



(12)

## CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2014 00524**

(22) Data de depozit: **09/07/2014**

(41) Data publicării cererii:  
**29/01/2016** BOPI nr. 1/2016

(71) Solicitant:  
• **SPIRIDON LANDES VICTOR,**  
STR. FĂINARI NR. 8, BL. 71, SC. A, AP. 10,  
BUCUREȘTI, B, RO;  
• **BRĂILOIU MIRCEA, STR.MEHADIA**  
NR.18, BL.21, SC.2, AP.62, SECTOR 6,  
BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:  
• **SPIRIDON LANDES VICTOR,**  
STR. FĂINARI NR. 8, BL. 71, SC. A, AP. 10,  
BUCUREȘTI, B, RO;  
• **BRĂILOIU MIRCEA, STR.MEHADIA**  
NR.18, BL.21, SC.2, AP.62, SECTOR 6,  
BUCUREȘTI, B, RO

(54) **PROCEDEU ȘI INSTALAȚIE PENTRU ELABORAREA  
OȚELURILOR SLAB ALIATE CU SILICIU, DESTINATE  
OBȚINERII BENZILOR PENTRU TRANSFORMATOARELE  
ELECTRICE DE MARE PUTERE**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un procedeu și la o instalație pentru elaborarea oțelurilor slab aliate cu siliciu, destinate obținerii benzilor care intră în componența transformatoarelor electrice de mare putere. Procedeu conform invenției se execută într-un cuptor electric trifazic cu arc în care materia primă o reprezintă minereurile de fier cu conținut în Fe > 60%, unde are loc o reducere a oxizilor din minereu cu Si metalic și Al, urmată de o dezoxidare avansată, mai întâi prin difuzie și apoi prin precipitare când are loc și alierea cu Si și introducerea în oțel a silicocalciului cu azot ca inhibitor, oțelul lichid fiind deșarjat într-o oală de turnare unde este barbotat cu argon și transportat către instalația de turnare continuă, obținându-se brame care sunt încălzite ulterior la temperaturi cuprinse între 1380 și 1430°C în cuptorul cu

propulsie și laminate în benzi de 2 mm grosime, urmat de tratamentul termic de normalizare, decapare și prima laminare la rece la grosimea de 0,7...0,8 mm, se execută o recoacere intermediară în atmosferă reducătoare, urmată de a doua laminare la rece la grosimea finală de 0,3...0,30 mm, continuând cu o recoacere de recristalizare secundară la temperatura de 1170°C în atmosferă de hidrogen, iar ca etapă finală se aplică pe benzi un lac electroizolant din forsterită  $Mg_2SiO_4$  cu o grosime cuprinsă între 2 și 5  $\mu m$ , obținându-se o compoziție de oțel cu maximum 0,002% C și maximum 3,5% Si, și o textură cu grăunți orientați având valori mari ale inducției și permeabilității magnetice.

Revendicări: 2



## PROCEDEU ȘI INSTALAȚIE PENTRU ELABORAREA OȚELURILOR SLAB ALIATE CU SILICIU DESTINATE OBȚINERII BENZILOR, PENTRU TRANSFORMATOARELE ELECTRICE DE MARE PUTERE

Benzile din oțel slab aliat cu siliciu sunt utilizate, pentru construcția circuitelor magnetice, pentru echiparea transformatoarelor și fac parte din grupa oțelurilor electrotehnice, dar și din domeniul materialelor magnetice.

Materialele magnetice sunt împărțite în materiale moi și materiale dure. Recent s-au adăugat și materialele semidure, clasă rezervată numai mediilor de înregistrare magnetică.

Materialele magnetice moi, denumite datorită legăturii ce există între slaba duritate mecanică ce caracterizează oțelurile obișnuite și care fac parte din această categorie și ușurința, cu care poate fi inversată magnetizarea lor. Ele au calitatea de a putea concentra fluxul magnetic din piesele componente de orice formă ale circuitelor magnetice.

Aplicațiile electrotehnice, în care se utilizează materialele magnetice moi, se împart în două categorii: conversia electromecanică reversibilă a energiei, adică mașinile electrice și modificarea parametrilor de utilizare a energiei electrice, adică transformatoarele electrice de putere, sau cele cu destinație specială.

Parametrii, pentru materialele magnetice utilizate sunt: permeabilitatea magnetică cât mai ridicată, un câmp coercitiv și pierderi cât mai reduse de energie și magnetizarea de saturație.

Un bun material magnetic moale, supus unui câmp magnetic relativ slab, trebuie să prezinte o magnetizație foarte ridicată, cât mai aproape de valoarea de saturație. Această ușurință de magnetizare înseamnă o permeabilitate magnetică foarte ridicată, dar presupune și o inducție de saturație înaltă.

Reducerea pierderilor de energie, numite în mod obișnuit pierderi în fier, au în principiu trei componente: pierderi prin histerezis, pierderi prin curenți turbionari (Foucault) și pierderi în exces.

Aceste materiale sunt caracterizate prin ciclul histerezis îngust, permeabilitate magnetică mare, câmp coercitiv mic și pierderi magnetice minime.

Caracteristica de bază a acestora constă în faptul că, la încetarea câmpului magnetic ele se demagnetizează.

Materialele magnetice moi se folosesc, atât în curent continuu, cât și în curent alternativ, la frecvența rețelei, sau la frecvențe mai mari.

Oțelul slab aliat cu siliciu este materialul cel mai reprezentativ din acest domeniu.

Denumirea de bandă silicioasă este dată după elementul, care imprimă materialului caracteristica specifică, deși conținutul de siliciu este mic în comparație cu conținutul în fier.

O serie de factori influențează proprietățile magnetice precum: compoziția chimică, incluziunile nemagnetice, mărimea grăunților, anizotropiile, tratamentele termice, sollicitările mecanice, etc..

Unii din factori pot fi favorabili, iar alții dăunători.

Siliciul are o importanță hotărâtoare asupra structurii și proprietăților magnetice ale oțelurilor.

Siliciul mărește rezistivitatea aliajului fier-siliciu și micșorează pierderile prin curenți turbionari, dar și pierderile prin histerezis, contribuind la mărirea permeabilității.

Este de menționat că, micșorarea inducției de saturație scade cu aproximativ 0,048 T (480 Gs) pentru fiecare procent de siliciu.

La un conținut de 6-6,5 % Si, constantele de anizotropie cristalină și magnetostricțiunea devin practic nule, ceea ce asigură caracteristici magnetice foarte bune, adică pierderi magnetice foarte mici și permeabilitate mare.

Siliciul mărește limita de curgere, de rupere și îndeosebi duritatea oțelului. Concomitent cu ridicarea durității se mărește puternic și fragilitatea oțelului, ceea ce accentuează pericolul apariției crăpăturilor la laminare, la manipulare și prelucrare la rece, astfel că la conținuturi de peste 4,5% Si oțelurile nu mai au practic aplicație

Trebuie menționat că, prezența aluminiului a condus la caracteristici magnetice foarte bune, în sensul că mărește rezistivitatea aliajului și poate înlocui parțial siliciul în aliajul fier-siliciu.

Aliajul fier-aluminiu cu un conținut de 16% aluminiu este ductil și poate fi laminat la dimensiuni foarte reduse.

Printre alte adaosuri favorabile menționăm: nichelul, cobaltul, cromul, molibdenul și cuprul.

Solicitările mecanice ca urmare a operațiilor de tăiere, găurire, presare, îndoire și altele, înrăutățesc caracteristicile magnetice ale materialului.

Pentru restabilirea caracteristicilor mecanice este necesar să se aplice materialului un tratament termic, care se face în vid, în hidrogen, sau în prezența altui gaz de protecție.

Este de precizat că, nu trebuie confundate solicitările mecanice folosite în anumite împrejurări cum este cazul, pentru obținerea unei anizotropii magnetice, prin laminarea la rece în vederea obținerii unei benzi texturate.

Cercetările au arătat că, din punct de vedere științific, cu cât fierul conține cât mai puține impurități, caracteristicile magnetice ating valori foarte mari ale permeabilității.

În asemenea cazuri conținutul de carbon atinge valori de 0,01%, ceea ce în practica obișnuită nu se poate obține decât până la 0,03%.

Așa cum s-a arătat mai sus, îndepărtarea impurităților din oțel și a carbonului, conduce la o îmbunătățire a caracteristicilor magnetice.

Posibilitățile de prelucrare a aliajelor fier-siliciu se limitează practic la 4,5% Si, când materialul este laminat la cald și 3,5% Si, pentru laminarea la rece.

Pe plan mondial, pentru circuitele magnetice curente, se consideră un oțel calitativ bun, dacă nu sunt depășite valorile pentru:

C 0,03%; P 0,025%; S 0,025%.

Oțelurile slab aliate cu siliciu sunt folosite sub formă de tablă, benzi, bare, sau în diferite profile.

Carbonul este elementul cel mai dăunător în compoziția materialelor magnetice moi.

El rămâne în material după răcirea aliajului sub diverse forme: ca soluție solidă, ca un compus sub formă de cementită liberă, sau perlită, fie sub formă de carbon liber și în acest caz mărește câmpul coercitiv, reduce permeabilitatea magnetică și favorizează îmbătrânirea aliajului.

Oxigenul influențează negativ asupra plasticității materialului. Azotul afectează în mai mică măsură caracteristicile magnetice. Sulfurul mărește de asemenea câmpul coercitiv. Fosforul mărește pierderile histerezis, însă afectează în măsură mai mică câmpul coercitiv. Manganul favorizează formarea cementitei.

Ca urmare a celor prezentate mai sus, în invenția de față se ține seama la elaborarea oțelului slab aliat cu siliciu, de eliminarea în măsură cât mai mare a elementelor dăunătoare.

Trebuie de asemenea subliniat faptul că, este convenabil ca materialele magnetice moi să aibă o constantă de magnetostricțiune la saturație  $\lambda_s$  de valoare foarte redusă, astfel încât comportarea lor să depindă cât mai puțin de eventualele tensiuni mecanice existente în material.

În majoritatea cazurilor, magnetostricțiunea reprezintă mai curând o restricție, de care trebuie să se țină cont la proiectare, deoarece ea poate induce o anizotropie destul de însemnată, atunci când materialul este supus unor tensiuni mecanice.

Acest efect, justifică obligația tratamentului termic, adică al recoacerii materialelor magneto-stricitive, în scopul reducerii tensiunilor reziduale, care mai subzistă în material după fabricarea sa.

Din oțelurile electrice se fabrică circuitele (miezurile) magnetice ale instalațiilor de mare putere, cum este oțelul slab aliat cu siliciu neorientat folosit la fabricarea mașinilor electrice rotative, sau cu grăunți orientați folosit la fabricarea transformatoarelor electrice, care funcționează în curent alternativ la frecvență industrială (50 sau 60 Hz).

Acest oțel reprezintă o bună combinație între proprietățile magnetice și cele mecanice.

Oțelurile slab aliate cu siliciu sunt magnetice până la un conținut de 33% masice (adică 50% atomice).

Siliciul este solubil în fier  $\alpha$  până la 15 %, adică 25% atomice și se substituie atomilor de fier, fără modificări notabile de natură cristalografică, cu excepția unei ușoare reduceri a constantei de rețea.

Efectul cel mai important al alierii este eliminarea fazei  $\gamma$  (CFC) a fierului, în intervalul de temperaturi 900-1450 °C, pentru un conținut de siliciu mai mare de 2,2%.

Acest lucru permite cristalizarea benzilor la o temperatură ridicată 1000-1400 °C, evitând în același timp trecerea oțelului printr-un punct critic, când este răcit.

Alierea cu siliciu aduce mai multe îmbunătățiri:

- suprimarea transformării de fază  $\alpha \rightleftharpoons \gamma$  a fierului, ceea ce permite realizarea unor tratamente la temperaturi relativ ridicate, adică mai mari ca 900 °C, favorabile recristalizării și detensionării interne, în timp ce alte impurități, precum carbonul, au un efect contrar.

Se obține astfel o creștere mai ușoară a grăunților și o textură mai bine marcată a lor;

- creșterea rezistivității electrice a oțelului, ceea ce duce la scăderea pierderilor prin curenți turbionari. Experimentările au arătat că, un efect aproape tot atât de important ca al siliciului, îl prezintă și aluminiul;

- reducerea magnetostricțiunii, cu atât mai importantă, cu cât conținutul în siliciu este mai ridicat. Acest lucru duce la reducerea câmpului coercitiv și deci a pierderilor prin histerezis și a zgomotului în funcționare a transformatoarelor. Din acest punct de vedere, cea mai bună compoziție este cea cu circa 6% Si;

- reducerea anizotropiei magnetocristaline și deci creșterea permeabilității oțelului cu grăunți neorientați;

- reducerea îmbătrânirii magnetice, prin fixarea atomilor interstițiali, ca de exemplu atomii de carbon, care în cazul invenției de față este de ordinul miilor de procente și ca urmare oțelul prezintă o mai mare stabilitate în timp;

- creșterea durității și rigidității oțelului, ceea ce face posibilă prelucrarea, prin poansonare cu cadențe ridicate, în cele mai variate forme geometrice.

Totuși trebuie menționate și unele efecte defavorabile ale alierii cu siliciu precum:

- descreșterea inducției de saturație  $B_s$ ;

- scăderea temperaturii Curie și a ductibilității oțelului, care începe să devină friabil dincolo de 4,5% Si. De aceea oțelurile folosite în construcția transformatoarelor au un conținut între 3 și 4% Si.

Experimentările au arătat că, o cale importantă de reducere a pierderilor prin curenți turbionari este utilizarea unor benzi de grosimi din ce în ce mai reduse.

Minimul pierderilor corespunde unei grosimi de bandă comparabile cu adâncimea echivalentă de pătrundere a câmpului la frecvența industrială și care este de 0,3-0,7 mm.

Există două mari categorii de benzi magnetice: benzi neorientate ( prescurtat N.O.) și benzi cu grăunți orientați (prescurtat G.O.), care au domenii de utilizare diferite.

Benzile N.O. servesc la fabricarea miezurilor magnetice ale mașinilor electrice rotative și a unui mare număr de alte dispozitive, în timp ce benzile G.O. sunt utilizate la fabricarea circuitelor magnetice ale transformatoarelor electrice.

Benzile N.O. se produc în prezent exclusiv prin laminare la rece, pornind de la o bandă primară obținută prin laminare la cald. Ele sunt utilizate în două variante:

- benzi recoapte, la care acoperirea finală se face înainte de a le livra utilizatorului și care are pierderi foarte reduse;

- benzi nefinisate, livrate în stare intermediară capabile de o inducție de lucru mai ridicată.

După decupare, aceste tole trebuie în mod obligatoriu recoapte și abia apoi acoperite cu stratul electroizolant.

18

În cazul transformatoarelor, datorită faptului că, tolele sunt parcurse de fluxul magnetic într-o direcție bine determinată, este avantajos ca cea mai mare valoare a permeabilității să fie asigurată după direcția respectivă.

Direcția magnetic privilegiată este una din axele [001] ale cristalului.

Operația, care constă în inducerea unei anizotropii uniaxiale foarte pronunțată în oțel se realizează, prin procedee metalurgice și tehnologice speciale.

Este vorba de laminarea la cald și la rece, cu ajutorul cărora se obține oțelul cu grăunți orientați.

Este de subliniat faptul că, adăugarea siliciului este benefică, întrucât duce la creșterea diametrului grăunților, pentru un conținut de 3% Si și în acest caz diametrul grăunților este de circa 10 mm, valoare acceptabilă din punct de vedere al pierderilor.

Punerea la punct a fabricării benzilor cu grăunți orientați G. O. a căror textură caracteristică este (110) [001] numită textură Goss, a reprezentat o etapă, pentru producerea benzilor destinate transformatoarelor.

În această textură Goss, indicele (110) reprezintă planul cristalografic din rețeaua cubică, iar indicele [001] reprezintă direcția cristalină cu cea mai mare densitate de noduri în cubul simplu.

Este de menționat că N. P. Goss și apoi N. Litmann au dovedit că, există o strânsă corelație între caracteristicile magnetice ale benzilor de transformator și o anumită orientare cristalografică.

Textura cristalografică este influențată de: compoziția chimică a oțelului, gradul de deformare la cald și la rece și condițiile de tratament termic.

În invenția prezentă s-a introdus ca element de microaliere silicocalciu azot, pentru a obține precipitate de faze secundare cu rol de inhibitor, pentru a controla dimensiunea grăunților cristalini, până în faza finală a procesului tehnologic.

Prin experimentări s-a constatat că, odată cu creșterea timpului de menținere la recoacerea primară se produce dezvoltarea componentei de textură Goss.

Fluxul tehnologic de procesare a benzilor din oțel slab aliat cu siliciu cu grăunți orientați aplicat în prezent pe plan mondial prevede:

- elaborarea oțelului în convertizor cu insuflare combinată și cu tratament sub vid al oțelului lichid, pentru dezoxidare și aliere, în vederea obținerii următoarei compoziții chimice pe oțel lichid: C 0,05-0,07%, Si 2,8-3,0%, Mn 0,08-0,10%, S 0,028-0,038%, N 0,006-0,008%, Al 0,02-0,04%;

- turnarea continuă cu protecția jetului la turnare cu gaz inert și tuburi imersate și obținerea de brame cu grosimi între 180 și 200 mm și lățimi între 1200 și 1300 mm;

- încărcarea în cuptoare cu propulsie, pentru laminare în condițiile următoare:

- temperatura minimă de încărcare 600 °C;

- temperatura cuptorului cu propulsie între 1360 și 1400±20 °C;

- laminarea benzii la cald în următoare condiții:

- temperatura de ieșire din caja D5 1250-1270 °C;

- temperatura benzii la intrarea în trenul finisor, minim 1150 °C;



- temperatura de ieșire din caja F7 între 920 și 950 °C;
- dimensiunile benzii 1,8-2,0 mm grosime și 1200- 1300 mm lățime;
- toleranța la grosime  $\pm 0,02$  mm;
- răcire controlată cu apă a benzii, care va asigura o temperatură de rulare a benzii între 540-580 °C;
- control tehnic de calitate;
- pregătirea benzii , care constă în sudarea cap la cap a benzii din oțel silicios cu bandă ajutătoare din oțel carbon, pentru prindere în ruloare;
- normalizare – sablare – decapare;
  - temperatura 1100-1150 °C, cu menținere 1 minut;
  - viteza de răcire: între 1150-900 °C cu 1-2 °C/sec., iar între 900-150 °C răcire cu apă;
  - decapare în soluție de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Laminarea la rece se execută pe un laminor policilindric cu 20 cilindri, din care 2 cilindri de lucru în contact cu banda și restul cilindrilor sunt de sprijin.

- laminarea I la rece;
  - grosimea benzii 0,7-0,8 mm; lățimea 1100-1200 mm;
- remanierea benzii;
  - debitarea marginilor fisurate;
- recoacerea intermediară;
  - parametrii tratamentului: 900 °C timp de 3 minute;
  - atmosfera din cuptor: 80% N<sub>2</sub>+20% H<sub>2</sub>;
- laminarea a II-a la rece:
  - grad de reducere : minim 55%;
  - dimensiune bandă: grosime minim 0,23 mm, lățime 1100-1200 mm;
- tratament termic de recoacere și de decarburare:
  - parametrii tratamentului: 840 °C timp de 3-5 minute;
  - atmosfera din cuptor: 65% N<sub>2</sub>+27%H<sub>2</sub>+8%H<sub>2</sub>O;
  - conținutul în carbon după decarburare: 0,003%;
- recoacerea finală:
  - temperatura: 1170 °C;
  - atmosfera în cuptor: 100% H<sub>2</sub>;
- acoperirea benzii cu lac electroizolant;
  - lacul electroizolant are un coeficient scăzut de dilatare termică și o bună aderență la suprafața benzii;
  - temperatura benzii în timpul acoperiri este de 700 °C;
  - după răcirea benzii, datorită coeficienților de dilatare diferiți ai benzii și al lacului, se introduce o tensionare a benzii de 0,5-1,0 kgf/mm<sup>2</sup>;
- iradierea benzii cu laser, pentru scăderea pierderilor magnetice sub 1W/kg;
  - iradierea cu laser micșorează domeniile magnetice din interiorul grăunților mari cu diametrul mediu de 15-20 mm, prin introducerea unor linii de deformare locală, perpendiculare pe direcția de laminare,

la distanțe de circa 5 mm între ele, ceea ce micșorează pierderile magnetice;

- control tehnic de calitate.

Prin urmare, tehnologia constă dintr-o laminare primară la cald, urmată de o succesiune de laminări la rece și de tratamente termice, adică o recoacere intermediară în atmosferă reducătoare la temperatura de 900 °C și o recoacere de recristalizare secundară în atmosferă de hidrogen la temperatura de 1.170 °C, în cursul căreia se produce o creștere a grăunților, adică o recristalizare secundară centrată pe axa (110) [001].

Dimensiunile finale ale grăunților sunt de ordinul centimetrilor.

Creșterea permeabilității este cu atât mai importantă, cu cât textura realizată este mai bine grupată în jurul acestei direcții.

Cu cât grăunții sunt mai mari, ei oferă o rezistență mai mică mișcării pereților, ceea ce duce la reducerea câmpului coercitiv și a pierderilor prin histeresis, ca și a celor prin curenți turbionari.

Valoarea ridicată a permeabilității se obține, urmărind realizarea unei texturi favorabile caracterizată printr-o bună aliniere a axelor grăunților.

Oțelurile astfel texturate sunt cele cu grăunți orientați, iar cele mai performante sunt oțelurile cu inducție ridicată HIB.

Caracterizând, într-o primă aproximație, perfecțiunea unei texturi, prin unghiul maxim  $\Theta_{\max}$  de abatere al axei [001] de la direcția de laminare, variația pierderilor poate fi evaluată în funcție de acest unghi.

Se disting astfel:

- oțeluri convenționale (C. G. O.) cu o structură mediocră, caracterizată prin  $\Theta_{\max} > 15^\circ$ , cu pierderi de circa 1,5 W/kg la 1,5 T și 50Hz, iar la o inducție de 1,7 T îi corespunde un câmp de 800 A/m (10 Oe);

- oțeluri înalt orientate (H. G. O.), cu o textură superioară, caracterizată prin  $\Theta_{\max} < 5^\circ$ , în care pierderile sunt de aproximativ 0,8 W/kg, iar la condițiile de excitație mai sus menționate, inducția atinge valori de 1,9 T.

La fabricarea acestor oțeluri, pentru creșterea grăunților se utilizează inhibitori secundari, în scopul asigurării unei texturi cât mai bine orientate pe direcția (110) [001].

În tabelul 1 sunt prezentate câteva din caracteristicile magnetice ale oțelurilor slab aliate cu siliciu.

Piese prelucrate, prin procedee ce duc la solicitări mecanice în material trebuie tratate termic, pentru eliminarea efectelor dăunătoare ale tensiunilor interne și restabilirea caracteristicilor magnetice.

Tratamentele termice se execută în vid, sau în atmosfere protectoare contra oxidării.

Se iau măsuri ca, elementele dăunătoare, în special conținutul de carbon să nu fie mărit.



Temperaturile de tratare sunt în jur de  $800 \pm 10$  °C, cu un palier, care depinde de secțiunea oțelului, de la o oră până la mai multe ore și apoi răcire lentă cu 30-50°C/h în cuptor până la 300 °C, iar după aceea răcire în aer.

Tabelul 1.

Tipul și compoziția masică	Înducția $B_s$ [T]	Punctul Curie $T_c$ [°C]	Rezistivitatea $\rho$ ( $\times 10^{-8}$ ) [ $\Omega m$ ]	Permeabilitatea $\mu_{rel}$ max.	Câmpul coercitiv $H_c$ {A/m}	Pierderi în fier (la 50Hz) B=1T B=1,5T
Oțel cu 3,5% izotrop	1,97	690	60	7.000	32	1,3 1,5
Oțel cu 3,5% orientat (110) [001]	(1) 2,02	720	47	60.000	8	0,49 1,07 $\Delta=0,3$ mm
	(2) 2,02	720	47	80.000	6	0,35 0,74 $\Delta=0,23$ mm

Notă: (1) = oțeluri convenționale cu grăunți orientați (C. G. O.) – „conventional grain oriented”

(2) = oțeluri cu grăunți înalt orientați (H.G.O.) - „high grain oriented”

La piese cu secțiune mare, temperatura de 800 °C poate fi depășită.

Prin tratamentul termic se reduce și îmbătrânirea materialului.

Sub noțiunea de îmbătrânire se înțelege creșterea procentuală a câmpului coercitiv în timp.

Obiectivul prezentei invenții îl constituie modificarea procedurii de elaborare a oțelului slab aliat cu siliciu destinat fabricării benzilor pentru transformatoare, în raport cu tehnologia actuală de elaborare a oțelului slab aliat cu siliciu pe plan mondial.

Elementele de originalitate ale acestei invenții sunt următoarele:

- cuptorul, în care are loc elaborarea oțelului slab aliat cu siliciu este de tip cuptor electric trifazic cu arc, față de convertizorul cu insuflare de oxigen utilizat pe plan mondial în marea majoritate;

hy

- materia primă utilizată, pentru elaborare este minereul de fier cu un conținut de peste 60% Fe, spre deosebire de procedeul utilizat pe plan mondial, de elaborare în convertizoare, care necesită ca materie primă fonta de afinare obținută în furnale. Procedeul din prezenta invenție elimină necesitatea furnalelor cu anexele lor cele mai importante: suflantele, care furnizează aerul în cantitățile și la presiunile necesare, preîncălzitoarele de aer numite caupere și cuptoarele de cocsificare, pentru producerea cocsului metalurgic, combustibilul solid folosit aproape în exclusivitate la producerea fontei în furnale.

Menționăm că, elaborarea oțelului în convertizoare de tip L.D., care constă în afinarea fontei cu oxigen gazos extras din aer, necesită fabrici speciale de oxigen cu grupuri, care produc 10.000-12.000 Nm<sup>3</sup>O<sub>2</sub>/h și chiar mai mari, la care puritatea oxigenului trebuie să fie mai mare de 99,5%.

Deci invenția nu prevede elaborarea oțelurilor în convertizoare cu insuflare de oxigen pe sus și nici prezența unor fabrici de produs oxigen.

- actuala tehnologie de fabricație a benzilor electrotehnice cu grosimi sub 0,35 mm prevede practicarea unui tratament termochimic de decarburare după ultima etapă de laminare la rece, cu scopul de scădere a conținutului de carbon a benzii sub 0,004%.

Prin această invenție, tratamentul de decarburare este eliminat, întrucât conținutul scăzut de carbon în oțel se obține direct din elaborare.

De asemenea, se face precizarea că, în timp ce Japonia folosește ca inhibitor AlN, iar Germania MnS, în invenție este folosit SiCa azot.

Trebuie menționat că, celelalte etape din fluxul tehnologic, prevăzut pentru uzina Nippon Steel, rămân valabile și pentru fluxul tehnologic al invenției.

Materiile prime utilizate la elaborarea oțelului slab aliat cu siliciu sunt următoarele:

- a. minereurile de fier cu conținuturi de oxizi cum sunt: hematitele Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> cu 30,06% O și magnetitele Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> cu 27,64% O și conținuturi reduse de fosfor și sulf. Conținutul de fier trebuie să fie mai mare de 60%.

În tabelul 2 sunt prezentate compozițiile chimice exprimate în procente masice a unor minereuri de fier, care corespund scopului urmărit în invenție.

Granulația optimă a bucăților de minereu trebuie să fie cuprinsă între 25 și 50 mm.

Clasa -25 mm trebuie brichetată, pentru a nu înrăutăți permeabilitatea încărcăturii.

Minerurile de fier sunt aduse în vagoane de cale ferată și tractate cu locomotiva pe estacadă. Cu ajutorul culbutorului, fiecare vagon este descărcat în siloz.

Se recomandă ca, pentru fiecare categorie de minereu să fie alocat câte un siloz.

Tabelul 2

Compoziția chimică a minerurilor de fier din diferite zăcăminte

Denumirea minei	Țara	Compoziția chimică în % greutate				
		Fe total	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S	P
1	2	3	4	5	6	7
Itabira	Brazilia	68,9	0,35	0,60	0,010	0,030
MBR	Brazilia	67,3	0,79	0,72	0,005	0,037
Carajas	Brazilia	65,4	1,00	1,05	0,010	0,038
Nanfen	China	63,4	6,28	1,16	0,110	
Goldsworthy	Australia	63,2	4,90	1,60		0,035
Hammersley	Australia	62,7	4,20	2,73	0,016	0,059
Donimalai	India	63,5	3,00	3,00	0,050	0,080
Bailadila	India	64,0	2,50	2,50	0,050	0,010
Bakal	Rusia	60,7	2,40	2,00	0,030	0,004
Reserve	S. U. A.	63,0	8,10	0,40	0,003	0,020
Rushekye	Uganda	68,4	0,96	0,58	0,00-1	0,020
Kamena	Uganda	67,9	0,80	0,65	0,002	0,02
Kyanyamuzinda	Uganda	68,7	0,41	0,35	0,006	0,02
Nyamiyaga	Uganda	69,0	0,62	0,43	0,001	0,02
Butare	Uganda	67,5	1,20	1,00	0,00-1	0,05
Kashenyi	Uganda	60,6	5,10	6,00	0,003	0,02

Silozurile trebuie să aibe acoperișuri mobile, pentru a nu mări cantitatea de umiditate datorită intemperiiilor: ploilor sau zăpezilor. Totodată trebuie cunoscută compoziția chimică și proveniența minereului.

b. ca reducători sunt folosiți:

- siliciul metalic. A fost ales ca reducător, pentru că este lipsit de elemente nocive, precum carbonul, sulful și fosforul. Este de menționat că, în majoritatea documentelor române și străine consultate de autori, nu este dat conținutul de carbon.

Totuși, într-un document, privind fabricarea siliciului tehnic obținut prin procesul de topire reducătoare din cuarțite de înaltă puritate, se menționează că se admit conținuturi maxime petru: C 0,2%; S 0,0025%; P 0,01%.

Siliciul metalic are o capacitate mare de reacție; este rezistent din punct de vedere mecanic, atât la temperatură joasă cât și la temperatură înaltă, având ca punct de topire 1414 °C.

Dimensiunea recomandată, pentru siliciu metalic este între 20 și 50 mm.

Deși siliciul este metaloid, în majoritatea lucrărilor cercetate de autori, se vorbește despre siliciul metalic.

- Aluminiul este un dezoxidant și mai puternic decât siliciul.
- Silicocalciu reprezintă un aliaj de siliciu și de calciu și are proprietatea ca la dezoxidarea oțelurilor să formeze numai incluziuni globulare, net superioare incluziunilor în lanț.

Dimensiunile de utilizare pentru aluminiu bucăți este de 60-120 mm, iar pentru silicocalciu între 20-50 mm.

c. ca fondanți, pentru formarea zgurei, se folosesc următoarele materiale:

- varul ars cu componentul său principal CaO. El trebuie folosit proaspăt, nu mai vechi de 24 ore, fiindcă în contact cu umiditatea din atmosferă, oxidul de calciu formează hidroxidul de calciu  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , care poate reacționa cu dioxidul de carbon din atmosferă, formând din nou carbonat de calciu  $\text{CaCO}_3$  proces însoțit de fărâmițarea bucăților.

Dimensiunea de folosire a varului este de la 20 la 50 mm

- Fluorina are component principal fluorura de calciu  $\text{CaF}_2$ . Este fluidizantul cel mai bun, pentru zgurile utilizate la elaborarea oțelurilor.

Granulația fluorinei trebuie să fie între 20 și 50 mm.

Ca inhibitor este utilizat silicocalciu azotat, conținând între 8 și 10% azot și cu granulația între 20 și 50 mm..

Compozițiile chimice exprimate în procente masice, ale reducătorilor, ale fondanților și a inhibitorului sunt prezentate în tabelul 3.

Tabelul 3

Materii primare și auxiliare	Compoziție chimică în %																
	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Cu	P	S	CaF <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO+ MgO	P. C.	Si	Al	C	Ca	Fe	Zn	Azot
fluorină	≤5	—	≤2,5	—	—	≤0,2	≥92	≤0,1	≤0,4	≤0,3	—	—	—	—	—	—	—
car ars	—	≤1,3	≤1	—	—	≤0,1	—	≤1	≥93	≤4	—	—	—	—	—	—	—
iliciu metalic	—	—	—	—	≤0,01	≤0,0025	—	—	—	—	≥98,8	≤0,40	≤0,2	—	≤0,50	—	—
Ca 30	—	—	—	—	≤0,05	≤0,04	—	—	—	—	≥55	≤2	≤0,5	≥30	≤6	—	—
luminii afinat electrolitic	—	—	—	≤0,03	—	—	—	—	—	—	≤0,003	≥99,99	—	—	≤0,003	≤0,002	—
luminii ulbere	—	—	—	≤0,02	—	—	—	—	—	—	≤0,3	≥97	≤0,45	≤0,02	≤0,50	≤0,05	—
ilicocalciu zot	—	—	—	—	≤0,05	≤0,04	—	—	—	—	≥55	—	≤0,5	≥30	≤6	—	8-10

Procesele fizico-chimice din cadrul procedurii de reducere se realizează pe baza desfășurării unei multitudini de reacții în mediul eterogen (baia metalică-zgură).

Pentru ca aceste reacții să se desfășoare, este necesar să se cunoască condițiile ce trebuie create.

În acest sens, trebuie studiat echilibrul acestor reacții, prin valorile constantei de echilibru și ale activităților componentilor, precum și parametrii, care influențează echilibrul.

Condițiile de bază, pentru realizarea procesului de reducere este ca oxizii metalelor ce trebuie reduși, să fie mai puțin stabili, decât oxizii metalelor folosiți ca reducători.

Pentru compararea stabilității diferiților oxizi, trebuie cunoscută variația potențialului termodinamic al reacțiilor de formare a acestor oxizi în funcție de temperatură

Din acest studiu rezultă că, cei mai puțin stabili sunt oxizii de  $\text{MoO}_3$ ,  $\text{WO}_3$  care se reduc ușor, în timp ce  $\text{CaO}$ ,  $\text{ZrO}_2$  și  $\text{Al}_2\text{O}_3$  se reduc greu.

Prin urmare, orice metal, care are un oxid mai stabil poate servi drept reducător, pentru orice oxid mai puțin stabil.

Dacă un element chimic are mai mulți oxizi, cum este cazul fierului, cel mai stabil dintre ei este oxidul inferior, care se va reduce cel mai greu. Prin urmare, rezultatele obținute în procesul reducerii unor elemente depinde de stabilitatea oxizilor inferiori ai acestora.

Se știe că, reducerea reprezintă procesul de acceptare de electroni, prin transformarea oxidului superior în oxid inferior, sau în metal.

Realizarea acestui proces impune ca, potențialul de oxigen al sistemului să fie mai mic, decât cel al oxidului ce urmează să fie redus, adică

$$P_{\text{O(sistem)}} < P_{\text{O(MeO)}}$$

Se folosesc ca reducători: carbonul, siliciul și aluminiul.

Oxizii de fier se reduc mult mai ușor decât cea mai mare parte din ceilalți oxizi. Se crează condiții energetice mai favorabile desfășurării procesului, deoarece se micșorează valoarea totală a potențialului termodinamic izobar al sistemului.



09-07-2014

Un avantaj al reducerii cu carbon este faptul că, unul din produsele obținute este monoxidul de carbon CO, care se îndepărtează ușor din baia topită.

Este de subliniat că reducerile cu carbonul sunt endoterme, în timp ce reacțiile cu siliciu și cu aluminiul au un caracter exoterm.

Calcululele termodinamice arată că, în afara procesului de reducere se dezvoltă și procesul formării carburilor. Însă în prezența unui conținut mare de siliciu se produce carbura de siliciu CSi, care nu este solubilă în metalul topit și ca urmare trece în zgură.

La reacțiile exoterme, creșterea temperaturii micșorează recuperarea metalului. Ca urmare există o temperatură optimă, atât în procesul endoterm cât și în cel exoterm, de desfășurare a regimului termic al procesului.

Oțelul slab aliat cu siliciu trebuie să aibă un conținut cât mai mic de carbon. De aceea, în elaborare nu se va folosi carbonul, ci numai siliciul metalic în proporție de 60 până la 80% și aluminiul în proporție de 20 până la 40%.

Totuși, atât în compoziția siliciului metalic, cât și în compoziția silicocalciului, apar conținuturi mici de carbon, care iau parte la reacțiile de reducere și apare în compoziția finală a oțelului în cantități de miimi de procente.

De asemenea, este de subliniat faptul că, silicea este redusă de aluminiu, formându-se  $Al_2O_3$ .

Pregătiri pentru elaborarea oțelului.

Elaborarea oțelului se execută în cuptor electric trifazic cu arc.

Se recomandă ca, elaborarea oțelului să se facă la începutul unei noi campanii a cuptorului, când căptușeala cuptorului este în stare neuzată, ținându-se seama că, oțelul are prescripții severe cu privire la impuritățile și elementele dăunătoare.

În primul rând se va verifica partea mecanică și partea electrică a cuptorului, înlăturându-se orice defecțiune.

În mod obligatoriu căptușeala refractară a cuptorului trebuie să fie bazică. Se vor verifica deci vatra, pereții și jghiabul de evacuare, care sunt construite din cărămizi magnezitice și vor fi înlăturate resturile de zgură și scoarțe metalice. Jghiabul de evacuare va fi minuțios uscat.

Vor fi verificate bolțile de la gura de lucru și de la orificiul de evacuare, ca și bolta cuptorului ce sunt executate din cărămizi cromomagnezitice.

De asemenea, este verificată instalația de răcire a ușii de lucru, a răcitoarelor pentru electrozi și a portelectrozilor și a inelelor de cupru. Portelectrozii sunt susținuți de stâlpi verticali fixați de sania de basculare, pentru ca electrozii să se poată bascula odată cu cuptorul.

Electrozii de grafit trebuie să aibă suprafața netedă și fără fisuri. Pe muchiile capetelor electrodului nu se admit știrbituri, sau să prezinte cioturi, care în timpul elaborării s-ar putea desprinde, căzând în baia topită. Dacă s-ar întâmpla acest lucru, pentru a nu carbura metalul, cuptorul trebuie imediat deconectat și cu drigla de lemn, bucata de electrod trebuie trasă afară de pe baie, după care cuptorul este din nou conectat.

Suprafața niplurilor, inclusiv partea filetului, nu trebuie să aibă știrbituri, sau fisuri.

Pentru ca electrozii să fie la același nivel, lansarea și prelungirea lor se execută numai cu cuptorul deconectat.

Prelevarea probelor de oțel lichid, pentru analiza gazelor din oțel, este obligatorie să se execute cu pipete executate din cuarț și perfect vidate.

Unul din autorii acestei invenții a încercat să preleveze o asemenea probă cu o pipetă, imperfect vidată, care a explodat și particule de oțel și cuarț i-au intrat în ochi.

Ca o măsură în plus, persoana, care prelevează proba, trebuie să poarte pe față mască din plexiglass incoloră.

De asemenea, sunt necesare lănci diskpin, pentru prelevarea de oțel lichid, pentru analiza elementelor din oțel.

În prealabil, se execută calculul încărcăturii.

Pentru calculul încărcăturii se ia în considerare cantitatea de oxigen, pe care o aduce 1 t de minereu de fier și de aici rezultă necesarul de siliciu metalic și de aluminiu, folosiți ca reducători, pentru a se combina cu oxigenul, și ca urmare rezultă o anumită cantitate de silice și de trioxid de aluminiu, la care se adaugă și conținuturile de  $\text{SiO}_2$  și  $\text{Al}_2\text{O}_3$  prezente în minereu.

Pentru determinarea cantității de var se ia în calcul un raport de bazicitate  $(\text{CaO})/(\text{Si O}_2)=2,5$ , din care rezultă un necesar de CaO, la care se ține cont și de conținutul de oxid de calciu CaO din minereu.

Se urmărește obținerea unei zguri bazice, fluide și active, pentru care este necesar să se adauge fluorină. Ținând seama de procesul metalurgic ce se desfășoară, de aspectul zgurii, de temperatura băii și de experiența autorilor, s-a considerat că, fluorina necesară, pentru fluidizarea zgurii reprezintă a patra parte din cantitatea de var.

În final se stabilește unitatea de încărcare.

Din silozul unde este depozitat minereul de fier, el este adus cu o bandă transportoare la buncărul de lucru.

Atât minereul de fier, cât și fluorina, siliciul metalic, și silicocalciul sunt încălzite într-un cuptor la 800 °C, pentru eliminarea umidității și a gazelor care le conțin.

După răcirea acestor materiale, ele sunt trecute în sectorul de pregătire granulometrică, pentru a fi aduse la granulația impusă, după care sunt stocate în buncărele respective de așteptare.

În benă se încarcă, ținând seama de capacitatea cuptorului, minereul de fier, dacă este cazul și brichetele obținute din minereul de fier clasa -25 mm, siliciul metalic aluminiul și jumătate din cantitatea de var și fluorină.

Încărcarea cuptorului se face, prin partea superioară și în acest scop, bolta este ridicată și rotită în jurul unui ax vertical, pentru ca bena să poată fi descărcată în cuptor, după care bolta este readusă pe cuptor, ca și electrozii de grafit, care sunt coborâți până aproape de încărcătură.

Macaraua cu bena revine în sectorul de încărcare, pentru a aduce cealaltă cantitate de var și fluorină, pe care o descarcă pe platforma cuptorului, în apropierea lui în buncăre compartimentate.

Se menționează că, varul și fluorina vor fi aduse separat și deci neamestecate și la fel sunt depozitate.

Elaborarea constă într-o primă etapă, printr-un proces de topire și de reducere a oxizilor prezenți în minereu cu siliciul metalic și aluminiul.

A doua etapă este o dezoxidare avansată a oțelului combinată cu alierea cu siliciu și în final se adaugă și inhibitorul.

Un rol important în elaborarea oțelului îl joacă zgura, care este formată dintr-o topitură de oxizi precum:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  și sulfuri ca  $\text{CaS}$ , sau combinații între ei.

Zgura este mai ușoară decât oțelul ( $3-3,5 \text{ daN/dm}^3$  față  $6,9 \text{ daN/dm}^3$ ) și formează un strat la suprafața băii metalice, separând-o de atmosfera din cuptor.

Zgura îndeplinește mai multe funcții și anume:

- împiedică trecerea gazelor (hidrogen și azot) din atmosfera cuptorului în baia metalică;

- primește și reține produsele rezultate din reacțiile, care au loc.

Pentru amorsarea arcului electric, în dreptul fiecărui electrod, care reprezintă vârful unui triunghi echilateral și pe laturile triunghiului sunt așezate bucăți de siliciu metalic, urmărindu-se ca, pe de o parte circuitul electric să se închidă, iar pe de altă parte să se preîntâmpine oscilațiile bruște de intensitate.

Se conectează cuptorul la rețeaua electrică cu ajutorul întrerupătorului de înaltă tensiune și se lucrează cu tensiune redusă până se asigură arc electric stabil.

După asigurarea unui arc stabil, se execută topirea cu instalația de reglare automată în circuit, cu tensiune mijlocie.

Se continuă topirea, mărindu-se treptat tensiunea până la  $2/3$  din puterea nominală a transformatorului.

Pe măsură ce topirea avansează se ridică tensiunea, prin legarea bobinajului primar al transformatorului în triunghi.

Pe parcursul topirii se aruncă în cuptor, în mod ritmic, din varul și fluorina de pe platformă, ce fac parte din încărcătură așa cum s-a arătat mai sus, reprezentând cealaltă jumătate din cantitatea de var și fluorină.

Fluorina va fi folosită, atât cât este necesar, pentru a se asigura realizarea unei zguri fluide și active.

Sarcina transformatorului se micșorează către sfârșitul topirii încărcăturii, el fiind conectat la o tensiune medie.

În timpul procesului de topire se formează zgura, care la sfârșitul acestei perioade ar trebui să aibe, așa cum s-a calculat, un raport de bazicitate  $(\text{CaO}/\text{SiO}_2)=2,5$ .



Când întreaga încărcătură s-a topit, cuptorul este deconectat de la rețeaua electrică și electrozii sunt ridicați. Cu ajutorul driglei de lemn, la care bara metalică este îmbrăcată în zgură pentru a nu se topi se trece la îndepărtarea a circa 90% din zgură, cuptorul fiind puțin înclinat spre gura de lucru, pentru ca zgura să se scurgă în vana de zgură de sub cuptor.

Se va urmări ca, în timpul îndepărtării zgurei, metalul să nu fie descoperit, adică să nu fie lipsit de zgură, pentru a nu fi contaminat de atmosfera cuptorului.

Imediat după îndepărtarea zgurei inițiale, se trece la formarea unei noi zguri constituită din 80% var și 20% fluorină.

Cantitatea unui asemenea amestec depinde de capacitatea cuptorului și variază în limitele a 1-3% din greutatea încărcăturii.

Cât timp se formează zgura nouă, se lucrează cu tensiunea curentului electric scăzută și cu intensitate mare, pentru ca arcul electric să fie scurt și temperatura băii să atingă 1.600-1.650 °C.

După ce s-a format zgura nouă, baia este amestecată cu drigla de lemn și se prelevează următoarele probe cu ajutorul lingurii, care trebuie îmbrăcată și ea în zgură: proba de metal turnată în cochilă, sau prelevată cu diskpinul, pentru determinarea elementelor metalice la quantovac și a carbonului și sulfului la un aparat tip „Leco”.și proba de zgură, pentru determinarea compușilor la difractometru de raze X prin fluorescență.

La primirea rezultatelor se face analiza lor și se acționează în consecință.

Dezoxidarea avansată a băii presupune: îndepărtarea din metal a unei cantități cât mai mare de oxigen, o desulfurare a metalului și în final aducerea compoziției oțelului la cea prescrisă ca și o reglare a încălzirii la temperatura , care permite o turnare normală.

Dezoxidarea metalului, adică micșorarea cantității de oxigen este realizată pe două căi: cu ajutorul zgurii, adică prin difuzie și prin adăugarea de dezoxidanți direct în metal, adică prin precipitare.

Dezoxidarea prin difuzie, urmărește reducerea cantității de oxid feros FeO din zgură, prin introducerea dezoxidanților pe zgură, modificând constanta raportului concentrațiilor de FeO din zgură și din metal, în așa fel că, reacțiile de dezoxidare au loc în zgură și la limita separării metal-zgură, întrucât conform repartiției  $L_{FeO}$  (FeO)

<[FeO] și pentru restabilirea echilibrului, oxidul feros difuzează din baia metalică în zgură, micșorându-se astfel concentrația de oxigen din baia metalică.

Invenția prevede folosirea ca dezoxidanți a siliciului metalic, a aluminiului și a silicocalciului, care prin puritatea lor nu introduc în baie elemente dăunătoare precum: carbonul, sulful, sau fosforul.

În cazul de față, dezoxidarea prin difuzie urmărește obținerea zgurei albe, cu ajutorul siliciului, chiar de la începutul perioadei de reducere a încărcăturii, adică imediat ce amestecul de zgură nouă s-a topit.

Se urmărește așa cum s-a arătat mai sus, obținerea unei zgure albe cu compoziția chimică cuprinsă între următoarele limite: 15-20% SiO<sub>2</sub>; 55-65% CaO; FeO ≤ 0,7%; MnO ≤ 0,4%; 6-10% MgO; 1,5-3% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 7-10% CaF<sub>2</sub>; CaS ≤ 1%.

Zgura albă are proprietatea ca la răcire să se descompună în pulbere.

Pe platforma de lucru a cuptorului se pregătesc două amestecuri de dezoxidare prin difuzie clasa -0,5 mm.

Primul amestec constă din: 5 părți var; 3 părți siliciu metalic; 1 parte fluorină.

Al doilea amestec de asemenea clasa -0,5 mm este format din: 3 părți var; 1 parte silicocalciu; 1 parte aluminiu; 1 parte fluorină.

Adaosul total de amestecuri dezoxidante reprezintă 3-5% din greutatea oțelului.

Amestecurile se dau pe zgură în mai multe rânduri, până ce zgura devine albă.

Zgura albă trebuie păstrată până la sfârșitul elaborării, adică până la deșarjarea topiturii din cuptor.

După ce și cel de al doilea amestec de dezoxidare a fost dat pe zgură, se amestecă baia cu drigla de lemn.

Se ia cea de a doua probă de metal și se trimite la quantovac, ca și pentru determinarea conținutului de carbon și sulf la aparatul de tip „Leco”.

De asemenea se ia probă pentru analiza gazelor cu pipeta vidată și probă de zgură, care se trimite la difractometrul cu raze X prin fluorescență.



După primirea rezultatelor se fac corecțiile necesare, dându-se siliciu metalic calculat pentru aliere la 3,5% Si, precum și inhibitorul silicocalciu azot în proporție de 2 până la 5%.

Se iau aceleași probe și dacă și analiza gazelor arată ca valori maxime: 15 ppm pentru oxigen, 1,5 ppm pentru hidrogen rezidual și 50 ppm pentru azot, atunci cu 5 minute înainte de deșarjare se trece la dezoxidarea prin precipitare.

Dezoxidarea prin precipitare constă în trecerea oxigenului din combinația sa cu fierul într-o combinație cu alt element, cu care formează oxid insolubil în baia metalică și care trece în zgură.

Elementele folosite, pentru dezoxidarea prin precipitare trebuie:

- să se dizolve în baia metalică;
- să aibă o afinitate față de oxigen mai mare decât fierul;
- să formeze oxizi insolubili în baia metalică;
- să se separe ușor din baia metalică, adică să aibe o tensiune superficială mare;
- să nu dăuneze proprietăților oțelului.

În acest scop se dau direct pe baia metalică bucăți de siliciu metalic și aluminiu între 0,2 și 0,5 kg/t și silicocalciu între 0,5 și 1,5 kg/t de încărcătură, după care se amestecă cu drigla de lemn.

În legătură cu desulfurarea avansată a oțelului, aceste condiții sunt îndeplinite, prin faptul că se lucrează la temperatură înaltă și zgura este puternic bazică, cu conținut ridicat de CaO și destul de fluidă.

Se controlează temperatura oțelului cu termocuplul de imersie Pt-Pt 10% Rh.

Pentru a controla temperatura de evacuare a oțelului din cuptor se ține seama de pierderile de temperatură:

- la curgerea oțelului în oala de turnare;
- în timpul staționării oțelului în oala de turnare;
- în timpul transportului oalei de turnare la standul de barbotare cu argon;

- în timpul barbotării;
- în timpul transportului oalei de turnare la instalația de turnare continuă;
- în timpul poziționării oalei de turnare deasupra distribuitorului, până la deschiderea sertarului.

Supraîncălzirea oțelului în cuptor va fi astfel calculată, pentru a ține seama de aceste pierderi.

Dacă toate condițiile sunt îndeplinite, adică compoziția chimică a oțelului corespunde celei impuse: C 0,002%, Si 3,5%, Mn 0,06%, Al 0,01%, P≤0,025%, S≤0,025%, iar conținutul de gaze oxigen, hidrogen rezidual și azot se încadrează în limitele prescrise, compoziția chimică a zgurei se încadrează în limitele zgurei albe și temperatura oțelului lichid cuprinde supraîncălzirea lui peste temperatura lichidus, se fac pregătiri pentru deșarjare.

Se face precizarea că, depășirea conținutului de aluminiu este benefică, întrucât facilitează creșterea grăunților și ca urmare reduce pierderile.

În plus, aluminiul mărește rezistivitatea oțelului, fără a-i spori fragilitatea.

Obținerea unui oțel de calitate superioară nu depinde numai de procedeul de elaborare, ci și de calitatea turnării lui, pentru a putea fi prelucrat în continuare.

Oala de turnare este prevăzută cu dispozitiv de închidere cu sertar și trebuie să fie curățată de resturi de zgură și de scoarțe de metal, cu căptușala refractară neuzată și încălzită la temperaturi ale suprafeței interioare cuprinse între 1100 și 1200 °C , pentru menținerea la un nivel redus a pierderilor de temperatură.

În interiorul sertarului, pentru protecția oțelului de a nu se oxida se insuflă argon.

Pentru barbotarea cu argon a oțelului lichid din oală există în fundul oalei un ansamblu cu dop poros.

Oala de turnare asigură transferul oțelului lichid în instalația de turnare continuă, în paralel cu funcțiunile: de menținere a temperaturii în limitele prescrise, separarea zgurii și a incluziunilor și alimentarea distribuitorului cu debit constant.

Oala de turnare este adusă în groapa de turnare cu ajutorul macaralei și coborâtă sub jghiabul de scurgere al cuptorului.

Macaralele de preluare a oalei cu oțel lichid vor fi asigurate cu mijloace de cântărire adecvate.

Pentru controlul compoziției chimice vor fi asigurate teci tip diskpin, pentru prelevarea probei de oțel din oala de turnare.

Cuptorul este deconectat de la rețeaua electrică electrozii sunt ridicați și cuptorul este basculat ca, întreaga topitură - metal și zgură – să curgă în oală.

După terminarea evacuării, cuptorul este adus în poziția lui de lucru.

Pe suprafața zgurei din oală se presară siliciu metalic pulbere clasa -0,5 mm.

Oala este ridicată de macara și este dirijată către standul de barbotare cu argon a oțelului lichid.

Scopul barbotării cu argon a oțelului este omogenizarea temperaturii oțelului, reducerea nivelului de incluziuni și omogenizarea compoziției chimice.

Argonul este folosit la o presiune de 2-4 atm, utilizând cantități volumice de 0,4-0,5 Nm<sup>3</sup>/min, pentru o durată de timp între 3 și 8 minute, în funcție de temperatura de început.

După barbotare, pentru protecție împotriva răcirii excesive, se adaugă material termoizolant, aproximativ 1 kg /t pe suprafața zgurei. Ca material termoizolant se folosește diatomită calcinată și măcinată clasa-0,3 mm.

De la standul de barbotare, oala este dirijată la instalația de turnare continuă

Întrucât scoaterea pe tona de metal laminat la turnarea sub formă de lingou în lingotieră este de cel mult 75%, s-a considerat ca turnarea să se facă în instalația de turnare continuă, unde scoaterea de metal este de 95%.

Prin urmare, șarjele de oțel slab aliat cu siliciu sunt elaborate pe traseul cuptor electric cu arc - turnare continuă - laminarea la cald a bramei, - laminarea la rece a benzilor.

S-a luat în considerare un model de mașină de turnare continuă a bramelor, având: raza de turnare 9,8 m; numărul de fire 2; viteza de turnare  $V_T=0,45-1,25$  m/min; secțiunea de turnare  $S=(150-300) \times (1200-1900)$  mm; durata de pregătire a șarjei între două turnări  $\tau_p=30-65$  min; numărul de șarje turnate în secvențe=max. 6 șarje/schimb/mașină; ghidajul firelor 7 segmenti; dispozitiv de tragere și îndreptare 5

segmenti; viteza de extragere  $V_e = \max. 3 \text{ m/min.}$ ; distanța între fire  $d = 5,6 \text{ m}$ ; lungimea firului rece  $19,5 \text{ m}$ .

Suportul oalei de turnare este în prezent realizat în două variante de bază, care asigură schimbarea rapidă a oalelor, în vederea turnării secvențiale:

- cu două cărucioare semiportal, care rulează la nivelul platformei de turnare și oalele sunt depuse alternativ pe câte un cărucior, care este adus în poziția de turnare deasupra distribuitorului;
- cu platformă rotitoare prevăzută cu două brațe de preluare a oalelor, iar schimbarea oalei se execută în circa 2 minute. Platforma este acționată electromecanic și în dublură, pentru siguranță, de la o sursă auxiliară de curent, sau cu un motor pneumatic de rezervă.

Distribuitorul reprezintă vasul tampon între oala de turnare și cristalizor și realizează următoarele funcțiuni: distribuția oțelului pe firele de turnare și reglarea debitului de curgere pe fir, reducerea turbulenței oțelului scurs din oală, separarea incluziunilor prin decantare și asigurarea rezervei de oțel lichid în timpul schimbării oalei la turnarea secvențială.

Pentru reducerea pierderilor calorice și protejarea împotriva oxidării, oțelul lichid din distribuitor se acoperă cu prafuri (pulberi) izolatoare.

Tuburile de protecție a jetului dintre oală și distribuitor și dintre distribuitor și cristalizor sunt executate din oxid de zirconiu.

Ca urmare, turnarea din distribuitor în cristalizor se face cu tub imersat și dop iar viteza de turnare este în funcție de formatul cristalizorului.

De asemenea, tubul imersat între distribuitor și cristalizor trebuie alimentat cu argon astfel ca oțelul lichid să curgă printr-o manta de argon.

Turnarea cu tub imersat și dop sub nivelul stratului de zgură din cristalizor aduce numeroase avantaje precum: realizează o turnare liniștită corect ghidată și lipsită de stropi, evitând oxidarea oțelului și impurificarea lui cu incluziuni.

În legătură cu cristalizorul menționăm: cursa maximă a oscilației  $d' = 4,8 \text{ mm}$ ; numărul maxim al oscilațiilor  $v_0 = 125 \text{ oscilații/min}$ ; temperatura maximă de intrare a apei  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ; viteza apei de răcire  $v_r = 5-7 \text{ m/s}$ .

Nivelul de lucru al băii de oțel lichid din cristalizor trebuie menținut la 50-100 mm sub marginea superioară a plăcilor cristalizorului.

Operatorul de la cristalizor trebuie să aibă în atenție ca, imersarea tuburilor în baia de oțel să se facă la 150 mm de marginea superioară a plăcilor cristalizorului și orice modificare a nivelului băii de oțel lichid să nu se facă brusc, să îndepărteze șnururile de zgură de la suprafața băii metalice și să adauge praful de ungere pe oglinda de oțel lichid.

În tabelul 4 sunt prezentate elementele însoțitoare din oțel, care nu trebuie să depășască limitele prevăzute în tabel.

În partea dreaptă a tabelului, sunt elementele care fac excepție numai pentru oțelurile aliate.

Tabelu 4

Compoziția chimică în %			
sulf	0,025	vanadiu	0,10
fosfor	0,025	niobiu	0,10
Sulf + fosfor	0,050	titan	0,10
staniu	0,20	azot	0,10
arseniu	0,10	zirconiu	0,05

Condițiile prealabile, pentru turnarea continuă sunt:

- reglarea temperaturilor de turnare în limite cât mai restrânse posibil, peste curba lichidus de-a lungul întregii perioade de turnare. Temperaturile prea coborâte duc la înghețarea unor fire, iar o temperatură prea ridicată duce la creșterea pericolului de perforare a firului și la formarea unei structuri de solidificare nedorite din punct de vedere al calității.

- supraîncălzirea șarjei la evacuarea din cuptor trebuie reglată în așa fel, încât să compenseze pierderile totale de căldură ale șarjei, menționate mai înainte;

- produşii de dezoxidare şi impurităşile trebuie să floteze spre suprafaşă în stratul de zgură, iar protecşia jetului de oşel la turnare, trebuie să prevină absorbşia de aer, drept rezultat al presiunii negative ce are loc în timpul turnării.

Pentru aceasta, s-a arătat că trebuie luate măsuri în zona sertarului oalei, pentru protecşia cu argon insuflat.

- Măsurarea temperaturii oşelului lichid se face la maşina de turnare continuă astfel:

- în oală înainte şi după barbotarea cu gaze inerte;
- în distribuitor la fiecare 15 minute;
- prima măsurare a temperaturii făcându-se la 5 minute după pornirea ambelor fire;
- în general temperatura în distribuitor trebuie să fie:
  - temperatura liqidus +(15-30 °C);

Temperaturile oşelurilor slab aliate cu siliciu destinate turnării continue, pe faze tehnologice, sunt prevăzute în tabelul 5, inclusiv supraîncălzirile.

Aceste temperaturi pot fi coborâte, dacă se iau măsuri, pentru reducerea timpilor la:

Tabelul 5

Zona şi faza tehnologică	Temperatura °C	Supraîncălzirea °C
În oală după evacuare	1615-1635	120-140
Înainte de barbotare	1605-1625	110-130
După barbotare	1585-1595	90-100
În distribuitor	1545-1555	50-60

curgerea oşelului şi a zgurei din cuptor, staşionarea oalei de turnare, transportul oalei la standul de barbotare cu argon, staşionarea oalei în timpul barbotării, transportul oalei la maşina de turnare continuă, şi la turnarea în distribuitor. Aceste măsuri au ca scop micşorarea pierderilor de căldură, astfel ca supraîncălzirea oşelului lichid să fie în final la o temperatură optimă de turnare în distribuitor şi din distribuitor în cristalizor.

Fazele tehnologice ale turnării:



### Începerea turnării

- După așezarea oalei pe turnul rotitor, acesta se rotește cu  $90^\circ$ .
- Se oprește încălzirea tuburilor de imersie și a dopurilor; se ridică distribuitorul în poziție maximă și se plasează deasupra mașinii de turnare.
- Se centrează distribuitorul pe cristalizor și se coboară în poziția de turnare.
- Se rotește turnul rotitor cu încă  $90^\circ$  până se aduce oala de turnare deasupra distribuitorului.
- Se echipează mecanismul de închidere cu pârghie și se fac probe cu dopurile distribuitorului.
- Se cuplează furtunurile de la stațiile hidraulice la sertarul oalei și se comandă deschiderea acestuia.
- Se umple cât mai rapid distribuitorul; când acesta este umplut în proporție de  $\frac{2}{3}$  cu oțel lichid se deschide dopul de la firul stâng (impar) și apoi firul drept (par).
- După ce capul barei false este acoperit cu oțel se deschide ventilul principal al răcirii secundare.
- Când orificiile laterale ale tubului de imersie sunt scufundate în oțel, se acoperă suprafața oțelului lichid din cristalizor cu praf de ungere.
- Când cristalizorul este umplut în proporție de  $\frac{3}{4}$  cu oțel lichid, (nivelul oțelului lichid să fie de maximum 50-100 mm de marginea superioară a cristalizorului), se pornește antrenarea firului.
- Nu este admisă începerea turnării, dacă distribuitorul nu este încălzit în mod corespunzător; temperatura tuburilor de imersie trebuie să fie cuprinsă în intervalul  $800-1000^\circ\text{C}$ .
- Timpul între oprirea încălzirii tuburilor (respectiv punerea în mișcare a căruciorului) și începutul turnării să nu depășească 5 minute.

### Turnarea

- ◆ După umplerea distribuitorului cu oțel lichid, nivelul acestuia se va păstra constant, prin reglarea jetului de oțel ce curge din oală.
- ◆ Se va acoperi suprafața liberă a distribuitorului cu praf termoizolant.
- ◆ După pornirea antrenării firului, nivelul oțelului lichid din cristalizor se va menține constant la circa 50-100 mm de marginea superioară a plăcilor de cupru prin acționarea dopului distribuitorului.
- ◆ Viteza de extracție la fir va fi reglată în funcție de temperatura oțelului din distribuitor, de calitatea oțelului, de formatul cristalizorului.
- ◆ În timpul turnării, suprafața oțelului lichid din cristalizor va fi acoperită cu un praf de ungere cu grosimea de 1-1,5 cm.
- ◆ La fiecare 15 minute se vor face măsurători de temperatură în distribuitor.
- ◆ În timpul turnării se vor îndepărta șnururile de zgură ce se formează în jurul pereților cristalizorului.
- ◆ În cazul unor defecțiuni la mașină se închide imediat dopul și se va opri extracția firului.
- ◆ Durata maximă de oprire a extracției este de două minute.
- ◆ Pentru opriri cu durată mai mare de două minute se oprește turnarea firului respectiv.
- ◆ Când există pericolul de debordare, sau când debordarea s-a produs, se oprește extracția firului, simultan cu deplasarea distribuitorului deasupra vanelor de zgură.

- ◆ Pe timpul turnării, debitul de răcire pentru cristalizor și zonele de răcire secundară vor fi reglate în funcție de formatul cristalizorului, calitatea de oțel, și viteza de turnare.
- ◆ Când temperatura apei la intrarea în cristalizor este mai mare de 40 °C, sau diferența dintre temperatura apei de intrare și a apei de ieșire din cristalizor este mai mare de 15 °C, se întrerupe turnarea.
- ◆ Se întrerupe turnarea și în cazul, în care nu se asigură debitul de apă în cristalizor.
- ◆ Se interzice trimiterea oalelor după turnare la oțelărie, cu zgură nebasculată, sau cu orificiul sertarului nespălat.

#### *Faze tehnologice la terminarea turnării*

La terminarea turnării se execută următoarele operații:

- ◆ În momentul, în care zgura începe să curgă din oala de turnare, se închide sertarul acesteia, se așteaptă circa 30 secunde pentru solidificarea zgurii, se redeschide sertarul oalei se decuplează furtunurile stației hidraulice de la sertarul oalei și se rotește turnul cu 90° în sensul indicat de săgeata de pe brațul turnului rotitor.
- ◆ Cu puțin timp înainte de golirea distribuitorului, acesta se ridică până ce orificiile de scurgere ale tubului, ajung deasupra oglinzii băii de oțel lichid din cristalizor, astfel încât să se poată observa momentul, în care începe să curgă zgura.
- ◆ La apariția zgurii se închid dopurile distribuitorului și se oprește antrenarea firului, se ridică distribuitorul în poziția maximă și se deplasează până deasupra vanelor de zgură, pentru evacuarea zgurii.

- ◆ Se îndepărtează complet zgura din cristalizor și se stropește intens cu apă oglinda băii de oțel.
- ◆ În timpul stropirii cu apă se face și extracția firului pe microviteză timp de 2-3 minute. Viteza de extracție în cristalizor și zona I în această etapă, nu trebuie să depășească 0,5 m/min.
- ◆ La oprirea turnării pe fire, răcirea secundară se reduce cu 50% și se readuce la valoarea nominală în timpul evacuării firului cu viteză mai mare de 0,5 m/min.

*Faze tehnologice, privind acționarea cajei de extragere și îndreptare*

- ◆ se introduce bara falsă în caja de tragere și îndreptare:
- ◆ operatorul va executa următoarele operații:
  - ◇ se pornesc pompele hidraulice, cuplându-se tensiunea electrică;
  - ◇ se coboară balansierul până la 40 cm față de masa din fața cajei de extragere;
  - ◇ se comandă ridicarea segmentilor 1-5;
  - ◇ se comandă ridicarea plonjerilor;
  - ◇ se coboară segmentul pe firul curb;
  - ◇ se cuplează motoarele din caja de extragere până la 70% din puterea maximă;
  - ◇ se derulează cablul până ce capătul barei false trece de prima rolă a segmentului 5, după care se coboară balansierul;
  - ◇ după ce capătul barei false trece de segmentul 5 acesta se coboară;
  - ◇ după trecerea capătului barei false prin segmentii 4-3-2-1 aceștia sunt coborâți;

- ◇ se urmărește derularea troliului cât și înaintarea acestuia, după care comanda este preluată de operatorul de la cabina suspendată;
  - ◇ pe timpul turnării se urmărește permanent presiunea pe lanț, funcționarea motoarelor și a cajei de extragere, prezența presiunii pe segmentii de curbură și înaintarea lanțului pe balansier;
  - ◇ când capătul de bară iese din segmentul 5, caja de extragere se desprinde;
  - ◇ după desprindere se oprește pompa de la troliu și se ridică balansierul la maximum până ce acesta este agățat de dispozitivul de siguranță;
- ◆ la evacuarea bramei se vor executa următoarele operații:
- ◇ se impune valoarea vitezei de evacuare a bramei la  $V_b=0,5-3,0$  m/min. Se impune reglarea vitezei optime de extragere în funcție de format și de temperatura bramei, pentru a se asigura timpul necesar pentru debiatarea bramei, conform programului.
  - ◇ când capătul bramei ajunge în segmentul 1 al cajei de extragere, se întrerupe extragerea, se ridică segmentul 2, după care se ridică segmentul 1;
  - ◇ se restabilește presiunea pe caja de extragere, după care se continuă evacuarea a încă 2,5 m de bramă, ridicând apoi segmentul 3;
  - ◇ se oprește evacuarea bramei și se ridică segmentii 4-5;
  - ◇ cu ajutorul rolor intermediare, bramele se evacuează din fața cajei de extragere și se dă comanda la mașina de tăiat.

### *Fabricația benzilor late*

Prametrii tehnologici de încălzire a bramelor și de laminare a lor în benzi late.

Se face precizarea că, parametrii tehnologici de laminare a bramelor la cald, care condiționează obținerea caracteristicilor magnetice finale sunt: temperatura de încălzire pentru laminare între 1380-1430 °C și temperatura de intrare în trenul finisor de laminare de peste 1130 °C, ceea ce presupune dotarea cu aparatură de măsură și control a cuptoarelor cu propulsie.

Secția de laminare este LBC (Laminorul de bandă la cald)

Încălzirea bramelor în vederea laminării

Grosimea de bramă: 200-250 mm;

Lățime bramă: 1100-1350 mm;

Masă bramă: max. 12 tone;

Lungime bramă: 4-8 m;

Oțelul este livrat în rulouri cu masa maximă de 12 tone; grosimea benzii este de minim 2mm;

Temperatura cuptorului cu propulsie: -preîncălzire: 980 °C;

încălzire: 1380 °C;

egalizare pe material: 1400 °C.

Durata totală de încălzire a bramei în cuptor : 4 ore.

*Laminarea bramei în bandă lată*

Parametrii de laminare prevăd următoarele temperaturi, menționate în tabelul 6.

În tabelul 7 se exemplifică schema de laminare a bramelor cu grosimea de 200 mm în bandă cu grosimea de 2,0 mm, destinată laminării la rece în bandă cu grosimea de 0,3 mm.

Se face mențiunea că, banda sub 2 mm nu se mai poate lamina, întrucât se oprește materialul pe cilindri și se rupe, fiindcă nu mai poate rezista la forțele de tracțiune, care să permită rularea ruloului.

Limitele uzuale ale reducerilor sunt prezentate în tabelul 8, atât pentru trenul degrosisor, cât și pentru cel finisor.



Banda cu dimensiuni: 2 – 2,4 mm grosime și lățime 1200-1300 mm, cu toleranțe la grosime de  $\pm 0,05$  mm este răcită controlat.

Tabelul 6

Parametrul de laminare	Temperatura în °C
Temperatura de evacuare a bramei din cuptorul cu propulsie	1380-1430
Temperatura de ieșire din caja D5 a trenului degrosisor	1250-1270
Temperatura de intrare în trenul finisor	$\geq 1150$
Temperatura de ieșire din caja F7 a trenului finisor	1120
Temperatura de rulare	600

Temperatura de rulare este cuprinsă între 540-580 °C, maxim 600 °C.

Se execută controlul tehnic de calitate.

Înainte de laminarea la rece se execută tratamentul termic de normalizare a ben-

Tabelul 7

Caja	Grosimea pe trecere mm	Reducerea pe trecere mm
1	2	3
D0	170	30
D2	140	30

1	2	3
D3	95	45
D4	60	35
D5	34	26
F1	18,2	15,8
F2	11,5	6,7
F3	8,2	3,3
F4	5,2	3,0
F5	3,2	2,0
F6	2,6	0,6
F7	2,0	0,6

Tabelul 8

Tren degrosisor	Limite ale reducerilor %	Tren finisor	Limite ale reducerilor %
Caja D0	≤25	Caja F1	35-55
Caja D1	≤30	Caja F2	30-50
Caja D2	20-35	Caja F3	25-45
Caja D3	25-40	Caja F4	20-35
Caja D4	30-45	Caja F5	15-30
Caja D5	35-40	Caja F6	5-20
		Caja F7	5-20

zilor cu grosimea de 2-2,4 mm cu scopul de uniformizare a structurii benzii și în primul rând a mărimii de grăunte.

Parametrii cuptorului la tratamentul termic de normalizare sunt următorii: temperatura este de 1100-1150 °C, durata de menținere pe temperatură este de 2

minute pentru bandă cu grosimea de 2 mm, 2,2 minute pentru banda cu grosimea de 2,2 mm și 2,4 minute, pentru banda cu grosimea de 2,4 mm

Precizăm că aceste valori sunt pentru cuptoarele în fir desfășurat.

Viteza de răcire este 1-2 °C/s, pentru intervalul de temperaturi 1150-900 °C.

Apoi, pentru intervalul 900-150 °C se va continua răcirea benzii cu apă.

După laminarea la cald a bramelor urmează controlul de calitate și apoi laminarea benzilor la rece.

Fluxul tehnologic, pentru producerea benzilor laminate la rece este caracterizat prin următoarele faze:

- pregătirea semifabricatului destinat laminării;
- laminarea propriu zisă;
- tratamente termice intermediare și finale ale benzilor laminate;
- dresarea și ajustajul benzilor.

Pregătirea benzii semifabricat constă în:

- aducerea ruloului și depunerea lui pe un transportor cu plăci, care deplasează ruloul până la desfășurătorul de bandă I;
- șutarea capului benzii la foarfecele ghilotină;
- îndreptarea benzii pe mașina de îndreptat cu role;
- sudarea electrică, prin presiune cap la cap a capului anterior al benzii cu capul posterior al benzii ajutătoare din oțel carbon, pentru prinderea în rulo;
- rabotarea superioară și inferioară a cordonului de sudură la nivelul grosimii benzii;
- desfășurarea întregului rulo și tragerea benzii, prin intermediul rolor în alimentatorul de bandă, din care se va alimenta baia de decapare în timpul operațiilor ce vor urma;
- îndepărtarea mecanică a oxizilor de pe bandă, prin trecerea acesteia printre role;
- decaparea chimică în baie de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>;

- spălarea benzii cu apă și uscarea în aer cald.

Laminarea benzii la rece se execută pe o caja degrositoare reversibilă și o cajă policilindrică cu 20 cilindri, din care 2 sunt de lucru și 18 sunt de sprijin, pentru laminarea benzii cu grosimi sub 0,5 mm. La un capăt este desfășurătorul de bandă, iar la celălalt capăt al cajei policilindrice este înfășurătorul de bandă.

Pentru cazul oțelurilor slab aliate cu siliciu, reducerea medie pe trecere este de 20-30 %, în timp ce reducerea totală între două tratamente intermediare poate ajunge până la 80%.

Tensiunea în bandă la laminarea pe cajele policilindrice variază între 100 și 250 N/mm<sup>2</sup>.

Vitezele de laminare la cajele policilindrice cresc de la o trecere la alta, în intervalul 4-15 m/s, pe măsură ce grosimea benzii scade.

Laminarea întâia la rece:

Grosimea benzii 0,7-0,8 mm x lățime 1100-1200 mm.

Se execută remanierea benzii, prin debitarea marginilor fisurate.

Urmează recoacerea intermediară la 900 °C timp de 3 minute, iar atmosfera în cuptor este reducătoare, formată din 80% N<sub>2</sub> și 20%H<sub>2</sub>.

Se continuă cu laminarea a II-a la rece, folosindu-se un grad de reducere de minim 55%, obținându-se o bandă cu grosimea minimă 0,23 mm și lățimea de 1100-1200 mm.

Urmează recoacerea finală la temperatura de 1170 °C cu o atmosferă în cuptor de 100% H<sub>2</sub>.

Se continuă cu acoperirea tensionantă a benzii cu lac electroizolator.

Ca urmare a laminării la cald a bramelor obținute la turnarea continuă a oțelului slab aliat cu siliciu, urmată de o succesiune de laminări la rece și de tratamente termice și de o recoacere de recristalizare secundară la temperatură ridicată se obține o orientare centrată pe axa (110)[001], având o textură cu grăunți orientați de tip Goss.

Se dă un exemplu de aplicare a invenției.

Se urmărește elaborarea în cuptor electric trifazic cu arc, căptușit bazic, a oțelului slab aliat cu siliciu, a cărui compoziție chimică propusă a fi realizată este: C 0,002%, Si 3,5%, Mn 0,06%, P 0,025%, S 0,025%, Al 0,01%.

Conținutul de gaze în oțel va trebui să aibă următoarele valori maxime: oxigen 15 ppm; hidrogen rezidual 1,5 ppm și azot 55 ppm.

În acest scop se va lucra cu minereu de fier hematit – India, cu compoziția chimică: Fe 62,5%; Mn 0,05%; P 0,1%; S 0,02%; SiO<sub>2</sub> 5%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 4%; CaO 0,6%; MgO 0,4%, H<sub>2</sub>O 3,0%.

Pentru calculul încărcăturii se ia în considerare cantitatea de oxigen, pe care o aduce 1 t de minereu de fier și care este de 267,9 kg oxigen.

Procesul de reducere se execută cu siliciu metalic cu un conținut de 98,8% Si și cu aluminiu, cu un conținut de 99,99% Al. Se consideră că 60 % din cantitatea de oxigen va reacționa cu siliciu și 40 % cu aluminiul în procesul de reducere directă, rezultând un necesar de 149,8 kg siliciu metalic și o cantitate de 126,9 kg aluminiu, în considerentul că, are loc și o volatilizarea de 5 % pentru ambii reducători.

Ca urmare a procesului de reducere se obține o cantitate de 371,1 kg SiO<sub>2</sub> și 279,7 kg Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ținând seama că și minereul de fier conține 5 % SiO<sub>2</sub> și 4 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Pentru determinarea cantității de var se ia în calcul un raport de bazicitate (CaO)/(SiO<sub>2</sub>)=2,5 la care trebuie să se țină seama că, în minereul de fier există un conținut de 0,6% CaO.

Prin urmare, la cantitatea de silice obținută prin reducere trebuie adăugată și cantitatea de 50 kg adică 321,05+50=371,05 kg SiO<sub>2</sub> ~ 371,1 kg SiO<sub>2</sub>.

Ca urmare rezultă un necesar de 927,6 kg CaO.

Se lucrează cu var proaspăt nu mai vechi de 24 ore cu un conținut de 93% CaO, rezultând un necesar de 997,4 kg var.

Pentru a obține o zgură bazică și fluidă se adaugă fluorină. Masa varului reprezintă 80% din acest amestec, așa că necesarul de fluorină este 249,4 kg, reprezentând cele 20%.

Prin urmare, unitatea de încărcătură a cuptorului este de 1.000 kg minereu de fier India, 149,8 kg siliciu metalic, 126,9 kg aluminiu, 997,4 kg var și 294,4 kg fluorină, deci un total de 2523,5 kg.

Minereul de fier, fluorina, silicocalciul și siliciul metalic sunt calcinate la temperatura de 800 °C și apoi după răcire sunt supuse unei pregătiri granulometrice prin concasare și clasare.

Varul, fluorina, silicocalciul, silicocalciul cu azot trebuie să aibă granulația între 20 și 50 mm, iar minereul de fier între 25 și 50 mm.

În benă se încarcă minereul de fier, dacă este cazul și brichete de minereu, siliciul metalic aluminiul și numai jumătate din cantitatea de var și fluorină.

Bena este adusă la cuptor cu ajutorul macaralei.

Bolta cuptorului este ridicată și pivotată, pentru a permite benei să fie adusă deasupra cuptorului și descărcată. Macaraua cu bena revine în depozit, pentru a fi încărcată cu cealaltă jumătate din cantitatea de var, adică 498,7 kg.

Această cantitate de var se descarcă în buncărul din apropierea cuptorului, care este compartimentat.

La fel se procedează și cu fluorina, în cantitate de 124,7 kg depozitată și ea într-un alt compartiment al buncărului.

Bolta este readusă pe cuptor, ca și electrozii de grafit, care sunt coborâți până aproape de încărcătură. După încărcare, dacă este necesar, se corectează așezarea minereului și a brichetelor cu ajutorul driglei de lemn.

Pe încărcătură, în dreptul fiecărui electrod sunt așezate bucăți de siliciu metalic, care continuă și pe laturile triunghiului echilateral ale cărui vârfuri sunt în dreptul fiecărui electrod, pentru ca circuitul electric să fie închis.



Se conectează cuptorul la rețeaua electrică, cu ajutorul întrerupătorului de înaltă tensiune.

Dacă încărcătura asigură de la început un arc stabil, se execută topirea cu instalația de reglare automată în circuit cu tensiune mijlocie.

Se continuă topirea, mărindu-se treptat puterea până la 2/3 din puterea nominală a transformatorului.

După ce prima încărcătură din cuptor s-a topit, se dă în mod ritmic din varul și fluorina, care fac parte din încărcătura inițială, reprezentând cealaltă jumătate din cantitatea de var și fluorină. Se face precizarea că fluorina se dă atât cât este necesar, pentru ca zgura să fie fluidă și activă.

Sarcina transformatorului se micșorează către sfârșitul topirii încărcăturii, el fiind conectat la o tensiune mai mică.

În timpul procesului de topire se formează zgura, care la sfârșitul acestei perioade trebuie să aibă un raport de bazicitate  $(CaO)/(SiO_2)=2,5$ .

Când întreaga încărcătură s-a topit, cuptorul electric este deconectat și cu drigla de lemn se trece la îndepărtarea a circa 90% din zgură, avându-se în vedere ca, suprafața metalului să nu fie descoperită, pentru ca metalul să nu fie contaminat de atmosfera cuptorului, favorizându-se oxidarea și absorbția de gaze.

Drigla de lemn reprezintă o bară de oțel cu diametrul cuprins între 20 și 25 mm, cu o bucată de lemn așezată pe vârful ei cu fața plană îndreptată către lucrătorul, care efectuează îndepărtarea zgurii.

Trebuie menționat că, bara metalică care susține partea de lemn a driglei, trebuie protejată de zgură, pentru a se evita topirea ei.

Pe de altă parte, cuptorul trebuie înclinat puțin înspre gura de lucru, pentru ca zgura trasă cu drigla de lemn să curgă în vana de zgură de sub cuptor.

După ce zgura a fost îndepărtată, cuptorul este readus în poziție normală și este conectat la rețeaua electrică.

Se trece la formarea unei noi zguri, reprezentând 2% din cantitatea de metal din cuptor apreciată la 620 kg.

Ca urmare, zgura va fi în cantitate de 12,5 kg, din care 80% reprezintă varul, adică 10 kg, și florina 20%, adică 2,5 kg.

Cantitatea de fluorină se dă așa cum s-a arătat mai sus în funcție de fluiditatea zgurei.

Cât timp se formează noua zgură se lucrează cu tensiunea curentului electric scăzută și cu intensitate mare, pentru ca arcul electric să fie scurt și temperatura băii metalice să atingă 1600-1650 °C.

În timp ce se formează noua zgură se ia cu lancea diskpin prima probă de oțel lichid, care este trimisă la quantovac, pentru determinarea elementelor din compoziția oțelului.

Se face precizarea că, dacă proba de oțel se ia cu lingura și lingura din oțel trebuie protejată de a nu se topi și atunci și ea este îmbrăcată în zgură.

Din această probă se determină și conținuturile de carbon și sulf la aparatul de tip „LECO”.

De asemenea se ia și probă de zgură, care se trimite la analiză la difractometrul cu raze X prin fluorescență.

La primirea rezultatelor se face interpretarea lor și se iau măsurile corespunzătoare.

După ce zgura nouă s-a topit, se trece la etapa de dezoxidare avasată, mai întâi prin dezoxidarea prin difuzie, folosindu-se un amestec dezoxidant I, reprezentând 2% față de greutatea băii metalice, adoptându-se o cantitate de 2 kg de amestec dezoxidant pentru 100 kg de topitură metalică.

Amestecul I este format după greutate din: 5 părți var, 3 părți siliciu metalic, 1 parte fluorină, toate cu o granulație clasa -0,5 mm.

Aceasta înseamnă:

var= $(2/9) \times 5 = 1,11$  kg; siliciu metalic= $(2/9) \times 3 = 0,6$  kg; fluorină= $(2/9) \times 1 = 0,22$  kg.



Pentru cazul de față, când oțelul are un conținut de carbon de ordinul miimilor de procente, se mai folosește și un amestec II granulație clasa -0,5 mm, tot pentru dezoxidarea prin difuzie.

Adoptându-se o cantitate de 1 kg amestec dezoxidant pentru 100 kg baie metalică, el este alcătuit din: 3 părți var, 1 parte silicocalciu, 1 parte aluminiu și 1 parte fluorină, adică:

$$\text{var}=(1/6)\times 3=0,5 \text{ kg};$$

$$\text{silicocalciu}=(1/6)\times 1=0,16 \text{ kg};$$

$$\text{aluminiu}=(1/6)\times 1=0,16 \text{ kg};$$

$$\text{fluorină}=(1/6)\times 1=0,16 \text{ kg}.$$

În toată această perioadă zgura trebuie să fie albă și să aibă compoziția chimică în următoarele limite: CaO 55-65%; SiO<sub>2</sub> 15-20%; MgO≤10%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1,5-3%; FeO≤0,7%; MnO≤0,5%; CaS≤1; CaF<sub>2</sub> 7-10%.

Atât amestecul dezoxidant I, cât și cel de al doilea se dă pe zgură în porții mici și în mod ritmic.

Zgura albă se păstrează până la terminarea elaborării.

Dezoxidarea prin difuzie se completează cu dezoxidarea prin precipitare.

Datorită metodei de lucru utilizate, dezoxidanții folosiți găsesc puțin oxigen dizolvat în baia metalică și ca urmare și cantitatea de oxizi formați este mică.

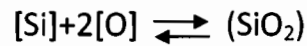
Se consideră că, după dezoxidarea cu aluminiu, în oțel rămâne o cantitate de 0,06%Al, care este în echilibru cu 0,003% [O].

Cantitatea de oxigen rămasă în oțel după dezoxidarea prin difuzie este de 0,025% [O].

Pentru dezoxidarea, prin precipitare se folosesc bucăți de siliciu metalic și de aluminiu.

Din diagrama de echilibru [Si] și [O] în echilibru cu 0,01%Si se găsește 0,020% [O] la 1600 °C.

Cantitatea de oxigen care, reacționează cu siliciul, conform reacției:



$$[\text{O}]_{\text{indep}}^{\text{Si}} = 0,025 - 0,02 = 0,005 \text{ kg}$$

Cantitatea de siliciu necesară:

$$q_{\text{nec}}^{\text{Si}} = 0,005 \times 28 / 32 = 0,004375 \text{ kg.}$$

Cantitatea de siliciu necesară, pentru dezoxidare și pentru aliere, ca oțelul să conțină 3,5% Si impusă prin compoziția chimică adoptată este:

$$q_{\text{Si}} = (0,00437 + 3,5 - 0,01) \times 100 / 98,8 = 3,494375 \text{ kg}$$

Considerând o volatilizare de 5% a siliciului metalic, rezultă un necesar de siliciu metalic:

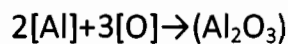
$$q_{\text{total}}^{\text{Si}} = 3,494375 / 0,95 = 3,6782895 \text{ kg} \sim 3,68 \text{ kg}$$

Cantitatea de  $\text{SiO}_2$  rezultată, care va trece în zgură este:

$$(\text{SiO}_2) = 0,005 \times 60 / 28 = 0,0107143 \text{ kg SiO}_2 \sim 0,01 \text{ kg SiO}_2;$$

Dezoxidarea prin precipitare cu aluminiu.

Cantitatea de oxigen, care reacționează cu aluminiul este conform reacției:



$$[\text{O}]_{\text{indep}}^{\text{Al}} = 0,020 - 0,003 = 0,017 \text{ kg}$$

Cantitatea de aluminiu necesară este:

$$q_{\text{nec}}^{\text{Al}} = 0,017 \times 54 / 48 = 0,019125 \text{ kg Al} \sim 0,02 \text{ kg Al}_2\text{O}_3.$$

Cantitatea de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  rezultată și care va trece în zgură este:

$$(\text{Al}_2\text{O}_3) = 0,017 \times 102 // 54 = 0,0321111 \text{ kg Al}_2\text{O}_3 \sim 0,03 \text{ kg Al}_2\text{O}_3.$$

Cantitatea de aluminiu necesară, pentru ca să rămână în oțel 0,01% Al conduce la o cantitate de aluminiu:

$$q^{\text{Al}} = (0,019125 + 0,01) / 0,999 = 0,0291542 \text{ kg Al} \sim 0,03 \text{ kg Al.}$$

Considerând o volatilizare de 5% a aluminiului, rezultă o cantitate totală de aluminiu:

$$q_{\text{total}}^{\text{Al}} = 0,02915 / 0,95 = 0,0306886 \sim 0,031 \text{ kg aluminiu}$$

Totodată, în perioada de dezoxidare prin precipitare se adaugă în baia metalică cu rol de „inhibitor” silicocalciu azot SiCaN.

Calcululele arată că, pentru a rămâne 40 ppm în 100 kg de oțel este necesară o cantitate de 0,05 kg SiCaN.

După ce și etapa de dezoxidare prin precipitare s-a încheiat, se trece la luarea probei 2 și anume:

- proba de oțel lichid, care se trimite la quntovac și la aparatul de tip „Leco”;
- proba, pentru determinarea gazelor din oțel prelevată cu pipeta vidată;
- proba de zgură.

După primirea rezultatelor, dacă sunt necesare corectări, se acționează în acest sens.

Dacă rezultatele arată că:

- s-a realizat compoziția chimică impusă oțelului: C 0,002%, Si 3,5 %, Mn 0,06%, Al 0,01%, P 0,025%, S 0,025%;
  - prezența gazelor în oțel reprezintă: 14 ppm pentru oxigen, 1,3 ppm pentru hidrogen rezidual și 44 ppm pentru azot;
  - zgura se încadrează în compoziția zgurelor albe;
- se trece la pregătirea deșarjării.

În acest sens se ia temperatura băii metalice din cuptor cu termocuplu de imersie Pt-Pt10%Rh, care trebuie să aibă o supraîncălzire peste temperatura lichidus a oțelului, încât să compenseze pierderile de căldură care sunt:

- la curgerea oțelului din cuptor în oala de turnare;
- în timpul staționării oțelului în oala de turnare;
- în timpul transportului oalei de turnare la standul instalației de barbotare cu argon;
- în timpul staționării oalei de turnare la standul instalației de barbotare cu argon;
- în timpul transportului la instalația de turnare continuă;

• în timpul poziționării oalei de turnare deasupra distribuitorului până la deschiderea sertarului.

Așa cum s-a arătat, temperatura de supraîncălzire pe zone și faze tehnologice peste temperatura lichidus pe baza experimentărilor și a calculelor termice s-a apreciat în tabelul 5, pe care îl reamintim.

De aceea este necesar în primul rând, să se cunoască temperatura lichidus a oțelului, care se poate determina cu formula de mai jos, exprimată în grade Fahrenheit:

Tabelul 5

Zona și faza tehnologică	Temperatura °C	Supraîncălzirea °C
În oală după evacuare	1615-1635	120-140
Înainte de barbotare	1605-1625	110-130
După barbotare	1585-1595	90-100
În distribuitor	1545-1555	50-60

$$T_L = T_{LFe} - \Delta T_{el} \text{ [}^\circ\text{F]}$$

în care  $T_{LFe}$  este temperatura de topire a fierului

$$T_{LFe} = 1538 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

și pentru a o transforma în [°F] se utilizează relația

$$T \text{ [}^\circ\text{F]} = (9/5 \times T \text{ [}^\circ\text{C]} + 32) = (9/5 \times T_{LFe} + 32) = (9/5) \times 1538 + 32 = 2804,4 \text{ [}^\circ\text{F]}$$

$$\Delta T_{el} = \sum K_{el} \times a_{el}$$

în care:

$K_{el}$  = constante;

$a_{el}$  = % mediu a elementului din oțel.

În cazul oțelului slab aliat cu Si,  $K_C=141$ ,  $K_{Si}=22$ ,  $K_{Mn}=7,2$ ,  $K_{Al}=9$ , iar pentru o compoziție de C 0,002%, Si 3,5%, Mn 0,06%, Al 0,01%, P 0,01%, S 0,01%, rezultă:

$$\Delta T_{el} = \sum K_{el} \times a_{el} = 141 \times 0,002 + 22 \times 3,5 + 7,2 \times 0,06 + 9 \times 0,01 = 77,804 \text{ [}^\circ\text{F]}$$

Astfel temperatura lichidus în [°F] pentru oțelul slab aliat cu siliciu avînd compoziția chimică menționată mai sus este:

$$T_L = T_{LFe} - \Delta T_{el} = 2804,4 - 77,804 = 2722,596 \text{ [°F]}.$$

Trecerea la [°C] se face cu relația:

$$T[\text{°C}] = (5/9) \times (T[\text{°F}] - 32),$$

astfel că, în [°C], pentru temperatura lichidus a oțelului, rezultă:

$$T_L = (5/9) \times (2722,596 - 32) = 1494,7756 \sim 1495 \text{ [°C]}$$

Macaralele de preluare a oalei de turnare vor fi prevăzute cu mijloace de cântărire adecvate.

Pentru controlul compoziției chimice vor fi asigurate teci tip diskpin, pentru prelevare de probe de oțel din oala de turnare.

Oala de turnare este prevăzută cu dispozitiv de închidere cu sertar cu orificiul de  $\phi$  80 mm, preîncălzită la 1100 °C și este adusă în groapa de turnare.

Cuptorul este deconectat de la rețeaua electrică, electrozii sunt ridicați și cuptorul este basculat ca întreaga topitură – oțel și zgură – să curgă în oală.

După terminarea evacuării, cuptorul este readus în poziția de lucru. Pe suprafața zgurei din oală se presară siliciu metalic pulbere clasa -0,5 mm.

Oala este ridicată de macara și este dirijată către standul de barbotare cu argon a oțelului.

Argonul este folosit la o presiune de 3 atm utilizând o cantitate de 0,5 Nm<sup>3</sup>/min, pe o perioadă de 6 minute.

După barbotare se adaugă pe suprafața zgurii lichide material termoizolant diatomită uscată și măcinată clasa -3 mm în cantitate de 1kg/t.

De la standul de barbotare, oala este dirijată la instalația de turnare continuă.

Bramele oținute prin turnarea continuă au dimensiunile 200 mm grosime, lățime 1200 mm, iar masa bramei 12 t. Bramele sunt încălzite în cuptorul cu propulsie la o temperatură de 1390 °C, iar pe material la 1400 °C, după care sunt laminate la cald la laminorul de bandă la cald LBC, în benzi de 2 mm.

Parametrii de laminare sunt:

Temperatura de ieșire din caja D5 a trenului degrosisor 1260 °C.

Temperatura de intrare în finisor, 1160 °C.

Temperatura de ieșire din caja F7 a trenului finisor, 1120 °C.

Urmează răcirea controlată, în care temperatura de rulare este 580 °C, după care se execută controlul tehnic de calitate.

Se trece la tratamentul de normalizare al benzii desfășurate la temperatura de 1140 °C timp de 2 minute, apoi răcirea în continuare cu 2°C/s până la 900 °C, după care răcirea se face cu apă până la 150 °C.

În continuare se execută decaparea chimică cu H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> și apoi spălarea benzii cu apă și uscarea cu aer cald.

Pregătirea rulourilor constă în sudarea cap la cap a benzilor și tăierea marginilor, pentru îndepărtarea marginilor fisurate.

Urmează prima laminare la rece, pe o cajă degrositoare reversibilă și apoi pe o cajă policilindrică cu 20 de cilindri, din care 2 sunt de lucru și 18 sunt de sprijin, obținându-se benzi de 0,7 mm grosime și lățimi de 1160 mm.

Se execută apoi o recoacere intermediară în cuptor cu atmosferă reducătoare (80% N<sub>2</sub> și 20 %H<sub>2</sub>), după care urmează cea de a doua laminare la rece la grosimea finală de 0,3 mm cu un grad de reducere de 85%.

Penultima etapă, în fluxul tehnologic, o reprezintă o recoacere de recristalizare secundară, în atmosferă de hidrogen la temperatura de 1170 °C.

Ultima etapă o reprezintă acoperirea tensionantă cu lac electroizolant de foste-rită.

S-au făcut determinări de proprietăți magnetice ale benzilor cu grosimea de 0,28 mm și cu un conținut de carbon de 0,002%, pe care le prezentăm în tabelul 9 inclusiv determinări de rezistivitate și de proprietăți cristalografice cu precizarea că, s-au respectat cu strictețe instrucțiunile, pe tot parcursul etapelor, așa cum s-a arătat în exemplul dat de aplicare a invenției:

Tabelul 9

Nr crt.	Proprietăți magnetice și electrice ale benzilor	Valori
1	Pierderile magnetice totale în miez la 50 Hz la o inducție de 1,5 T	$P(1,5)=0,9 \text{ W/kg}$
2	Permeabilitatea magnetică	$\mu=1950$
3	Mărimea câmpului coercitiv	$H_c=52 \text{ A/m}$
4	Inducția de saturație	$B_s=1,80 \text{ T}$
5	Rezistivitatea electrică	$\rho=35 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$
6	Mărimea grăunților	11 mm
7	Procentul în volum de grăunți cu textură Goss	87 %
8	Mărimea unghiului de abatere a direcției de texturare (110)[001] de la direcția de laminare	$v_c=82$

## REVENDICĂRI

1. Procedeu și instalație, pentru elaborarea oțelurilor slab aliate cu siliciu destinate obținerii benzilor, pentru transformatoarele electrice de mare putere, caracterizat prin aceea că, elaborarea are loc în cuptor electric trifazic cu arc, căptușit bazic, în sensul că vatra, pereții și jghiabul de curgere sunt zidite cu cărămizi magnezitice.

Compoziția chimică exprimată în procente masice a oțelului trebuie să conțină: carbon egal sau mai mic de 0,002, siliciu mai mare de 3 și mai mic de 4, manganul egal sau mai mic de 0,06, fosforul egal sau mai mic de 0,0025, sulful egal sau mai mic ca 0,0025, aluminiul egal sau mai mic de 0,01.

Conținutul în gaze a oțelului nu trebuie să depășească următoarele valori: oxigen 15 ppm, hidrogen rezidual 1,5 ppm și azot 50 ppm.

Ca materie primă se lucrează cu minereu de fier cu conținut în fier mai mare de 60 %.

Ca reducători sunt folosiți: siliciul metalic cu conținut de siliciu egal sau mai mare de 98,8% și aluminiu cu conținut mai mare de 99,99%..

Ca fondanți sunt folosiți: varul cu un conținut egal sau mai mare de 93% și nu mai vechi de 24 ore, fluorina cu un conținut de  $\text{CaF}_2$  egal sau mai mare de 92% și silicocalciu cu un conținut de Si egal sau mai mare de 55% și de calciu egal sau mai mare de 35% și un conținut de carbon mai mic sau egal cu 0,5%.

Granulația minerelului va fi cuprinsă între 25 și 50 mm, iar granulația varului, fluorinei și a silicocalciului între 20 și 50 mm.

Bucățile de aluminiu au dimensiuni între 60 și 120 mm.

Calculul încărcăturii se face, luând în considerare cantitatea de oxigen, pe care o aduce minereul de fier. De aici se deduc necesarul de siliciu metalic și de aluminiu, care trebuie să reacționeze cu oxigenul în calitate de reducători și ca urmare rezultă cantitățile de silice  $\text{SiO}_2$  și de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  care trec în zgură.

Pentru determinarea cantității de var se ia în calcul un raport de bazicitate  $(\text{CaO})/(\text{SiO}_2)=2,5$ .



Pentru a se obține o zgură bazică și fluidă se consideră că, varul reprezintă 80% și fluorina 20%. Fluorina va fi adăugată numai atât, cât este necesar ca zgura să fie fluidă și activă.

Deci prima etapă a elaborării oțelului o reprezintă procesul de reducere a oxizilor de fier din minereu.

Când întreaga încărcătură s-a topit și deci procesul de reducere al oxizilor s-a terminat, cuptorul electric este deconectat de la rețeaua electrică și se trece la îndepărtarea cu drigla de lemn a 90% din cantitatea de zgură, cu grija ca, suprafața oțelului să nu fie descoperită, pentru ca oțelul să nu fie contaminat de atmosfera cuptorului, favorizând oxidarea și absorbția de gaze.

După ce zgura a fost îndepărtată în vana de zgură de sub cuptor, cuptorul este readus în poziție normală și este conectat la rețea.

Se trece la formarea unei noi zguri, care reprezintă între 1 și 3% din cantitatea de oțel rămas în cuptor, din care 80% o reprezintă varul iar 20% fluorina.

Ca mai sus se face precizare că, fluorina va fi dată atât, cât este necesar ca zgura să fie fluidă și activă.

În toată această perioadă, zgura trebuie să aibă compoziția chimică în următoarele limite: CaO 55-65%; SiO<sub>2</sub> 15-20%; MgO 6-10%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1,5-3%; FeO ≤ 0,7%; MnO ≤ 0,4%; CaS ≤ 1; CaF<sub>2</sub> 7-10%.

După ce zgura nouă s-a topit se trece la cea de a doua etapă a elaborării, care este dezoxidarea avansată, mai întâi prin dezoxidarea prin difuzie.

În acest scop se folosește un amestec dezoxidant I, reprezentând 2% față de greutatea băii metalice.

Amestecul dezoxidant I este format din : 5 părți var, 3 părți siliciu metalic, 1 parte fluorină, toate cu o granulație clasa -0,5 mm.

Tot în cadrul dezoxidării prin difuzie se mai folosește și un amestec dezoxidant II cu o granulație clasa -0,5 mm. Adoptându-se o cantitate de 1 kg amestec dezoxidant,

pentru 100 kg baie metalică, el este alcătuit din: 3 părți var, 1 parte silicocalciu, 1 parte aluminiu și 1 parte fluorină.

Atât amestecul dezoxidant I cât și amestecul dezoxidant II se dau pe zgură în porții mici și în mod ritmic.

Dezoxidarea prin difuzie se completează cu dezoxidarea prin precipitare.

Din diagramele de echilibru se stabilesc cantitățile de oxigen în echilibru rămase în oțel.

Pe această bază se calculează, mai întâi cantitatea de siliciu metalic și apoi cantitatea de aluminiu necesare, pentru a reacționa cu oxigenul rămas în oțel.

Totodată, pe baza probelor luate din oțelul lichid se determină cantitatea de siliciu metalic ce trebuie dată în baia de oțel pentru aliere.

De asemenea, tot în această perioadă de dezoxidare prin precipitare, se adaugă în baia metalică, cu rol de „inhibitor” silicocalciu azot..

În momentul când, sau primit rezultatele, care corespund condițiilor impuse pentru: compoziția chimică a oțelului, conținutul de gaze din oțel, compoziția chimică a zgurei, se ia temperatura oțelului lichid cu termocuplu de imersie Pt-Pt10%Rh, calculându-se în prealabil temperatura lichidus a oțelului și se încălzește oțelul, pentru a obține o supraîncălzire a lui necesară pentru a acoperi pierderile de temperatură la: curgerea oțelului în oala de turnare, în timpul staționării oțelului în oala de turnare, în timpul transportului oalei de turnare la instalația de barbotare cu argon, în timpul barbotării cu argon, în timpul transportului la instalația de turnare continuă și în timpul poziționării deasupra distribuitorului până la deschiderea sertarului.

Restul etapelor din fluxul tehnologic sunt cunoscute și aplicate.

Se subliniază faptul că, întrucât în procesul de elaborare, conținutul de carbon din oțel este cel mult sau mai puțin de 0,002%, etapa de recoacere de decarburare din fluxul tehnologic aplicat pe plan mondial nu mai are loc, întrucât nu se mai justifică.

2. Procedeu, pentru fabricarea benzilor din oțel silicios destinate transformatoarelor de mare putere, caracterizat prin aceea că, tolele magnetice, executate

09-07-2014

din benzile fabricate, sunt parcurse de fluxul magnetic într-o direcție bine determinată, în care cea mai mare valoare a permeabilității trebuie să fie asigurată după direcția respectivă, în care direcția magnetic privilegiată este una din axele [001] ale cristalului și care rezultă din laminarea la cald și la rece, cu ajutorul cărora se obține oțelul cu grăunți orientați și prezența unui conținut de siliciu de 3-4%, iar diametrul grăunților este circa 10 mm sau mai mare și ca urmare pierderile magnetice dau o valoare acceptabilă.

Fabricația benzilor cu grăunți orientați, a căror textură caracteristică (110)[001] numită textură Goss, constă dintr-o laminare primară la cald, urmată de cel puțin două laminări la rece și tratamente termice, precum și o recoacere la temperatură ridicată, în cursul căreia se produce o creștere a grăunților (recristalizare secundară).

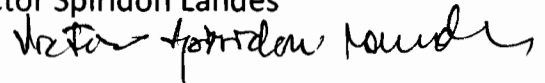
Creșterea permeabilității este cu atât mai mare, cu cât textura realizată este grupată în jurul acestei direcții.

Perfecțiunea unei texturi constă din unghiul maxim  $\theta_{\max}$  de abatere a axei [001] de la direcția de laminare, în care variația pierderilor poate fi evaluată în funcție de acest unghi.

Este vorba de a obține o textură superioară, caracterizată prin  $\theta_{\max} < 5^\circ$ , în care pierderile în fier sunt de circa 0,8 W/kg.

În acest context, în invenție, pentru controlul granulației se utilizează ca inhibitor silicocalciu azot, cu conținuturi egale sau mai mari de 8% și mai mici sau egale cu 10% azot, în scopul asigurării unei texturi cât mai bine orientate pe direcția (110)[001].

Dr. Ing. Victor Spiridon Landes



Dr. Ing. Mircea Brăiloiu

