai mică decât temperatura oțelului lichid dinspre zona situată în apropierea maselotei – în caz contrar, dacă peretele se solidifică simultan din toate părțile, rezultând porozitatea axială.

### **3. Modul de lucru**

Se elaborează o marcă de oțel ce conține 0,4 ... 0,5% C, în cuptorul electric cu încălzire prin inducție cu capacitatea de 30 kg de oțel.

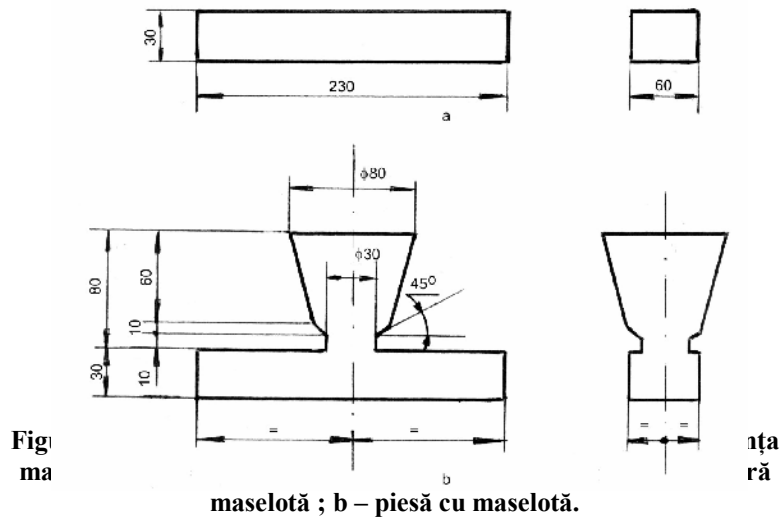
Se realizează două forme ale căror cavități au geometriile prezentate în figura 6/O7 –a, cavitate fără maselotă ; b, cavitate cu maselotă. Alimentarea cavității formei se realizează prin planul de separație, frontal.

Se toarnă oțelul în cele două forme la aceeași temperatură.

După răcire și dezbatere se secționează cele două piese turnate prin axa de simetrie longitudinală, prin mijloace mecanice.

### **4. Măsuri speciale de asigurare a securității muncii**

Se aplică măsurile de la lucrarea O3.



## 5. Interpretarea rezultatelor

Se analizează vizual cele două piese, în secțiune longitudinală, din punct de vedere al gradului de compactitate, trăgându-se concluzii în ceea ce privește toate aspectele de la paragraful considerații generale.

## 6. Bibliografie

1. Brabie, V., Bratu, C. și Chira, I. Tehnologia elaborării și turnării oțelului. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1979;
2. Bratu, C., Butnaru, I., Munteanu, V. și Sofroni, L. Maselote pentru piese și lingouri turnate din oțel. Editura Tehnică. București. 1993;
3. Vacu, S., ș.a. Elaborarea oțelurilor aliate. Vol. I. Editura Tehnică. București. 1980;
4. Sofroni, L. Elaborarea și turnarea aliajelor. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1975;

Influența maselotării, asupra gradului de compactitate al pieselor de oțel

5. Barbu, G. și Cojocaru-Filipiuc, V. Procedeu de diminuare a consumului de metal în maselote în cazul aliajelor turnate. Brevet România, nr. 105.665, 1992.

Corectarea prin tratament termofizic de recoacere a structurii metalografice a oțelurilor brut turnate nealiate

**O/11. Corectarea prin tratament termofizic de recoacere a structurii metalografice a oțelurilor brut turnate nealiate**

**1. Scopul lucrării**

Importanța eliminării inconvenientelor structurii secundare și mecanismul acesteia.

**2. Considerații generale**

Constituenții metalografici ai structurii secundare, prezentați la lucrările O4 și F9, sunt ferita normală și Widmannstätten, perlita, cementita secundară și cementita Widmannstätten.

Piesele turnate au, de regulă, configurații complexe și grosimi de perete diferite, turnarea realizându-se în forme temporare sau permanente ce au coeficienți de conductibilitate termică foarte diferiți. Aceste particularități, alături de temperatura de turnare, tehnologia de formare și turnare etc. fac ca viteza de răcire să fie diferită la aceeași piesă, ceea ce în final determină neomogenități structurale și chimice, cristalite cu geometrii diferite, acestea variind de la forme relativ echiaxiale, la forme aciculare, grade de dispersie diferite ale constituenților metalografici, adică anizotropii structurale și, în final, anizotropii ale caracteristicilor mecanice și fizice. Semnificativă este și starea de tensiuni determinată de formațiunile structurale aciculare, cu vârfulurile ascuțite, stare de tensiuni suplimentare cauzată de fenomenul de creștere.

De exemplu, se prezintă în figura 1/O11 structura secundară a unui oțel hipoeutectoid cu 0,32% C, în stare brut turnată, reprezentând o bară cu secțiunea transversală cilindrică (diametrul de 50 mm), mărirea x200, structură ce constă din ferită și perlită – ferita are o geometrie foarte diferită, însă predomină formele alungite, chiar aciculare – a nu se confunda cu ferita Widmannstätten. În secvența a. se prezintă structura secundară de la marginea probei, adică în condiții de răcire cu viteză mare iar în secvența b. se prezintă structura secundară din mijlocul probei, adică în condiții de răcire cu viteză mică. Se observă influența vitezei de răcire asupra gradului de finețe al structurii secundare la marginea probei, prin comparație cu mijlocul



Corectarea prin tratament termofizic de recoacere a structurii metalografice a oțelurilor brut turnate nealiate

probei, cristalitele de ferită fiind mai fine. Însă, indiferent de mărimea vitezei de răcire, formațiunile structurale au forme alungite și aciculare – colțuroase – ceea ce este necorespunzător, [1].

Oțelurile nealiate ce se utilizează pentru obținerea de piese prin turnare, în mod curent, se mai numesc oțeluri cu conținut mediu de carbon, au conținutul de carbon ce se situează în intervalul 0,25...0,55%, au proporția de perlită variind între 30% și 60% și se mai numesc oțeluri de turnătorie universale.

Oțelurile cu conținut mediu de carbon sunt standardizate în funcție de rezistența de rupere la tracțiune, după tratamentul termic de recoacere de omogenizare, aceasta variind între limitele 500 ... 600 N/mm<sup>2</sup>. Conținutul de carbon depinde de caracteristicile mecanice de rezistență, configurația pieselor și tratamentul termic propus să fie aplicat.

Mai puțin utilizate sunt oțelurile de turnătorie ce au conținut mic de carbon (maximum 0,25%), conțin circa 20% perlită, sunt hipoeutectoide ca și oțelurile de turnătorie universale, au rezistența la tracțiune de 400 ... 500 N/mm<sup>2</sup> și au ca particularitate importantă reziliența (KCU) mare – 4 ... 5 daJ/cm<sup>2</sup>. Proprietățile de turnare ale acestor oțeluri sunt mai puțin corespunzătoare.

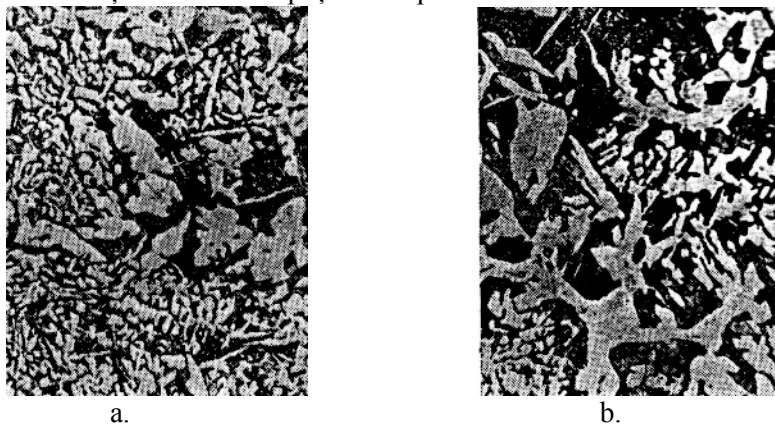
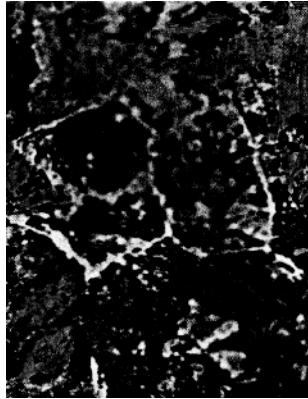


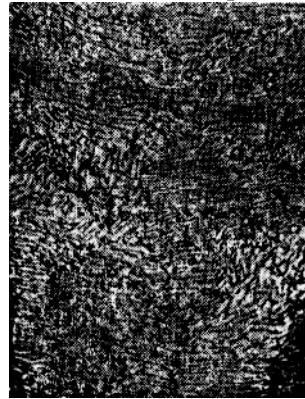
Figura 1/O11. Structura secundară a unui oțel hipoeutectoid, cu 0,32% C, pentru o bară cilindrică cu diametrul de 50 mm : a – la marginea probei; b – în mijlocul probei; mărirea x200.

Corectarea prin tratament termofizic de recoacere a structurii metalografice a oțelurilor brut turnate nealiate

De asemenea, se mai utilizează în practică, la o scară redusă față de oțelurile de turnătorie universale, oțelurile cu un conținut de carbon mare (0,55 ... 2,00). Aceste oțeluri sunt hipoeutectoide, eutectoide și hipereutectoide. De exemplu, se prezintă în figura 2/O11 structura secundară a unui oțel hipoeutectoid (0,65% C) – a. –, a unui oțel eutectoid (0,85% C) – b. – și a unui oțel hipereutectoid (1,3% C) – c. Structura secundară este perlitoferitică, la oțelurile hipoeutectoide,



a.



b.



c.

**Figura 2/O11. Structura secundară a trei oțeluri cu conținut de carbon mare: a – 0,65% (hipoeutectoid) ; b – 0,85% (eutectoid) ; c – 1,3% (hipereutectoid); mărire x100.**

### Corectarea prin tratament termofizic de recoacere a structurii metalografice a oțelurilor brut turnate nealiate

perlitică, la oțelurile eutectoide și perlitocementitică, la oțelurile hipereutectoide. Se observă ferita sub formă de rețea ce s-a format la limita grăunților de austenită, într-un "ochi" de ferită fiind mai mulți grăunți de perlită – structura a. –, o masă metalică în totalitate perlitică – structura b. – și o rețea de cementită secundară la limita foștilor grăunți de austenită, într-un "ochi" de cementită secundară fiind mai mulți grăunți de perlită – structura c. Asemenea oțeluri au drept caracteristică de bază rezistența la uzare abrazivă și susceptibilitatea de tensionare în condiții de răcire cu viteză mare.

Cele trei categorii de oțel menționate anterior se mai pot numi și oțeluri carbon.

Transformările structurale pe care le suportă oțelurile carbon în timpul tratamentelor termice se studiază cu diagrama Fe-C, metastabilă, în figura 3/O11 prezentându-se partea din diagrama de echilibru în care sunt reprezentate oțelurile carbon și domeniile de temperaturi maxime până la care se încălzesc oțelurile în vederea unor tratamente termice.

Oțelurile carbon nu se utilizează în stare brut turnată.

Tratamentele termofizice ce se pot aplica oțelurilor carbon sunt recoacerea, călirea, revenirea și tratamente termomecanice.

Recoacerea poate fi de omogenizare, normalizare, înmuiere (globulizare), recristalizare (regenerare sau recoacere completă) și detensionare.

#### **2.1. Recoacerea de omogenizare**

Recoacerea de omogenizare urmărește uniformizarea prin difuzie a pieselor brut turnate din punct de vedere chimic, fizic și structural.

Obiectivul principal al acestei lucrări este omogenizarea structurală a oțelurilor carbon.

La lucrarea O4 s-a prezentat fenomenul de segregare și de separare a incluziunilor nemetalice, consecințele negative respective putând fi diminuate semnificativ.

Recoacerea de omogenizare constă din următoarele etape:

Corectarea prin tratament termofizic de recoacere a structurii metalografice a oțelurilor brut turnate nealiate

încălzire în domeniul austenitic, menținere, răcire până la temperatura de 680<sup>0</sup>C și răcirea în aer până la temperatura mediului ambiant.

Viteza de încălzire trebuie să fie mică din cauza nivelului relativ ridicat de tensiuni din piesele turnate. Se recomandă o viteză de încălzire, fără paliere de menținere de maximum 100<sup>0</sup>C/h, [3]. Sursa [1] indică o viteză de încălzire de 50...100<sup>0</sup>C/h, sursa [2] indică o viteză de încălzire de maximum 50<sup>0</sup>C/h iar sursa [4] indică valori de 20...40<sup>0</sup>C/h.

Menținerea se face la o temperatură cuprinsă în intervalul 1.000 ... 1.250<sup>0</sup>C, adică la circa 200<sup>0</sup>C sub temperatura corespunzătoare liniei solidus din diagrama de echilibru Fe-C. Prin urmare, menținerea se realizează în domeniul austenitei granulare.

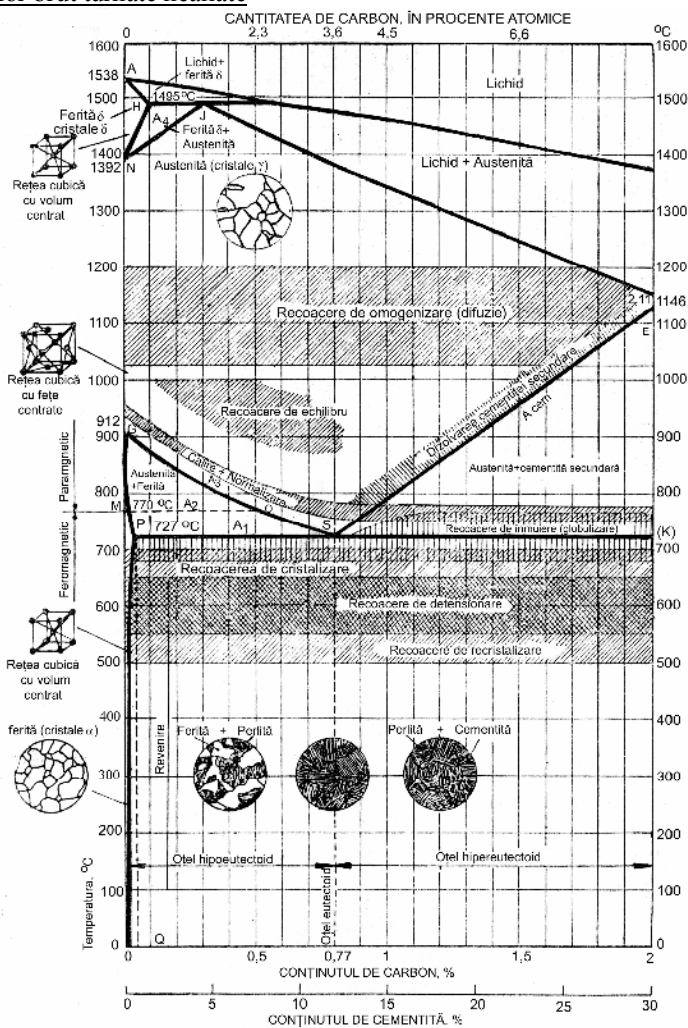
Timpul de menținere este de 2...3 min/1 mm din grosimea maximă a pereților pieselor sau de 1h/25 mm din grosimea maximă a pereților pieselor, [1], [4], la care se adaugă 4...6 h pentru difuzia carbonului și a celorlalte elemente chimice (primii timpi menționați au ca scop egalizarea temperaturii pe toată grosimea pereților pieselor).

După menținere, urmează răcirea până la temperatura de 680<sup>0</sup>C sau până la o temperatură sub cea eutectoidă (chiar până la temperatura de 400<sup>0</sup>C) cu o viteză de 20 ... 50<sup>0</sup>C/h pentru a nu introduce tensiuni suplimentare în piese.

De la temperatura de 680<sup>0</sup>C (sau mai mică) răcirea se face în aer liber.

Menținerea în domeniul austenitic este cea care activează procesul de difuzie pe toată grosimea pereților pieselor, determinând o omogenizare chimică a pieselor. Pentru unele piese, durata de menținere se poate extinde până la 40 ore, adică o durată foarte mare, ceea ce poate determina creșterea excesivă a dimensiunilor grăunților de austenită, cu atât mai mult cu cât temperatura de menținere este mai mare. Conform [5], există o dimensiune critică a grăunților de austenită, începând de la care, pentru dimensiuni mai mari, chiar și în cazul vitezelor de răcire foarte mici (de ordinul de mărime cu cel al echilibrului) se obține ferita Widmannstätten sau, după caz, cementita Widmannstätten, la temperatura A<sub>3</sub>, respectiv temperatura A<sub>cem</sub>.

Corectarea prin tratament termofizic de recoacere a structurii metalografice a oțelurilor brut turnate nealiat



**Figura 3/O11. Diagrama Fe-C metastabilă – reprezentare parțială (partea referitoare la oțelurile carbon) – cu specificarea domeniilor de temperaturi maxime până la care se încălzesc oțelurile pentru unele tratamente termice.**

Corectarea prin tratament termofizic de recoacere a structurii metalografice a oțelurilor brut turnate nealiate

Durata recoacerii de omogenizare poate dura până la 50 ore sau chiar mai mult, ceea ce mărește costul pieselor turnate.

Structura secundară rezultată este omogenă, însă, se apreciază că mărimea granulației este destul de mare, ceea ce impune combinarea recoacerii de omogenizare cu alte tratamente termofizice sau aplicarea acestora ulterior.

Recoacerea de omogenizare se recomandă pieselor din oțel pentru automate ce conțin 0,08 ... 0,20% sulf cu scopul atenuării fragilității la roșu în timpul laminării la cald și oțelurilor complex aliate cu molibden.

Sursa bibliografică [6] indică pentru recoacerea de omogenizare denumirea de recoacere de difuzie–normalizare–detensionare.

Deoarece recoacerea de omogenizare are la bază desfășurarea proceselor de difuzie cu scopul micșorării segregățiilor elementelor chimice, în literatura de specialitate mai este cunoscută cu denumirea de recoacere de difuziune sau recoacere de difuzie.

Ca regulă generală, recoacerea de omogenizare se aplică pieselor de dimensiuni mari (cu pereți groși) ce sunt puternic segregate.

În timpul menținerii în domeniul austenitic are loc oxidarea puternică a carbonului și deci decarburarea semnificativă a oțelului.

Țelul final al recoacerii de omogenizare este mărirea caracteristicilor mecanice de rezistență și a tenacității pieselor de oțel.

Încălzirea se poate realiza și în două trepte, adică cu două paliere de menținere intermediară.

În timpul încălzirii, prima transformare ce are loc este disocierea cementitei terțiare în fier și carbon și apoi difuzia carbonului prin ferită. Disocierea cementitei terțiare are loc datorită instabilității cementitei terțiare, instabilitate ce crește o dată cu mărirea temperaturii. În plus, solubilitatea carbonului în ferită se mărește odată cu mărirea temperaturii, de la 0,006% – punctul Q – la 0,0218% – punctul P. Cementita terțiară se descompune atât de la limita cristalitelor de ferită cât și de la limita formațiunilor de ferită din perlită. Descompunerea cementitei terțiare are loc de la temperatura

Corectarea prin tratament termofizic de recoacere a structurii metalografice a oțelurilor brut turnate nealiate

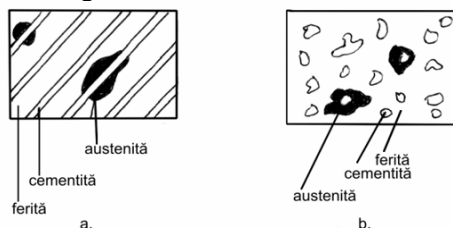
mediului ambiant până la temperatura eutectoidă ( $727^{\circ}\text{C}$  în sistemul binar Fe-C metastabil).

La temperatura eutectoidă perlita se transformă în austenită granulară. Mai precis ferita și cementita din perlita se transformă în austenită. Practic se transformă ferita ce are 0,0218% C și cementita ce are 6,67% C, austenita având la temperatura eutectoidă 0,77% C.

Transformarea perlită în austenită este un fenomen de difuzie și are loc cu micșorarea de volum deoarece masa specifică a austenitei este mai mare decât masa specifică a cementitei – întregul proces este dictat de mărimea vitezei de încălzire ce trebuie să aibă valori mici, structura inițială și compoziția chimică a oțelului.

Perlita poate fi lamelară sau globulară.

Germeii de austenită se formează la interfețele dintre ferita și cementita din perlita. În figura 4/O11 se prezintă, schematic, germinarea austenitei în cazul perlită lamelare – a. – și în cazul perlită globulare – b.



**Figura 4/O11.**  
**Schema germinării austenitei, în timpul încălzirii, la temperatura eutectoidă: a – perlita lamelară; b – perlita globulară.**

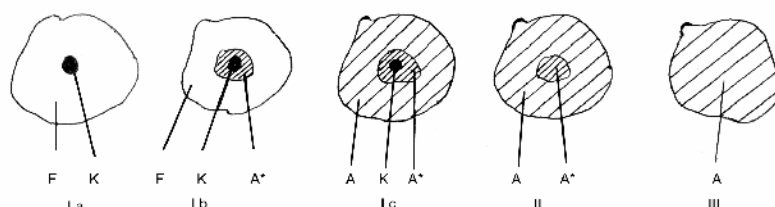
Procesul de omogenizare în carbon și alte elemente chimice a austenitei are loc în următoarele trei etape, prezentate în figura 5/O11:

- etapa I – formarea austenitei în întregul volum (Ia, Ib, Ic);
- etapa a II-a – dizolvarea particulelor de carburi (II);
- etapa a III-a – omogenizarea austenitei în carbon, dar și în

alte elemente chimice.

Deoarece transformarea perlită în austenită este inițiată la interfețele ferită-cementită, va fi cu atât mai rapidă cu cât interfețele respective au o suprafață mai mare, ceea ce înseamnă că în cazul perlită lamelare viteza de transformare a perlită în austenită este cea mai mare.

Corectarea prin tratament termofizic de recoacere a structurii metalografice a oțelurilor brut turnate nealiate



**Figura 5/O11. Schema omogenizării austenitei în carbon și alte elemente chimice : F – ferită ; K – cementită ; A\* – austenită cu un conținut mai mare de carbon și alte elemente chimice ; A – austenită omogenă din punct de vedere chimic.**

Cu cât carburile din perlită au dimensiuni mai mici, cu atât omogenizarea austenitei se face într-un timp mai mic.

Încălzirea cu viteze mari deplasează spre temperaturi mai mari decât cea eutectoidă transformarea perlitei în austenită.

Dacă în compoziția oțelului intervin elemente de aliere ce formează carburi (Cr, V, Mo etc.), viteza de transformare a perlitei în austenită se micșorează, iar dacă intervin elemente de aliere ce nu formează carburi (de exemplu, Ni) viteza de transformare a perlitei în austenită se mărește.

La temperaturi mai mari decât temperatura eutectoidă, are loc transformarea feritei hipoeutectoide în austenită la oțelurile hipoeutectoide și transformarea cementitei secundare în austenită la oțelurile hipereutectoide.

Transformarea feritei hipoeutectoide în austenită este un proces pe bază de difuzie. Ferita hipoeutectoidă este amplasată la limita foștilor grăunți de austenită. Prin urmare, carbonul din cristalele de ferită difuzează și se aranjează într-o rețea cubică cu fețe centrate numită austenită, austenita având masa specifică mai mare decât a feritei. Același fenomen de difuzie are loc și în cazul transformării feritei Widmannstätten în austenită, ferita Widmannstätten fiind amplasată (sub formă lamelară în spațiu) în interiorul foștilor grăunți de austenită.

Cementita secundară se disociază în fier și carbon, carbonul



Corectarea prin tratament termofizic de recoacere a structurii metalografice a oțelurilor brut turnate nealiate

difuzând în fier și determinând formarea soluției de interstiție de carbon în fier gama, adică a austenitei. Cementita secundară este amplasată la limita foștilor grăunți de austenită. Și cementita Widmannstätten disociază în fier și carbon, carbonul difuzând în fier și formând austenita. Cementita Widmannstätten se află, sub formă de lamele în spațiu sau sub formă aciculară în plan, în interiorul foștilor grăunți de austenită.

Mărimea vitezei de încălzire dictează temperatura la care se finalizează transformarea feritei hipoeutectoide și cementitei secundare (normale și Widmannstätten) în austenită. După ce oțelul a ajuns în domeniul austenitic, se observă, o dată cu creșterea temperaturii, mărirea grăunților de austenită.

Mărimea inițială a grăunților de austenită depinde de structura perlitei. Dacă perlita este globulară, fiecare cristaliță de cementită constituie un germene din care se dezvoltă un grăunte de austenită – figura 4/O11. Prin urmare, se obține, inițial, un număr mic de grăunți de austenită și grăunți de mărime mare. În cazul în care perlita este lamelară, numărul de germeni de austenită este mare (figura 4/O11, a), rezultând un număr mare de grăunți de austenită de mărime mică.

Din punctul de vedere al capacității de creștere a grăunților de austenită, în timpul încălzirii, există următoarele două categorii de oțeluri:

- oțeluri cu tendință redusă de creștere a grăunților de austenită;
- oțeluri cu tendință accentuată de creșterea a grăunților de austenită.

Capacitatea de creștere a grăunților de austenită, în timpul încălzirii, pentru un oțel, se numește grăunte ereditar. Așadar, oțelurilor cu tendință redusă de creștere a grăunților de austenită au grăunții ereditari mici iar oțelurile cu tendință accentuată de creștere a grăunților de austenită au grăunții ereditari mari.

La oțelurile cu grăunți ereditari mici, grăunții de austenită încep să crească la temperaturi de 1.000...1.100<sup>0</sup>C, creșterea fiind bruscă, în timp ce la oțelurile cu grăunți ereditari mari, grăunții de austenită încep să crească imediat după temperatura eutectoidă.

Corectarea prin tratament termofizic de recoacere a structurii metalografice a oțelurilor brut turnate nealiate

Dacă un oțel cu grăunte ereditare mici este încălzit în domeniul austenitic la temperaturi mici, poate avea grăunți reali de dimensiuni mici, însă, dacă este încălzit, în același domeniu, la temperaturi mari, structura austenitică se obține grosolană – grăunți reali de dimensiuni mari, [7].

Oțelurile hipereutectoide au grăuntele ereditare mai mici în raport cu oțelurile hipoeutectoide.

Titanul, wolframul, vanadiul reduc tendința de creștere a grăunților de austenită.

Oțelurile dezoxidate numai cu feromangan (necalmate) sau cu feromangan și ferosiliciu, au grăuntele ereditare mari, oțelurile dezoxidate suplimentar și cu aluminiu, fiind oțeluri cu grăuntele ereditare mici (particulele de  $Al_2O_3$  ce se depun la limita dintre grăunții de austenită, frânează creșterea grăunților respectivi, însă, dacă oțelul se supraîncălzește în mod avansat, particulele de  $Al_2O_3$  se dizolvă în matricea metalică iar grăunții de austenită cresc foarte mult, chiar depășind mărirea grăunților cu grăunte ereditare mari).

În timpul răcirii oțelului din domeniul austenitic, în condițiile în care viteza de răcire este mică, germeii de ferită preeutectoidă, la oțelurile hipoeutectoide, se formează la limita grăunților de austenită începând cu temperatura corespunzătoare liniei  $A_{r3}$  și până la temperatura liniei  $A_{r1}$ . Astfel, grăunții de perlită vor fi înconjurați de grăunții de ferită preeutectoidă. O asemenea structură se numește celulară.

În timpul răcirii oțelurilor hipereutectoide, între liniile  $A_{cem}$  și  $A_{r1}$ , la limita grăunților de austenită germinează și cresc cristalite de cementită secundară. Grăunții de perlită sunt înconjurați de o rețea de cementită secundară.

La temperatura eutectoidă, austenita se transformă în perlită conform unui mecanism încă neclarificat, în condiții de echilibru. În realitate, răcirea nu este de același ordin de mărime cu cea în condiții de echilibru, transformarea austenitei având loc într-un interval de temperaturi. La oțelurile hipoeutectoide viteza de răcire, prin creștere, deplasează punctul S al diagramei de echilibru Fe-C metastabile înspre stânga și în jos, iar la oțelurile hipereutectoide, înspre dreapta și

### Corectarea prin tratament termofizic de recoacere a structurii metalografice a oțelurilor brut turnate nealiate

în jos. O dată cu mărirea vitezei de răcire, peste cea de echilibru, se micșorează și temperaturile liniilor  $A_{r3}$ ,  $A_{r1}$  și  $A_{cem}$ ,  $A_{r3}$  și  $A_{cem}$  mai mult decât  $A_{r1}$ , respectiv  $A_{r3}$  mai mult decât  $A_{r1}$ , pentru ca la o viteză critică de răcire intervalul dintre  $A_{r3}$  și  $A_{r1}$ , și de asemenea, dintre  $A_{cem}$  și  $A_{r1}$  să dispară – nu se mai separă din austenită, ferită preeutectoidă și cementită secundară.

### **2.2. Recoacerea de recristalizare (regenerare) sau recoacerea completă**

Scopul recoacerii complete este fărâmițarea, înlăturarea structurii Widmannstätten și obținerea unei structuri fine și uniforme.

Recoacerea completă constă în încălzirea continuă cu viteza de maximum  $50^{\circ}\text{C}/\text{h}$  până în domeniul austenitic, la o temperatură de  $A_{c3}+30 \dots 50^{\circ}\text{C}$ , pentru oțelurile hipoeutectoide, și de  $A_{cem} +30 \dots 50^{\circ}\text{C}$ , pentru oțelurile hipereutectoide. Urmează menținerea de o oră pentru fiecare 25 mm din grosimea celui mai gros perete, adică atât timp cât structura să devină austenitică în toată piesa. În final, piesa se răcește în cuptor cu o viteză de maximum  $50^{\circ}\text{C}/\text{h}$  (se recomandă  $10 \dots 20^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ) până la temperatura de  $400^{\circ}\text{C}$  (în general, până la o temperatură subeutectoidă) și apoi în aer liber până la o temperatura mediului ambiant.

Prin recoacere completă se obține un număr mai mare de grăunți de ferită și perlită lamelară, uniform repartizați pe grosimea pereților pieselor, la oțelurile hipoeutectoide, și un număr mai mare de grăunți de perlită și de cementită secundară fină cu grad de uniformitate mare pe grosimea pereților pieselor, la oțelurile hipereutectoide.

Tratamentul termofizic de recoacere completă nu schimbă proporția constituenților metalografici din piesele brut turnate.

Recoacerea completă mărește rezistența la tracțiune și proprietățile de plasticitate datorită uniformizării structurii, creșterii numărului de grăunți secundari, obținerii grăunților echiaxiali și finisării cristalitelor de cementită secundară. De exemplu, în tabelul 1/O11 se prezintă influența recoacerii complete asupra unui oțel de

Corectarea prin tratament termofizic de recoacere a structurii metalografice a oțelurilor brut turnate nealiate

turnătorie universal, hipoeutectoid.

Încălzirea pentru recoacerea completă se poate realiza și în două trepte de preîncălzire (cu două paliere de menținere), la temperatura de 600°C, respectiv la temperatura de 800°C.

### **2.3. Recoacerea de normalizare**

Recoacerea de normalizare se aplică, în general, după recoacerea completă, cu scopul îmbunătățirii proprietăților.

Scopul recoacerii de normalizare este obținerea unei granulații fine, uniformizarea structurii pe grosimea pereților pieselor și creșterea gradului de dispersie al perlitei lamelare.

În general, normalizarea se recomandă oțelurilor hipoeutectoide nealiate și slab aliate ce conțin 0,2...0,4% C.

Recoacerea de normalizare constă în încălzirea pieselor de oțel în mod continuu, cu viteza de încălzire de 50°C/h, sau în trepte, cu trepte de preîncălzire la temperaturile de 600°C și 800°C, până la temperaturi de  $A_{C3} + 50 \dots 80^\circ\text{C}$ , în cazul oțelurilor hipoeutectoide (oțelurile hipereutectoide se normalizează prin încălzire la temperatura  $A_{\text{cem}} + 50 \dots 80^\circ\text{C}$ , numai după călire). Durata de menținere în domeniul austenitic este, în general, de 1 h pentru fiecare 25 mm din grosimea maximă a pereților pieselor din încărcătura cuptorului de tratament termofizic. După menținerea în domeniul austenitic, urmează răcirea în aer liniștit sau în aer vehiculat cu ajutorul ventilatoarelor, până la temperatura mediului ambiant.

Răcirea în aer determină ca la temperatura eutectoidă viteza de răcire să fie 2.500...6.000°C/h, rezultând un mare număr de grăunți secundari.

Viteza mare de răcire determină crearea de tensiuni în piesele turnate, ceea ce impune aplicarea respectivelor piese a unei recoaceri de detensionare.

Răcirea în aer liber se face pentru piesele cu pereți subțiri. În cazul pieselor cu pereți groși răcirea se face în curent de aer sau în ceață.

Trebuie să se acorde importanță și distanței dintre piese, încât

Corectarea prin tratament termofizic de recoacere a structurii metalografice a oțelurilor brut turnate nealiat  
acestea să nu se influențeze reciproc.

Tabelul 1/O11

**Influența recoacerii complete, a recoacerii de normalizare simplă și a recoacerii de normalizare dublă asupra unor caracteristici de rezistență mecanică și de plasticitate, pentru un oțel turnat cu 0,34% C, 0,80% Mn, 0,40% Si, 0,05% S, 0,057% P și 0,042% Al.**

Tipul tratamentului termofizic	Caracteristici mecanice și de plasticitate					
	Rezistența la tracțiune, în N/mm <sup>2</sup>	Limita de curgere, în N/mm <sup>2</sup>	Alungirea, în %	Stricțiunea (gâtuirea), în %	Reziliența, în daJ/cm <sup>2</sup>	Duritatea, în HB
Stare brut turnată	508	310	14,5	16,3	1,9	179
Recoacere completă (încălzire la temperatura de 900 <sup>0</sup> C, răcire în cuptor până la temperatura de 400 <sup>0</sup> C și apoi răcire în aer)	588	330	18,8	23,0	2,8	179
Normalizare simplă (încălzire la temperatura de 930 <sup>0</sup> C și apoi răcire în aer liber)	678	439	15,0	18,5	4,9	183
Normalizare dublă (prima normalizare cu încălzire la temperatura de 930 <sup>0</sup> C iar a doua normalizare cu încălzire la temperatura de 830 <sup>0</sup> C, răcirile ulterioare fiind în aer liber)	650	415	18,8	21,0	5,3	175

Dacă piesele de oțel brut turnat se supun unui tratament dublu

Corectarea prin tratament termofizic de recoacere a structurii metalografice a oțelurilor brut turnate nealiate

de recoacere de normalizare, gradul de finisare a structurii secundare se mărește.

În tabelul 1/O11 se prezintă îmbunătățirea unor caracteristici mecanice de rezistență și a unor proprietăți de plasticitate, pentru un oțel de turnătorie universal, printr-o recoacere de normalizare simplă și o recoacere de normalizare dublă.

#### **2.4. Recoacerea de detensionare**

Scopul recoacerii de detensionare este eliminarea tensiunilor interne provenite din turnare sau din remanierea prin sudare a eventualelor defecte de turnare, dar și provenite din recoacerea de normalizare cauzate de geometria complexă.

Recoacerea de detensionare constă în încălzirea pieselor de oțel cu viteza de  $10...100^{\circ}\text{C/h}$  până la temperaturi de  $400...650^{\circ}\text{C}$ , – în mod curent, până la temperatura de  $600\pm 10^{\circ}\text{C}$  – urmată de menținerea timp de 1 oră pentru fiecare 25 mm din grosimea maximă a pieselor din cuptorul de tratament termofizic. Se recomandă ca durata de menținere să nu fie mai mică de o oră iar la durata calculată prin metoda anterioară, să se mai adauge 2...4 h, cu scopul eliminării complete a tensiunilor interne. Așadar, în timpul recoacerii de detensionare, nu au loc transformări de fază.

După menținerea la temperaturi subeutectoidice, urmează răcirea în cuptor, până la temperatura de  $200^{\circ}\text{C}$ , cu viteza de maximum  $50^{\circ}\text{C/h}$ , iar ulterior se face răcirea în aer liniștit până la temperatura mediului ambiant.

#### **2.5. Recoacerea de înmuiere (globulizare)**

Recoacerea de înmuiere are ca scop îmbunătățirea prelucrabilității prin așchiere.

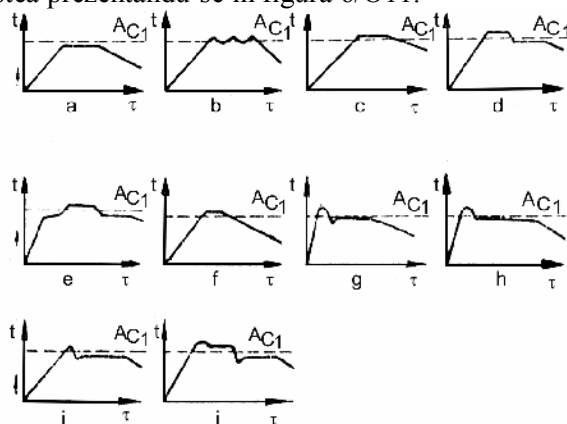
Recoacerea de înmuiere se aplică oțelurilor eutectoidice și hipereutectoidice și nu se recomandă oțelurilor hipoeutectoidice ce au conținutul de carbon mai mic de 0,4%.

Recoacerea de înmuiere privește, în principal, globulizarea

Corectarea prin tratament termofizic de recoacere a structurii metalografice a oțelurilor brut turnate nealiate

perlitei. Astfel, cementita trece din forma lamelară sau de rețea (cementita secundară de la oțelurile hipereutectoide) în formă globulară, rezultând perlita globulară.

Recoacerea de înmuiere se face în mai multe variante, unele dintre acestea prezentându-se în figura 6/O11.



**Figura 6/O11. Reprezentarea schematică a diverselor regimuri de recoacere de detensionare:  $t$  – temperatura;  $\tau$  – timpul.**

Cel mai simplu procedeu de recoacere de înmuiere constă în încălzirea pieselor până la o temperatură inferioară transformării eutectoide, adică la  $680...720^{\circ}\text{C}$ , urmată de o menținere timp de  $2...10$  ore și apoi o răcire lentă (cu cuptorul până la temperatura mediului ambiant) – figura 6/O11, a. Procesul de globulizare a perlitei durează cu atât mai mult cu cât lamelele de ferită și cementită sunt mai mari. Dacă perlita are lamelele mari, se recomandă tratamentul de recoacere de înmuiere din figura 6/O11, c – încălzirea se face la o temperatură cu puțin peste temperatura eutectoidă ( $A_{C1}$ ), situație în care globalizarea durează mai puțin timp.

În cazul în care piesele sunt mici iar șarjele sunt mici, globulizarea se efectuează prin metoda pendulării – figura 6/O11, b – ce constă în încălzirea oțelului până la temperaturi de  $A_{C1} + 10 ... 20^{\circ}\text{C}$ , menținere timp de  $10...30$  min, răcire sub  $A_{C1}$ , menținere, acest regim repetându-se de câteva ori, după care se face răcirea lentă (în

Corectarea prin tratament termofizic de recoacere a structurii metalografice a oțelurilor brut turnate nealiate  
cuptor) până la temperatura mediului ambiant.

### **3. Modul de lucru**

Se utilizează o probă cu structura neomogenă și grăunții alungiți – care s-a utilizat pentru analiza structurii secundare – de la lucrarea O4.

Oțelul se supune recoacerii de normalizare.

Recoacerea de normalizare se efectuează într-un cuptor electric cu încălzire pe bază de rezistențe electrice (bare de silită), în atmosferă normală.

Proba ce se recoace, fiind de configurație foarte simplă ( $\phi$  15x15...20 mm), adică neavând stare de tensiuni indusă în ea, se încălzește cu viteza de circa 50°C/h.

Temperatura de menținere este de 860...920°C.

Durata de menținere este de 40 minute.

Răcirea se face în aer liniștit.

Se pregătește proba martor pentru investigație metalografică.

Proba de analiză metalografică se recoace împreună cu proba brută prelevată din ansamblul brut turnat, de la lucrarea O4, destinat determinării rezistenței la tracțiune – lungimea de 200 mm și diametrul de circa 30 mm.

Proba destinată determinării rezistenței la tracțiune, după răcire la temperatura mediului ambiant, se prelucrează mecanic și se supune testării rezistenței la tracțiune.

### **4. Măsuri speciale de asigurare a securității muncii**

Se au în vedere măsurile generale ce privesc activitatea desfășurată la cuptoarele electrice cu încălzire pe bază de rezistență electrică.

Se va acorda atenție suplimentară manipulării cu cleștele a probelor la introducerea și la scoaterea probelor din cuptor cu scopul evitării atingerii barelor de silită și eliminării riscului de deteriorare a



Corectarea prin tratament termofizic de recoacere a structurii metalografice a oțelurilor brut turnate nealiate

lor.

Introducerea și scoaterea probelor din cuptor se face cu cuptorul deconectat de la tensiune.

După scoatere din cuptor, probele se așează pe un suport metalic.

**5. Interpretarea rezultatelor**

Se compară rezistența de rupere la tracțiune pentru probe brută și recoaptă în coroborare cu structurile metalografice ale celor două variante, consemnându-se, în referate, rezultatele și microstructurile.

**6. Bibliografie**

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

2. Vermeșan, G. Tratamente termice. Editura Dacia. Cluj-Napoca. 1987;

3. Carțiș. Tratamente termice. Editura Facla. Timișoara. 1982;

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

5. Todorov, R.P. și Hristov, H.G. Factorii care determină cristalizarea structurilor obișnuite și Widmannstätten. Revista de Turnătorie, nr. 1, 2, 2004. Traducere de Sofroni, L. p. 13... 16;

6. Ștefănescu, C. ș.a. Îndrumătorul proiectantului de tehnologii în turnătorii. Volumul al II-lea. Editura Tehnică. București. 1986 ;

7. Geru, N. Metalurgie fizică. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1981.

## **F.9. Influența structurii fontelor nealiatate asupra caracteristicilor acestora**

### **1. Scopul**

Corelarea dintre structurile primară și secundară și unele caracteristici în cazul fontelor nealiatate și modalități de mărire a unor caracteristici mecanice de rezistență.

### **2. Caracteristici generale**

Sub aspect structural, proprietățile fontei sunt influențate de structura în stare lichidă și structura în stare solidă.

Structura în stare solidă se acceptă ca fiind obținută cu participarea fazei metalice lichide și în urma transformărilor în stare solidă.

Structura ce se obține din lichid – cu participarea lichidului – se numește structura primară.

Structura de la temperatura mediului ambiant se numește structură secundară.

Deoarece piesele de fontă sunt solicitate și la temperaturi mai mari decât temperatura mediului ambiant se consideră și structura de la temperatura de exploatare, de asemenea, structură secundară.

Structura secundară este structura ce determină caracteristicile fizico-mecanice ale pieselor de fontă.

Structura secundară este influențată de structura primară și de structura din stare lichidă iar structura primară este influențată de structura din stare lichidă.

#### **Structura fontei în stare lichidă**

Temperatura situată în intervalul 1.400...1.410<sup>0</sup>C demarcă următoarele două categorii de structură:

– soluție coloidală. Mediul de dispersie este soluția lichidă de 1...2% C în Fe. Faza dispersată este formată din pachete cristaline de grafit ce au dimensiunile de maximum 100Å. Grafitul are denumirea de grafit remanent ce își mărește stabilitatea – nu se dizolvă în

matricea metalică lichidă – în prezența unor conținuturi mari de sulf (se apreciază că sulful se adsorbe pe suprafața separărilor de grafit, împiedicând, astfel, dizolvarea) și în cazul în care carbonul echivalent are valori mari. Soluția coloidală corespunde temperaturilor din vecinătatea temperaturilor lichidus, adică temperaturilor mai mici de  $1.400...1.410^{\circ}\text{C}$ . Soluția coloidală conține și germeni eterogeni ce au o influență necontrolată asupra structurii metalografice a fontei. Germeții eterogeni pot fi oxizi, sulfuri, nitruri, boruri, carburi, compuși chimici complecși etc. Grafitul remanent se consideră a fi, de asemenea, germene eterogen, [1];

– soluția lichidă ideală. Atomii elementelor chimice din compoziția chimică a fontei se află sub formă de microgrupări ce nu reprezintă faze termodinamice deoarece unii atomi părăsesc microgruparea iar alți atomi pătrund în microgrupare. Microgrupări se află în fonta lichidă, în timpul răcirii, până la temperatura lichidus, [2]. Soluția lichidă ideală se întâlnește la temperaturi mai mari de  $1.410^{\circ}\text{C}$ .

Prin supraîncălzirea fontei în stare lichidă, o parte din germeții eterogeni se dizolvă în matricea metalică lichidă, dizolvarea fiind cu atât mai avansată cu cât temperatura de supraîncălzire este mai mare.

În cazul în care în încărcătura agregatului de elaborare nu există sorturi metalice ce au în structură grafit, din soluția coloidală lipsește grafitul remanent.

Se apreciază că o dată cu dispariția germeților eterogeni structura fontei lichide devine cea corespunzătoare soluției lichide ideale.

Distrugearea germeților eterogeni în timpul supraîncălzirii determină următoarele implicații structurale:

- mărirea tendinței de cristalizare în sistemul metastabil Fe-C;
- mărirea gradului de subrăcire la transformarea eutectică;
- micșorarea numărului de celule eutectice;
- mărirea cantității de grafit punctiform interdendritic;
- mărirea cantității de grafit lamelar interdendritic;
- mărirea proporției de ferită din matricea metalică.

Dacă se urmărește evitarea cristalizării fontei în sistemul metastabil – evitarea obținerii de fontă albă sau pestriță – , cristalizare cauzată de absența germeilor eterogeni prin supraîncălzire, se refac germeii eterogeni, în mod controlat, prin răcirea forțată a fontei lichide, această situație determinând micșorarea solubilității oxigenului în fonta lichidă, oxigen ce este legat sub formă de  $\text{SiO}_2$  datorită adăugării de siliciu în baia metalică sub formă de ferosiliciu (de preferință  $\text{FeSi75}$ ) sau  $\text{CaSi}$ , în proporție de 0,1...0,6% și cu mărimea granulelor de 1...5 mm.

#### **Structura primară**

În cazul fontei, structura primară diferă substanțial, după cum fonta este hipoeutectică, eutectică sau hipereutectică.

În cazul fontei hipoeutectice, din lichid se separă dendrite de austenită primară ce reprezintă o soluție solidă de interstiție de carbon în fier  $\gamma$ .

Dendritele de austenită primară se dezvoltă cu preponderență de-a lungul axei de ordinul I – se dezvoltă uniaxial – dar se pot dezvolta și de-a lungul celorlalte axe de simetrie.

Cristalitele de austenită primară nu sunt idioforme (nu au o structură de echilibru) ci sunt alotrioforme, din multiple cauze. Una din cauze este subrăcirea de concentrație cauzată de segregarea carbonului, sulfurii, fosforului etc, [3].

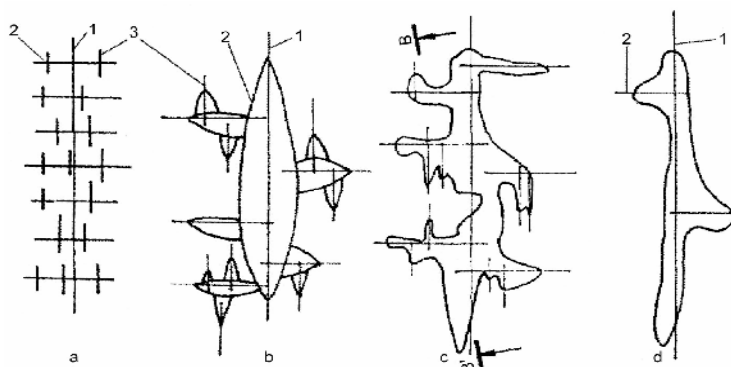
Nu toate dendritele de austenită primară au aceleași condiții de creștere. Astfel, dendritele ale căror axă de ordinul I este paralelă cu fluxul termic se dezvoltă mai mult.

Axele dendritelor au conținutul de mangan, siliciu etc. mai mic decât spațiile dintre axele de simetrie.

La limita dintre dendrite apar faze nemetalice – incluziuni interdendritice – ce provin prin concentrarea incluziunilor nemetalice solide sau lichide existente în fonta lichidă în timpul solidificării sau în urma unor interacțiuni chimice la care participă fierul, de exemplu, pe de o parte, și elemente chimice cu solubilitate mică, în fonta solidă, cum ar fi sulfurul și fosforul, pe de altă parte. Așa, de exemplu, iau naștere  $\text{FeS}$ ,  $\text{Fe}_3\text{P}$  etc.

Segregarea elementelor chimice creează neomogenitate

chimică și apariția de faze nemetalice. Deoarece forma dendritică a austenitei primare se menține la răcirea ulterioară a fontelor, fiind însoțită de procese de recristalizare, înseamnă că neomogenitatea chimică se păstrează până la temperatura mediului ambiant împreună cu repartizarea incluziunilor interdendritice, afectând în felul acesta structura de rezistență a pieselor – a fontei. Repartizarea mai omogenă a elementelor chimice se obține prin micșorarea dimensiunilor dendritelor. Micșorarea dimensiunilor dendritelor se realizează prin mărirea vitezei de răcire (micșorarea grosimii pereților pieselor și a temperaturii de turnare, de exemplu), modificare, vibrație, tratare cu ultrasunete etc. Cu cât viteza de răcire este mai mare cu atât cristalizarea capătă un caracter mai volumic (se mărește numărul de germeni de cristalizare).

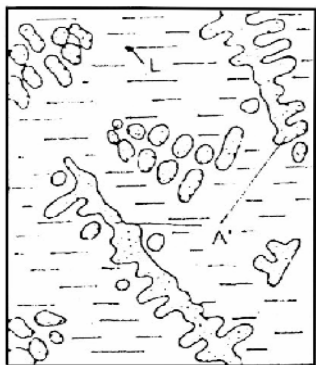


**Fig. 1/F9. Schema creșterii dendritelor de austenită primară: a – reprezentarea axelor de simetrie de ordinele I, al II-lea și al III-lea (reprezentate cu cifre arabe 1, 2 și 3); b – fază de creștere reprezentând ramurile primară, secundare și terțiare; c – imaginea unei dendrite reale; d – dendrita reală dezvoltată foarte mult de-a lungul axei de ordinul I, foarte puțin de-a lungul axelor de ordinul al II-lea și deloc de-a lungul axelor de ordinul al III-lea; B–B’ – planul de secționare al unei dendrite de austenită primară (imaginea secțiunii este prezentată în figura 2/F9).**

În cazul în care fonta are un grad de puritate mai mic,

incluziunile interdendritice, în cantitate mare, generează adevărate izolări de matrice metalică, ceea ce afectează structura de rezistență a fontei.

În cazul vitezelor de răcire mari, numărul mare de dendrite ce se obțin înseamnă o dezvoltare a acestora pe mai multe axe de simetrie (în figura 1/F9 se prezintă schema creșterii dendritelor), adică înseamnă o suprafață mai mare a acestora, incluziunile nemetalice interdendritice repartizându-se pe o suprafață mai mare (într-un volum mai mare) iar caracteristicile mecanice de rezistență ale fontei îmbunătățindu-se considerabil.



**Fig.2/F9. Imagine a dendritelor de austenită primară în creștere – după planul de secționare B – B' din figura 1/F9.**

Dendritele de austenită primară reprezintă scheletul metalic al fontei.

Numărul și lungimea dendritelor de austenită primară se măresc o dată cu micșorarea conținutului de carbon.

Cantitatea de austenită primară se micșorează o dată cu creșterea gradului de eutecticitate, pentru ca să dispară la fontele eutectice.

În cazul fontelor hipereutectice fazele primare sunt grafitul primar la fontele cenușii și cementita primară la fontele albe.

Dacă grafitul este lamelar, lungimea separărilor de grafit primar ajunge la 5.000  $\mu\text{m}$ , adică de 10...100 de ori mai mare decât lungimea separărilor de grafit eutectic ce se separă la temperatura eutectică.

În timp ce grafitul eutectic crește în jurul unui centru de cristalizare, grafitul primar are orientări diferite în spațiu și germinează și crește în intervalul de solidificare, creșterea având loc și în timpul transformării eutectice.

Cel puțin din cauza mărimii, grafitului primar se deosebește ușor de grafitul eutectic.

Grafitul primar se păstrează până la temperatura mediului ambiant, pe el depunându-se cantități foarte mici de grafit secundar, grafit eutectoid și grafit terțiar, după caz.

Indiferent de mărime, lamelele de grafit afectează structura de rezistență a fontei prin următoarele trei fenomene:

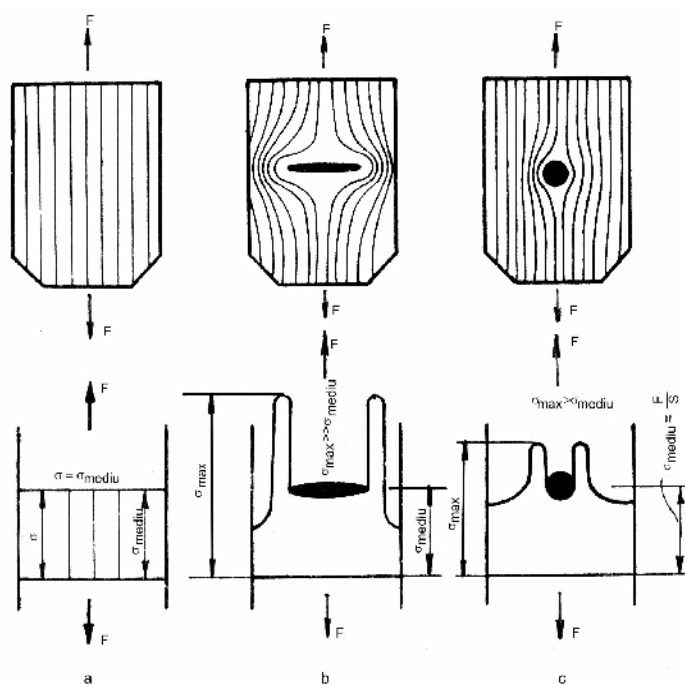
- micșorează suprafața masei metalice de bază în secțiunea pieselor turnate sau probelor. Cum masa metalică de bază preia solicitările mecanice în timpul exploatarei, înseamnă că grafitul (indiferent de geometria lui) micșorează secțiunea metalică efectivă a pereților pieselor;

- izolează – în special în cazul grafitului interdendritic – porțiuni din masa metalică de bază, astfel, determinându-se mari discontinuități în preluarea sarcinilor de către secțiunea metalică efectivă (indiferent de geometria grafitului);

- prin fenomenul de crestare. Fenomenul de crestare este fenomenul de concentrare a tensiunilor în zona vârfurilor lamelelor de grafit. Fenomenul de crestare se numește și fenomenul de ștrangulare a liniilor de forță în zona prezenței grafitului. Fenomenul de crestare se poate extinde la toate incluziunile nemetalice dar și la grăunții metalografici aciculari.

Cu cât lamelele de grafit sunt mai grosolane, cu atât efectul de crestare este mai mare. Prin grafit grosolan se înțelege grafitul ce are lungimea și grosimea mari, în cazul grafitului lamelar și grafitul ce are diametrul mare, în cazul grafitului nodular, dacă se face apel la cazurile extreme ale grafitului în ceea ce privește gradul de compactitate.

Cu cât grafitul lamelar are vârfurile mai ascuțite cu atât efectul de crestare este mai mare. Pentru exemplificare, se prezintă în figura 3/F9 modul de repartizare al liniilor de forță – la partea superioară a figurii – și modul de variație al tensiunilor – la partea inferioară a figurii – pentru trei probe de aceleași dimensiuni, supuse la tracțiune (cu aceeași forță de solicitare), reprezentând aceeași matrice metalică, însă una fiind de oțel – a –, una de fontă cu grafit lamelar – b – și una de fontă cu grafit nodular – c.



**Fig.3/F9. Schița modului de repartizare al liniilor de forță (partea superioară a figurii) și al tensiunilor (partea inferioară a figurii) pentru trei probe de aceleași dimensiuni, supuse la tracțiune cu forța  $F$ : a – probă de oțel; b – probă de fontă cu grafit lamelar; c – probă de fontă cu grafit nodular; toate probele au aceeași matrice metalică;  $\tau$  – tensiune;  $\tau_{\text{mediu}}$  – tensiune medie;  $\tau_{\text{max}}$  – tensiune maximă;  $F$  – forță;  $S$  – suprafață.**

În exemplul dat în figura 3/F9, se observă că liniile de forță sunt paralele cu direcția de acțiune a forței de tracțiune  $F$ , în cazul probei de oțel, sunt strangulate în zona vârfurilor lamelei de grafit, în mod accentuat și sunt strangulate puțin în vecinătatea grafitului nodular. Stangularea liniilor de forță determină apariția unor concentratori de tensiune în zona vârfurilor lamelei de grafit ce pot depăși cu 10...50 de ori valoarea medie a tensiunilor (tensiunea



maximă –  $\tau_{\max}$  – este mult mai mare decât tensiunea medie –  $\tau_{\text{mediu}}$  –, respectiv  $\tau_{\max} \gg \tau_{\text{mediu}}$ ). În zona grafitului nodular, strangularea slabă a liniilor de forță determină apariția unor concentratori de tensiune slabi ce depășesc cu puțin tensiunea medie ( $\tau_{\max} > \tau_{\text{mediu}}$ ). În cazul în care concentratorii de tensiuni depășesc și limita de curgere se poate provoca ruperea pieselor de fontă.

Cu cât forma grafitului este mai puțin compactă, cu atât efectul de crestare este mai mare.

În literatura de specialitate, [4], efectul de concentrare al tensiunilor se exprimă prin intermediul coeficientului  $K\tau$  ce se calculează cu relația 1/F9.

$$K\tau = \frac{\tau_{\max}}{\tau_{\min}} = 1 + 2 \frac{l}{g'}, \quad (1/F9)$$

în care  $\tau_{\max}$  și  $\tau_{\min}$  reprezintă tensiunea maximă, respectiv, minimă, înregistrată din cauza grafitului;  $l$  – lungimea separărilor de grafit;  $g'$  – grosimea separărilor de grafit.

Efectul de concentrare al tensiunilor se poate calcula și cu relația (2/F9), în funcție de lungimea și raza de curbă a vârfului lamelelor de grafit.

$$K\tau = K' \sqrt{\frac{l}{r}}, \quad (2/F9)$$

în care  $K'$  reprezintă un coeficient de proporționalitate;  $l$  – lungimea lamelelor de grafit;  $r$  – raza de curbă a vârfului lamelelor de grafit.

Grafitul influențează caracteristicile mecanice de rezistență și proprietățile, în general, și prin modul de repartizare. Conform ASTM (standard S.U.A.), în figura 4/F9 se prezintă tipurile de grafit, respectiv tip A (lamele dezorientate), tip B (rozete), tip C (grafit specific fontelor hipereutectice), tip D (grafit fin, punctiform, interdendritic de subrăcire) și tip E (grafit fin lamelar, orientat, interdendritic).

Toate formele de grafit, ce sunt orientate, pot provoca ruperea prematură a pieselor din cauză că porțiuni întregi din masa metalică de bază sunt tot mai mult izolate și nu pot prelua sarcinile mecanice în

timpul exploatării pieselor.

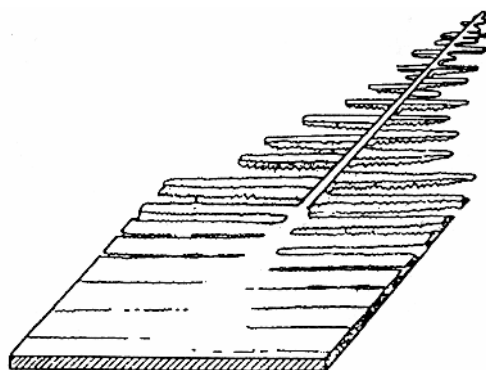
Prin cantitatea sa, grafitul afectează rezistența la tracțiune a fontei deoarece are rezistența la tracțiune de  $20...30 \text{ N/mm}^2$  față de  $300...1.500 \text{ N/mm}^2$ , cât este rezistența la tracțiune a masei metalice de bază. Având în vedere că grafitul ocupă în fontele ce se utilizează în practica industrială o suprafață de  $6...25\%$ , rezultă ponderea mare pe care o are asupra rezistenței la tracțiune a fontei. Cantitatea de grafit are, însă, influența cea mai mică asupra caracteristicilor mecanice de rezistență în raport cu forma, dimensiunile și modul de repartizare ale grafitului.

Separările de grafit primar nodular nu se pot deosebi ușor de separările de grafit eutectic deoarece grafitul eutectic, în cazul fontei cu grafit nodular, este sub formă de nodule de dimensiuni mai mici.



**Fig.4/F9. Formele tipice de grafit conform standardului S.U.A.: tip A – lamelar dezorientat; tip B – rozete; tip C – grafit specific fontelor hipereutectice; tip D – grafit fin, punctiform, interdendritic de subrăcire; tip E – grafit fin lamelar, orientat, interdendritic**

În cazul fontelor albe, hipereutectice, faza primară ce se separă din lichid este cementita primară ce are formă de placă sau de dendrită plată – figura 5/F9. În figura 5/F9 se prezintă o dendrită de cementită primară în curs de creștere.



**Fig. 5/F9. Schița unei dendrite de cementită primară în curs de creștere.**

Cementita primară se întâlnește și la temperatura mediului ambiant, pe ea depunându-se cantități mici de cementită secundară și cementită terțiară, după caz.

Cementita liberă, în cazul fontelor din practica industrială, poate ocupa o suprafață cuprinsă între limitele 25...55%, în funcție de conținutul de carbon.

Cementita se implică, în structura de rezistență a fontei, cu o rezistență la tracțiune de maximum  $300\text{N/mm}^2$ , o duritate de minimum 500 HB și prin absența alungirii.

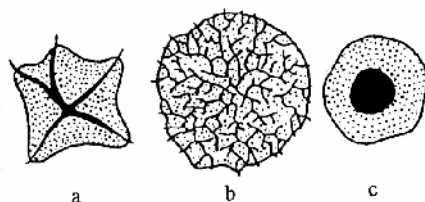
În cazul fontelor eutectice, fazele primare sunt reprezentate de amestecul mecanic austenită eutectică-grafit eutectic, la fontele cenușii și de amestecul mecanic austenită eutectică-cementită eutectică, la fontele albe. La fontele hipoeutectice și hipereutectice, amestecurile mecanice menționate se separă la temperatura eutectică.

Amestecul mecanic austenită eutectică - grafit eutectic se numește celulă eutectică (CE) iar amestecul mecanic austenită eutectică-cementită eutectică se numește colonie eutectică sau ledeburită netransformată.

Celulele eutectice se formează la temperatura eutectică, în lichidul dintre dendritele de austenită primară, în cazul fontelor hipoeutectice, în lichidul dintre separările de grafit primar, în cazul

fontelor hipereutectice și direct din lichid, în cazul fontelor eutectice.

Formarea unei celule eutectice are la bază un germene de grafit din care cresc radial ramificații de grafit, dacă fonta este cu grafit lamelar, sau din care crește grafitul nodular, dacă fonta este cu grafit nodular, de exemplu – figura 6/F9, a, respectiv, c. Între separările de grafit eutectic solidifică austenită eutectică.

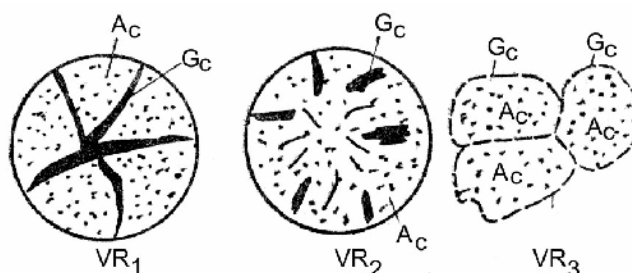


**Fig.6/F9. Schema unor celule eutectice: a – font cu grafit lamelar; b – fontă cu grafit interdendritic; c – fontă cu grafit nodular. Fondul punctat reprezintă austenita eutectică.**

În cazul vitezelor de răcire mici, scheletul de grafit eutectic este continuu – figura 6/F9.a și figura 7/F9.VR<sub>1</sub>, în care VR<sub>1</sub> reprezintă viteză de răcire mică. În cazul vitezelor de răcire moderate, din cauza frânării difuziei atomilor de carbon, scheletul de grafit eutectic nu se mai obține continuu ci discontinuu – figura 7/F9.VR<sub>2</sub>, în care VR<sub>2</sub> reprezintă viteza de răcire medie, pentru ca în cazul vitezelor de răcire foarte mari, faza determinată la cristalizare să fie austenita eutectică ce se contopește cu dendritele de austenită primară (în acest de al treilea caz se obțin agregate complexe de dimensiuni mari, din faza lichidă puternic suprasaturată în carbon cristalizând la limita agregatelor de austenită primară separări foarte fine – aproape punctiforme – de grafit eutectic) – figura 6/F9.b și figura 7/F9.VR<sub>3</sub>, în care VR<sub>3</sub> reprezintă viteză de răcire foarte mare.

În cazul fontei cu grafit nodular, carbonul trebuie să difuzeze prin învelișul de austenită eutectică pentru ca să se depună peste separarea nodulară de grafit eutectic – pentru fontele hipoeutectice.

Celulele eutectice sunt mai mult sau mai puțin sferice și au diametrul cuprins în intervalul 50...500 μm.



**Fig.7/F9. Schema unor celule eutectice de la fonta cu grafit lamelar: A<sub>c</sub> – austenită eutectică; G<sub>c</sub> – grafit eutectic; VR<sub>1</sub> – viteză de răcire mică (schelet de grafit continuu); VR<sub>2</sub>– viteză de răcire medie (separări de grafit izolate); VR<sub>3</sub>– viteză de răcire foarte mare (grafit lamelar fin interdendritic).**

La limita dintre celulele eutectice segregă elemente chimice precum P, S, Mn, Cr etc. iar în centrul celulelor eutectice segregă elemente chimice precum Si, Ni, Cu etc.

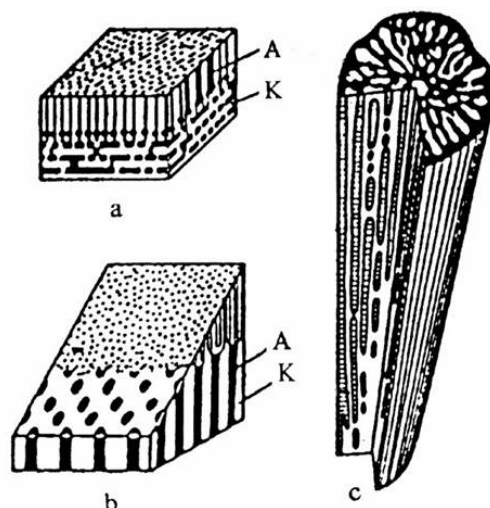
Austenita din celulele eutectice este supusă fenomenului de crestare, mai ales în cazul grafitului lamelar, motiv pentru care are o rezistență mecanică mai mică decât austenita primară.

Cu cât numărul de celule eutectice este mai mare, cu atât suprafața de contact dintre ele este mare, această situație determinând ca grosimea incluziunilor nemetalice și a eutecticelor cu conținut mare de sulf și fosfor să se micșoreze mult, transformându-se, de exemplu, din strat continuu în strat discontinuu. În felul acesta caracteristicile mecanice de rezistență ale fontei se îmbunătățesc substanțial.

Grafitul lamelar eutectic afectează structura de rezistență a fontei prin următoarele fenomene: crestare, cantitate, formă și mod de repartizare.

În cazul fontelor albe, la temperatura eutectică, din lichid se separă echivalentul celulelor eutectice ce se numesc colonii eutectice și au formă de blocuri mai mult sau mai puțin paralelipipedice, la care fondul este de cementită eutectică iar austenita eutectică reprezintă separări izolate în cementita eutectică – figura 8/F9 (A reprezintă austenita eutectică și este de culoare neagră iar K reprezintă cementita

eutectică și este de culoare albă).



**Figura 8/F9. Structura coloniilor eutectice. a – colonie eutectică paralelipipedică, obținută în condiții normale de răcire ; b – colonie eutectică paralelipipedică, obținută în condiții normale de răcire (cilindri mari de austenită eutectică de culoare neagră) și în condiții de viteză de răcire mare (cilindri mici de austenită eutectică, din partea superioară a coloniei eutectice); c – colonie eutectică cilindrică obținută în cazul alierii cu grad mare de aliere pentru crom (fondul de culoare neagră este de austenită eutectică iar zona albă reprezintă carbură  $(Fe,Cr)_7C_3$ ); A– austenită eutectică; K–cementită eutectică.**

Cristalitele de cementită eutectică din coloniile eutectice au altă orientare decât dendritele de cementită primară.

După terminarea cristalizării celulelor eutectice și coloniilor eutectice, în lichidul dintre aceste eutectice se separă eutecticul fosforos (dar și alte eutectice cum ar fi cele pe bază de sulf) ce conține 1,96...2,40% C, 6,89% P și 90,71...91,15% Fe, are temperatura de topire de circa  $953^{\circ}C$ , este format din  $Fe_3P$ ,  $Fe_3C$  și soluție ternară de Fe, C și P – cu aproximație austenită –, este distribuit sub formă de separări izolate sau de rețea, are duritatea de 500...600 HB, este fragil,

are rezistența la tracțiune de 30...70 N/mm<sup>2</sup>, afectând, astfel, caracteristicile mecanice de rezistență ale fontei.

### **Structura secundară**

Structura secundară este rezultatul unor fenomene de recristalizare ale constituienților metalografici ai structurii primare.

La temperatura eutectoidă, din austenită (primară și eutectică), în cazul fontei cenușii, se obține perlită dacă viteza de răcire este mare, perlită, ferită și grafit eutectoid dacă viteza de răcire este medie și ferită și grafit eutectoid dacă viteza de răcire este mică. În cazul fontelor albe, la temperatura eutectoidă, austenita primară și austenita eutectică se transformă doar în perlită, indiferent de mărimea vitezei de răcire.

Ferita se formează, în principiu, în jurul separărilor de grafit deoarece în această zonă austenita în curs de răcire este mai săracă în carbon, este susceptibilă să se alieze cu siliciu sau alte elemente chimice (se fragilizează), are rezistența la tracțiune de maximum 500 N/mm<sup>2</sup>, are duritatea de maximum 100 HB, are alungirea de maximum 20%, prin aceste caracteristici influențând caracteristicile mecanice de rezistență ale fontei.

Perlita – amestec mecanic de ferită și cementită – are rezistența la tracțiune de 500...1.500 N/mm<sup>2</sup>, duritatea de maximum 200 HB, alungirea de maximum 10%, are particularitatea că ferita din ea se aliază cu siliciu și mangan, astfel, fragilizându-se, cu aceste caracteristici perlita participând la structura de rezistență a fontei. Prin mărirea vitezei de răcire, gradul de dispersie al perlitei se mărește (grosimea lamelor de ferită și cementită se micșorează), ceea ce înseamnă mărirea rezistenței la tracțiune a fontei.

În timpul răcirii fontelor în formă, între temperatura eutectică și temperatura eutectoidă, din austenită se separă grafit secundar, în cazul fontei cenușii, și cementită secundară, în cazul fontei albe.

Separarea grafitului secundar și cementiei secundare are loc ca urmare a micșorării solubilității carbonului în austenită pe măsură ce temperatura se micșorează.

Grafitul secundar se depune peste grafitul eutectic la fontele cenușii hipoeutectice și eutectice și peste grafitul eutectic și grafitul primar la fontele cenușii hipereutectice. Cantitatea de grafit secundar este apreciabilă deoarece provine din diferența de concentrație în carbon a austenitei de la temperaturile eutectică și eutectoidă, diferență ce în sistemul stabil Fe-C este de  $2,08\% - 0,68\% = 1,4\%$ .

Cementita secundară ce se separă este, de asemenea, în cantitate apreciabilă, fiind generată de diferența dintre conținutul de carbon ce corespunde punctului E și conținutul de carbon ce corespunde punctului S ( $2,11\% - 0,77\% = 1,34\%$ ) – diagrama metastabilă Fe-C.

În cazul în care austenita eutectică are grosimea de maximum  $5\ \mu\text{m}$ , în cazul fontei albe, cementita secundară se depune peste cementita eutectică. Dacă grosimea austenitei eutectice este de minimum  $10\ \mu\text{m}$ , în cazul în care fonta este hipoeutectică iar viteza de răcire este mare, cementita ce se separă din austenita eutectică se numește cementită Widmannstätten, [5], [6], [7].

Cementita Widmannstätten se formează numai în interiorul austenitei eutectice și în interiorul cristalitelor de austenită primară. Așadar, în cazul vitezelor mari de răcire, se formează cementită Widmannstätten și în interiorul dendritelor de austenită primară, în cazul fontelor albe hipoeutectice. Germeii de cementită secundară se formează în interiorul austenitei primare iar creșterea lor se face de-a lungul planelor de alunecare, pe suprafețele de dislocație. Planele de alunecare apar ca o necesitate de deformare plastică din cauza masei specifice mai mici a cementitei față de austenită – formarea cementitei din austenită determină creșterea volumului fontei. În condițiile unor viteze de răcire mari, în intervalul de temperaturi eutectică-eutectoidă, distanța de difuzie a carbonului se micșorează, cementita crescând de-a lungul planelor de alunecare sub formă de lamele. În planul de investigație a probelor metalografice, cementita apare sub formă aciculară, asemenea cementită secundară purtând denumirea de cementită Widmannstätten. O dată cu mărirea vitezei de răcire, formarea cementitei Widmannstätten se deplasează spre conținuturi de carbon mai mici.



Între cementita secundară ce se depune peste cementita eutectică – denumită cementită secundară normală sau obișnuită – și cementita Widmannstätten se stabilește un raport ce este în funcție de mărimea dendritelor de austenită primară, conținutul de carbon și viteza de răcire. De exemplu, în sistemul binar fier-carbon metastabil, dacă fonta hipoeutectică se răcește în aer, în cazul în care cristalitele de austenită au o mărime de ordinul 80...100  $\mu\text{m}$ , raportul dintre cementita secundară normală și cementita Widmannstätten, ca proporție, este de unu.

La fontele eutectice și hipereutectice nu se formează cementită Widmannstätten.

În cazul fontelor hipereutectice, albe, cementita secundară se depune peste cementita primară.

În timpul răcirii fontei între temperatura eutectoidă și temperatura mediului ambiant, are loc micșorarea solubilității carbonului în ferită de la 0,0218%, adică atât cât este la temperatura eutectoidă, la 0,006% – solubilitatea de la temperatura mediului ambiant. Cantitatea de carbon ce iese din ferită (0,0158%) se depune sub formă de grafit terțiar peste grafitul existent, în cazul fontelor cenușii, și sub formă de cementită terțiară la limita grăunților de ferită sau a lamelor de ferită din perlită, după caz, la fontele albe. Cantitatea de grafit terțiar și cementită terțiară este foarte mică, nefiind posibil să se sesizeze în condiții de investigare metalografică obișnuită.

Structura fontelor nealiat se analizează prin intermediul diagramei de echilibru termodinamic Fe-C –, stabilă și metastabilă – apelând, însă, la carbonul echivalent în loc de conținutul de carbon și la modificările pe care le produc siliciul și manganul asupra curbelor de echilibru din diagrama de echilibru Fe-C, [8].

### **3. Modul de lucru**

Pentru lucrare se utilizează probe cilindrice, brute, de fontă cenușie cu grafit lamelar, ce se utilizează pentru prelucrarea mecanică a epruvetelor și care au ca destinație încercarea la tracțiune – determinarea rezistenței de rupere la tracțiune – conform SR ISO 185, 176

din punctul de vedere al dimensiunilor și condițiilor de formare.

Epruvetele vor avea următoarele particularități:

- epruveta 1: se toarnă din fontă nesupraîncălzită;
- epruveta 2: se toarnă din fontă supraîncălzită normal (temperatura de turnare este egală cu circa  $1.350^{\circ}\text{C}$ , temperatură măsurată cu piometrul optic);
- epruveta 3: se toarnă din fontă supraîncălzită la temperatura de  $1.450^{\circ}\text{C}$ ;
- epruveta 4: se toarnă în aceleași condiții ca epruveta 2 însă se dezbat din formă la temperatura de circa  $800^{\circ}\text{C}$ .

Epruvetele 1, 2 și 3 se dezbat din formă la temperaturi mai mici de  $500^{\circ}\text{C}$ .

Fonta se elaborează în cuptor electric cu încălzire prin inducție.

Cele patru epruvete brut turnate se prelucrează mecanic și sunt supuse la încercarea la tracțiune, determinându-se, în principal, rezistența la tracțiune și duritatea.

În final, din epruvetele încercate la tracțiune se prelevează probe pentru analiza metalografică și se analizează la microscop structura metalografică.

#### **4. Măsuri speciale de asigurare a securității muncii**

În timpul elaborării fontei în cuptorul electric cu încălzire prin inducție se iau în considerație măsurile speciale de asigurare a securității muncii prezentate la lucrarea C 1.

La turnarea în forme se vor avea în vedere următoarele măsuri:

- formele se preîncălzesc la temperatura de cca  $600^{\circ}\text{C}$ ;
- oala de turnare se preîncălzește la temperatura de circa  $800^{\circ}\text{C}$ ;
- personalul care toarnă fonta trebuie să poarte echipament de protecție (casă de protecție căptușită cu husă de piele, ochelari de protecție, șorț din țesătură de azbest sau material înlocuitor al azbestului, mănuși de azbest sau înlocuitori ai acestuia și încălțăminte

specifică – bocanci de piele cu talpă de lemn și jambiere de piele sau de țesătură de azbest, respectiv înlocuitori ai acestuia);

– oala de turnare ce se transportă și se manevrează manual prin intermediul furcii de manevrare nu trebuie să fie balansată ca să împrăștie cu stropi de fontă lichidă;

– turnarea se face fără întrerupere – încontinuu pentru fiecare formă.

### **5. Interpretarea rezultatelor**

Se vor consemna în referat următoarele aspecte:

– microstructurile metalografice – structurile metalografice secundare;

– rezultatele încercărilor mecanice;

– concluziile în legătură cu rezultatele încercărilor mecanice prin analiza corelațiilor cu structura metalografică.

### **6. Bibliografie**

1. Ripoșan, I. și Sofroni, L. Fonta cu grafit vermicular. Editura tehnică. București. 1984;

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

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

4. Ripoșan, I. și Chișamera, M. Tehnologia elaborării și turnării fontei. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1981.

5. Tudorov, R.P. și Hristov, Hr.G. Structuri Widmannstätten în aliajele fier-carbon. Traducere de Sofroni, L. Revista de Turnătorie, nr.9, 10, 2003, p.29...30;

6. Tudorov, R.P. și Hristov, Hr.G. Factorii care determină cristalizarea structurilor obișnuite și Widmannstätten. Traducere de Sofroni, L. Revista de Turnătorie, nr.1,2, 2004, p.13...16;

Influența structurii fontelor nealiate asupra caracteristicilor acestora

7. Tudorov, R.P. și Hristov, Hr.G. Despre mecanismul structurilor obișnuite și Widmannstätten. Traducere de Sofroni, L. Revista de Turnătorie, nr.11, 12, 2003, p.7...10;

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

## **F 16. Caracterizarea fontelor utilizând structuri și scări etalon standardizate**

### **1. Scopul**

Analiza comparativă utilizând structuri secundare cu structuri metalografice etalon stabilite de standarde.

### **2. Consideratii generale**

Relația dintre producător și beneficiar este una relativă. Pentru a se evita divergențele ce pot fi de diverse naturi, între producător și beneficiar se stabilește o legătură contractuală.

În mod normal, o fontă trebuie să îndeplinească condițiile impuse de standardele ce o reglementează, aceste standarde făcând referire la caracteristicile mecanice de rezistență, structură metalografică, regimul epruvetelor, regimul loturilor de piese, validitatea încercărilor, compoziția chimică, tratamentul termic etc., după caz.

Relația contractuală producător–beneficiar poate limita condițiile stipulate de standarde.

Sub aspectul structurii metalografice o marcă de fontă poate îndeplini condiții generale din cauză că se pune accentul pe caracteristicile mecanice de rezistență, dar poate impune și îndeplinirea unor aspecte de amănunt impuse de sistem, cum ar fi încadrarea structurii între coordonatele unor scări etalon.

În România, structurile metalografice și scările etalon, pentru fontele turnate sub formă de piese, sunt reglementate de STAS 6905-85 – fonta cenușie cu grafit lamelar, fonta cu grafit nodular și fonta maleabilă.

Conform standardului românesc SR ISO 185, fonta cenușie cu grafit lamelar este cunoscută cu denumirea de fontă cenușie.

Standardul internațional ce reglementează grafitul este ISO 945.

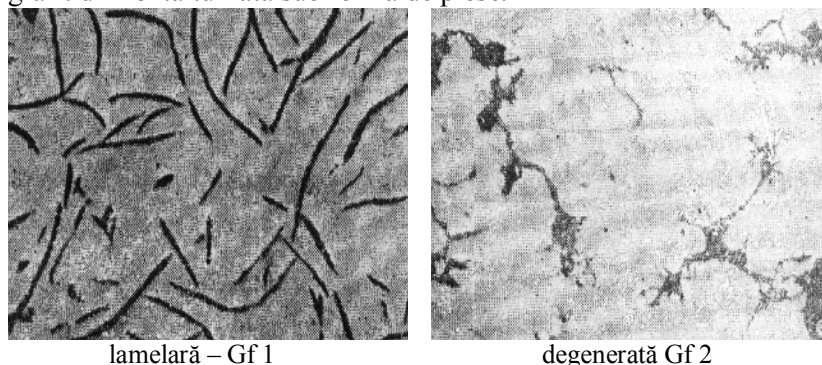
Având în vedere că literatura de specialitate, [1], [2], [3]

determină clasificarea fontei, în funcție de forma carbonului, în fontă cenușie, fontă albă și fontă pestriță, rezultă că se impune o atenție mărită atunci când se vehiculează cu termenul de "fontă cenușie". Fonta cenușie trebuie să se refere, fără echivoc, la fonta cenușie doar cu grafit lamelar, și nu și la celelalte categorii de fontă cenușie din care fac parte fonta cu grafit compact/vermicular, fonta cu grafit nodular, fonta cu grafit coral, fonta cu grafit în cuiburi (fonta maleabilă) dar și alte categorii de fontă nestandardizate.

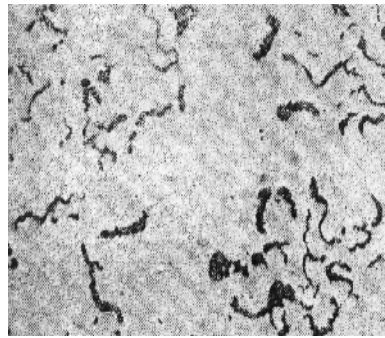
În continuare se prezintă câteva aspecte structurale ce stau în atenția examinării – scări etalon.

### **2.1. Structura grafitului**

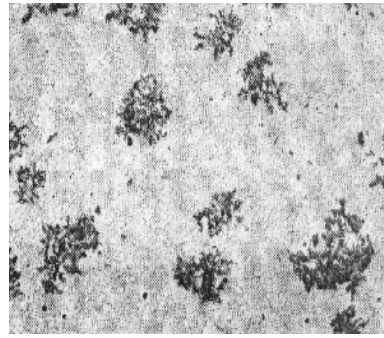
2.1.1. Forma separărilor de grafit din fonta turnată sub formă de piese. În figura 1/F16 se prezintă imaginea formei separărilor de grafit din fonta turnată sub formă de piese.



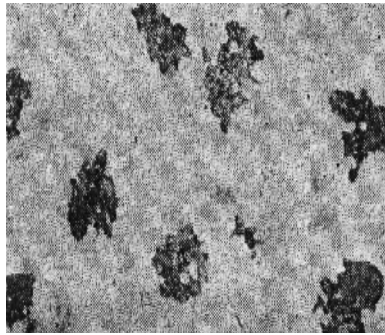
**Fig. 1/F16. Imaginea formei separărilor de grafit din fonta turnată sub formă de piese. Mărirea 100 :1. Aspecte parțiale din etaloane (continuarea la pagina următoare).**



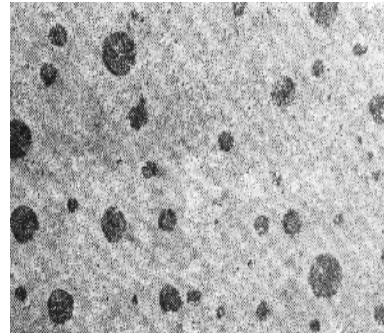
vermiculară – Gf 3



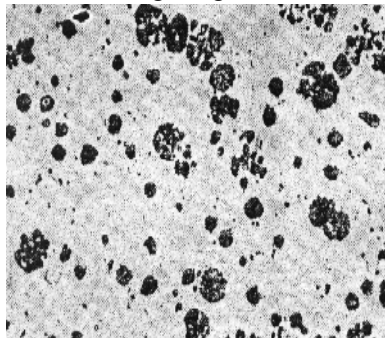
cuiburi – Gf 4



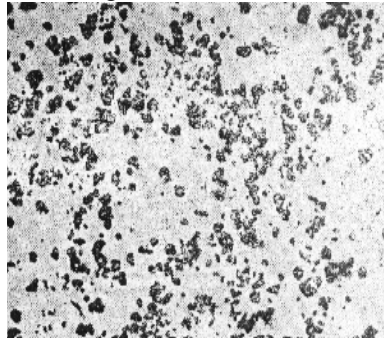
nodulară neregulat geometrică – Gf 5



regulat nodulară – Gf 6

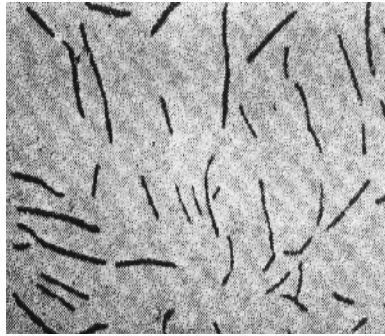


explodată – Gf 7

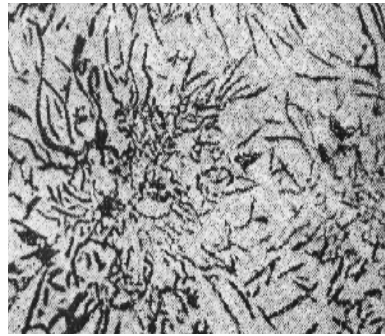


de flotație – Gf 8

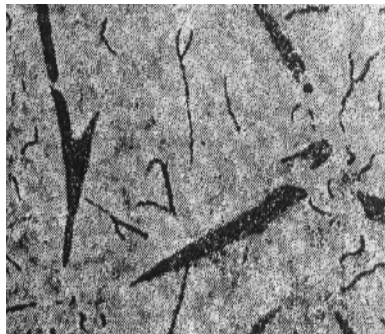
**Fig. 1/F16. – continuare. Imaginea formei separărilor de grafit din fonta turnată sub formă de piese. Mărirea 100 :1. Aspecte parțiale din etaloane.**



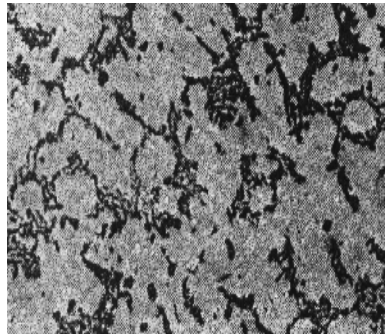
separări izolate; grosime și repartizare  
uniforme – Gr 1



rozete – Gr 2



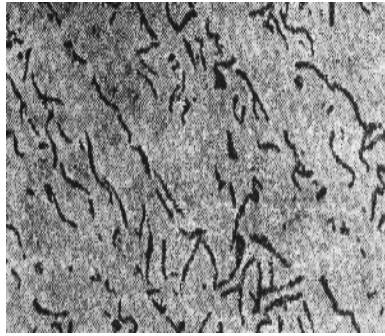
separări izolate; grosime diferită și  
repartizare uniformă – Gr 3



interdendritic punctiform – Gr 4

**Fig.2/F16. Imaginea caracterului repartizării separărilor de grafit în cadrul fontei cenușii – a grafitului lamelar. Mărimea 100:1. Aspecte parțiale din etaloane (continuarea la pagina următoare).**

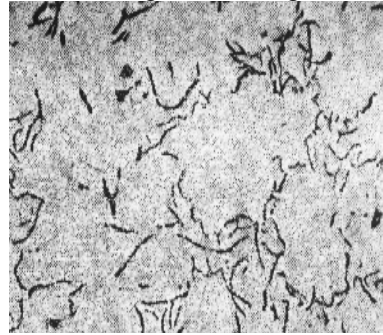




interdendritic lamelar – Gr 5



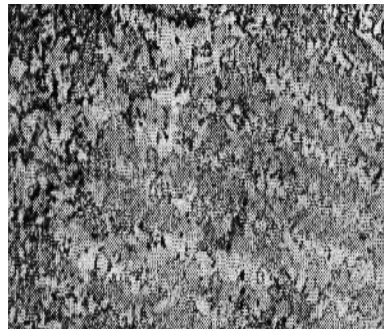
aglomerări cu grad de izolare mic – Gr 6



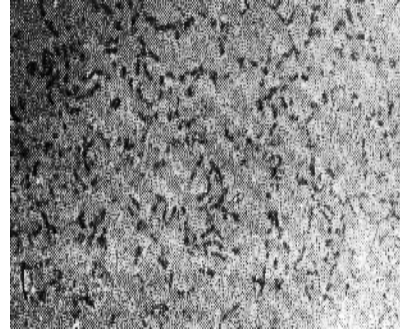
rețea – Gr 7

**Fig.2/F16. – continuare – imaginea caracterului repartizării separărilor de grafit în cadrul fontei cenușii – a grafitului lamelar. Mărimea 100 :1. Aspecte parțiale din etaloane.**

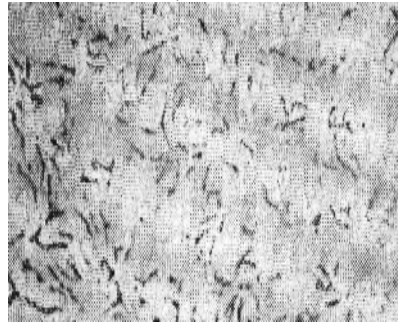
2.1.2. Caracterul repartizării separărilor de grafit în cadrul fontei cenușii – a grafitului lamelar din fonta turnată sub formă de piese – este prezentat în figura 2/F16.



mai mică de 5  $\mu\text{m}$  – Gl 1



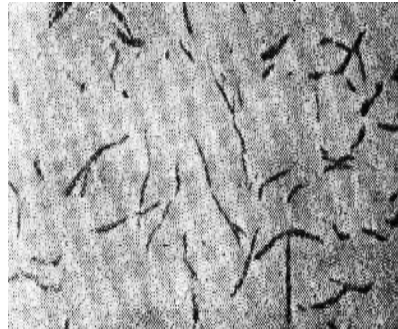
în intervalul 5...10  $\mu\text{m}$  – Gl 2



în intervalul 10...40  $\mu\text{m}$  – Gl 3



în intervalul 40...70  $\mu\text{m}$  – Gl 4



în intervalul 70...125  $\mu\text{m}$  – Gl 5

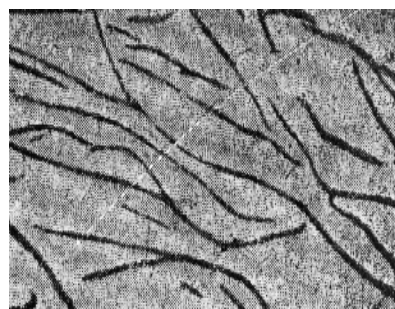


în intervalul 125...250  $\mu\text{m}$  – Gl 6

**Fig. 3/F16. Imaginea considerării lungimii separărilor de grafit în cazul fontei cenușii – lungimea grafitului lamelar. Mărirea 100 :1. Aspecte parțiale din etaloane (continuarea la pagina următoare).**



în intervalul 250...500  $\mu\text{m}$  – G7

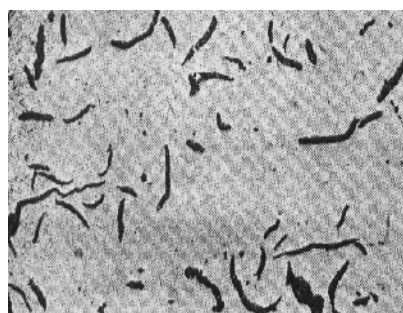


mai mare de 500  $\mu\text{m}$  – G18

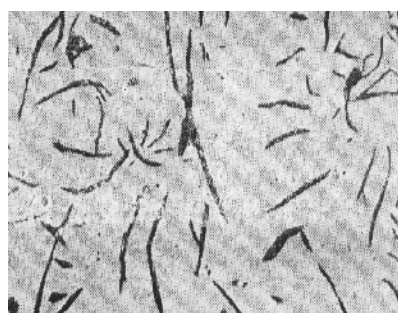
**Fig. 3/F16. – continuare– imaginea considerării lungimii separărilor de grafit în cazul fontei cenușii – lungimea grafitului lamelar. Mărirea 100 :1. Aspecte parțiale din etaloane.**

2.1.3. Lungimea separărilor de grafit în cazul fontei cenușii turnată sub formă de piese – este prezentată în figura 3F/16.

2.1.4. Suprafața ocupată de separările de grafit în cadrul fontei cenușii – arătată în figura 4/F16.



până la 5% – G 3

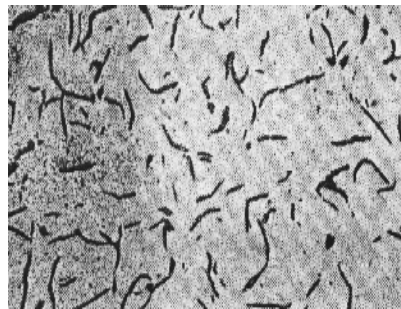


în intervalul 5...10% – G 8

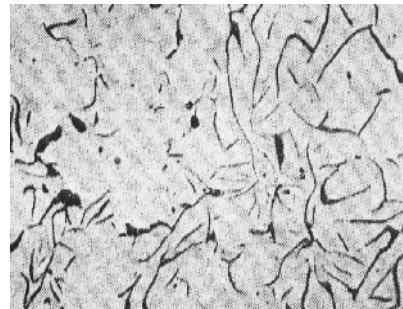
**Fig. 4/F16. Imaginea considerării suprafeței ocupate de separările de grafit lamelar în cazul fontei cenușii. Mărirea 100 :1. Aspecte parțiale din etaloane (continuarea la pagina următoare).**

Caracterizarea fontelor utilizând structuri și scări etalon standardizate

---



până la 5% – G 3



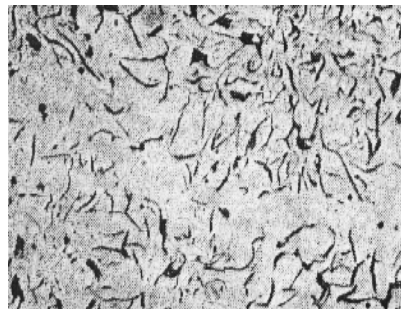
în intervalul 5...10% – G 8



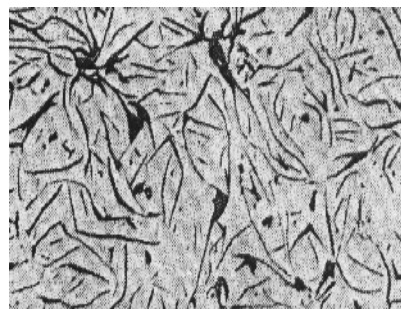
în intervalul 10%...15% – G 12



mai mare de 15% – G 15



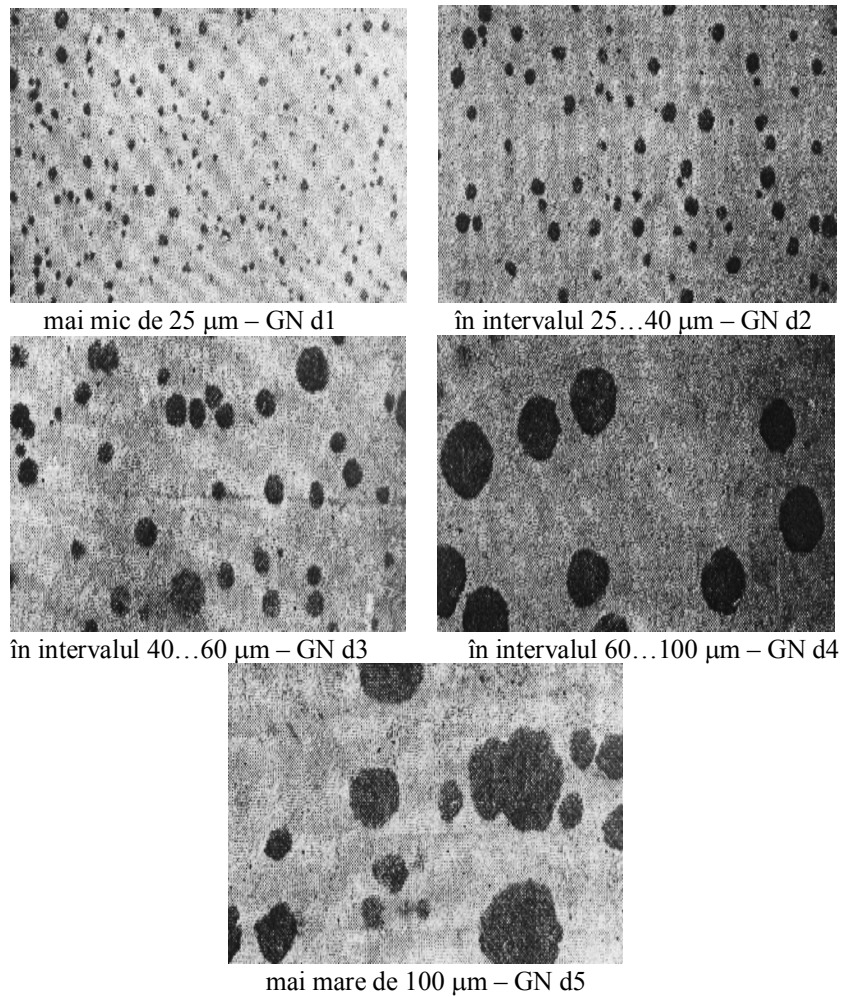
în intervalul 10...15 – G 12



mai mare de 15% – G 15

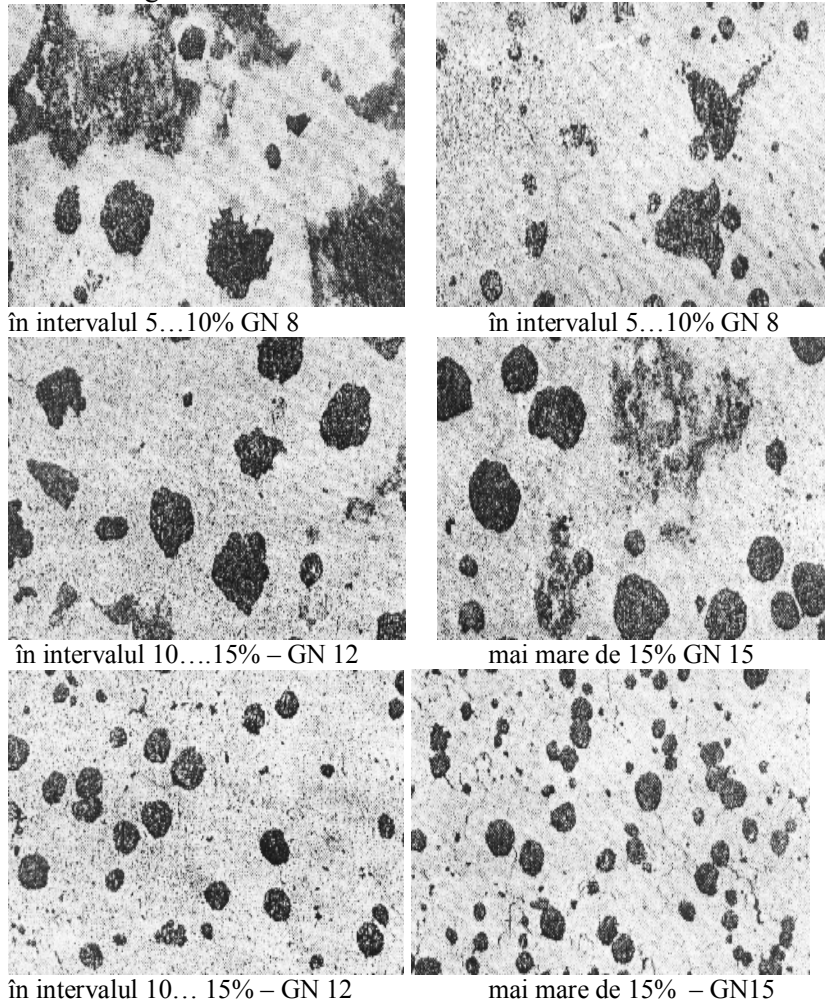
**Fig. 4/F16. Imaginea considerării suprafeței ocupate de separările de grafit lamelar în cazul fontei cenușii. Mărirea 100 :1. Aspecte parțiale din etaloane.**

2.1.5. Diametrul separărilor de grafit corespunzătoare fontei cu grafit nodular – în figura 5/F16.



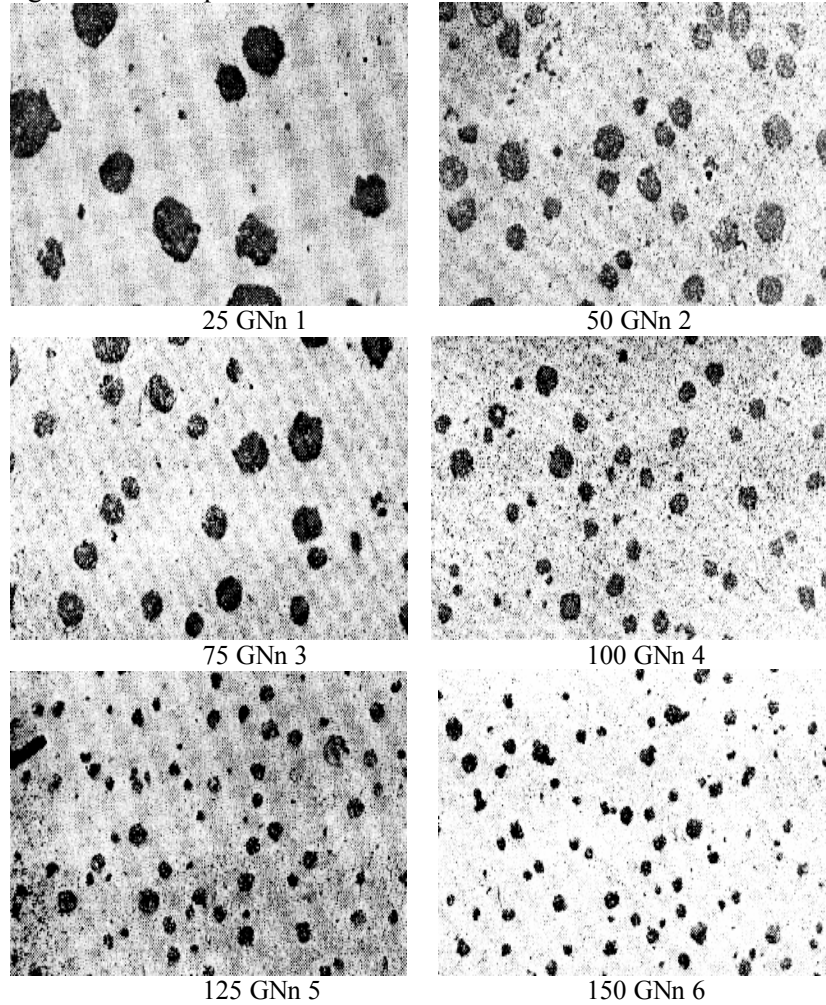
**Fig.5/F16. Imaginea considerării diametrului nodulelor de grafit în cazul fontei cu grafit nodular. Mărirea 100 :1. Aspecte parțiale din etaloane (continuarea la pagina următoare).**

2.1.6. Suprafața ocupată de nodurile de grafit la fonta cu grafit nodular – figura 6/F16.

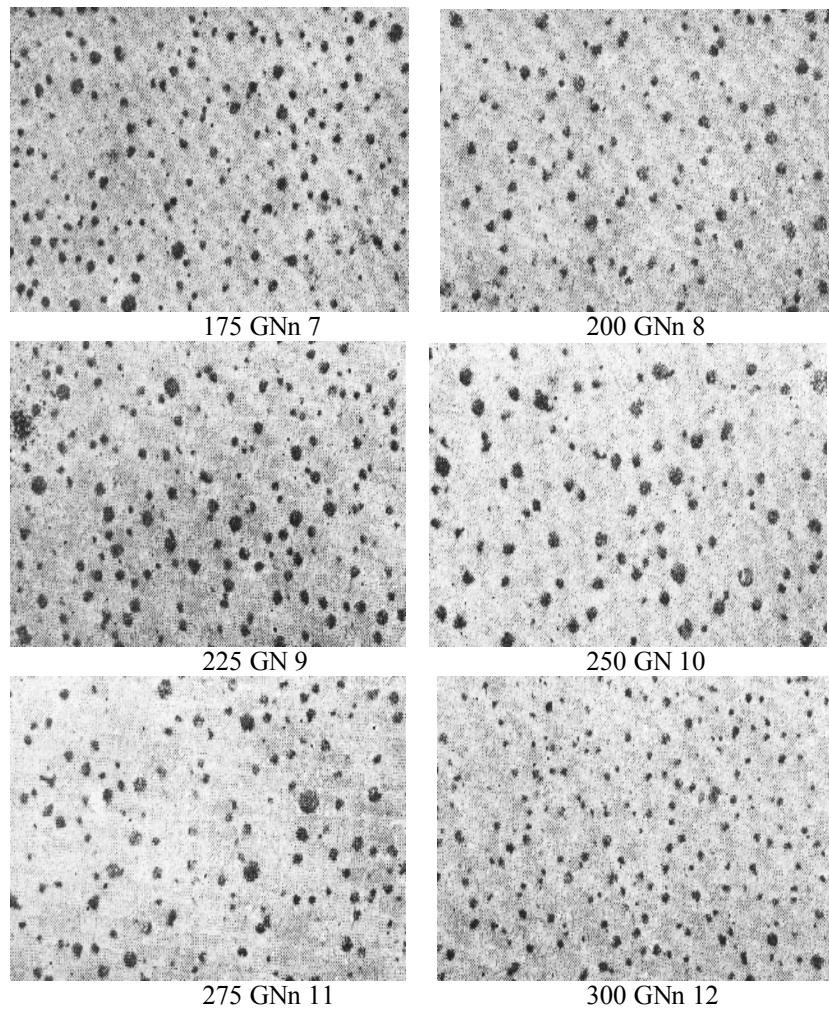


**Fig. 6/F16. – continuare – imaginea considerării suprafeței ocupată de nodurile de grafit în cazul fontei cu grafit nodular. Mărirea 100 :1. Aspecte parțiale din etaloane.**

2.1.7. Numărul nodulelor de grafit la fonta cu grafit nodular – figura 7/F16. Raportarea se face la un  $\text{mm}^2$ .



**Fig. 7/F16. Imaginea considerării numărului de nodule de grafit/ $\text{mm}^2$  în cazul fontei cu grafit nodular. Mărirea 100 :1. Aspecte parțiale din etaloane (continuarea la pagina următoare).**

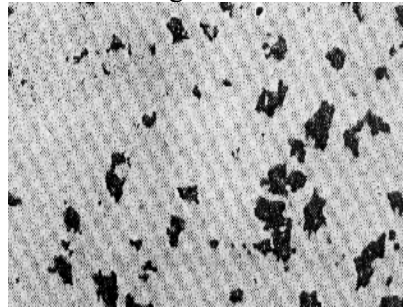


**Fig. 7/F16. – continuare – imaginea considerării numărului de nodule de grafit/mm<sup>2</sup> în cazul fontei cu grafit nodular. Mărirea 100 :1. Aspecte parțiale din etaloane.**

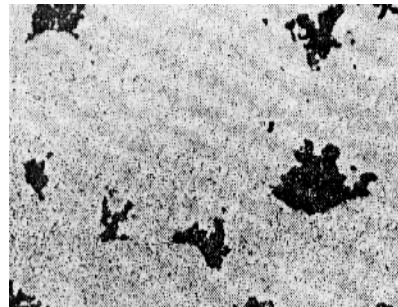
2.1.8. Diametrul separărilor de grafit, în cazul fontei maleabile – figura 8/F16.



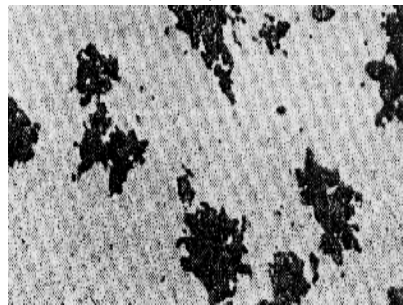
2.1.9. Suprafața ocupată de separările de grafit, în cazul fontei maleabile – figura 9/F16.



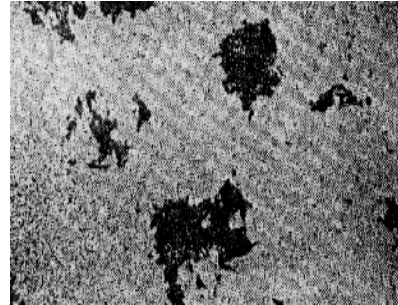
mai mic de 25  $\mu\text{m}$  – GMd 1



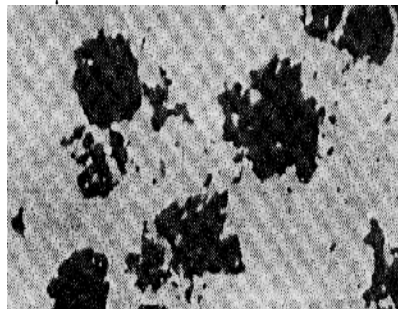
în intervalul 25...40  $\mu\text{m}$  – GMd 2



în intervalul 40...60  $\mu\text{m}$  – GMd

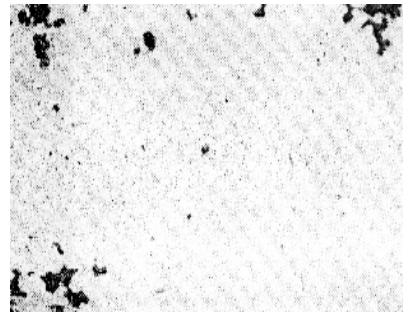


în intervalul 60...100  $\mu\text{m}$  – GMd 4

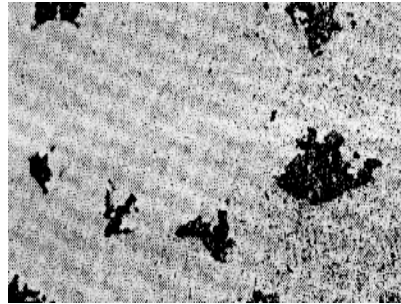


mai mare de 100  $\mu\text{m}$  – GM d5

**Fig.8/F16. – continuare– imaginea considerării diametrului separărilor de grafit în cazul fontei maleabile. Mărirea 100 :1. Aspecte parțiale din etaloane.**



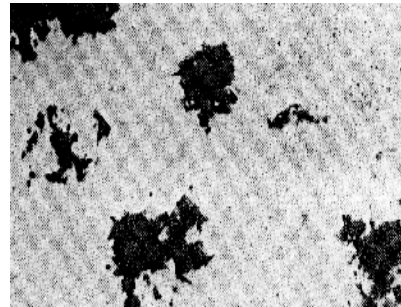
mai mică de 3% – GM 2



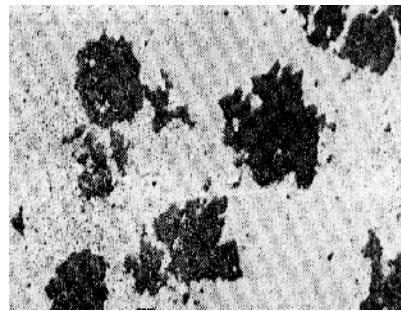
în intervalul 3...5% – GM 4



în intervalul 5...8% – GM 6



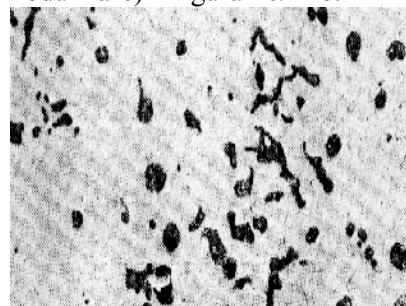
în intervalul 8...12% – GM 10



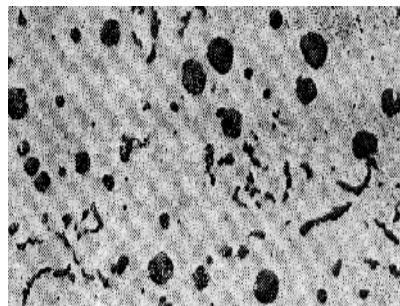
mai mare de 12% – GM 12

**Fig.9/F16. – continuare – imaginea considerării suprafeței ocupate de săparările de grafit în cazul fontei maleabile. Mărirea 100 :1. Aspecte parțiale din etaloane.**

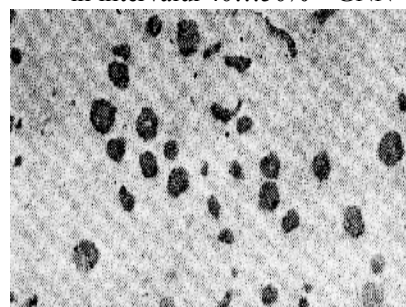
2.1.10. Proporția de grafit nodular din grafitul total (gradul de nodulizare) – figura 10/F16.



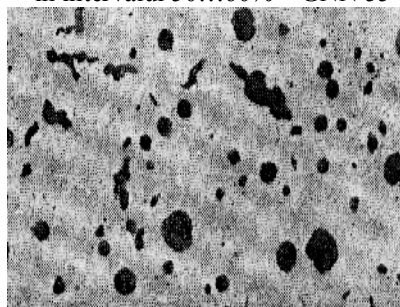
în intervalul 40...50% – GNN 45



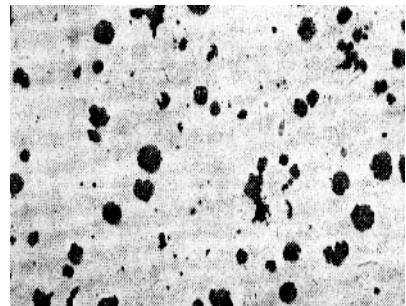
în intervalul 50...60% – GNN 55



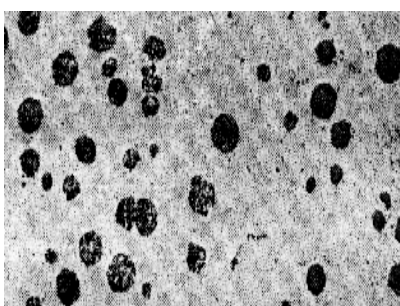
în intervalul 60...70% – GNN 65



în intervalul 70...80% – GNN 75

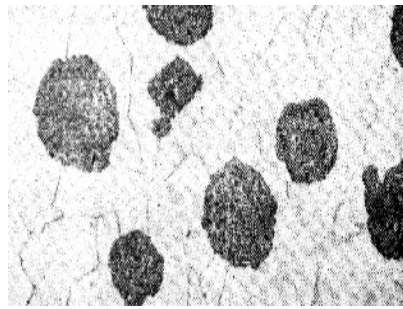


în intervalul 80...90% – GNN 85

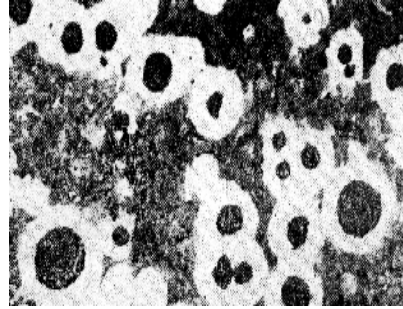


mai mare de 90% – GNN 90

**Fig. 10/F16. – continuare – imaginea proporției de grafit nodular din grafitul total (gradul de nodulizare), în %. Mărirea 100 :1. Aspecte parțiale din etaloane.**



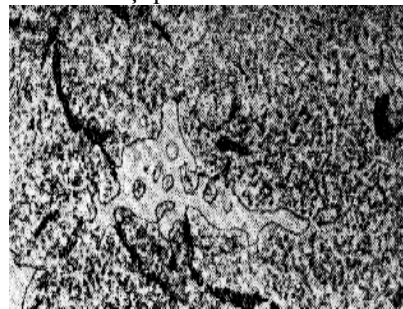
Ferită – F



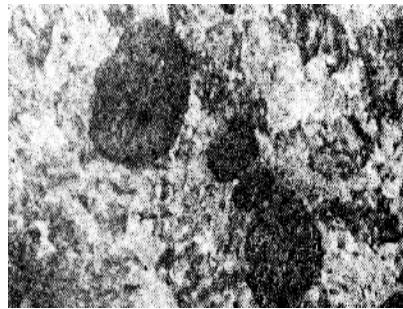
Ferită și perlită – F+P



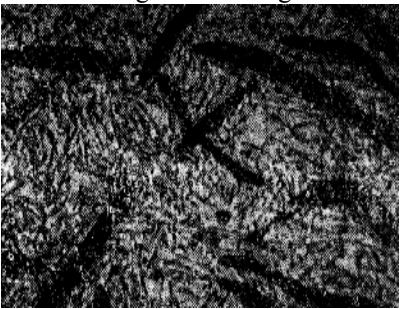
Perlită lamelară – Pl



Perlită globulară – Pg

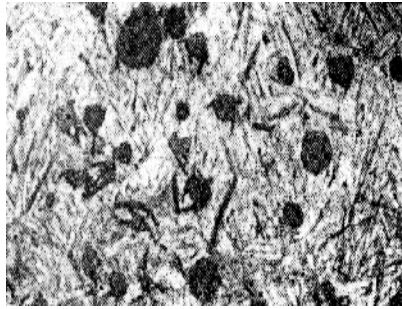


Troostită – T

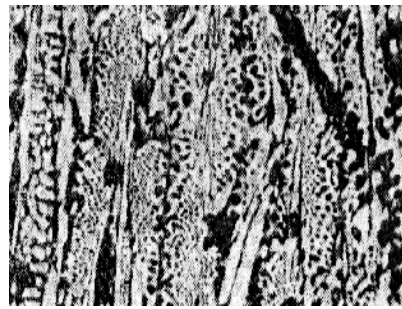


Bainită – B

**Fig.11/F16. Imaginea tipului de structură al masei metalice în cazul fontei sub formă de piese. Mărirea 500 :1. Aspecte parțiale din etaloane (continuarea la pagina următoare).**

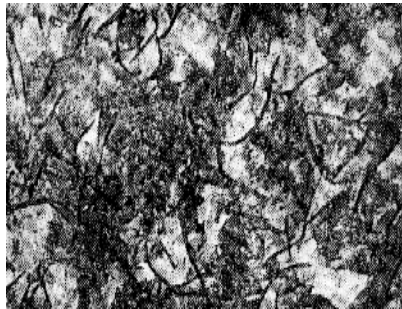


Martensită – M



Ledeburită+cementită – L + C

**Fig.11/F16. – continuare – imaginea tipului de structură al masei metalice în cazul fontei sub formă de piese. Mărirea 500 :1. Aspecte parțiale din etaloane.**

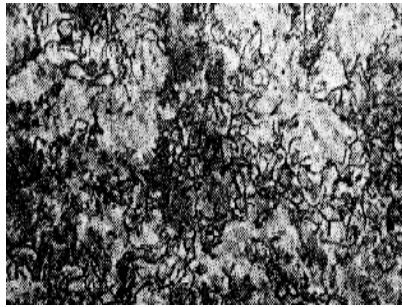


mai mică de 2% – FO/P 100

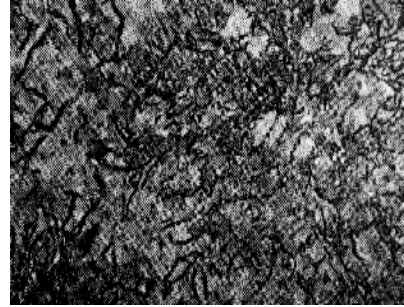


în intervalul 2...5%–F3/P97

**Fig.12/F16. Imaginea suprafeței ocupate de ferită în cazul în care masa metalică este formată din ferită și perlită, la fonta cenușie. Mărirea 100 :1. Aspecte parțiale din etaloane (continuarea la pagina următoare).**



mai mică de 2% – FO/P 100



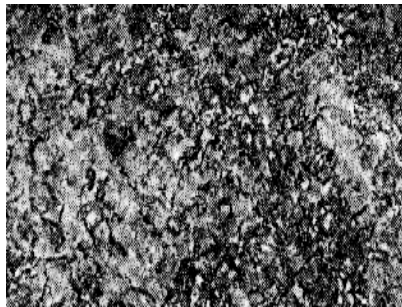
în intervalul 2...5% – F3/P 97



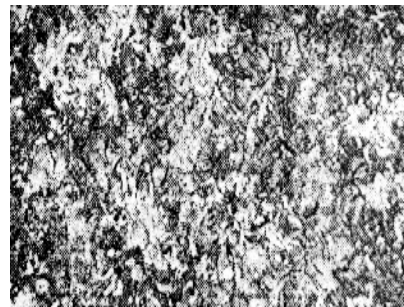
în intervalul 5...10% – F7/P93



în intervalul 10...30% – F20/P80



în intervalul 5...100% – F7/P93



în intervalul 10...30% – F20/P80

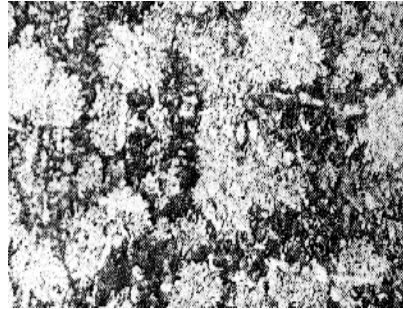
**Fig.12/F16. – continuare – imaginea suprafeței ocupate de ferită în cazul în care masa metalică este formată din ferită și perlită, la fonta cenușie. Mărirea 100 :1. Aspecte parțiale din etaloane (continuarea la pagina următoare).**



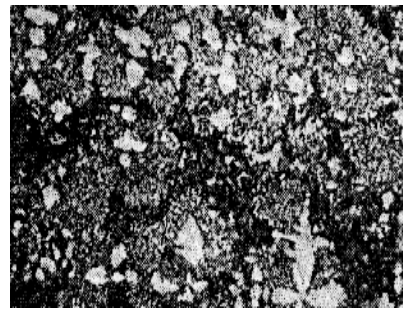
în intervalul 30...50% – F40/P60



în intervalul 50...70% – F60/P40



în intervalul 30...50% – F40/P60



în intervalul 50...70% – F60/P40



în intervalul 70...90% – F80/P20

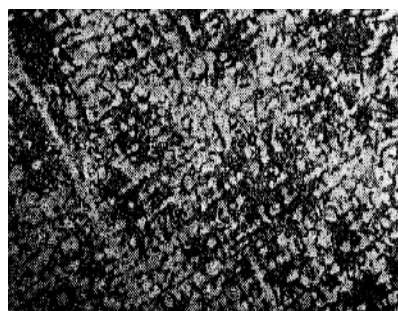


mai mare de 90% – F90/P10

**Fig.12/F16. – continuare – imaginea suprafeței ocupate de ferită în cazul în care masa metalică este formată din ferită și perlită, la fonta cenușie. Mărirea 100 :1. Aspecte parțiale din etaloane (continuarea la pagina următoare).**



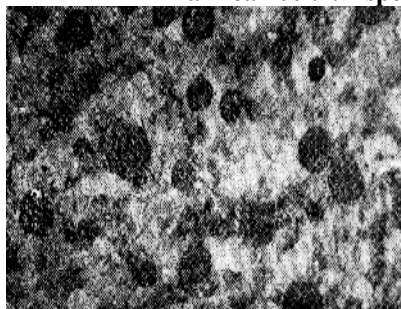
în intervalul 70...90% – F 80/P20



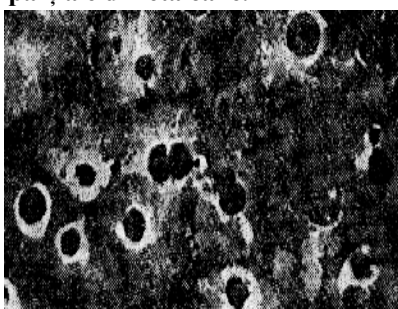
mai mare de 90% – F 90/P10

**Fig.12/F16. – continuare – imaginea suprafeței ocupate de ferită în cazul în care masa metalică este formată din ferită și perlită, la fonta cenușie.**

**Mărirea 100 :1. Aspecte parțiale din etaloane.**



mai mică de 2% – F0/P100

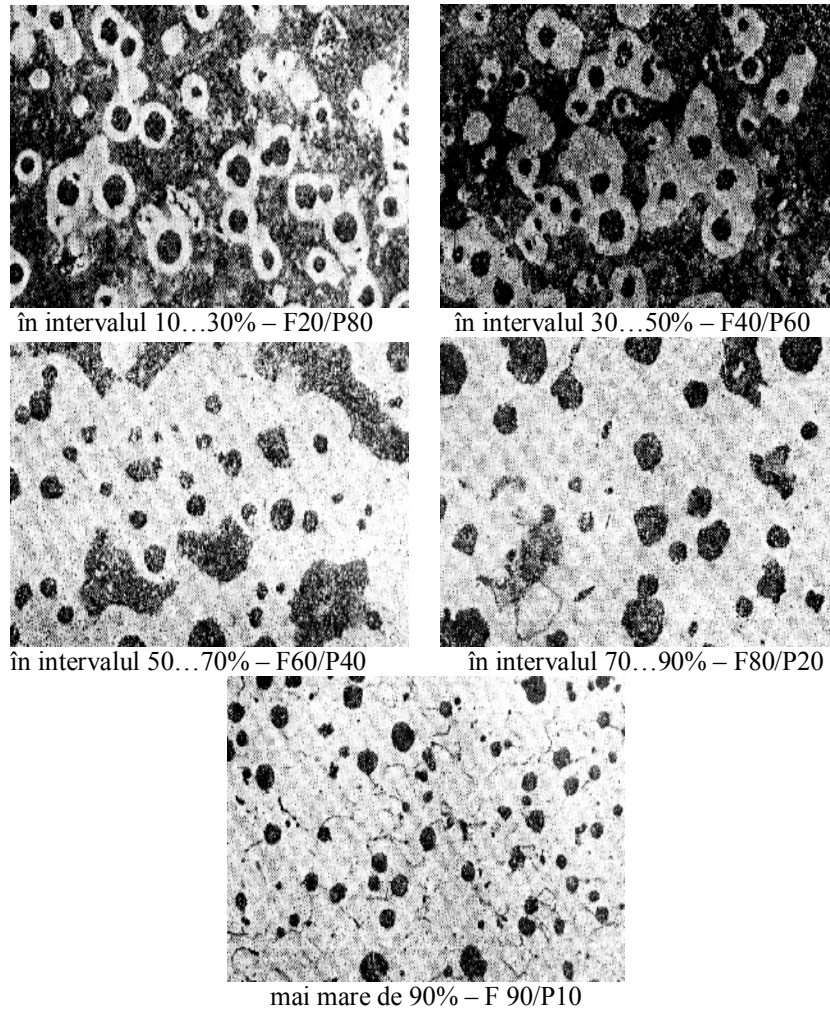


în intervalul 2...10% – F6/P94

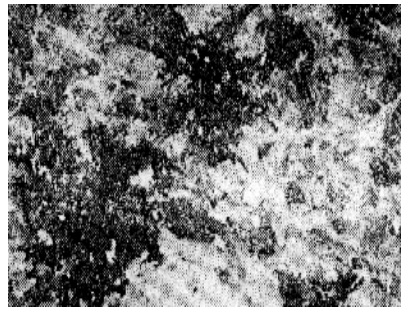
**Fig. 13/F16. Imaginea suprafeței ocupată de ferită în cazul în care masa metalică este formată din ferită și perlită, la fonta cu grafitul nodular.**

**Mărirea 100 :1. Aspecte parțiale din etaloane (continuarea la pagina următoare).**

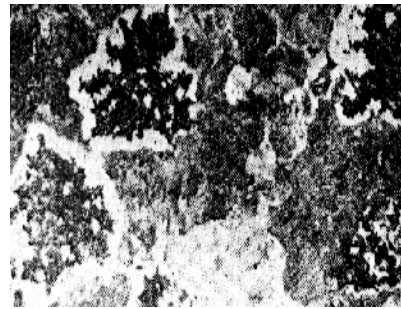




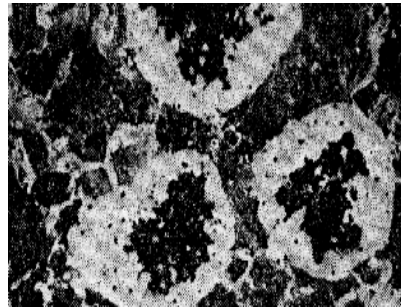
**Fig. 13/F16. – continuare – imaginea suprafeței ocupată de ferită în cazul în care masa metalică este formată din ferită și perlită, la fonta cu grafitul nodular. Mărirea 100 :1. Aspecte parțiale din etaloane.**



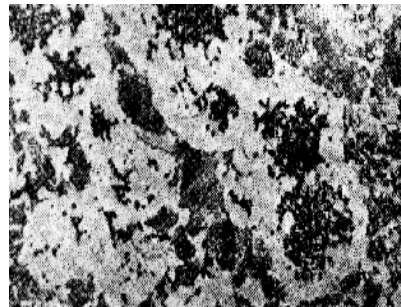
mai mică de 2% – F0/P100



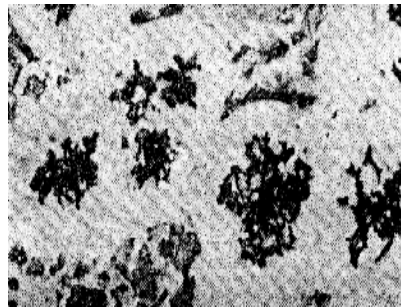
în intervalul 2...10% – F6/P94



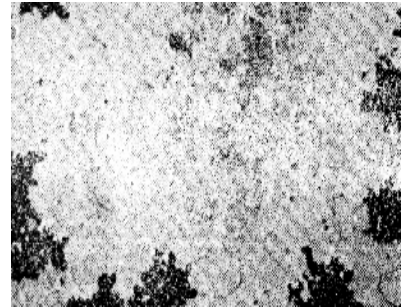
în intervalul 10...30% – F20/P80



în intervalul 30...50% – F40/P60

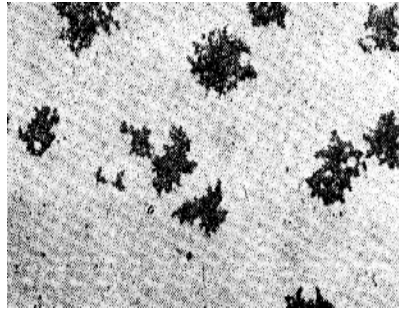


în intervalul 50...70% – F60/P40



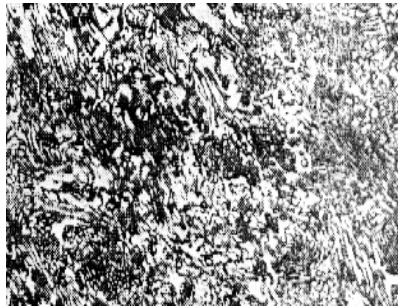
în intervalul 70...90% – F80/P20

**Fig.14/F16. Imaginea suprafeței ocupată de ferită în cazul în care masa metalică este formată din ferită și perlită, la fonta maleabilă. Mărirea 100:1. Aspecte parțiale din etaloane (continuarea la pagina următoare).**

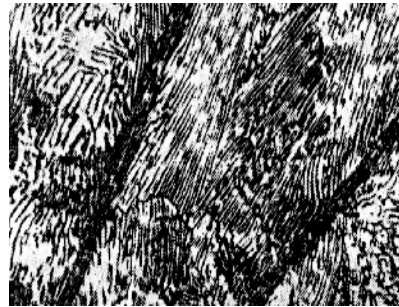


mai mare de 90% – F90/P10

**Fig.14/F16. – continuare – imaginea suprafeței ocupată de ferită în cazul în care masa metalică este formată din ferită și perlită, la fonta maleabilă. Mărirea 100:1. Aspecte parțiale din etaloane.**

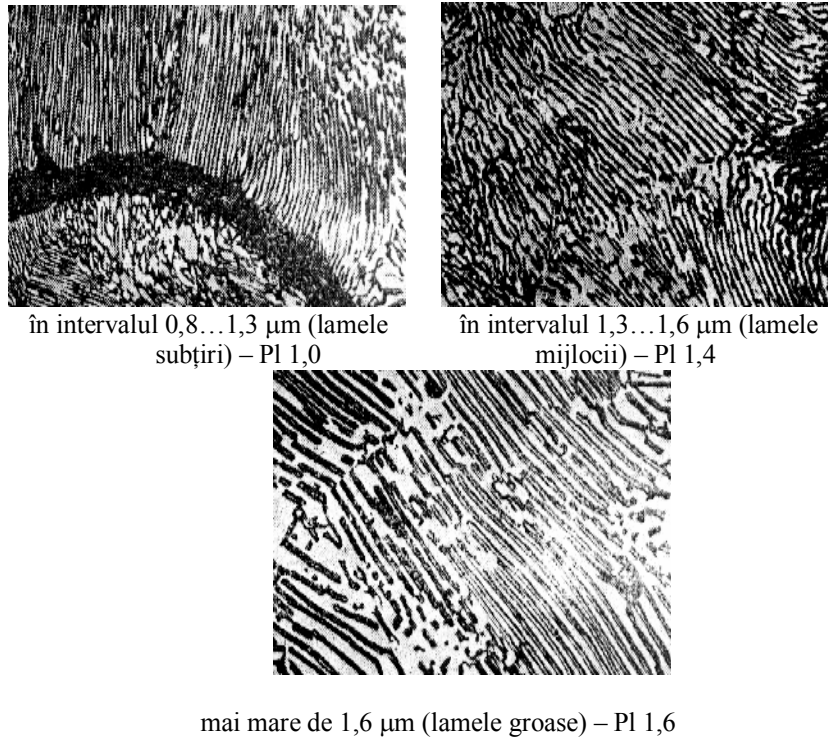


mai mic de 0,3  $\mu\text{m}$  (lamelle foarte fine) – P1 0,2



în intervalul 0,3...0,8  $\mu\text{m}$  (lamelle fine) – P1 0,5

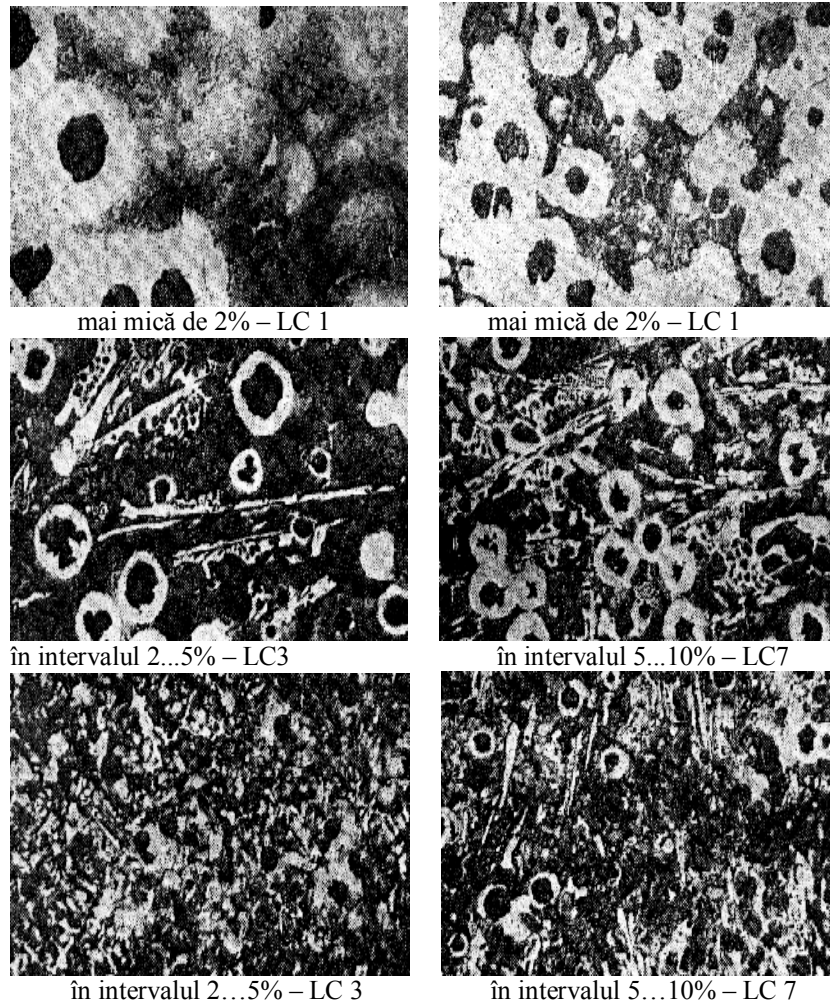
**Fig. 15/F16. Imaginea gradului de dispersie al perlitei (distanța interlamelară). Mărirea 1000 :1. Aspecte parțiale din etaloane (continuarea la pagina următoare).**



**Fig. 15/F16. Imaginea gradului de dispersie al perlitei (distanța interlamelară). Mărirea 1000 :1. Aspecte parțiale din etaloane.**

## **2.2. Structura masei metalice**

2.2.1. Tipul structurii masei metalice (al matricei metalice), în cazul fontei turnate sub formă de piese – figura 11/F16.

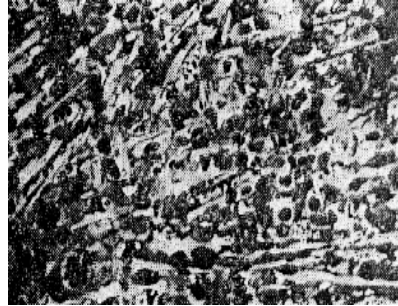


**Fig. 16/F16. Imaginea suprafeței ocupată de cementită+ledeburită. Mărirea 100:1. Aspecte parțiale din etaloane (continuarea la pagina următoare).**

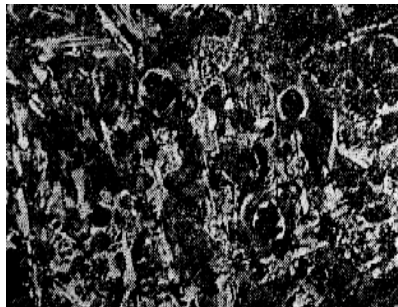
2.2.2. Suprafața ocupată de ferită în cazul în care masa metalică este formată din ferită și perlită la fonta cenușie – figura 12/F16.



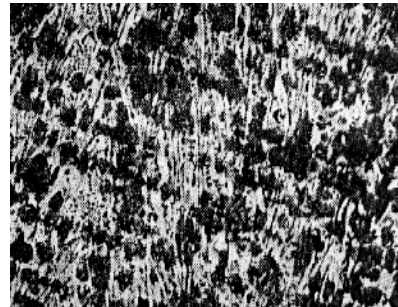
în intervalul 10...20% – LC15



în intervalul 20...30% – LC25

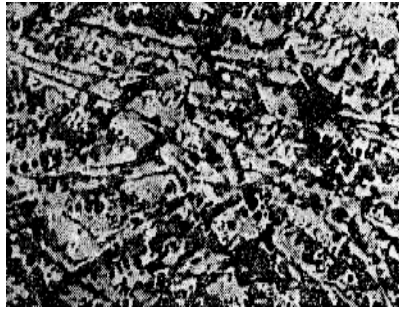


în intervalul 10...20% – LC 15



în intervalul 20...30% – LC 25

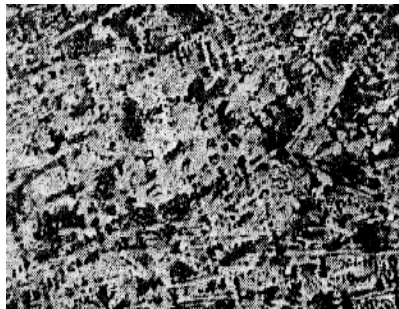
**Fig.16/F16. Imaginea suprafeței ocupată de cementită + ledeburită. Mărirea 100:1. Aspecte parțiale din etaloane (continuarea la pagina următoare).**



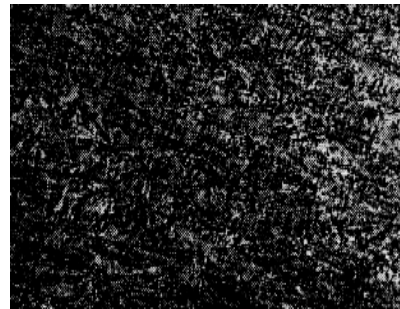
în intervalul 30...40% – LC 35



mai mare de 40% – LC 40



în intervalul 30...40% – LC 35



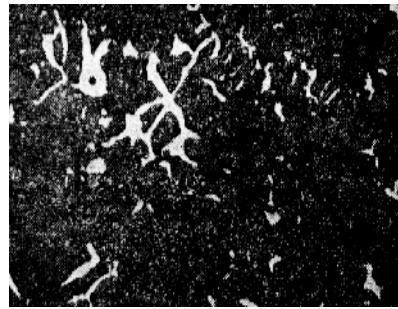
mai mare de 40% – LC 40

**Fig. 16/F16. – continuare – imaginea suprafeței ocupată de cementită+ledeburită. Mărirea 100:1. Aspecte parțiale din etaloane.**

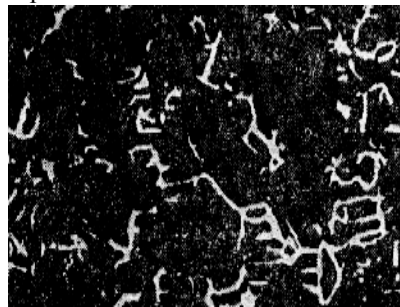
2.2.3. Suprafața ocupată de ferită în cazul în care masa metalică este formată din ferită și perlită, la fonta cu grafit nodular – figura 13/F16.



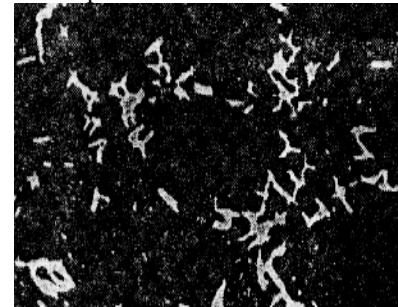
separări izolate mici – E Fr 1



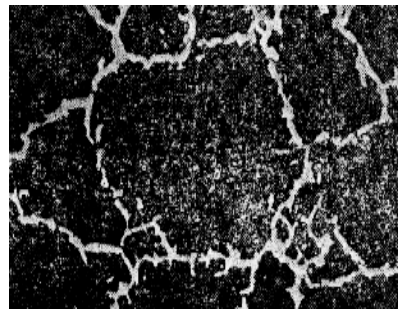
separări izolate mari – EFr 2



rețea discontinuă subțire – EFr 3



rețea discontinuă groasă – EFr 4



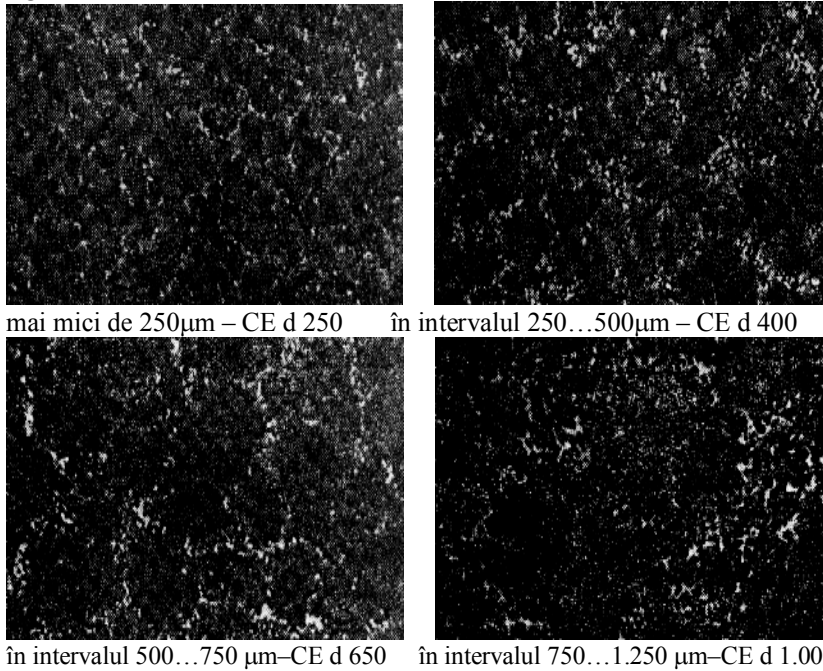
rețea continuă – EFr 5

**Fig. 17/F16.– continuare – imaginea caracterului repartizării eutecticului fosforos. Mărirea 100 :1. Aspecte parțiale din etaloane.**

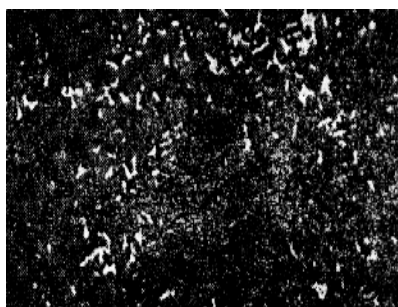


2.2.4. Suprafața ocupată de ferită în cazul în care masa metalică este formată din ferită și perlită, la fonta maleabilă – figura 14/F16.

2.2.5. Gradul de dispersie al perlitei (distanța interlamelară) – figura 15/F16.



**Fig. 18/F16. Imaginea diametrului celulelor eutectice. Mărirea 20 :1.**  
Aspecte parțiale din etaloane (continuarea la pagina următoare).



mai mare de 1.250  $\mu\text{m}$  – CE d 1.250

**Fig. 18/F16. – continuare – imaginea diametrului celulelor eutectice.  
Mărirea 20 :1. Aspecte parțiale din etaloane**

2.2.6. Suprafața ocupată de cementită + ledeburită – figura 16/F16.

2.2.7. Caracterul separării eutecticului fosforos – figura 17/F16.

2.2.8. Diametrul celulelor eutectice – figura 18/F16.

### **3. Modul de lucru**

Cu scopul comparației structurilor cu etaloanele din STAS 6905-85 determinările se fac pe cel puțin cinci locuri reprezentative pentru configurația și grosimea de perete a probei.

Caracterizarea grafitului și masei metalice se face prin compararea structurii examinate cu structurile etalon din STAS 6905-85.

Lucrarea și pregătirea probelor metalografice se face conform STAS 4203-74.

Examinarea la microscop se poate face prin observarea directă, prin proiectare pe geamul mat al microscopului sau prin examinare pe monitorul calculatorului. Câmpul microscopic examinat trebuie să aibă aproximativ aceleași dimensiuni cu micrografiile etalon – cu diametru de circa 80 mm.

Pentru determinarea lungimii sau a diametrelui separărilor de grafit se poate folosi ocularul gradat.

În cadrul lucrării se examinează zece tipuri de fontă, stabilindu-se punctajul – codul conform STAS 6905-85.

Atenție ! Dacă pentru stabilirea punctajului se utilizează figurile 1/F16...18/F16, rezultatele obținute sunt relative deoarece în respectivele figuri se prezintă aspecte parțiale din etaloanele STAS-ului 6905-85. Prin urmare, trebuie să se utilizeze pentru stabilirea punctajului STAS 6905-85.

#### **4. Măsuri speciale de asigurare a securității muncii**

Măsuri speciale de asigurare a securității muncii nu există.

#### **5. Interpretarea rezultatelor**

În urma stabilirii punctajului pentru cele zece tipuri de fontă se trag concluzii asupra particularităților fiecărui tip de fontă față de ceea ce este stipulat în etaloane.

#### **6. Bibliografie**

1. Sofroni, L. Elaborarea și turnarea aliajelor. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1974;

2. Ripoșan, I., Chișamera, M. Tehnologia elaborării și turnării fontei. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1981;

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

Corectarea prin tratament termic a structurii metalografice a fontei cu grafit nodular

**F20. Corectarea prin tratament termic a structurii metalografice a fontei cu grafit nodular**

**1. Scopul**

Analizarea aspectelor structurale ale fontei cu grafit nodular și variația structurii metalografice prin tratament termic.

**2. Considerații generale**

Fonta cu grafit nodular este reglementată de standardul SR ISO 1083.

Fonta cu grafit nodular se mai numește și fontă cu grafit sferoidal.

Masa metalică de bază se implică esențial în asigurarea proprietăților mecanice de rezistență.

În tabelul 1/F20 se prezintă proprietățile mecanice determinate pe epruvete prelevate din probe turnate separat și, informativ, duritatea împreună cu constituintul metalografic predominant în structură.

Tabelul 1/F20

**Proprietăți mecanice determinate pe epruvete prelevate din probe turnate separat și constituintul metalografic predominant în structură.**

Marca	Rezistența la tracțiune, minimă, $R_m$ , în $N/mm^2$	Limita de curgere convențională, minimă, $R_p0,2$ , în $N/mm^2$	Alungirea la rupere, minimă, $A$ , în %	Informativ	
				Duritatea Brinell, în HBS	Constituent predominant în structură
900-2	900	600	2	280...360	bainită sau martensită de revenire
800-2	800	480	2	245...335	perlită sau structură de revenire
700-2	700	420	2	225...305	perlită
600-3	600	370	3	190...270	perlită+ferită
500-7	500	320	7	170...230	ferită+perlită
450-10	450	310	10	160...210	ferită
400-15	400	250	15	130...180	ferită
400-18	400	250	18	130...180	ferită
350-22	350	220	22	≤ 150	ferită

Corectarea prin tratament termic a structurii metalografice a fontei cu grafit nodular

Fonta cu grafit nodular trebuie să conțină grafit de forma V sau VI, conform ISO 945.

Valorile minime ale energiei de rupere, prin șoc mecanic pe epruvete prelevate din probe turnate separat pentru mărcile de fontă 400-18 și 350-22 se prezintă în tabelul 2/F20.

Piesele din fontă cu grafit nodular se livrează, în cazul în care se determină proprietățile mecanice pe probe turnate separat, respectându-se rezistența la tracțiune, limita de curgere convențională și alungirea la rupere pentru fiecare marcă de fontă, conform tabelului 1/F20 reglementat de standardul SR ISO 1083. Prin urmare, structura metalografică nu este impusă de standard. Pentru obținerea celor 9 mărci de fontă cu grafit nodular se poate regla compoziția chimică și structura metalografică.

Tabelul 2/F20

**Valori minime ale energiei de rupere prin șoc determinate pe epruvete prelevate din probe turnate separat**

Marca	Valori minime ale energiei de rupere la șoc, în jouli, pe epruvete cu creștătură în V					
	La temperatura ambiantă (23±5) <sup>0</sup> C		La temperatura de (-20±2) <sup>0</sup> C		La temperatura de (-40±2) <sup>0</sup> C	
	Valoare medie a 3 determinări	Valoare individuală	Valoare medie a 3 determinări	Valoare individuală	Valoare medie a 3 determinări	Valoare individuală
400-18	14	11	–	–	–	–
400-18 L*	–	–	12	9	–	–
350-22	17	14	–	–	–	–
350-22 L	–	–	–	–	12	19

\* - litera L indică faptul că mărcile corespunzătoare au specificată energia de rupere la temperaturi scăzute.

În stadiul de piese brut turnate, reglarea proprietăților mecanice ale fontei cu grafit nodular se poate realiza numai prin

Corectarea prin tratament termic a structurii metalografice a fontei cu grafit nodular

tratament termic.

Compoziția chimică și tratamentul termic sunt la alegerea producătorului de piese turnate.

În principiu, compoziția chimică se stabilește în funcție de grosimea de perete, gradul de aliere, călibilitatea necesară și caracteristicile mecanice prescrise.

În cazul în care fonta cu grafit nodular este cu structură bainitică, compoziția chimică informativă este cea prezentată în tabelul 3/F20.

Tabelul 3/F20

**Compoziția chimică informativă a fontei cu grafit nodular cu structura bainitică**

Elementul chimic	Conținutul, în %	Abaterea limită, în %
Carbon	3,40...3,50	± 0,20
Siliciu	2,20...2,60	± 0,20
Mangan	max. 0,40	± 0,05
Fosfor	max. 0,05	*
Sulf	max. 0,02	*
Magneziu	0,03...0,06	*
Nichel	max. 2,00	+ 0,01
Cupru	max. 0,80	+ 0,05
Molibden	max. 0,30	+ 0,05

\* – se stabilesc prin acord între producător și beneficiar

La compoziția chimică prezentată în tabelul 3/F20, conform SR 13169, se admit conținuturile maxime de impurități următoare: Al–0,05%; Sb–0,002%; Bi–0,002%; As–0,02%; B–0,002%; Cd–0,005%; Pb–0,002%; Se–0,03%; Te–0,02%; Sn–0,02%; Ti–0,04%. Carbonul echivalent trebuie să fie cuprins în intervalul 4,3...4,6% și se calculează cu relația 1/20.

$$C_{\text{echiv.}} = C_t + 0,3 \cdot \% \text{ Si}, \quad (1/F20)$$

în care  $C_{\text{echiv.}}$  reprezintă carbonul echivalent;  $C_t$  – proporția de carbon din fontă; % Si – proporția de siliciu din fontă.

Caracteristicile mecanice ale marilor de fontă cu grafit nodular cu structură bainitică, conform standardului SR 13169 sunt

Corectarea prin tratament termic a structurii metalografice a fontei cu grafit nodular

cele prezentate în tabelul 4/F20.

Tabelul 4/F20

**Caracteristicile mecanice ale marilor de fontă cu grafit nodular cu structură bainitică, conform standardului SR 13169**

Marca fontei	Rezistența la rupere, minimă, $R_m$ , în $N/mm^2$	Limita de curgere convențională, minimă, $R_{p0,2}$ , în $N/mm^2$	Alungirea la rupere, A, în %	Duritatea Brinell, HB	Energia de rupere, minimă, în J
Fgn B 800	800	500	10	260...320	100
Fgn B 900	900	600	8	280...340	90
Fgn B 1.000	1.000	700	5	300...380	80
Fgn B 1.100	1.100	820	3	360...420	70
Fgn B 1.200	1.200	850	2	380...450	50
Fgn B 1.400	1.400	1.000	–	450...550	–

La modul general, în cazul fontei cu grafit nodular nealiată, compoziția chimică pentru fonta finală (după modificare și solidificare) este cea prezentată, orientativ, în tabelul 5/F20.

Tabelul 5/F20

**Compoziția chimică, orientativă, pentru fonta cu grafit nodular nealiată, în cazul fontei finale (după modificare și solidificare)**

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

#### Corectarea prin tratament termic a structurii metalografice a fontei cu grafit nodular

Pentru fontele cu grad de aliere mic cu grafit nodular, compoziția chimică de bază este următoare: 2,5...3,9% C, 1,0...6,5% Si, 0,1...0,8% Mn, max. 0,05% P și max. 0,03% S.

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

În cazul fontelor cu grad de aliere mare pentru nichel, cu grafit nodular, conținutul de carbon este de max. 3%, cel de siliciu variază în intervalul 1,0...6,0%, cel de mangan este situat între limitele 0,5...7,0% iar cel de fosfor este de max. 0,08%.

Fontele cu grad de aliere mare pentru siliciu, cu grafit nodular, au compoziția chimică de bază următoare: 0,5...0,8% C, 14...16% Si, 0,3...0,8% Mn, max. 0,1% P și max. 0,03% S.

Fontele cu grad de aliere mare pentru aluminiu, cu grafit nodular, au următoarea compoziție chimică: 1,6...2,5% C, 1,6...2,0% Si, max. 0,8% Mn, max. 0,2% P și max. 0,03% S.

Pentru obținerea fontei cu grafit nodular cu matricea metalică feritică, se recomandă ca fonta ce se modifică să aibă, printre altele, 0,04...0,4% Mn, 0,015...0,100% P și 0,015...0,030% S, [1],[2].

#### Recoacerea grafitizantă

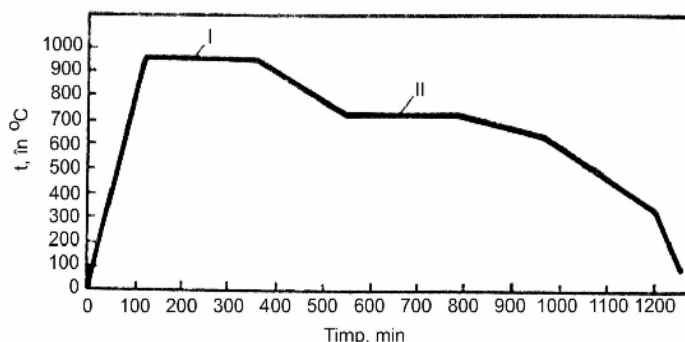
Există trei tipuri de recoaceri grafitizante, în funcție de scopul urmărit, acestea fiind următoarele:

- descompunerea cementitei libere și obținerea feritei;
- descompunerea cementitei libere;
- descompunerea cementitei legate.

În figura 1/F20 se prezintă diagrama recoacerii grafitizante de descompunere a cementitei libere și de obținere a feritei. Acest tratament termic se mai numește recoacere de grafitizare completă.



### Corectarea prin tratament termic a structurii metalografice a fontei cu grafit nodular



**Fig. 1/F20. Recoacerea grafitizantă de descompunere a cementitei libere și de obținere a feritei: I – primul stadiu de grafitezare; II – stadiul al II-lea de grafitezare; t – temperatura.**

#### Recoacerea grafitizantă completă

Recoacerea grafitizantă completă se aplică în cazul în care se urmărește obținerea fontei cenușii cu grafit nodular feritice, pornind de la fonta ce prezintă în structură cementită liberă iar matricea metalică, de exemplu, este perlitică sau ferito-perlitică.

Tratamentul termic constă în următoarele etape:

– încălzirea fontei în domeniul austenitic, la o temperatură cuprinsă în intervalul 900...950°C. Viteza de încălzire trebuie să fie mică, cum ar fi, de exemplu, încălzire timp de 1h 25 min (circa 630°C/h).

Temperatura de 900...950°C se alege pe criteriul că descompunerea cementitei libere, conform reacției chimice (2/F20), se face cu o viteză suficient de mare, [3].



Dacă temperatura de austenitizare s-ar mări, s-ar micșora durata de grafitezare, însă ar crește pericolul de deformare a pieselor, de topire a eutecticului fosforos și de suprasolicitare termică a cuptoarelor.

Dacă temperatura de austenitizare se micșorează, durata de grafitezare ar fi prea mare.

#### Corectarea prin tratament termic a structurii metalografice a fontei cu grafit nodular

Grafitizarea cementitei libere constă în disocierea cementitei libere, dizolvarea carbonului, difuzia carbonului prin austenită spre germeii de grafit și cristalizarea grafitului;

– menținerea în domeniul austenitic timp de 1...2 ore, în funcție de grosimea pereților pieselor, cu scopul realizării stadiului I de grafitizare.

Atomii de carbon difuzează prin austenită și cristalizează pe germeii care se formează fie la suprafața de contact austenită-cementită, fie la suprafața de contact grafit-austenită.

În timpul menținerii în domeniul austenitic este posibil ca o parte din grafitul existent în structură să se dizolve în austenită.

Carbonul rezultat din descompunerea cementitei libere va cristaliza după geometria grafitului existent în fontă. Astfel, dacă fonta este cu grafitul lamelar, carbonul va cristaliza, de asemenea, lamelar. Dacă fonta este cu grafitul nodular, carbonul va cristaliza, de asemenea, nodular.

Nu este indicat să se adopte temperaturi prea mari de austenitizare, deoarece o încălzire la temperaturi prea mari în primul stadiu de grafitizare frânează feritizarea în al doilea stadiu de grafitizare, [4].

Durata de menținere în domeniul austenitic depinde și de cantitatea de cementită liberă din structură ce trebuie descompusă.

În cazul în care se urmărește obținerea unor alungiri mari, este obligatorie încălzirea și menținerea în domeniul austenitic la temperaturi mari (900...950°C). Se apreciază că este nevoie chiar de prelungirea duratei de menținere cu scopul omogenizării fontei în siliciu și egalizarea concentrației vacanțelor prin autodifuzia atomilor de fier.

Viteza de grafitizare este cu atât mai mare cu cât dimensiunile separărilor de cementită liberă sunt mai mici iar numărul lor este mai mare. Prin mărirea numărului separărilor de cementită liberă se mărește suprafața de contact dintre austenită și cementită, ceea ce determină accelerarea procesului de germinare a grafitului și de difuzie a carbonului;

– răcirea cu viteză mare până la o temperatură cuprinsă în

#### Corectarea prin tratament termic a structurii metalografice a fontei cu grafit nodular

intervalul 780...800°C, timp în care din austenita saturată în carbon se separă grafitul secundar ce se depune peste separările existente de grafit. Viteza de răcire este, de exemplu, 45°C/h.

Conform [5], fonta se poate răci de la temperatura de 900...950°C cu o viteză superioară celei menționate la aliniatul anterior până la temperatura de circa 500°C – răcire forțată – după care fonta se reîncălzește până la o temperatură din intervalul de 780...800°C, cu o viteză de circa 630°C/h;

– răcirea cu o viteză foarte mică (25...50°C/h) în intervalul eutectoid de temperaturi, ceea ce reprezintă practic o menținere la temperatura eutectoidă. Intervalul eutectoid de temperaturi variază de la 800...780°C până la 720...700°C. În intervalul eutectoid de temperaturi austenita se descompune în ferită și grafit eutectoid, această transformare fiind stadiul al II-lea de grafitizare;

– răcirea în cuptor de la intervalul eutectoid de temperaturi până la temperatura de circa 400°C (viteza de răcire este de ordinul 30...40°C/h).

În timpul răcirii în cuptor până la temperatura de circa 400°C se realizează și detensionarea pieselor;

– răcirea în aer până la temperatura mediului ambiant de la temperatura de circa 400°C.

Stadiul al doilea de grafitizare poate fi extins până la 5...10 h.

Răcirea în cuptor durează în practică 2...3 h.

#### Recoacerea de descompunere a cementitei libere

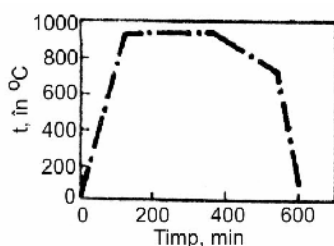
În figura 2/F20 se prezintă diagrama de recoacere de descompunere a cementitei libere.

Recoacerea de descompunere a cementitei libere se aplică, în principiu, fontei cu grafit nodular cu matricea metalică perlitică ce are cementită liberă.

Această recoacere are numai stadiul I de grafitizare și întotdeauna se obține o matrice metalică perlitică deoarece în intervalul eutectoid de temperaturi fonta se răcește cu viteză relativ mare – de exemplu, 75°C/h. Prin urmare, nu este exclus ca să se trateze și fontă cu grafit nodular ferito-perlitică sau perlito-feritică ce

Corectarea prin tratament termic a structurii metalografice a fontei cu grafit nodular

conține cementită liberă, cu scopul obținerii unei matrice metalice în totalitate perlitică.



**Fig.2/F20. Diagrama de recoacere de descompunere a cementitei libere: t – temperatura.**

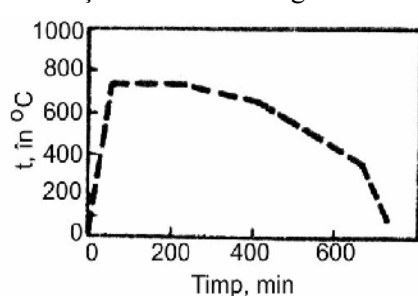
Parametrii de tratament termic pentru descompunerea cementitei libere sunt identici cu acei prezentați la recoacerea de grafitizare completă.

Recoacerea de descompunere a cementitei libere se mai numește recoacerea de grafitizare cu stadiul al II-lea incomplet.

**Recoacerea de descompunere a cementitei legate**

Recoacerea de descompunere a cementitei legate se aplică fontei cu grafit nodular ce nu are în structură cementită liberă și ce are matricea metalică perlitică sau perlito-feritică, cu scopul transformării acesteia în matrice metalică feritică.

Recoacerea de descompunere a cementitei legate se mai numește recoacerea de grafitizare cu stadiul I incomplet.



**Fig.3/F20. Diagrama de descompunere a cementitei legate: t – temperatura.**

Încălzirea în domeniul austenitic se face doar cu scopul transformării în austenită a cementitei legate din perlită. Pentru acest scop nu sunt necesare temperaturi mari de menținere în domeniul austenitic, acestea fiind de maximum 800°C. Timpul de menținere în domeniul austenitic este în funcție de mărimea pieselor – grosimea

### Corectarea prin tratament termic a structurii metalografice a fontei cu grafit nodular

de perete (se poate aplica metoda de 1 h de menținere pentru fiecare 25 mm grosime de perete).

Răcirea în domeniul eutectoid de temperaturi se face conform stadiului al II-lea de grafitizare de la recoacerea de grafitizare completă.

### Normalizarea

Normalizarea se aplică fontelor cu grafit nodular ce au matricea metalică feritică sau ferito-perlitică în vederea transformării ei în matrice metalică perlitică.

Fonta ce se normalizează nu are în structură cementită liberă.

În vederea normalizării, fonta se încălzește în domeniul austenitic, la temperatura de circa  $950^{\circ}\text{C}$  și se menține la această temperatură în vederea saturării austenitei în carbon prin dizolvarea separărilor de grafit nodular în aceasta (dacă austenita nu se saturează în carbon, nu este posibilă obținerea unei matrici metalice perlitice în totalitate).

În vederea dizolvării grafitului în austenită, se pot lua următoarele măsuri:

- conținutul elementelor chimice de bază al fontei (Si, Mn, P, S) precum și al celor de aliere să fie minim;
- fonta ce se normalizează să aibă cât mai multă perlită în matricea metalică;
- diametrul nodulelor de grafit să fie cât mai mic;
- gradul de compactitate al grafitului să fie cât mai mare;
- temperatura de menținere în domeniul austenitic să fie cât mai mare.

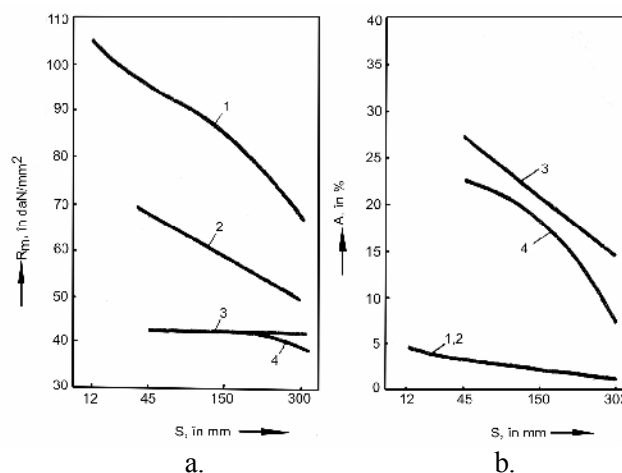
Timpul de dizolvare al grafitului în austenită este de 2...4 h.

După menținerea în domeniul austenitic, urmează răcirea până la temperatura mediului ambiant cu o viteză în intervalul eutectoid de temperaturi de  $50...100^{\circ}\text{C}/\text{min}$  pentru ca austenita să se transforme exclusiv în perlită.

Prin aplicarea normalizării se realizează și mărirea gradului de dispersie al perlitiei împreună cu mărirea numărului de grăunți de perlită.

### Corectarea prin tratament termic a structurii metalografice a fontei cu grafit nodular

În figura 4/F20 se prezintă, pentru o fontă dată, variația rezistenței la tracțiune – a. – și a alungirii – b. – în funcție de grosimea de perete, în cazul aplicării normalizării – 1 –, recoacerii complete – 3 – și recoacerii cu stadiul I incomplet – 4 –, în comparație cu fonta în stare brut turnată – 2.



**Fig. 4/F20. Variația rezistenței la tracțiune și a alungirii în funcție de grosimea de perete: S – grosimea de perete;  $R_m$  – rezistența la tracțiune; A – alungirea; 1 – după normalizare; 2 – în stare brut turnată; 3 – după recoacere completă; 4 – după recoacere cu stadiul I incomplet.**

### Călirea și revenirea

Călibilitatea fontei cu grafit nodular, față de oțel, în circumstanțele aceleiași matrice metalice, este mai mică din cauza prezenței grafitului ce micșorează stabilitatea austenitei în timpul răcirii, micșorare ce inițiază transformarea austenitei în ferită și perlită, adică în constituenți metalografici de echilibru.

Din cauza prezenței grafitului, austenita nu este omogenă în ceea ce privește conținutul de carbon, din acest punct de vedere fonta cu grafit nodular având cel mai bun comportament față de toate categoriile de fontă cenușie, ceea ce are influență negativă asupra constituenților metalografici specifici călirii.

#### Corectarea prin tratament termic a structurii metalografice a fontei cu grafit nodular

La prezența grafitului, ca factor negativ de călire, se adaugă, în același sens de influență, și prezența conținuturilor mari – în raport cu oțelul – de siliciu, sulf și fosfor.

Călirea și revenirea se desfășoară în două etape, acestea fiind următoarele:

– călirea propriu-zisă. Fonta se încălzește în domeniul austenitic, la temperatura de circa  $900^{\circ}\text{C}$  și se menține la această temperatură cu scopul saturării austenitei în carbon. În lipsa saturației în carbon, în condițiile răcirii în apă sau în ulei, așa cum se și tratează fonta după ce s-a saturat austenita în carbon, austenita nu se mai transformă în martensită, așa cum, de altfel, este și scopul călirii. Prin urmare, în urma răcirii fontei în apă sau ulei, se obține în structură martensită ce are rezistență mecanică mare, însă, are alungire mică (martensita este o soluție solidă suprasaturată, instabilă, de carbon în  $\text{Fe}_{\alpha}$ , ce se obține numai în condiții de răcire cu viteză foarte mare – peste  $200^{\circ}\text{C/s}$ ; la asemenea viteze de răcire mari, carbonul nu reușește să se separe din soluția solidă de carbon în  $\text{Fe}_{\alpha}$ , formând o falsă soluție, suprasaturată). În condiții practice, pe lângă martensită se obține și austenită reziduală, [6].

Dacă piesele de fontă cu grafit nodular au în structură cementită liberă (acest lucru se întâmplă, în special, atunci când modificarea se realizează cu magneziu ce are un puternic caracter antigrafitizant), în vederea călirii, trebuie supuse unei operații de tratament termic de recoacere de grafitizare cu stadiul al II-lea incomplet.

Cu scopul prevenirii transformării austenitei în structuri ce conțin ferită, se impune respectarea unei viteze minime de călire ce este în funcție de compoziția chimică a fontei (de exemplu, elementele chimice de aliere, în principiu, măresc călibilitatea).

Se precizează că, spre deosebire de oțel, la fonta cu grafit nodular, și la fonte în general, mărimea grăuntelui de austenită nu este implicată în procesul de călire. La fonta cu grafit nodular, indiferent de temperatura de menținere în domeniul austenitic și indiferent de durata de menținere la această temperatură, nu are loc creșterea grăunților de austenită.

#### Corectarea prin tratament termic a structurii metalografice a fontei cu grafit nodular

În cazul fontei cu grafit nodular nu se recomandă temperaturi foarte mari de austenitizare din cauza riscului de deformare și de crăpare ce există la călire – de exemplu, se recomandă 880...900°C dacă siliciul din fontă este în proporție de 2,0...2,5% și 900...920°C în cazul în care fonta are un conținut de siliciu mai mare.

Timpul de menținere necesar saturării austenitei în carbon este de o oră, indiferent de grosimea pereților piesei, la care se adaugă o oră pentru fiecare 25 mm grosime de perete.

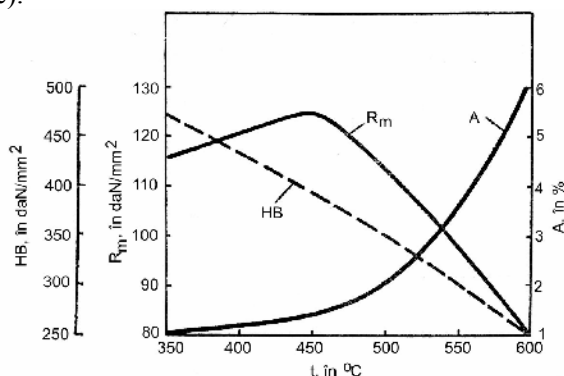
În vederea stabilirii timpului de menținere pentru saturare în carbon a austenitei, se precizează că perlita, bainita și martensita se transformă cu ușurință în austenită, ceea ce nu se întâmplă și cu ferita. Acesta este motivul pentru care fontele ce inițial au matricea metalică feritică trebuie să fie menținute o perioadă de timp mai mare în domeniul austenitic. De aceea, în cazul în care călirea se face prin inducție, trebuie ca masa metalică de bază a fontei ce se căleşte să fie perlitică.

Așa cum s-a menționat, marea problemă a călirii fontelor o constituie prezența grafitului, ce cu cât este în cantitate mai mare, mărește probabilitatea de creștere a numărului de locuri convenabile pentru germinare a feritei și perlitei (crește suprafața interfeței grafit-austenită);

– revenirea propriu-zisă. Revenirea constă în încălzirea fontei călite la temperaturi de 350...600°C, menținere la aceste temperaturi în vederea dizolvării, de exemplu, a austenitei reziduale și apoi răcirea în aer până la temperatura mediului ambiant. Pe lângă eliminarea austenitei reziduale, revenirea are în vedere transformarea martensitei în bainită sau perlită de revenire. Constituienții metalografici din afara echilibrului ce se obțin prin revenire determină variația rezistenței la tracțiune, a durității și alungirii așa cum se observă din figura 5/F20, în care se prezintă variația acestor caracteristici cu temperatura de revenire. Se observă că pe măsură ce temperatura de revenire se mărește, se mărește și alungirea, în schimb duritatea micșorându-se încontinuu iar rezistența la tracțiune micșorându-se de la temperatura de revenire de 450°C în sus (de la temperatura de revenire de 350°C la temperatura de revenire de circa 450°C crește și rezistența la



Corectarea prin tratament termic a structurii metalografice a fontei cu grafit nodular (tracțiune).



**Fig.5/F20. Influența temperaturii de revenire asupra durității (HB), alungirii (A) și rezistenței la tracțiune (R<sub>m</sub>), pentru o fontă cu grafit nodular dată: t – temperatura de revenire.**

Călirea și revenirea sunt cunoscute în tehnică sub denumirea de îmbunătățire.

Îmbunătățirea se utilizează în cazul în care se urmărește mărirea rezistenței la uzură a fontei cu grafit nodular – așa se obțin durități până la 300 HB, rezistență la tracțiune până la 1.100 N/mm<sup>2</sup> și alungiri de max. 7%.

### Călirea izotermă

Fontele cu grafit nodular ce au în structură cementită liberă nu se supun călirii izoterme. Ca și în cazul îmbunătățirii, în prealabil, fontele ce au cementită liberă se grafitizează.

Călirea izotermă constă în încălzirea fontei în domeniul austenitic, la temperaturi cuprinse în intervalul 750...850°C, menținere la aceste temperaturi în vederea omogenizării austenitei și apoi răcire izotermă în baie de săruri – de exemplu, NaNO<sub>3</sub> + KNO<sub>3</sub> sau NaOH + KOH etc.

Temperatura băii de săruri variază de la circa 650°C la circa 18°C, de exemplu.

Dacă temperatura băii de săruri este de 250...18°C are loc

### Corectarea prin tratament termic a structurii metalografice a fontei cu grafit nodular

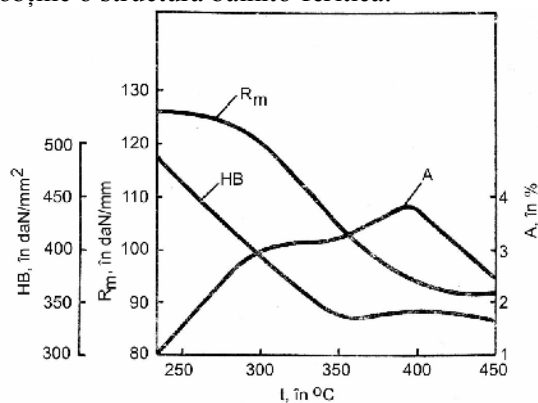
transformarea martensitică – austenita se transformă, în principal, în martensită. Se precizează, că, pe lângă constituenții din afara echilibrului, în structură există și austenită, denumită reziduală sau remanentă.

Dacă temperatura băii de săruri este mai mare de  $650^{\circ}\text{C}$ , din austenită se separă ferita și perlita.

Transformarea bainitică – obținerea de bainită din austenită – are loc dacă baia de săruri are temperatura în intervalul  $650\dots375^{\circ}\text{C}$  – obținerea bainitei superioare – și dacă temperatura este în intervalul  $375\dots250^{\circ}\text{C}$  – obținerea bainitei inferioare (bainita este un amestec de particule de ferită suprasaturată în carbon și carbură de fier).

Dacă baia de săruri are temperatura de  $540\dots420^{\circ}\text{C}$  iar fonta are un conținut mic de siliciu, austenita se transformă în troostită ce afectează plasticitatea fontei (troostita reprezintă o perlită fină – distanța dintre lamele este de  $0,1\ \mu\text{m}$  – ce se poate numi și perlită troostitică).

Dacă temperatura de menținere în domeniul austenitic este coborâtă până în domeniul eutectoid de temperaturi, vor coexista fazele ferită, austenită și grafit, ceea ce înseamnă că în urma călirii izoterme se obține o structură bainito-feritică.



**Fig.6/F20. Influența temperaturii băii de săruri asupra proprietăților unei fonte cu grafit nodular date: R<sub>m</sub> – rezistența la rupere; A – alungirea; t – temperatura băii de săruri.**

### Corectarea prin tratament termic a structurii metalografice a fontei cu grafit nodular

Dacă o structură bainitică asigură o rezistență la tracțiune de 900...1.400 N/mm<sup>2</sup> și o alungire de 2...3%, o structură bainito-feritică are rezistența la tracțiune 800...1.000 N/mm<sup>2</sup> și o alungire de 5...7%.

În condițiile în care încălzirea a fost făcută în intervalul eutectoid de temperaturi iar călirea se face în baia de săruri cu temperatura de 350<sup>0</sup>C, se obțin cristale aciculare de bainită pe un fond de ferită.

Fontele cu grafit nodular bainito-feritice se pot prelucra mecanic ușor (duritatea este de 240...270 HB).

Pentru o fontă cu grafit nodular dată, în figura 6/F20, se prezintă variația proprietăților în funcție de temperatura băii de săruri.

Cele mai bune proprietăți de plasticitate se obțin dacă temperatura de încălzire în domeniul austenitic este de 1.000<sup>0</sup>C.

Conform [5], dacă temperatura băii de săruri este în intervalul 350...420<sup>0</sup>C, se obțin cele mai bune proprietăți de plasticitate.

Proprietățile mecanice ale fontelor cu grafit nodular depind de raportul dintre cantitățile de bainită, austenită reziduală și martensită – la temperaturi ale băii de săruri sub 350<sup>0</sup>C, în cazul pieselor cu pereți mici, masa metalică este formată din maximum 13% martensită, maximum 30% austenită reziduală și bainită diferența până la 100%.

Tabelul 6/F20

### **Proprietățile mecanice ale fontei cu grafit nodular obținute prin diverse tratamente termice.**

Tratamentul termic și structura metalografică	Proprietățile mecanice		
	Rezistența la tracțiune, R <sub>m</sub> , în N/mm <sup>2</sup>	Alungirea, A, în %	Duritatea Brinell, HB, în daN/mm <sup>2</sup>
Stare brut turnată (perlito-feritică)	600...700	1,5...2,5	270...285
Recoacere de grafitizare completă (feritică)	480...520	14...20	170...190
Normalizare (perlitică)	700...800	1,0...1,5	240...255
Călire izotermă (bainitică)	850...1.000	2...3	300...350
Călire izotermă (bainitico-feritică)	780...820	5...7	240...270

### Corectarea prin tratament termic a structurii metalografice a fontei cu grafit nodular

Pentru comparație, se prezintă în tabelul 6/F20 rezistența la tracțiune, alungirea și duritatea, obținute în diverse regimuri de tratament termic (recoacere de grafitizare completă, normalizare, călire izotermă bainitică și călire izotermă bainito-feritică) față de starea brut turnată (masa metalică de bază perlito-feritică).

### **3. Modul de lucru**

O fontă cenușie cu grafit nodular, cu matricea metalică perlito-feritică, cu cementită liberă în structură, se supune tratamentului termic de recoacere de grafitizare completă.

Se tratează termic 3 probe ce se amplasează în 3 zone diferite în spațiul de lucru al unui cuptor electric cu încălzire pe bază de rezistență (bare de silită).

Probele se încălzesc la temperatura de 950<sup>0</sup>C, se mențin 2 h, se răcesc până la temperatura de circa 750<sup>0</sup>C, se mențin la temperatura de 750<sup>0</sup>C timp de 10 h și apoi se răcesc odată cu cuptorul.

Se analizează structura metalografică pentru cele trei probe și o probă martor (netratată), consemnându-se structura în referat.

### **4. Măsuri speciale de asigurare a securității muncii**

Se interzice atingerea barelor de siliciu cu sculele cu care se manevrează probele.

Se interzice tratamentul termic dacă nu există protecția prin legare la pământ a cuptorului electric.

Introducerea și scoaterea probelor din cuptor se face numai dacă este deconectat de la rețeaua electrică cuptorul.

### **5. Interpretarea rezultatelor**

Se compară cantitativ și calitativ structura metalografică a celor 3 probe recoapte și a probei martor.

Corectarea prin tratament termic a structurii metalografice a fontei cu grafit nodular

**6. Bibliografie**

1. Cojocaru-Filipiuc, V. Fonte – obținere. Editura Samia. Iași. 2003;
2. Ștefănescu, D.M. ș.a. Despre condițiile obținerii fontelor cu grafit nodular feritice în stare brut turnată. Metalurgia, nr. 2, 1980, p. 76...86;
3. Sofroni, L. Elaborarea și turnarea aliajelor. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1975;
4. Sofroni, L. și Ștefănescu, D.M. Fonte modificate cu proprietăți superioare. Editura Tehnică. București. 1971;
5. Sofroni, L., Ștefănescu, D.M. și Vicenz, C. Fonta cu grafit nodular. Editura Tehnică. București. 1978;
6. Tripșa, I., ș.a. Mică enciclopedie de metalurgie. Editura Științifică și Enciclopedică. București. 1980.

## **F22. Inocularea fontelor**

### **1. Scopul**

Rolul operației de inoculare constă în mărirea caracteristicilor mecanice de rezistență.

### **2. Considerații generale**

STAS 4.600–87 definește inocularea ca fiind o operație tehnologică de introducere a unor cantități mici de elemente chimice în fonta lichidă cu scopul preîntâmpinării apariției albirii inverse în pereții cu grosime mică.

Albirea inversă se constată, în special, la piesele cu pereți subțiri (cum ar fi, de exemplu, segmenti de piston), ceea ce înseamnă că ar trebui să aibă drept cauză principală viteza de răcire mare. În realitate, sunt implicați mai mulți factori în această anomalie structurală, fenomenul nefiind cunoscut în totalitate cauzal. Se apreciază că în axa termică difuzează elemente chimice puternic anti-grafitizante, cum ar fi hidrogenul iar la exteriorul peretelui segregă elemente chimice puternic grafitizante, cum ar fi siliciul, carbonul, nichelul etc. Există și explicația potrivit căreia crusta solidificată inițial se comportă ca o formă metalică ceea ce înseamnă că zona din axa termică a peretelui piesei se răcește cu viteză mare – albește, [1],[2].

Conform definiției dată de STAS-ul menționat, prin inoculare se preîntâmpină anomalia structurală cunoscută sub denumirea anomalia cementitei (apariția ei în zone în care în mod normal nu se separă) și deoarece acest fenomen este cunoscut mai mult la piesele cu pereți subțiri ce oricum sunt susceptibile de apariția cementitei libere, rezultă că inocularea ar avea în vedere și evitarea albirii fontei, această afirmație neținând seama de efectele secundare ale inoculării.

Termenul de inoculare din limba română se pare că are la bază substantivul din limba engleză inoculation ce tradus în limba română înseamnă modificare. Prin urmare, deja se întrezărește că inocularea ar

face parte dintr-o noțiune mai largă – aceea de modificare a fontei (se reamintește că modificarea constă în adaosul de elemente chimice în proporție foarte mică ce nu afectează compoziția chimică a fontei, în baia metalică, cu scopul schimbării condițiilor de cristalizare).

Pe de altă parte, se poate lua în considerație și accepțiunea termenului de inoculare din limba română ce se referă la schimbarea poziției față de un fenomen de către un subiect în urma unei mici intervenții asupra subiectului.

Din ce se va trata în continuare, se va vedea că termenul tehnic de inoculare se împrumută în ceea ce privește semnificația din ambele sensuri prezentate anterior.

În practică, din diverse motive, apar probleme de obținere în structură a cimentitei libere la piese fasonate ce au și pereți subțiri, pereți ce în condiții de albire nu se pot prelucra prin mijloace de prelucrare mecanică clasică. Mai mult, procesările moderne pe mașini de prelucrare mecanică automată fac imposibil de prelucrat mecanic piesele de fontă cenușie cu pereți din fontă albă sau chiar din fontă pestriță.

Inocularea combate albirea fontei în cazul în care fonta ce se elaborează trebuie să fie cenușie, indiferent de geometria grafitului.

Pentru ca să se poată combate albirea neprogramată, prin inoculare, trebuie cunoscute cauzele ce conduc la apariția acesteia, cauza principală fiind subrăcirea fontei, subrăcire ce acționează și asupra transformării eutectice, în fontă cristalizând, în loc de celulele eutectice, coloniile eutectice.

Factorii ce provoacă subrăcirea sunt cei ce inhibă prezența germenilor grafitizanți, aceștia fiind următorii:

- gradul de puritate al fontei. Se apreciază că un aliaj Fe-C de înaltă puritate, în general, este o fontă albă;

- fontele sintetice fără sulf au grafit de tip D (forme de grafit A, B, C, D și E sunt prezentate la lucrarea F 9 și sunt conform standardului american S.U.A. – A.S.T.M. – , în traducere liberă, în limba română, A.S.T.M. însemnând Societatea Americană de Testare a Metalelor). Din punct de vedere tehnic, forma grafitului trebuie considerată, conform standardului SR ISO 185 apelându-se la

standardul ISO 945:1976 ce realizează descrierea microstructurii grafitului – Cast Iron – Designation of Microstructure of Graphite (standardul ISO 945:1976 trebuie utilizat în varianta actualizată). În cazul în care fontele sintetice au sulf, grafitul lamelar este de tipul A, B și E, în funcție de gradul de saturație în carbon al fontei. Se reamintește că forma de grafit A înseamnă lamele dezorientate, forma B înseamnă lamele de grafit aglomerate sub formă de rozetă, forma C înseamnă grafit lamelar specific fontelor cenușii cu grafit lamelar hipereutectice – lamele mari de grafit primar și lamele mici de grafit eutectic –, forma D înseamnă grafit foarte fin și chiar punctiform interdendritic de subrăcire iar forma E înseamnă grafit lamelar fin interdendritic cu lamele orientate (standardul A.S.T.M. conține și tipul de grafit F ce reprezintă grafit compact – în cuiburi – specific fontelor maleabile). Este evident că în realitate există mai multe geometrii de grafit, cu grade diferite de compactitate (lamelar cu vârfurile rotunjite, coral, vermicular/compact, chunky, nodular etc.);

– supraîncălzirea în stare lichidă. De exemplu, o fontă dată ar trebui să aibă grafit de tip A, în circumstanțele unei turnări la temperatura de  $1.300^{\circ}\text{C}$ , dar, supraîncălzită în agregatul de elaborare la temperaturi cuprinse în intervalul  $1.580\dots 1.600^{\circ}\text{C}$ , prezintă grafit punctiform interdendritic – tip D. Cauza trebuie atribuită distrugerii germenilor grafitizanți. După ce fonta s-a topit, se apreciază că face parte din sistemul coloidal Fe-C-Si alături de faze dispersate (incluziuni nemetalice și grafit remanent). Pe măsură ce gradul de supraîncălzire se mărește, unele incluziuni nemetalice se descompun în elementele chimice componente iar grafitul remanent se dizolvă în matricea metalică lichidă. În cazul gradelor de supraîncălzire în stare lichidă foarte mari se produce dezactivarea incluziunilor nemetalice cu rol de germinare grafitizantă precum și a incluziunilor de grafit remanent cu același rol, într-o mare măsură. În consecință, se produce o subrăcire foarte mare, obținându-se la temperatura eutectică grafit de tip D – grafit interdendritic de subrăcire. Dacă incluziunile nemetalice și grafitul remanent dispar, există riscul ca fonta să se solidifice în sistemul metastabil – se solidifică fără grafit, adică sub formă de fontă albă.



Un rol important în procesul de grafitizare îl are  $\text{SiO}_2$  din baia metalică. Dacă fonta se supraîncălzește în stare lichidă la temperaturi mai mari decât temperatura de echilibru a reacției chimice (1/F22), cantitatea de  $\text{SiO}_2$  din baia metalică se micșorează conform acestei reacții chimice.



Pentru ca reacția chimică (1/F22) să nu afecteze semnificativ cantitatea de  $\text{SiO}_2$  aflat în suspensie în baia metalică, se impune ca fonta lichidă să fie supraîncălzită la o temperatură egală cu  $50^\circ\text{C}$  peste temperatura de echilibru a reacției chimice (1/F22). Pe de altă parte, în timpul răcirii fontei lichide, în jurul temperaturii de  $1.400^\circ\text{C}$  se produce  $\text{SiO}_2$  ca efect al dezoxidării fontei lichide, particulele de  $\text{SiO}_2$ , de dimensiuni foarte mici, constituind germeni suplimentari de grafitizare. Cu atât mai mult, prin inoculare, conform definiției, ferosiliciul adăugat nu face decât să fixeze sub formă de  $\text{SiO}_2$  oxigenul ieșit din soluție;

– menținerea prelungită a fontei în stare lichidă, chiar și la temperaturi mici. De exemplu, pentru o fontă dată, este posibil ca, dacă fonta se menține două ore la temperatura de  $1.350^\circ\text{C}$ , să se obțină grafit interdendritic. Menținerea prelungită accentuează și călibilitatea.

Eliminarea grafitului interdendritic punctiform se poate face prin adaosuri în baia metalică de Si sau Ni sau prealiaj AlMg, aceste materiale metalice determinând obținerea în structură a grafitului tip A numai dacă sunt introduse în baia metalică înaintea turnării fontei supraîncălzite. Dacă aceste materiale se introduc în baia metalică înainte de supraîncălzirea în stare lichidă, în final, în structură, grafitul se obține interdendritic punctiform (D);

– provocarea artificială de condiții de obținere a grafitului interdendritic, după care se intervine cu tratamente pentru eliminarea lor. Astfel, conform B.C.I.R.A. (British Cast Iron Research Association – Asociația Britanică de Cercetare a Fontei Turnate), se provoacă formarea de grafit D prin introducerea în fonta lichidă de 0,2% titan sub formă de ferotitan și apoi oxidarea lui prin barbotarea băii metalice cu bioxid de carbon. Insuflarea de bioxid de carbon în baia metalică determină oxidarea titanului și formarea unei zguri ușor

fuzibile de titanați complecși ce acoperă cu o peliculă germenii grafitizanți aflați în suspensie în baia metalică, dezactivându-i din calitatea de germeni eterogeni de grafitizare. Dacă baia metalică este tratată ulterior cu hidrogen, prin insuflare, se realizează reducerea titanaților datorită afinității chimice mari față de oxigen a hidrogenului. Prin micșorarea conținutului de FeO din titanații complecși, se realizează mărirea fuzibilității acestora și mărirea tensiunii interfazice dintre zgura de titanați și germenii grafitizanți. În felul acesta, germenii grafitizanți sunt reactivați, fonta obținându-se cu grafit de tip A;

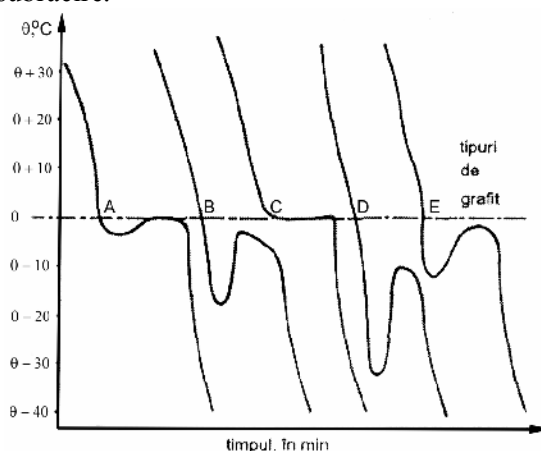
– toate băile metalice supraîncălzite la temperatura de  $1.500^{\circ}\text{C}$  sau la o temperatură mai mică sub o zgură sticloasă cu conținut de FeO, se solidifică în condiții de subrăcire. Supraîncălzirea fontei lichide sub zguri aluminocalcice ce conțin mai puțin de 35% CaO, determină obținerea în fontă de grafit de tip A. Dacă zgurile aluminocalcice au un conținut de  $\text{SiO}_2$  mai mare de 10%, fonta se solidifică cu grafit tip D. În cazul supraîncălzirii fontei sub zguri silicocalcice cu conținut mare de  $\text{SiO}_2$ , se obține o fontă cu grafit de tip A, în special în piesele cu pereți groși, înconjurat de ferită;

– utilizarea necorespunzătoare a adaosurilor de nichel și cupru, elemente chimice cu caracter grafitizant, în fonta lichidă. Dacă se realizează grafitizarea unui aliaj fier-carbon ce nu conține siliciu cu nichel sau cupru, fonta se solidifică cu grafit de tip D. O asemenea situație poate fi justificată de absența silicaților din baia metalică. Dacă se introduce siliciu în aliajul Fe-C-Ni, fonta se solidifică cu grafit de tip A. Același lucru se întâmplă dacă siliciul se introduce în aliajul Fe-C-Cu, dar numai dacă elementul chimic cupru se află în baia metalică într-o cantitate mai mică decât limita de solubilitate în fier. În cazul în care cantitatea de cupru din fontă depășește limita de solubilitate în fier, se formează incluziuni ușor fuzibile de  $\text{Cu}_2\text{O}$  ce aderă la germenii de grafitizare, dezactivându-i;

– topirea în atmosferă depresurizată. Dacă fonta este elaborată în atmosferă depresurizată, există tendința ca grafitul să se obțină sub formă de lamele (tip A) într-o proporție mică. Explicația acestei particularități are la bază micșorarea conținutului de oxigen din baia

metalică etc.

În figura 1/F22 se prezintă curbele de răcire, în cazul unei fonte nealiată (variația temperaturii în funcție de timp), pentru obținerea diverselor tipuri de grafit – A, B, C, D și E – sesizându-se clar gradele de subrăcire.



**Figura 1/F22. Curbele de răcire pentru o fontă nealiată, împreună cu tipurile de grafit lamelar ce se obțin în funcție de gradele de subrăcire ( $\theta$  – max.  $40^{\circ}\text{C}$ ) –  $\theta$  reprezintă temperatura eutectică.**

Subrăcirea și inocularea sunt fenomene conexe, însă, prin efectele lor sunt fenomene contrare.

Inocularea se poate defini ca fiind introducerea în baia metalică de germeni ce fac să dispară subrăcirea sau, cel puțin temporar, având rolul de amorsare a cristalizării grafitizante, în mod deosebit pentru grafitul lamelar.

Eficacitatea inoculării depinde de structura cristalină a germenilor inoculanți, aceasta variind după cum în raport cu grafitul există identitate cristalină, izomorfism (proprietatea unor substanțe chimice, cu același număr de atomi, dar diferiți, de a forma același fel de structuri), epitaxie (se bazează pe posibilitatea de creștere a două cristale, prin potrivirea pe suprafața de contact a simetriei reticulare a

celor două substanțe, implicit a distanțelor interatomice din structură) sau nici o relație.

În cazul fontei trebuie să se considere rețeaua cristalină a particulelor în stare de suspensie în baia metalică. După cum rețeaua cristalină a unei particule în suspensie este mai mult sau mai puțin asemănătoare cu cea a grafitului decât cu a Fe, particula va amorsa cristalizarea grafitului mai degrabă decât cea a austenitei. Principalele particule în suspensie se caracterizează conform unor cinci sisteme cristalografice, [4], respectiv, rombic, hexagonal, romboedric-trigonal, pătratic (tetragonal) și cubic. În tabelul 1/F22 se prezintă sistemele cristalografice ale principalelor particule în suspensie în fonta lichidă.

Tabelul 1/F22

**Sistemele cristalografice ale principalelor particule în suspensie în fonta lichidă**

Sistemul cristalografic	Rombic	Hexagonal	Romboedric-trigonal	Pătratic	Cubic
Conținutul metalografic favorizat	Fe <sub>3</sub> C și Mn <sub>3</sub> C	Grafit	–	–	Austenită
Natura particulelor în suspensie în fonta lichidă	(FeO) <sub>2</sub> SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO CaS
	(MnO) <sub>2</sub> SiO <sub>2</sub>	FeS	CaSi <sub>2</sub>	CaC <sub>2</sub>	MgO Ni <sub>2</sub> Si
	(FeO,MnO)SiO <sub>2</sub>	SiC	NiSi <sub>2</sub>	CrC <sub>2</sub>	SrO SrS
	Ni <sub>2</sub> Si	NiS		CeC <sub>2</sub>	BaO BaS
		CaMg		LiC <sub>2</sub>	MnO MnS
				ZrSiO <sub>4</sub>	FeO Li <sub>2</sub> S
				NiSi	CeO <sub>2</sub> TiC
				Al <sub>4</sub> Ca	Li <sub>2</sub> O ZrC

Tabelul 1/F22– continuare

					TiN
					ZrN
					Mg <sub>2</sub> S
					MgO
					Ni <sub>3</sub> Si
					TeSn

Particulele în suspensie în fonta lichidă menționate în tabelul 1/F22 sunt în general în stare solidă la temperatura eutectică a fontelor și se află în baia metalică fie ca rezultat al introducerii în baia metalică de dezoxidanți și inoculanți, fie ca rezultat al încărcăturii metalice a agregatului de elaborare.

Cei mai utilizați inoculanți sunt ferosiliciul și silicocalciul, însă, nu sunt de neglijat nici inoculanții speciali ce conțin zirconiu și stronțiu, elemente chimice cu o eficacitate superioară siliciului deoarece diminuează duritatea, finizează structura și măresc caracteristicile mecanice de rezistență.

Necesarul de ferosiliciu ca inoculant este de 0,05...0,10%.

Există patru criterii de stabilire a eficacității inoculanților, acestea fiind călibilitatea, duritatea, mărimea grăunților metalografici în ruptură și gradul de subrăcire în timpul solidificării eutectice.

Principalul inconvenient al inoculanților cu siliciu este cauzat de conținutul de aluminiu al acestora, aluminiul provocând, chiar și atunci când este în cantitate mică, formarea de incluziuni punctiforme de zgură. În același timp, prezența aluminiului în ferosiliciu, ca de altfel și a calciului, joacă un rol de amorsă de grafitizare pentru siliciu.

Adaosul de inoculant silicomanganzirconiu micșorează înălțimea zonei albe din secțiunea probelor până de la 4 mm, în cazul unui adaos în fontă de 0,25%, și la 1 mm, în cazul unui adaos de 1%, de exemplu.

Inoculanții pe bază de grafit și carbură de siliciu sunt, de asemenea, foarte eficace. Astfel, de exemplu, inocularea cu 0,20...0,25% grafit pur elimină toate urmele de zone de fontă albă, chiar și în cazul pereților de piesă subțiri.

Se utilizează cu rezultate foarte bune și inoculantul ferosiliciu cu urme de stronțiu.

Prin inoculare, topitura devine eterogenă, obținându-se ca efect și mărirea proporției de ferită (în cazul fontei cu grafit nodular), mărirea gradului de uniformitate al distribuției separărilor de grafit, mărirea gradului de compactitate al grafitului etc., [6], [7], [8].

Efectul inoculantului este cu atât mai mare cu cât dimensiunile celulelor eutectice se obțin mai mici, [9].

La începutul inoculării, siliciul și calciul formează carburi ce ulterior se descompun. Calciul formează și sulfuri și oxizi. Aluminii formează doar oxizi. Carbonul din inoculanți dă naștere la fluctuații ale atomilor de carbon în topitură, [10].

Ferosiliciul cu conținut mic de stronțiu este foarte eficient pentru inocularea fontei cu grafit nodular fără ceriu.

Siliciul din toți inoculanții creează microvolume de metal lichid suprasaturate în carbon, astfel, determinând mărirea numărului de germeni de grafit.

Pentru inocularea fontei cu grafit nodular se recomandă utilizarea următorilor inoculanți:

- SiCa în proporție de 0,2...0,5%;
- 30% pământuri rare, 45...50% Si și în rest Fe;
- Y-Fe (45,88% Y), Y-Ni (48,87% Y), Y-Mg (11,30% Y), Y-Mg (32,20% Y), Y-Mg (52,30% Y) și Y-Mg (92,66% Y), [12];
- inoculantul din sistemul FeSiCaCeAlSO, ce conține 70...76% Si, 0,75...1,25% Ca, 0,75...1,25% Ce, 0,75...1,25% Al și max. 1,0% (S+O), determină, prin prezența sulfurii și oxigenului, formarea de compuși chimici cu rol în germinarea primară de către Fe, Si, Ca, Ce și Al, [11];
- inoculantul ce conține 73,78% Ca, 0,75...1,25% Ba și 0,75...1,25% Al, utilizat cu granulație de 1...6 mm, în cantitate de 0,7...1,2 kg/100 kg de fontă lichidă, determină o cantitate mică de zgură și o mare eficiență, [13].

Influența cea mai mare a inoculării se constată în cazul rezistenței la rupere și al durității. În cazul unei fonte ce conține 3,01% C, 2,07% Si, 0,47% Mn, 0,04% S și 0,10% P, pentru o probă cu

diametrul de 32 mm, rezistența de rupere la tracțiune a crescut de la 256 N/mm<sup>2</sup> la 312 N/mm<sup>2</sup> iar duritatea a crescut de la 211 HB la 216 HB în cazul inoculării cu FeSiZr cu 60...65% Si și 15...20% Zr. Dacă înainte de inoculare grafitul era de tip A, cu lungimea lamelor de 0,12...0,25 mm și de tip D, după inoculare, grafitul a fost numai lamelar cu aceleași dimensiuni ale lamelor.

La modul general, prin inoculare, structura constituită dintr-o matrice metalică feritică și grafit punctiform interdendritic se transformă într-o matrice metalică perlitică cu grafit lamelar cu lamele dezorientate, grafit sub formă de rozete și grafit lamelar fin interdendritic orientat.

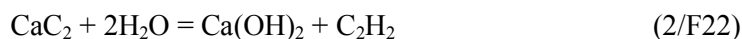
Puterea geminativă a siliciului pur este nulă, indiferent de mărimea granulației.

Aluminiul pur, în cantitate de 0,2%, indiferent de regimul fontei lichide, nu schimbă numărul de celule eutectice, mărirea numărului fiind unul din criteriile esențiale ale efectului inoculant. Așadar, aluminiul nu este inoculant. Introdus în fonta lichidă supraîncălzită, aluminiul micșorează proporția de ferită și mărește rezistența la rupere și duritatea. Fiind un element grafitizant, aluminiul micșorează adâncimea de albire în secțiunea probei până.

În tabelul 2/F22 se prezintă compoziția chimică a unor inoculanți.

Inocularea cu 0,1% calciu pur determină aceleași rezultate ca și în cazul inoculării fontei cu FeSi75. Efectul de inoculare este foarte puternic dacă fonta este supraîncălzită. Numărul de celule eutectice, de exemplu, crește de la 25% la mai mult de 600%, în timp ce ferita din structură dispare.

Prođuși chimici rezultați în urma interacțiunii calciului cu fonta lichidă sunt disociați de către umiditatea atmosferică și generează acetilenă (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) conform reacției chimice (2/F22), ceea ce demonstrează că elementul chimic inoculant calciu formează în fontă CaC<sub>2</sub>.



**Compoziția chimică a câtorva inoculanți.**

Inoculantul	Compoziția chimică, în %						
	Si	Ca	Al	Zr	Ti	Mn	C
Ferosiliciu 75	70...79	–	2,5	–	–	0,7	0,1
Silicocalciu 50% Si	50...55	6...8	1...2	–	–	–	–
Silicocalciutitan	50...55	5...7	1...1,5	–	10	–	–
Silicocalciuzir- coniu	60...65	15...20	–	15...20	–	–	–
Ferosiliciuzir- coniu	40...65	–	1...2	15...40	–	–	–
Carbură de siliciu	70	–	–	–	–	–	30
Grafit pur	–	–	–	–	–	–	100
Silicomangan- zirconiu (SM Z)	60...65	–	–	5...6	–	6...8	–
Silicomangan- alumiuzir- coniu	60...65	0,5...2,0	1,5...2,0	5...6	–	6...8	–
Ferosiliciucal- ciuzirconiu	65...70	5...6	0,1	5...7	–	–	–
Ferosiliciu- alumiutitan	50...55	–	20	–	7...8	–	–
Ferosiliciu 45	50...47	–	2,0	–	–	1,0	0,50

Grafitul introdus în fonta lichidă ca inoculant generează următoarele efecte:

- fie la temperatura de 1.350<sup>0</sup>C, fie la temperatura de 1.550<sup>0</sup>C, mărește accentuat numărul de celule eutectice;
  - micșorează cantitatea de grafit punctiform interdendritic.
- Grafitul de tip D (punctiform interdendritic) se depistează ușor prin rupțura de culoare neagră a probelor sau a pieselor;
- mărește rezistența la tracțiune și duritatea dacă este introdus în baia metalică înainte de supraîncălzire;
  - dacă fonta este excesiv de supraîncălzită, efectul grafitului



ca inoculant se inversează.

Prin inoculare, se poate obține o creștere a rezistenței la tracțiune de până la 40% în cazul utilizării prealiajului inoculant ce conține 70% Cu, 5% Sn și 25% SiCa.

Inoculanții nu au efect dacă elaborarea se efectuează în atmosferă depresurizată.

### **Diminuarea și anularea efectului inoculării**

Influența inoculantului dispare după o anumită perioadă critică de la operația de inoculare, perioadă critică ce depinde de compoziția chimică a inoculantului, mărimea granulației inoculantului, tehnica de introducere a inoculantului în baia metalică, temperatura băii metalice, compoziția chimică a băii metalice, gradul de supraîncălzire al băii metalice suportat în agregatul de elaborare, regimul termic al băii metalice până la temperatura de inoculare etc.

Efectul maxim al inoculării se constată la circa trei minute după ce s-a introdus inoculantul în baia metalică.

Efectul de inoculare se menține la cote acceptabile până la 10...12 min de la introducerea inoculantului în baia metalică.

Eficacitatea inoculării cu ferosiliciu se constată până la 10...12 min de la introducerea inoculantului în baia metalică, în timp ce eficacitatea inoculării cu SiCa, silicomanganzirconiu și inoculanți ce conțin stronțiu este mult mai mare decât în cazul ferosiliciului. De exemplu, după 30 min de la introducerea ferosiliciului cu stronțiu în baia metalică, rezultatul inoculării încă mai persistă.

### **Fontele ce se supun inoculării**

Practic, toate fontele hipoeutectice cu conținutul de fosfor de maximum 0,1% , destinate turnării de piese cu pereți subțiri ar putea fi inoculate cu 0,15...0,25% ferosiliciu cu 75% Si sau cu conținut de siliciu mai mare, [5].

Nu se recomandă inocularea fontelor hipereutectice cu grad de hipereutecticitate mare.

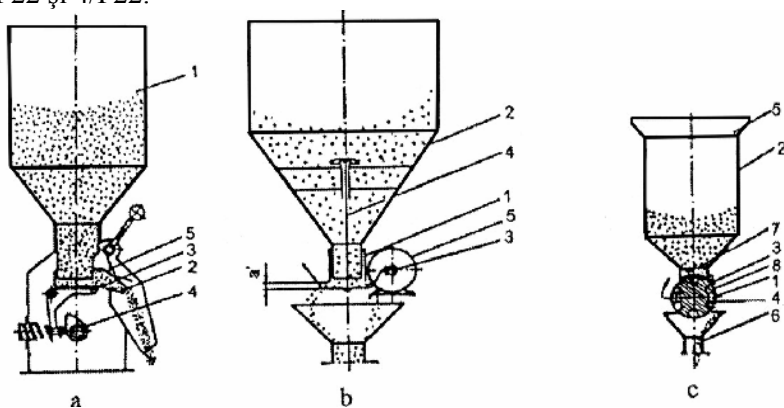
### **Tehnici de inoculare**

Inoculanții, în mod deosebit silicocalciul, tind să plutească la suprafața băii metalice din oala de turnare.

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

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

Pe jet, inoculantul se introduce în mod mecanizat prin intermediul unor dozatoare de tipul celor prezentate în figurile 2/F22, 3/F22 și 4/F22.



**Figura 2/F22. Tipuri de dozatoare utilizate pentru introducerea inoculanților pe jetul de fontă: a – dozator cu vibrație, acționat mecanic (1 – buncăr; 2 – jgheab vibrator; 3 – braț vibrator; 4 – excentric; 5 – supapă); b – dozator cu disc (1 – dispozitiv de reglare; 2 – buncăr; 3, 4 și 5 – dispozitiv de alimentare; a' – distanță de reglare); c – dozator cu tambur (1 – tambur; 2 – buncăr; 3 – perie; 4 – supapă pentru reglarea productivității tamburului; 5 – sită; 6 – țevă; 7 – dispozitiv de reglare; 8 – cuvă a tamburului).**

### 3. Modul de lucru

Se elaborează o fontă cenușie cu grafit lamelar, hipoeutectică într-un cuptor electric cu încălzire prin inducție, cu capacitatea de 25 kg.

Fonta se supraîncălzește la temperatura de circa 1.400°C, temperatură măsurată cu pirometrul optic.

Se prelevează o probă după atingerea temperaturii de supraîncălzire, sub formă de bară cilindrică turnată, în condițiile impuse de SR ISO 185 din care se prelucrează epruveta pentru încercarea la tracțiune.

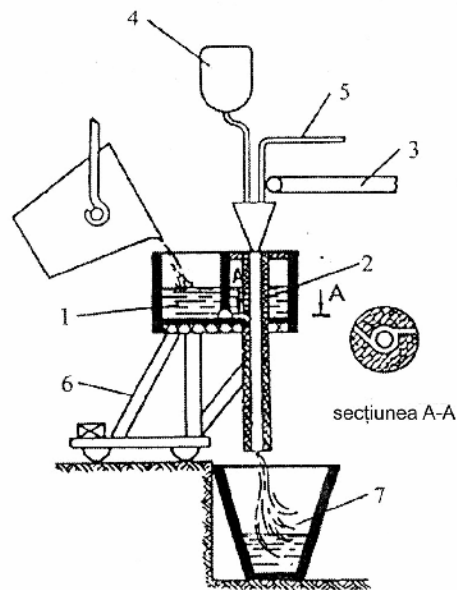


Fig. 3/F22. Instalație de inoculare a fontei în jet: 1 – bazin de turnare; 2 – tub de turbionare; 3, 4 și 5 – sisteme de dozare; 6 – stativ; 7 – oală de turnare.

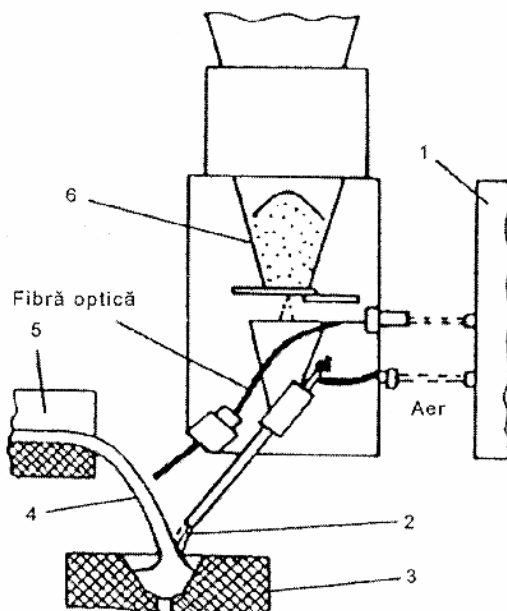


Fig.4/F22. Schema inoculării fontei în jet în timpul turnării în formă. 1 – bloc de comandă; 2 – inoculant; 3 – formă; 4 – jet de fontă; 5 – jgheab sau cicul oalei de turnare; 6 – buncăr.

În timpul evacuării, după ce a fost evacuată zgura de pe suprafața băii metalice, se inoculează fonta cu 0,1% FeSi75 cu granulația de 0,2...5 mm, prin presărare pe jgheabul de evacuare al cuptorului.

Se toarnă o probă cilindrică în mod similar ca și cealaltă menționată anterior.

Se determină rezistența de rupere la tracțiune, duritatea și structura metalografică.

#### **4. Măsurile speciale de asigurare a securității muncii**

Măsurile speciale de asigurare a securității muncii sunt identice cu acelea prezentate la lucrarea C 1.

### 5. Interpretarea rezultatelor

Se compară rezistența de rupere la tracțiune, duritatea și structura metalografică pentru cele două probe, respectiv pentru fontă neinoculată și inoculată.

### 6. Bibliografie

1. Ripoșan, I. și Chișamera, M. Tehnologia elaborării și turnării fontei. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1981;
2. Sofroni, L. Elaborarea și turnarea aliajelor. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1975;
3. Cojocaru-Filipiuc, V. Fonte – obținere. Editura Samia. Iași. 2003;
4. Apostolescu Rodica. Cristalografie. Mineralogie. Editura Didactică și Pedagogică. București. 1982;
5. Abramov, G. Foundry practice. Moscova, Mir Publishers, 1986;
6. Sofroni, L. și Ștefănescu, D.M. Fonte modificate cu proprietăți superioare. Editura Tehnică. București. 1971;
7. Hecht, M. și Cloarec, P. L'inoculation des fontes à graphite sphéroïdal. Fonderie, fondeur d'aujourd'hui, 1983, p. 23...39 ;
8. Kimura, T. ș.a. Postinoculation of Rare Earth Treated Compacted Graphite Cast Iron. Trans. Amer. Foundrymen's. Soc. Proc. 84<sup>th</sup> Annu.-Meet. St. Louis. Miss., 1980, Vol. 88, Des Plaines, III, 1980, p. 443...450.
9. Milman, B.S. ș.a. Povășenie effektivnosti grafitiziruiuşcego modifiţirovaniia. Liteinoe proizvodstvo, nr. 8, 1982, p. 8...9;
10. Pregunov, L.V. ș.a. Grafitiziruiuşcie smesi dlea modifiţirovaniia ciuguna. Liteinoe proizvodstvo, nr. 2, 1982, p.15;
11. Olson, S., Steen, S.S. și Klivdal, S. Dezvoltarea modifcatorilor grafitizanți și a materialelor de carburare pentru turnătoriile de fontă. Revista de Turnătorie, nr. 1, 2000, p. 7...11;
12. Greţkii, Iu. Ia. și Metlitkii, V.A. Zavarka otlivok iz vâsokoprocinoĝo ciuguna poroşkovoĝo provolokoi s ittriem. Liteinoe

proizvodstvo, nr. 7, 1975, p. 6...7;

13. Năstase, V. și Adam, N. Îmbunătățiri tehnologice privind obținerea de piese turnate din fontă cu grafit nodular și cenușie pentru mașini unelte. Revista de Turnătorie, nr. 1. 2000. p. 12...14.

## **C1. Măsuri de asigurare a securității muncii**

### **1. Scopul**

Având în vedere că unele lucrări se realizează la societăți comerciale și majoritatea lucrărilor impun procesarea de băi metalice, înainte de realizarea fiecărei lucrări se vor prelucra studenții toate măsurile ce privesc lucrarea care urmează să se efectueze, și, după aprofundarea acestora, se vor seminariza.

În cazul efectuării lucrărilor la societăți comerciale, studenții vor purta, în mod obligatoriu, căști de protecție și vor avea și avizul de acces în secțiile convenite al serviciului specializat de protecție a muncii al societății respective.

La toate lucrările ce se efectuează, studenții trebuie să aibă lucrarea C1 listată de la adresa de internet [www.sim.tuiasi.ro](http://www.sim.tuiasi.ro)

### **2. Măsuri generale**

Factorii ce generează probleme sunt temperatura din preajma agregatelor de elaborare, a instalațiilor de preîncălzire și a instalațiilor de tratare a fontei în stare lichidă, praful și gazele ce se degajă în timpul procesării încărcăturilor și a metalului lichid și zgomotul provocat de utilajele implicate în fluxul tehnologic de elaborare a fontei.

Pentru evitarea arsurilor, se impune ca personalul ce deservește instalațiile ce radiază termic maximum  $3...4 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$  să poarte echipament de protecție (în cazul unei radiații termice mai mari de  $4 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$  se produc arsuri). Impotriva radiației termice, de exemplu, pe platforma de lucru a cuptorului electric cu încălzire prin inducție, se utilizează paravane metalice, prevăzute, eventual, cu vizoare din materiale transparente necasante în urma contactului cu stropi de metal. Ușile sau capacele utilajelor trebuie să fie deschise doar pentru asigurarea intervențiilor impuse de fluxul tehnologic.

Praful degajat, în special, în cazul elaborării în cubilou și în cuptorul electric cu încălzire prin arc electric, trebuie să fie în mod

obligatoriu filtrat (de exemplu, la modul general, în cazul unei producții de 1 t piese turnate, se degajă 10...50 g de praf). Materialele pulverulente trebuie manipulate prin transport containerizat, transport pneumatic etc. Particulele prăfoase incandescente trebuie stinse înainte de a intra în filtrele consacrate purificării gazelor ce le conțin.

Gazele ce rezultă din fluxul tehnologic de elaborare a fontei pot conține și componente toxice (în cazul obținerii unei tone de piese turnate, pot rezulta 150...300 kg de oxizi de carbon, 0,8...1,0 kg de oxizi de sulf, produse de descompunere a uleiurilor, produse de ardere a materialelor nemetalice, oxizi de azot etc.), ceea ce obligă tratarea acestora prin diverse mijloace, cum ar fi filtrarea, arderea monooxidului de carbon etc. Ventilarea spațiilor de lucru ce conțin gaze toxice este obligatorie. Monooxidul de carbon este un gaz incolor, fără miros și fără gust. CO se combină cu hemoglobina din sânge rezultând un produs stabil – carboxihemoglobina –, astfel sângele pierzând capacitatea de a transporta și lega suficient oxigen (se produce intoxicarea – otrăvirea – cu monooxid de carbon). Simptomele de intoxicare cu monooxid de carbon sunt următoarele: dureri puternice de cap, respirație grea, pierderea cunoștinței, convulsii, sufocare etc. CO este admis în spațiile în care are acces personalul de lucru la cel mult 30 mg/m<sup>3</sup>N. Locurile în care există gaze toxice trebuie semnalate vizual. În caz de intoxicare cu CO, accidentatul trebuie scos urgent la aer curat și supus respirației artificiale.

Micșorarea intensității zgomotelor produse de arcele electrice, generatoarele mecanice de frecvență, ventilatoarele de aer etc. se realizează prin izolarea fonică a fundațiilor, pereților și tavanele încăperilor în care sunt amplasate sursele de zgomot, utilizarea de către personalul de deservire a căștilor prevăzute cu materiale izolatoare fonic etc.

### **3. Securitatea muncii în depozitele de materiale (baza de șarjare)**

Principalele măsuri ce trebuie avute în vedere sunt



următoarele:

- amplasarea depozitului pe un teren orizontal;
- depozitul trebuie să fie bine drenat și iluminat;
- existența căilor de acces ce să evite blocarea mijloacelor de transport și să asigure circulația fără riscuri de accidentare a personalului de deservire;
- debitarea și sortarea se realizează în afara zonei de acțiune a podurilor rulante;
- o atenție mare trebuie să se acorde pregătirii dimensionale a bucăților de fontă prin metoda sonetei, personalul muncitor ce deservește o asemenea instalație trebuind să fie instruit în mod corespunzător;
- ancorarea în cârligul podurilor rulante se face numai de către personal instruit în acest scop;
- se pun în funcțiune numai acele utilaje ce sunt dotate cu dispozitive de protecție pentru mecanismele aflate în mișcare și sunt în perfectă stare de funcționare;
- revizia și reparația utilajelor se face numai după scoaterea acestora din funcțiune;
- accesul pe podurile rulante și pe utilaje se face numai pe scări special amenajate;
- iluminatul cabinei podurilor rulante precum și a zonelor ușor accesibile (pasarele, scări, cărucioare, părți mobile etc.) se face prin intermediul surselor alimentate la o tensiune de maximum 24 V;
- ungerea roților benzilor transportoare se face numai în cazul când acestea sunt oprite sau în timpul mersului, în cazul în care dispozitivele de ungere sunt amplasate în afara zonei benzii de cauciuc;
- în cazul în care se realizează manipulări de praf de cocs sau cărbune, trebuie luate măsuri de evitare a autoaprinderii prafului de cocs (temperatura de autoaprindere este de 600...700<sup>0</sup>C), cum ar fi evitarea depozitării o perioadă mare de timp a prafului de cocs, evitarea formării de canale de acces al aerului etc. De asemenea, trebuie să se evite pericolul de formare a exploziilor (praful de cocs, în cantitate de 17...24 g într-un metru cub de aer, în circumstanțele

existenței unei flăcări deschise, face explozie – explozia poate fi provocată și de o scânteie electrică, o țigară aprinsă, un chibrit aprins, flacăra de la sudura oxiacetilenică sau chiar de o scânteie provocată de lovirea a două bucăți de metal etc., dacă există 17...24 g de praf de cocs/m<sup>3</sup> de aer) etc.

#### **4. Securitatea muncii pentru evitarea accidentelor din cauza instalațiilor electrice**

Electrocutarea se produce atunci când prin corpul omenesc circulă un curent electric a cărui intensitate depășește limita de 0,01 A, în cazul curentului electric alternativ, și limita de 0,05 A, în cazul curentului electric continuu.

Curentul electric poate avea influență asupra inimii (se produce fibrilația inimii – contractări și destinderi cu frecvență mare, adică de câteva sute de ori pe minut, ceea ce înseamnă stoparea funcționării inimii), sistemului nervos, cauzează arsuri sau chiar orbiri etc.

Măsurile principale de evitare a accidentării prin electrocutare sunt următoarele:

- izolarea dielectrică a părților metalice aflate sub tensiune;
- inaccesibilitatea atingerii întâmplătoare, în timpul lucrului, a părților metalice aflate sub tensiune;
- carcasarea de protecție;
- îngrădiri cu plase metalice sau table perforate;
- amplasări la înălțimi inaccesibile;
- folosirea tensiunilor mici (36 V, 24 V, 12 V sau mai mici) pentru aparatele de măsură și control portabile;
- protecția prin legare la pământ se aplică la instalațiile electrice cu tensiunea de lucru de până la 1 000 V ce funcționează cu punctul neutru al sursei de alimentare (transformator sau generator) izolat față de pământ, precum și la toate instalațiile electrice cu tensiuni mai mari de 1 000 V;
- protecția prin legare la conductorul de nul se aplică numai

la instalațiile electrice cu punctul neutru al sursei de alimentare legat direct la pământ;

- deconectarea automată în cazul apariției unei tensiuni de atingere periculoase;
- deconectarea automată în cazul apariției unor scurgeri de curenți periculoase;
- egalizarea potențialelor;
- separarea de protecție prin intermediul unui transformator de separație;
- dotarea cu mijloace individuale de protecție;
- verificarea periodică a instalațiilor electrice;
- este interzis categoric lucrul pe linia de tensiune înainte de scoaterea de sub tensiune a respectivei linii;
- este interzisă folosirea de instalații electrice improvizate;
- nu se ating, sub nici un motiv, conductoarele (firele) căzute, chiar, la pământ etc.

##### **5. Securitatea muncii la elaborarea fontei și oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin inducție**

Se prezintă, în continuare, măsurile mai importante ce trebuie avute în vedere cu scopul evitării apariției de accidente, acestea fiind următoarele:

- exploatarea cuptoarelor cu inducție se încredințează numai persoanelor instruite, pregătite profesional și autorizate care au îndeplinit vârsta de 18 ani;
- este interzisă intrarea persoanelor străine în incintele în care se află instalațiile de alimentare electrică a cuptorului, accesul fiind permis numai personalului care deservește aceste instalații;
- în timpul funcționării cuptorului este interzis a se efectua reparațiile la tabloul de comandă de pe platforma de lucru. În cazul apariției unei defecțiuni în timpul funcționării cuptorului, tabloul de comandă se va deconecta de la rețeaua de alimentare după care se vor lua măsurile necesare de remediere de către personalul instruit special în acest scop și autorizat să execute respectivele intervenții de

specialitate;

- ștamparea masei refractare granulare se realizează de către personalul calificat pentru acest scop și instruit în legătură cu importanța calității căptușelii refractare asupra securității muncii și sistemului de producție;

- pentru operația de ștampare se vor utiliza numai materiale corespunzătoare din punct de vedere al compoziției chimice, granulometriei, caracteristicilor fizice etc., conform normelor în vigoare, prescripțiilor din proiect sau indicațiilor furnizorului;

- uscarea și sinterizarea masei refractare granulare se realizează în strictă conformitate cu prescripțiile din proiect sau ale furnizorului, respectându-se în mod riguros diagrama de încălzire – de tratament termic;

- remedierea defecțiunilor de la bateria de condensatoare se efectuează numai după deconectarea stației de la rețeaua de alimentare și descărcarea bateriilor de condensatoare prin intermediul unei rezistențe de descărcare transportabilă;

- se interzice descărcarea bateriei de condensatoare cu sârmă sau bare metalice;

- este interzisă cu desăvârșire părăsirea și lăsarea cuptorului și instalațiilor fără supraveghere din partea celor desemnați pentru aceasta, în timpul funcționării;

- prezența persoanelor străine pe platforma de lucru sau în apropierea creuzetului cuptorului în timpul basculării acestuia este interzisă;

- distrugerea podului format deasupra băii metalice din creuzet se face numai prin înclinarea cuptorului și menținerea lui în poziția corespunzătoare. Distrugerea podului cu corpuri metalice (bare) nu este permisă din cauza riscului de distrugere a căptușelii;

- groapa de colectare și incinta cuptorului se mențin în stare perfect uscată iar pardoseala trebuie să fie în permanență uscată, curată și lipsită de urme de apă;

- în cazul perforării creuzetului de metalul lichid, se deconectează cuptorul de la rețeaua electrică iar baia metalică se toarnă în oale de avarie în timpul cel mai mic, prin bascularea

cuptorului;

- este interzisă turnarea fontei în groapa de colectare deoarece există pericolul prezenței apei reziduale în aceasta;

- pentru mărirea gradului de siguranță în exploatarea cuptorului, se verifică periodic, conform notei tehnice, starea căptușelii refractare;

- anual, se controlează cilindrii de basculare ai cuptorului pentru a se constata eventualele acumulări de aer, luându-se imediat măsuri pentru evacuarea acestuia;

- pentru a se preveni formarea câmpurilor electromagnetice, peretele cuptorului și toate conductoarele de alimentare se ecranează în mod corespunzător;

- din 6 în 6 luni se controlează instalația de răcire cu apă iar impuritățile depuse pe pereții elementelor răcite vor fi eliminate;

- în cazul în care desulfurarea băii metalice se realizează cu carbid, acesta trebuie să fie foarte bine uscat;

- cuptoarele alimentate de la condensatoarele convertizorului de frecvență trebuie să aibă inductorul în așa fel amplasat încât să nu se permită atingerea accidentală a lui;

- în momentul întreruperii accidentale a alimentării cu apă a bobinei inductoare, sistemul de deconectare automată a tensiunii de alimentare trebuie să funcționeze perfect;

- este interzisă atingerea materialului topit cu scule neizolate și mânuirea sculelor fără mănuși electroizolante;

- conectarea condensatoarelor sub tensiune pentru reglarea frecvenței în timpul topirii este permisă numai prin separatori comandați de la distanță;

- electricianul de serviciu, în timpul evacuării fontei din cuptor, trebuie să fie prezent lângă cuptor, iar în timpul topirii trebuie să fie ușor de găsit;

- pentru eliminarea gazelor produse în cuptor, acesta este prevăzut cu instalație de ventilare locală;

- cuptorul trebuie prevăzut cu sistem dublu de răcire a inductorului, generatorului de frecvență și bateriei de condensatoare,

dintre care unul este manual, pentru intervenție în caz de întrerupere a alimentării cu tensiune;

- cuptoarele cu creuzet trebuie să fie prevăzute cu capace rabatabile ce vor fi deschise numai în timpul încărcării cuptorului sau atunci când se prelevează probe, [1];

- cuptoarele trebuie să fie prevăzute cu dispozitive ce să nu permită bascularea cuptorului fără scoaterea de sub tensiune a bobinei inductoare;

- furtunurile pentru apa de răcire trebuie să fie prevăzute la capete cu inele metalice legate la pământ, [2];

- la pornirea cuptorului după o întrerupere de durată, la punerea în funcțiune a unui cuptor nou sau după reparații, la inductor se verifică starea izolației și se măsoară rezistența acesteia cu un megohmmetru de 1 000 V. Rezistența de izolație trebuie să fie mai mare de 100 MΩ. Se verifică consolidarea spirelor și, dacă este cazul, se curăță bobina de praf și umezeală prin suflare de aer comprimat;

- presiunea apei de răcire trebuie să fie de 4...7 atmosfere;

- dacă respectivul cuptor nu are reglare automată a factorului de putere, se urmărește indicația «cosfimetrului» și se conectează, dacă factorul de putere este inductiv, sau se deconectează, dacă factorul de putere este capacitiv, un număr de condensatoare, pentru a se avea un factor de putere cât mai apropiat de valoarea unu;

- în cazul în care creuzetul se goleşte prin basculare, eliminarea resturilor de zgură sau de metal se realizează, de pe jghebul de evacuare, pereți și fund, în timp ce acestea sunt incandescente;

- dacă la cuptoarele de capacitate mare se observă defecte mari în mai multe locuri, căptușeala refractară granulară se reface cu ajutorul unui șablon metalic, între pereții vechi și șablon ștampându-se masa refractară granulară în straturi succesive, în mod similar cazului de confecționare a unui creuzet nou. Uscarea sau sinterizarea se realizează după aceleași reguli ca la uscarea sau sinterizarea creuzetului nou;

- dacă se constată supraîncălziri locale ale căptușelii, înroșirea acesteia în exterior sau scurtcircuite între spire, cuptorul

trebuie deconectat imediat și apoi golit cu scopul remedierii defectelor, [3];

- în timpul încărcării mecanizate cu benă, nu este permisă staționarea în jurul cuptorului, deoarece există pericolul desprinderii și căderii bucașilor metalice la ridicarea benei;

- materialele adăugate în cuptor după formarea topiturii nu trebuie să conțină uleiuri, emulsii etc., înainte de adăugare trebuind să fie uscate și preîncălzite cu scopul prevenirii împrôșcării cu metal lichid;

- nu este permisă adăugarea materialelor de la înălțime mare sau lovirea căptușelii refractare în timpul introducerii acestora etc.

#### **6. Securitatea muncii la elaborarea fontei și oțelului în cuptoare electrice cu încălzire prin arc electric**

În mare parte, măsurile de asigurare a securității muncii sunt comune cu cele întâlnite la paragraful 5. În plus, se subliniază și următoarele măsuri:

- mantaua metalică a cuptorului și plăcile platformei de lucru trebuie să fie legate la pământ;

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

- încărcarea manuală expune personalul la radiații termice puternice și eforturi fizice mari;

- manevrarea ușii de lucru a cuptorului trebuie să se facă mecanizat;

- cu scopul reducerii nivelului de zgomot în timpul topirii trebuie să se ia măsuri de stabilizare a arcului electric în cât mai scurt timp;

- pentru a proteja personalul de lucru de radiația termică puternică a zgurii și a incintei cuptorului în momentul în care este eliminată zgura prin ușa de lucru, se folosește un paravan de protecție căptușit cu plăci de azbest;

## Măsuri de asigurare a securității muncii

---

- după evacuarea zgurii lichide din cuptor în vagonet sau cochilă, aceasta se acoperă cu bauxită cu scopul accelerării solidificării și micșorării intensității radiațiilor termice;
- ușa cuptorului este deschisă doar atât timp cât se fac intervenții asupra băii metalice;
- se acordă o mare atenție sortării materialelor ce urmează a fi introduse în cuptor și ce ar exploda, așa cum ar fi proiectile, focoase, butelii, recipiente cu lichid inflamabil, vase închise etc. (asemenea materiale metalice, înainte de a fi utilizate, sunt verificate de pirotehnicieni);
- înclinarea cuptorului în vederea evacuării se realizează cu viteză mică, evitându-se mișcările bruște ce pot provoca accidente grave;
- operația de prelungire a electrozilor sau de schimbare a acestora se execută, în mod obligatoriu cu cuptorul deconectat de la rețeaua electrică, §215f;
- nu este admisă pornirea simultană a două cuptoare din cauza șocurilor mari de curent ce se produc în timpul topirii. Decalarea funcționării este deosebit de importantă în cazul cuptoarelor de capacitate medie și mare;
- înainte de conectarea transformatorului trebuie verificat dacă nu există pe cuptor obiecte metalice ce să producă scurt circuit;
- în cazul întreruperii apei de răcire a inelelor de etanșare, cuptorul trebuie deconectat de la rețeaua electrică. La revenirea apei de răcire, aceasta nu trebuie să curgă în mod continuu, ci în mod intermitent, prin deschiderea și închiderea robinetului, până la răcirea completă a inelelor;
- personalul ce deservește cuptorul trebuie să poarte echipament de protecție;
- alimentarea electrică a cuptoarelor trebuie făcută printr-un transformator ce să separe galvanic circuitul de alimentare al electrozilor de circuitul legat la rețeaua electrică;
- conductoarele de alimentare a electrozilor împreună cu piesele de susținere trebuie să fie îngrădite împotriva atingerilor. Gardul de plasă de sârmă, cu o înălțime 2,3 m, trebuie să fie amplasat



la o distanță pe orizontală de minimum un metru de poziția cea mai apropiată posibilă a conductoarelor față de gard;

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

- pupitrul de comandă se amplasează într-o încăpere specială în care are acces numai personalul special instruit pentru manevrarea cuptorului;

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

- construcției metalice a cuptorului i se va asigura o continuitate electrică realizată prin sudură. Construcția metalică a cuptorului trebuie folosită drept conductor de protecție;

- în cazul introducerii uneltelor în cuptor, scula metalică se sprijină de o bară metalică orizontală, fixată de construcția metalică a cuptorului și legată electric de construcția metalică a cuptorului. Personalul care introduce o sculă în cuptor trebuie să poarte mănuși electroizolante;

- construcția metalică a cuptorului se leagă prin sudură, în cel puțin două locuri, de instalația de legare la pământ a halei, la care trebuie să fie racordate toate echipamentele electrice aferente cuptorului, inclusiv transformatorului de alimentare;

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

### **7. Securitatea muncii la elaborarea fontei în cubilou**

Principalele măsuri de asigurare a securității muncii sunt următoarele:

- se preferă prevederea cubilourilor cu parascânteie umede și este obligatorie prevederea cubilourilor cu parascânteie;

- în scopul preîntâmpinării exploziilor la gurile de aer, se prevăd dispozitive de comunicație între gurile de aer și atmosferă;

- pe conducta de aer dintre ventilatoare și cutia de aer

trebuie să existe un dispozitiv automat pentru semnalizarea încetării funcționării ventilatoarelor și o supapă ce să evite pătrunderea gazelor de cubilou pe conductă, în timpul opririi neprevăzute a ventilatoarelor. Supapa se amplasează la capătul conductei de aer dinspre cubilou și se montează în așa fel încât să intre în funcțiune automat;

- în cazul în care gurile de aer sunt amplasate mai sus de 1,5 m de nivelul pardoselei, în jurul cubiloului se amenajează o platformă cu o înălțime de minimum 0,8 m și prevăzută cu balustradă;

- mărirea presiunii aerului la valoarea de regim se face treptat prin deschiderea progresivă a vanei;

- în cazul în care cubiloul funcționează cu cocs și gaz metan, se impune ca instalația de ardere a gazului metan să fie prevăzută cu sisteme de protecție împotriva pericolului de explozie;

- pentru supravegherea mersului cubiloului și pentru desfundarea gurilor de aer, fiecare gură de aer este prevăzută cu o ramă rabatabilă cu vizor;

- încărcarea cubiloului se preferă să se facă mecanizat (în cazul cubilourilor noi, încărcarea mecanizată este obligatorie);

- nu se depășește sarcina maximă ce poate fi suportată de platforma de încărcare, sarcina maximă fiind afișată vizibil;

- platforma de încărcare trebuie să aibă o suprafață de minimum 8 m<sup>2</sup>, să nu fie alunecoasă, să fie executată din material ignifug, să aibă balustradă, să aibă la margine o bordură cu înălțimea de 10 mm și să fie prevăzută cu scară de acces ce are balustradă și trepte nealunecoase;

- în fața cubilourilor se rezervă ca loc de lucru un teren cu lățimea de minimum 5 m, pardosit de regulă cu plăci de fontă, întreținut în stare perfect uscată etc.;

- mantaua metalică a cubiloului trebuie să aibă toate îmbinările etanșe;

- în cazul încălzirii mantalei până la culoarea roșie, se oprește cubiloul imediat și se răcește porțiunea supraîncălzită prin suflare cu aer până la descărcarea cubiloului (se interzice răcirea prin stropire cu apă);

- cubilourile răcite cu apă se prevăd cu două surse de

alimentare cu apă. La aceste cubilouri se controlează zilnic etanșeitatea mantalei de răcire, a conductelor de aducțiune și a conductelor de evacuare a apei (neetanșeitățile se remediază imediat);

- fundurile cubilourilor trebuie să fie prevăzute cu orificii necesare evacuării vaporilor de apă ce se degajă în timpul uscării vetrei după căptușire;

- înainte de evacuarea fontei, jghebul cubiloului se încălzește la temperatura de minimum 200<sup>0</sup>C și apoi este acoperit, până la evacuare, cu o placă de oțel sau de azbest sau înlocuitor al acestuia. Înainte de evacuare, se pregătesc cel puțin două dopuri de obturare a orificiului de evacuare a fontei montate pe mânere speciale;

- staționarea sau trecerea pe sub cubilou în timpul funcționării lui este interzisă;

- descărcarea cubiloului (prăbușirea vetrei) se realizează numai de către personalul instruit special în acest scop, avându-se în vedere și instalarea de paravane de protecție împotriva stropilor de zgură, metalului incandescent și, de asemenea, cocsului incandescent și fondantului incandescent;

- pentru a se micșora concentrația de monoxid de carbon de pe platforma de încărcare, se introduce aer proaspăt pe aceasta sau se prevede o perdea de aer deasupra gurii de încărcare;

- în cazul blocării încărcăturii în cuva cubiloului, deblocarea se realizează de la distanță, prin intermediul unor rânghi cu lungimea de minimum 2,5 m. Deblocarea încărcăturii poate produce refularea gazelor de cubilou prin orificiile vizoarelor de la gurile de aer, ceea ce impune, ca în timpul deblocării încărcăturii, să se evacueze personalul din jurul cubiloului iar insuflarea aerului de combustie să fie întreruptă;

- la evacuarea fontei, orificiul de evacuare trebuie să fie dezobturat complet, urmărindu-se obținerea unui orificiu cu secțiune transversală circulară ce să asigure curgerea fontei într-un jet uniform, fără stropi;

- personalul ce deservește cubiloul trebuie să poarte obligatoriu echipament de protecție etc.,[4].

### **8. Bibliografie**

1. xxx. Normativ de protecție a muncii. București. Oficiul de informare documentară. Volumul 2. 1987;
2. xxx. Normativ de protecție a muncii. București. Oficiul de informare documentară. Volumul 1. 1987;
3. Micu, E. Construcția și exploatarea cuptoarelor de topire din industrie. București. Editura Tehnică. 1975.
4. Cojocaru-Filipiuc, V. Fonte – obținere. Iași. Editura "Samia". 2003.