

614.402 anexă  
90 H

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ TIMIȘOARA  
FACULTATEA DE INGINERIE HUNEDOARA**

**CERCETĂRI PRIVIND TEHNOLOGIA DE  
PRELUCRARE METALURGICĂ A OȚELURILOR  
INOXIDABILE AUSTENITICE DE  
TIP Cr - Ni - Mo ÎN SCOPUL GARANTĂRII  
NIVELULUI DE UTILIZARE**

**Teză de doctorat  
( rezumat )**

**CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC  
Prof.dr.ing. Ilca Ioan**

**DOCTORAND  
Ing.Păcurar Nicolae**

**HUNEDOARA 1995**

*Lucrarea abordează faza prelucrării cea mai puțin prezentată în publicațiile de specialitate , a trecerii de la structura de turnare neomogenă fizic și chimic , la o structură relativ finisată și omogenă a semifabricatelor , care să permită garantarea nivelului de utilizare a oțelurilor de tip Cr - Ni - Mo .*

**Ing. Nicolae Păcurar**  
**Tel.: 054/712785**  
**Fax : 054/718796**

UNIVERSITATEA TEHNICA DIN TIMISOARA

Compartiment: DOCTORAT

Piața Victoriei nr.2

Telefon: 056/134793; FAX: 056/190321

Nr. \_\_\_\_\_ din \_\_\_\_\_.-

C ă t r e ,

614.402  
anexă 90 H

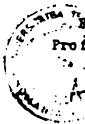
Vă aducem la cunoștință, că în ziua de 2.10.1995 orele 11.  
în sala A 12 a Facultății DE INGINERIE HUNEDOARA  
va avea loc susținerea publică a tezei de doctorat "Secretării primite  
tehnologia de prelucrare metalurgică a oțelurilor inoxidabile austenitice  
de tip Cr-Ni-Mo în scopul garantării nivelului de utilizare"

elaborată de D.nul inginer PACURAR NICOLAE în vederea o  
nerii titlului științific de "Doctor".

COMISIA DE DOCTORAT:

- PRESEDINTE: Conf.Dr.ing. Jitian Simion
  - CONDUCATOR ȘTIINȚIFIC: Prof.Dr.ing. Ilca Ioan
  - MEMBRII:
    - 1. - Prof.Dr.Doc.,ing. Oprea Florea - Universitatea Tirgoviste
    - 2. - Prof.Dr.Doc.,ing. Drăgan Ioan - Universitatea Politehnică Cluj-Napoca
    - 3. - Prof.Dr.ing. Cartiș Ioan - Universitatea Politehnică Timișoara
    - 4. - Prof.Dr.ing. Columba Mircea - Universitatea "Eftimie Murgu Reșița
    - 5. - Dr.ing.Samoilescu Silviu - S.C."Siderurgica"S.A.-Hunedoara
- În conformitate cu instrucțiunile Ministerului Învățământului privind acordarea titlurilor științifice aprobate cu Ordinul 18/1968, trimitem rezumatul tezei de doctorat, cu rugămintea de a ne comunica, în dublu exemplar, eventualele dumneavoastră observații și concluzii apreciere, pe adresa Universității Tehnice din Timișoara, Piața Victoriei nr.2, cod 1900.

Cu această ocazie, vă invităm să participați la susținerea publică a tezei de doctorat.



SECRETAR

Prof.dr.ing.Alexandru Nichici

SECRETAR ȘEF

Al. Caspar



# ***1 ANALIZA STADIULUI ACTUAL DE CUNOAȘTERE A PROBLEMEI***

## **1 . 1 OBȚINEREA OȚELURILOR INOXIDABILE**

### **1 . 1 . 1 Elaborarea**

Pentru elaborarea oțelurilor inoxidabile se utilizează cuptoare electrice cu arc de capacitate medie și mică .

După topire în baia de oțel se insuflă oxigen care determină trecerea carbonului în CO și CO<sub>2</sub> și se reduce conținutul de fosfor.

După prima parte a afinării se recâștigă prin reducerea zgurii o parte din elementele oxidate nedorit spre exemplu cromul . În perioada următoare de afinare se înlătură componentele dăunătoare ale oțelului cum sunt sulful și oxigenul.

Analiza finală se corectează prin adausul de elemente de aliere pure ( Ni , Mo , etc. ) sau de combinații de fier ( ferocrom sau feromolibden ) .

După dezvoltarea procesului AOD ( Argon Oxigen Decarburizing ) de Union Carbide majoritatea oțelurilor inoxidabile și indeosebi mărcile cu conținut de carbon de < 0,030 % s-au produs prin acest procedeu . Este vorba de un procedeu duplex la care cuptorul electric cu arc servește numai ca agregat de topire pentru încărcătură ( fier vechi ) .

Metalul topit se transvazează într-un recipient de tratament căptușit cu refractare în care se fac prelucrările metalurgice . Creuzetul are lateral sub suprafața băii duze prin care se insuflă argon sau un amestec argon oxigen și de asemenea o lance de insuflat oxigen . După ce se lucrează cu lancia se insuflă prin duze un amestec argon oxigen .

Amestecul servește la scăderea presiunii parțiale a CO și la creșterea vitezei de reacție oxigen - carbon . Diluarea (scăderea presiunii parțiale) a oxidului de carbon împreună cu

celelalte mijloace metalurgice determină recuperarea unei mari părți a cromului zgurificat

Trebuie amintit aici și al doilea procedeu des utilizat VOD (Vacum - Oxigen - Decarburizing ) care utilizează insuflarea oxigenului printr-o lance în oala de turnare modificată , sub vid , concomitent cu barbotarea de argon care alături de vidul adânc ( în faza finală când nu se mai insuflă oxigen ) determină scăderea drastică a presiunii parțiale a oxidului de carbon și respectiv niveluri foarte scăzute ale carbonului fără oxidarea notabilă a cromului .

### **1 . 1 . 2 Turnarea**

Metalul topit poate lua funcție de destinație : traseul lingou , în care caz se utilizează turnarea în sifon pentru o mai bună puritate sau turnare continuă . Turnarea continuă se poate executa pe mașini verticale cu fir curbat sau orizontale , alegerea fiind determinată de caracteristicile oțelului ce va fi turnat.

### **1 . 1 . 3 Procedee speciale de topire și rafinare**

Pentru o purificare avansată se utilizează retopirea cu arc sub vid , unde electrozudul se topește , picăturile căzând într-o cochilie de cupru răcită cu apă . Lingoul obținut are puritate excelentă și proprietăți excelente longitudinale și transversale .

Se mai amintesc procedeele de retopire cu plasmă , fascicol de electroni etc. care dau de asemenea o înaltă puritate produsului final. Mai amintim aici și procesul de retopire electrică sub zgură , în care rafinarea se produce prin trecerea picăturilor din electrozudul de rafinat prin stratul de zgură care constituie și rezistența electrică ( sursa de căldură și locul în care metalurgic are loc rafinarea . Se îmbunătățesc gradul de puritate sulfidic și oxidic și caracteristicile mecanice ( în special transversale ) .

#### **1 . 1 . 4 Prelucrarea ulterioară**

Prelucrarea ulterioară a lingourilor cât și a bramelor și țagelilor turnate continuu pentru obținerea produselor finite ( tablă , bandă , țevă , sârmă , bară ) se face în doua etape :

- prin deformare la cald ca laminare , forjare ,  
ambutisare ;

- prin deformare la rece ca laminare la rece, laminare în pas de pelerin,ambutisare la rece, trefilare etc .

#### **1 . 2 STRUCTURA ȘI PROPRIETĂȚILE**

Majoritatea metalelor și aliajelor de metal din punct de vedere termodinamic se consideră instabile adică tind să treacă în combinații metalice energetic favorabile ca de exemplu oxizi de metal .

La începutul secolului al XX - lea a fost descoperit efectul de împiedicare a coroziunii de către un anumit conținut de crom . Astăzi se știe că această stabilitate ridicată se datorește formării în stratul de suprafață a unui oxid metalic extrem de stabil termodinamic .

#### **1 . 2 . 1 Compoziție și structură**

Metalul de aliere crom reprezintă până în momentul de față elementul cel mai important pentru oțelurile inoxidabile ; în primul rând conținutul de crom mai mare de 12 % dă o mare rezistență la coroziune . Sunt și alte elemente de aliere care în parte sunt importante . Ele influențează aranjarea în rețea a atomilor de fier.

Fierul nealiat la temperatura mediului are o rețea cubică cu volum centrat ( Fe - $\alpha$  ) care la încălzire la peste 906 °C se transformă în rețea cubică cu fețe centrate ( Fe - $\gamma$  ) .

Elementele de aliere vor stabiliza funcție de dimensiunile și interacțiunea atomică faza feritică sau austenitică .

Pe lângă crom , nichelul reprezintă cel mai important element de aliere în oțelurile inoxidabile austenitice. Nichelul mărește domeniul de existență a austenitei . Această acțiune de stabilizare a austenitei , a nichelului este evidențiată mai mult la oțelurile aliate cu crom decât în aliajele cu fierul ; astfel , într-un oțel cu 18 % Cr , 8 % Ni produce o mărire a domeniului austenitic până la temperatura mediului înconjurător ( fig 1 . 4 ) .

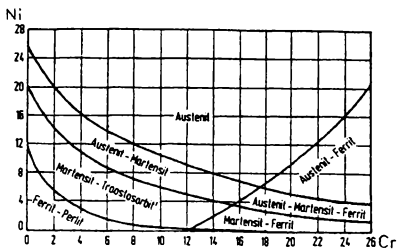


Fig. 1.4 - Diagrama structurală a oțelurilor Cr - Ni după B.Straus și E.Maurer

Oțelurile acestea sunt fără transformări și de aceea nu mai sunt călibile .

Structura austenitică prezintă proprietăți paramagnetice (nemagnetice ) și de aceea se poate deosebi de structura oțelurilor feritice și austenitice cu ajutorul unui magnet . În microstructură , oțelurile austenitice prezintă caracteristic o maclare puternică .

Austenita de fapt , este o modificare a stării de temperatură ridicată a aliajului de fier , al cărui domeniu de existență , în oțelurile inoxidabile austenitice a fost mărit prin tehnicile de aliere până la temperatura ambiantă .



Din punct de vedere al rezistenței la coroziune chimică , în oțelurile austenitice conținutul de carbon se menține la un nivel foarte scăzut, sau dacă procesul de elaborare nu permite, acesta se leagă prin diferite elemente ( titan , niobiu ) sub formă de carburi .

Pentru îmbunătățirea rezistenței la coroziune , oțelurile inoxidabile austenitice se vor alia pe lângă nivelele mari de crom și nichel și cu molibden , cupru și azot .

Uzual, conținutul elementelor de aliere la oțelurile inoxidabile austenitice întrebuințate în tehnică se situează în jurul următoarelor valori :

- crom                      16 - 35 % ;
- nichel                     7 - 26 % ;
- molibden   până la 6 % ;
- carbon                    până la 0,12 % ;
- azot                        până la 0,15 % .

Se mai pot adăuga , funcție de aplicația specializată și deci solicitările specifice , niobiu , titan și sulf .

## **1. 2. 2 Tratamentul termic și proprietățile mecanice**

La oțelurile inoxidabile austenitice structura cu granulație fină se reglează prin recristalizarea ce are loc la , sau după deformarea la cald . Ca tratament final se aplică o recoacere la temperaturi între 1000 - 1150 °C cu o răcire finală rapidă în apă sau aer .

Față de oțelurile feritice , martensitice sau nichel - martensitice , oțelurile austenitice prezintă valori de rezistență scăzute . La temperatura mediului valorile limitei de curgere  $R_{p0.2}$  ale oțelurilor standard sunt de circa 200 - 250 N/mm<sup>2</sup> în timp ce valorile rezistenței la rupere ( la tracțiune ) ajung la circa 600 N/mm<sup>2</sup> .

Oțelurile austenitice indică un raport foarte scăzut al limitei de curgere și posedă în sarcină o siguranță mare până la rupere . În special , se evidențiază valorile ridicate ale tenacității oțelurilor austenitice .

Valorile tipice ale alungirii la rupere ( $A_5$ ) sunt de circa 40 - 50 % și deci sunt de două ori mai mari ca la oțelurile feritice , martensitice sau austenito - feritice .

Valorile rezilienței la temperatura mediului au un nivel foarte ridicat dacă austenita rămâne stabilă până la temperaturi joase.

Cum reiese din diagrama structurală din figura 1 . 4 , oțelurile austenitice cu conținut scăzut de crom și nichel se află în apropierea domeniului de structură neomogenă martensită-austenită .

În acest domeniu limită , austenita este deja instabilă și la răcirea la temperaturi joase sau prin deformare la rece austenita se poate transforma parțial sau total în așa numita martensita  $\alpha$  .

Rămâne valabilă în principiu , afirmația că elementele austenitice ca azot , nichel , mangan și carbon măresc stabilitatea rețelei cu fețe centrate a austenitei față de transformările prin deformare la rece și / sau răcire joasă .

Pentru aplicații deosebite , există oțeluri inoxidabile austenitice cu valori ale limitei de curgere mai mari decât cele amintite înainte . Această mărire a limitei de curgere poate fi obținută prin diferite măsuri.

Cum deja s-a prezentat , proprietățile de rezistență pot fi mărite printr-o deformare la rece sau deformare alternativă .

O altă metodă foarte des folosită pentru mărirea proprietăților de rezistență a oțelurilor austenitice constă în " ecruisarea " cristalului de soluție solidă a austenitei prin măsuri tehnice de aliere ( blocarea dislocațiilor ) .

În timp ce o mărire a rezistenței prin adaos de carbon la oțelurile inoxidabile austenitice nu se ia în considerare din motive de coroziune chimică , aceasta se obține uneori prin mărirea conținutului de azot . Printr-o balansare a elementelor de aliere se poate ridica solubilitatea azotului încât se pot dizolva cantități de azot  $> 0,4$  % prin care limita de curgere ( $R_{p,0.2}$ ) la temperatura mediului se mărește la valori de peste 500 N/mm<sup>2</sup>.

Prin topire sub presiune de azot concomitent cu barbotarea cu azot , se pot crește în continuare proprietățile de rezistență .

Oțelurile de acest tip determină probleme la prelucrare deoarece ele sunt departe de starea de echilibru termodinamic. Pe lângă ecruisarea cristalului de soluție solidă apare la conținuturi ridicate de carbon și azot , o creștere a rezistenței prin precipitări de carburi și / sau nitruri .

Oțelurile inoxidabile austenitice se remarcă de asemenea prin proprietăți mecanice bune atât la temperaturi scăzute , cât și la temperaturi ridicate . Până la temperatura de circa 600 °C apare numai o scădere lentă a rezistenței . La temperaturi de lucru de peste 600 °C oțelurile austenitice se remarcă față de cele feritice prin proprietăți mecanice mai bune; de aceea se pot utiliza pentru aplicații și la temperaturi ridicate .

Scăderea temperaturii la care se efectueaza încercările , determină creșterea limitei de curgere (  $R_{p0.2}$  ) și rezistenței la întindere . La oțelurile austenitice stabile , are loc creșterea limitei de curgere și a rezistenței la întindere din cauza ecruisării austenitei .

La oțelurile austenitice instabile la temperatură scăzută , austenita se transformă parțial în martensită .

Oțelurile inoxidabile austenitice vor fi utilizate ca oțeluri tenace la rece pe baza proprietăților lor mecanice bune , la temperaturi joase.

### **1 . 3 PROPRIETĂȚI FIZICE**

Proprietățile fizice ale oțelurilor inoxidabile vor fi luate ca și criterii de utilizare pentru acestea . Astfel , oțelurile inoxidabile , pe baza proprietăților magnetice , vor fi alese ca materiale nemagnetice sau puțin magnetice .

Modulul de elasticitate al oțelurilor austenitice este cu circa 10% mai mic decât la oțelurile inoxidabile feritice și decât la oțelurile obișnuite de construcție .

În general , oțelurile se consideră nemagnetizabile dacă într-un câmp de 80 A/cm , permeabilitatea magnetică relativă este  $\mu_{rel} \leq 1,01$  .

Oțelurile inoxidabile austenitice îndeplinesc aceste condiții atâta timp cât nu se ivește ferită delta , precipitări magnetizabile și transformări martensitice . De aceea , ele se vor utiliza ca oțeluri nemagnetizabile .

Coeficientul liniar de dilatare termică a oțelurilor austenitice este cu circa o treime mai mare decât cel al oțelurilor feritice .

Conductibilitatea termică a oțelurilor austenitice de obicei este mai redusă decât cea a oțelurilor feritice , dar la conținuturi mari de elemente de aliere nu se mai observă aceasta .

### **1 . 3 . 1 Comportarea la solicitari chimice**

Prin coroziune se înțelege reacția unui material cu mediul , reacție care produce o modificare a materialului și care poate conduce la diminuarea funcționării elementului de construcție sau a întregului sistem .

Mediile care produc coroziunea metalelor sunt de mai multe feluri :

- cu temperaturi de sute de °C , la țevi ;
- topituri metalice și de săruri ;
- medii apoase etc .

O importanță deosebită o au mediile apoase deoarece în mediul natural toate procesele de coroziune a metalelor și în tehnică la temperaturi nu prea mari , aproape toate procesele de coroziune ale metalelor au loc în medii apoase .

### **1 . 3 . 2 Coroziunea metalelor în medii apoase**

Coroziunea metalelor în medii apoase se reduce la fenomene electrochimice . Într-un sistem metal / soluție

apoasă metalul este un conducător electronic , iar soluția apoasă un conducător ionic .

Aceasta înseamnă că un flux de curent electric trece în metal printr-o migrație de electroni și în soluție printr-un transport de ioni .

Curentul care trece la o reacție anodică a electrozilor prin limita de fază conducător ionic / electronic va fi prezentat ca anodic . Deoarece reacțiile electrozilor sunt legate de o trecere de sarcină , viteza acestora este proporțională cu fluxul de curent .

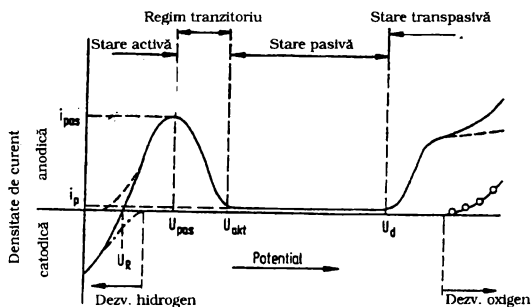
### **1 . 3 . 3 Pasivizarea**

Chiar dacă un metal nu este stabil termodinamic într-un mediu coroziv apos , reacția de coroziune poate fi atât de mult împiedecată că poate rezulta o stabilitate suficientă .

Astfel la multe metale în anumite condiții prin reacția cu soluția electrolică apare un strat protector pe suprafața superioară a metalului care desparte metalul de mediul coroziv.

Cele mai importante sunt straturile de pasivizare submicroscopice oxidice subțiri , care se formează cu magneziu , aluminiu , fier , crom , nichel , titan și altele .

Și oțelurile inoxibile datorează comportamentul bun la coroziune stratului de pasivizare . El constă dintr-o peliculă de oxizi cu grosimea de numai câțiva nanometri , a cărei formare este dependentă de potențial după cum este indicată în figura 1 . 14 (reprezentarea schematică a curbei potențial - densitatea curentului total a unui oțel inoxidabil în acid sulfuric ) .

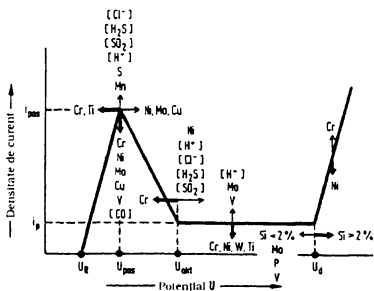


- curbă potențial - densitate totală de curent , măsurabil în circuit exterior
- - - curbă potențial - densitate parțială de curent anodic pentru precipitatul metalic
- . - . - curbă potențial - densitate parțială de curent catodic pentru dezvoltarea hidrogenului
- o - o - curbă potențial - densitate parțială de curent anodic pentru dezvoltarea oxigenului
- $U_{pas}$  potențial de pasivizare
- $U_{akt}$  potențial de activare
- $U_d$  potențial de străpungere
- $U_R$  potențial liber de corodare
- $i_{pas}$  densitatea de curent de pasivizare
- $i_p$  densitatea pasivă de curent

Fig . 1.14 - Curbă potențial - densitate de curent pentru un oțel inoxidabil in acid sulfuric

În general , elementele de aliere îmbunătățesc pasivitatea unui oțel inoxidabil .

Figura 1 . 16 prezintă acțiunea factorilor de influență (de aliere și electrolitici ) asupra valorilor caracteristice a curbelor potențial - densitate de curent a oțelurilor ce pot fi pasive .



⇒ influență favorabilă

→ influență defavorabilă

Fig. 1.16 - Acțiunea elementelor de aliere și electroliților asupra curbei potențial - densitate de curent

### 1.3.4 Coroziunea uniformă

Coroziunea uniformă a suprafeței este cea mai simplă formă de coroziune. Ea se prezintă ca o degradare simetrică a suprafeței și practic, printr-o degradare asemănătoare.

Coroziunea uniformă a suprafeței apare la oțelurile inoxidabile în acizi și leșii concentrate.

În general, pasivizarea se obține cu atât mai greu cu cât valoarea pH-ului este mai mică și cu cât temperatura este mai mare.

Alirea cu Cr, Ni, Mo și în anumite cazuri, cea cu cupru, determină densități mici ale curentului de pasivizare.

Tendența unui oțel inoxidabil de a rezista în acizi neoxidanți poate fi influențată prin concentrații mici ale unor substanțe în acizi. Oxidanții ca oxigen, ioni cu  $2^+$  și ionii  $Fe^{3+}$  favorizează și prin aceasta pot atenua coroziunea.

În afară de aceste forme de coroziune, mai trebuie să se țină seama și de coroziunea locală (intercristalină, pitting, fisurantă sub sarcină, la solicitări ciclice sub sarcină, la oboseală etc.) ale cărei mecanisme sunt bogat ilustrate în literatura de specialitate.

Alegerea oțelului devine o problemă de cunoaștere a solicitărilor mecanice , de mediu ( coroziune ) , a fluxului de elaborare și turnare (puritate gaze , formă incluziuni etc . ) .

## **2 . ANALIZA GARANTĂRII NIVELULUI DE UTILIZARE PRIN CONTROLUL COMPOZIȚIEI CHIMICE , PE UN FLUX TEHNOLOGIC DAT**

Scopul lucrării constă în cunoașterea nivelelor de influență a factorilor tehnologici pe fazele procesului de fabricație asupra principalelor caracteristici calitative ale acestor oțeluri , eliminând necesitatea efectuării unor analize și încercări de laborator .

Ca variabile independente s-au considerat a fi elementele compoziției chimice , iar ca variabile dependente , caracteristicile mecanice .

Pe baza reprezentărilor grafice a caracteristicilor mecanice , s-a reprezentat în figura 2 . 1 poligonul de marcă ce definește domeniul optim al compoziției chimice, cu garantarea caracteristicilor calitative.

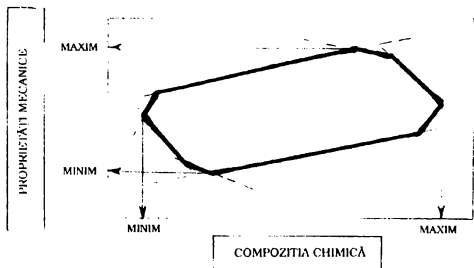


Fig. 2.1 - Poligonul de marcă



Metodologia propusă pentru întocmirea acestui poligon constă în suprapunerea domeniilor limitative superioare și inferioare definite de abaterile medii pătratice de la dreptele de regresie , pentru fiecare caracteristică mecanică și element de compozitie chimică .

Din intersecția acestora rezultă **poligonul de marcă** , care va determina :

**a - Compoziția chimică optimă** de realizat pentru principalele elemente chimice care va asigura constanța nivelului calitativ , fără a mai fi nevoie de efectuarea încercărilor mecanice , după prelucrarea prin deformare plastică la cald (Tabelul 2 . 10 ) .

Tabelul 2 . 10

	U.M.	Minim	Maxim
C	%	0.056	0.08
Mn	%	1.15	1.82
Si	%	0.20	0.44
Cr	%	16.65	17.33
Ni	%	12.66	13.32
Mo	%	2.01	2.08
Ti	%	0.33	0.46

**b - Valorile așteptate pentru caracteristicile mecanice** luate în considerare ( Tabelul 2 . 11 ) .

Tabelul 2 . 11

	U.M.	Minim	Maxim
$R_{p0.2}$	[ N / mm <sup>2</sup> ]	230.5	251.6
$R_m$	[ N / mm <sup>2</sup> ]	557.5	611.2
$A_5$	%	50.8	55.8
HB	HB	141.5	160.2

Se oferă prin aceasta , suplimentar un instrument de control și garantare a caracteristicilor mecanice ,pentru un flux tehnologic stabil dat .

### **3 . CERCETĂRI DE LABORATOR ȘI INDUSTRIALE PRIVIND CONDUCEREA REGIMULUI DE ÎNCĂLZIRE ȘI DEFORMARE PLASTICĂ LA CALD**

În general în Siderurgia S . A . se realizează semifabricate din oțeluri inoxidabile destinate prelucrării ulterioare ( laminare sau extrudare tevi , forjare etc. ) .

Garantarea nivelului de utilizare se poate face prin livrarea unui laminat cu proprietăți fizico - chimice cât mai constante pe lungimea și secțiunea laminatului .

Din punct de vedere al procesului tehnologic până în faza de lingou performanțele atinse sunt cele normale pe plan mondial ( flux cuptor electric - VAD-VOD ) ; ca urmare se focalizează atenția pe partea de deformare , respectiv cea mai sensibilă perioadă , de trecere de la structura de solidificare a lingoului ( neomogenă , segregată , afânată ) la structură relativ finisată a laminatului ( Fig. 3 . 1 ) .

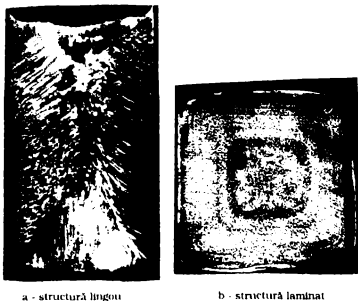


Fig . 3.1 - Trecerea de la structura de solidificare a lingoului la structura laminatului

Garantarea stabilității procesului , cunoașterea capacității de deformare în condițiile industriale specifice : nivel de gaze în oțel , temperatură de turnare , grosime și temperatură perete lingotieră , refractare de tren , praf unguent , perioadă de menținere la standul de turnare , condiții de stripare , regim de încălzire etc . pot asigura un produs ( în cazul nostru semifabricat ) care să permită la prelucrările ulterioare o siguranță a caracteristicilor mecanice și de rezistență la coroziune corespunzătoare utilizării finale a produsului .

### **3 . 1 CERCETĂRI PRIVIND EFECTUL UNOR FACTORI TEHNOLOGICI ASUPRA MODIFICĂRILOR STRUCTURALE**

Cercetarea efectului menținerii la temperatură ridicată asupra conținutului de ferită s-a efectuat pe probe turnate . S-au constituit trei grupe din trei șarje prelevate înainte de evacuare . Fiecare grupă a fost constituită din cinci probe cu conținut foarte apropiat de ferită ( se poate considera același ) .

Probele au fost menținute la 1150 °C , după durate prestabilite au fost scoase câte una din fiecare șarjă și răcite ( călite ) în apă , apoi s-a măsurat conținutul de ferită cu feritmetrul ( Tabelul 3 . 1 ) .

Tabelul 3 . 1

Conținutul inițial de ferită	Conținutul de ferită după menținerea la 1150 °C				
	2 ore	4 ore	8 ore	12 ore	16 ore
8,5 %	6,6 %	4,4 %	3,1 %	2,6 %	2,1 %
9,6 %	6,5 %	4,6 %	4,0 %	3,7 %	3,0 %
11,4 %	8,2 %	5,6 %	4,6 %	4,1 %	3,1 %

Evoluția structurii și a conținutului de ferită la cald s-a cercetat și cu ajutorul microscopului " Vacutherm " pe probe din oțel 10 TiMoNiCr175 ( figura 3 . 3 ) .

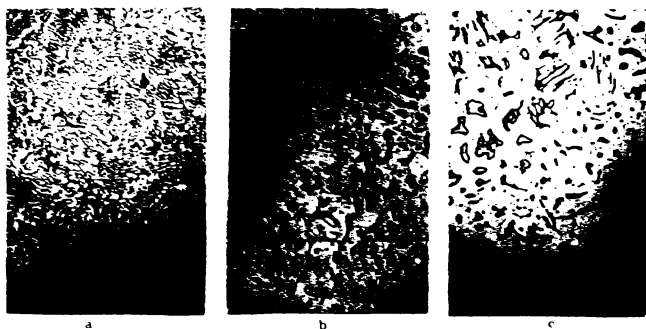


Fig. 3.3 - Evoluția microstructurii probei nr.3 în diferite faze ale încălzirii

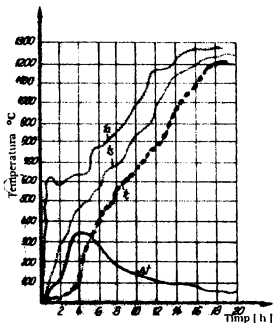
Din rezultatele acestor experimentări rezultă două concluzii importante pentru tehnologia de încălzire :

- temperatura cea mai potrivită pentru diminuarea conținutului de ferită și globulizarea fazei remanente în oțelul turnat este cuprinsă între 1150 și 1200 °C pentru oțelul 10 TiMoNiCr 175 :

- depășirea acestui domeniu în oțelul amintit , duce la apariția feritei  $\delta$  care înrăutățește deformabilitatea .

### **3 . 2 CERCETĂRI INDUSTRIALE PRIVIND VARIATIA CÂMPULUI TERMIC ÎN LINGOURI AUSTENITICE - Cr,Ni,Mo - DETERMINAREA APARIȚIEI GRADIENTULUI TERMIC MAXIM**

S-a cercetat câmpul termic în secțiunea lingoului la încălzirea în cuptorul adânc . a două lingouri austenitice . Una din diagramele obținute este cea din figura 3 . 5 .



$t_a$  - temperatura cuptorului

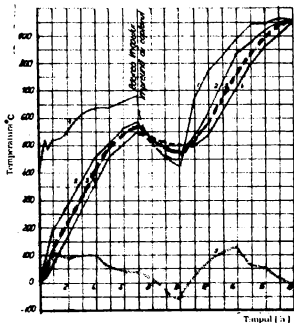
$t_s$  - temperatura suprafeței  
lingoului

$t_c$  - temperatura centrului  
lingoului

$\Delta t = t_s - t_c$  - gradient de  
temperatură

Fig . 3.5 - Diagrama de încălzire a lingoului de compoziție 1

S-a cercetat variația câmpului termic la diferite viteze de încălzire și răcire a unui lingou într-un cuptor cu vatră mobilă; una din diagramele obținute fiind cea din figura 3 . 11 .



1 - temperatura cuptorului

2 - temperatura suprafeței  
lingoului

3 - temperatura în secțiune  
mediană

4 - temperatura în centrul  
lingoului

5 -  $\Delta t = t_2 - t_4$  - gradientul pe  
secțiune

Fig . 3.11 - Variația temperaturilor in perioada de încălzire a lingoului ( varianta 4 )

Concluzii :

- S-a stabilit gradientul de temperatură care se realizează pe secțiunea lingoului în timpul încălzirii la diferite viteze , și pornind de la diferite temperaturi .

- S-a stabilit o durată de menținere la circa 600 °C (temperatura cuptorului ) de circa două ore perioadă în care se trece de gradientul termic maxim .

### **3 . 3 CERCETĂRI PENTRU STABILIREA UNUI REGIM DE ÎNCĂLZIRE CARE SĂ PERMITĂ DIZOLVAREA FAZELOR SECUNDARE ȘI DEFINIREA DOMENIULUI CU PLASTICITATE OPTIMĂ**

#### **3 . 3 . 1 Analiza situației existente la S . C . "Siderurgica " S . A . Hunedoara**

La Societatea Comercială " Siderurgica " S . A . , regimul termic de încălzire pentru prelucrarea plastică a oțelului de tipul Cr - Ni - Mo se stabilește în funcție de o serie de factori cum sunt : compoziția chimică , compoziția fazică a oțelului , rezistența la deformare la cald , tipul cuptorului , greutatea și dimensiunile lingoului , schema de laminare , etc .

Datorită faptului că structura acestor lingouri este defavorabilă din punct de vedere al deformabilității prin extinderea excesivă a zonei cu cristale columnare , segregării puternice a elementelor de aliere care fac posibilă apariția constituenților cu influență negativă asupra plasticității , precum și o conductibilitate termică redusă , se recomandă ca încălzirea lingourilor în vederea deformării plastice până în jur de 800 °C să se facă cu viteză redusă pentru că la temperaturi mai ridicate să se poată adopta o viteză mai mare de încălzire . Prelucrabilitatea la cald în bune condiții se obține atunci când structura constă dintr-o singură fază .

Pot fi tolerate cantități mici de ferită în structura oțelurilor austenitice , dar aceasta trebuie să se mențină între

anumite limite , fie prin reglarea temperaturii de laminare , fie prin modificarea accelerată a compoziției chimice .

Structura segregată a lingourilor este adesea pronunțată, ceea ce impune menținerea îndelungată la temperatură ridicată pentru omogenizarea oțelului și pentru difuziunea segregăției .

### **3 . 3 . 2 Cercetări pentru determinarea regimului de încălzire , care să asigure o structură favorabilă deformării**

Cercetările privind stabilirea unui regim de încălzire cu eficiență mărită privind dizolvarea feritei în masa de bază s-au efectuat pe probe luate din șarje industriale de oțel Cr- Ni- Mo, elaborate la Societatea Comercială " Siderurgica " S . A . Hunedoara .

Scopul urmărit a constat în găsirea unor soluții tehnologice de scurtare a ciclului de încălzire , precum și de dizolvare a feritei în structura de bază , la șarjele care după turnare se obțin cu un procent mai mare de 9 % , în vederea îmbunătățirii prelucrării prin laminare .

Pentru a studia dispersia feritei în masa de bază a structurii oțelului turnat , din șarja 1 s-au turnat 2 lingouri mici ( de 50 kg. fiecare ) și probe " cuantovac" care au constituit materia primă pentru cercetare . Unul din aceste lingouri a fost debitat transversal sub formă de plăci cu dimensiunea medie de 120x120x20 mm .

Se prezintă topografia punctelor de pe suprafața transversală și diagrama dispersiei feritei pe o probă ( figura 3 . 15 și figura 3 . 16 ) .

Valorile ptr. curba 1.	6	7.2	6.5	7.4	6.4
Valorile ptr. curba 2.	6.8	7.6	7.8	7.6	6.4
Valorile ptr. curba 3.	6.8	7.7	7.1	7.9	6.6
Valorile ptr. curba 4.	6.2	7.4	7.7	7.5	6.6
Valorile ptr. curba 5.	6.2	6.3	5.6	5.8	5.7

Fig . 3.15 - Topografia punctelor de pe suprafața transversală a probei nr . 1

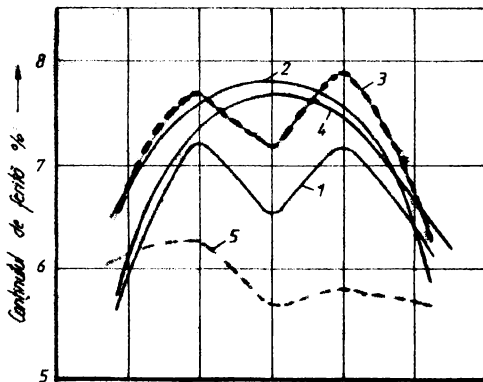


Fig . 3.16 - Diagrama dispersiei feritei pentru proba nr. 1



Se observă că distribuția feritei atât în aceeași secțiune transversală cât și la diferitele nivele pe înălțimea lingoului este neuniformă . Aceasta se datorează segregăției elementelor de aliere din masa lingoului de pornire care se produc în procesul de solidificare și răcire .

În urma acestor constatări prealabile , s-a trecut la încercările propriu - zise în vederea dizolvării feritei , scurtării ciclului de încălzire și reducerii numărului de cazuri de laminare dublă , (evitarea trecerii prin faze de reîncălzire ) pentru laminarea în continuare ( la laminorul 800 mm ) .

Aplicând rezultatele cercetării , s-a conceput o nouă tehnologie de încălzire a lingourilor din această calitate (indicată cu linie plină în figura 3 . 39 ) , comparativ cu tehnologia actuală ( indicată cu linie întreruptă în aceeași figură ) având ca efect reducerea duratei de încălzire și eficiență ridicată în privința dizolvării și globulizării feritei în structura de bază .

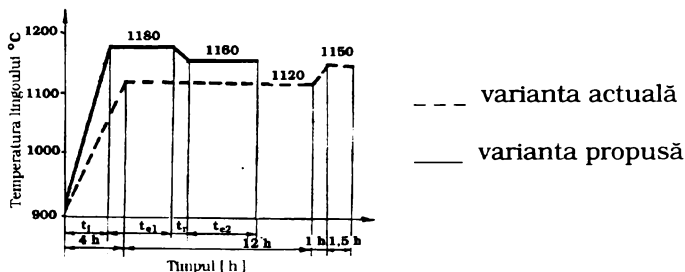


Fig . 3.39 - Diagrama de încălzire a lingourilor din oțel de tipul Cr - Ni - Mo

Temperatura de sfârșit de laminare se recomandă în jur de 1000 °C . Această afirmație se bazează pe valorile ridicate ale rezistenței la deformare a oțelului și pe nivelul mai scăzut al plasticității datorită gradului mai ridicat de aliere care are ca

efect micșorarea vitezei de recristalizare în cursul prelucrării la cald .

### **3 . 3 . 3 Cercetări pentru determinarea regimului de încălzire corelat cu definirea domeniului de plasticitate optimă**

#### **3 . 3 . 3 . a Prezentarea metodei de lucru**

Uzual se caută a se defini deformabilitatea ca ansamblu de proprietăți ce caracterizează comportarea la deformare .

Caracterizarea se face îndeosebi prin două proprietăți ale materialelor ( metalice ) plasticitatea și rezistența la deformare.

Pentru determinarea deformabilității am ales metoda de determinare a acesteia prin răsucire la cald .

Mărimea momentului necesar răsucirii epruvetei exprimă rezistența la deformare , iar numărul de răsuciri până la rupere exprimă limita de plasticitate a oțelului respectiv .

Această metodă este singura care permite obținerea de deformații mari pe toată lungimea epruvetei .

#### **3 . 3 . 3 . b Experimentări**

Pentru oțelul inoxidabil austenitic avînd compoziția chimică redată în tabelul 3 . 6 , s-au forjat din bare laminate probe cu diametrul de 15 mm .

Tabelul 3 . 6

% C	% Mn	% Si	% S	% P	% Cr	% Ni	% Mo
0,022	1,83	0,21	0,014	0,01	19,14	13,45	2,57

Pentru a avea uniformitatea caracteristicilor pe secțiune, după forjare , barele au fost menținute la 1100 °C , 30 minute

și apoi răcite în apă . S-au prelucrat cu o lungime calibrată de 30 mm și o secțiune cu diametrul de 6 mm .

Încercările s-au făcut din 50 °C în 50 °C de la 1000 - 1250 °C câte 3 probe pe temperatură .

Pe baza rezultatelor se construiește diagrama din figura 3 . 41 , pentru deformabilitatea la cald a oțelului analizat .

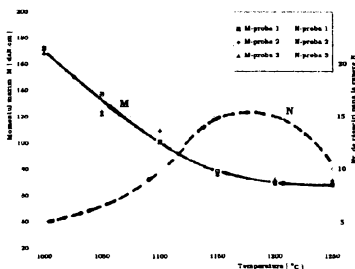


Fig . 3.41 - Deformabilitate oțelului la încercarea de torsiune la cald ( n = 500 rot./min. )

Analizând graficul din figura 3 . 41 , rezultă zona de plasticitate optimă pentru acest oțel între 1150 °C și 1200 °C .

### **3 . 4 APLICAREA INDUSTRIALĂ A REZULTATELOR CERCETĂRII**

Verificarea rezultatelor obținute prin cercetarea teoretică și prin analiza probele de laborator s-a efectuat în cadrul secțiilor de producție din S . C . Siderurgica Hunedoara , pe următorul flux de fabricație :

- elaborarea oțelului într-un cuptor electric cu arc de 20 tone , în secția O . E . 1 ;
- turnarea oțelului lichid în lingotiere de 3,5 tone ( tip C35 ) ;
- striparea lingourilor și apoi încărcare în stare caldă în uptoarele adânci cu flacără întoarsă din secția L . 800 ;

- încălzirea lingourilor conform diagramei din figura 3.39 (șarja s-a divizat în două loturi ; un lot de trei lingouri s-a încălzit după tehnologia actuală , iar celălalt lot format din cinci lingouri s-a încălzit respectând diagrama propusă ) ;
- laminarea conform tehnologiei curente în profil rotund cu diametrul de 180 mm ;
- recepția profilelor laminate din cele două loturi .

Cele două loturi de laminate obținute din șarja urmărită s-au recepționat separat . La recepția primului lot , format din trei lingouri încălzite după tehnologia actuală , pe suprafața laminatelor , în zona adiacentă maselotei au apărut defecte , cu profunzime și distribuție variabilă ( conform figurii 3.44 ) . Aceste defecte sunt cauzate de o insuficientă omogenizare ( chimică - prin difuzie și termică ) a lingourilor în timpul încălzirii .

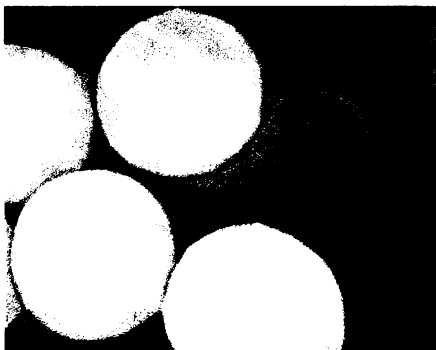


Fig . 3 . 44 - Suprafața laminatelor din primul lot

La recepția celui de-al doilea lot , suprafața materialului a fost corespunzătoare pe întreaga lungime ( figura 3.45 ) . Pe o singură bară laminată , în zona dinspre maselotă au apărut două defecte sub aspectul unor imprimări , datorate stropilor

proveniți din faza inițială de turnare ( înainte de stabilizarea jetului de oțel ) . Acestea au putut fi îndepărtate prin pistolare.

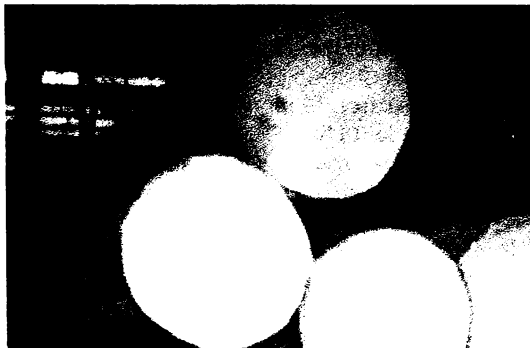


Fig . 3 . 45 - Suprafața laminatelor din cel de-al doilea lot

Noua tehnologie propusă asigură scurtarea duratei de încălzire cu peste 5 ore , cu efectele economice generate de reducerea cantității de combustibil și creșterea productivității cuptoarelor . Încălzirea lingourilor este uniformă în secțiune ( $\Delta T \approx 2^{\circ}C$  ) .

Datorită influenței ce poate apărea prin variației greutateii individuale a lingourilor , asupra determinărilor efectuate ; putem admite cu siguranță o reducere a consumului de oțel cu 50 Kg/t, prin aplicarea noii tehnologii.

#### **4 CONCLUZII**

În condițiile specifice ale fluxului de obținere a semifabricatelor din oțeluri inoxidabile austenitice de la Siderurgica S.A. a fost analizată corelația între compoziția

chimică a unui oțel de marca 10 Ti Mo Cr 175 și caracteristicile mecanice ale acestuia .

Prin încadrarea compoziției chimice în poligonul de marcă determinat se garantează cu siguranță pentru aplicațiile industriale caracteristicile mecanice pe produs .

Întrucât neomogenitatea structurii datorită segregăției în lingourile a căror compoziție ar trebui să determine o structură austenitică generează și zone cu apariții notabile de ferită , s-a cercetat influența duratei de menținere a unor probe cu diferite conținuturi de ferită la 1150 °C în scopul determinării duratei necesare pentru diminuarea acesteia sub nivele care să nu împietzeze asupra prelucrării ulterioare prin deformare plastică la cald .

Datele din tabelul 3.1 pag. 17 pot fi utilizate cu suficientă siguranță pentru încălzirea lingourile sub 3,5 tone .

Pentru a se evidenția evoluția structurii în timpul încălzirii , aceasta s-a cercetat la microscopul Vacutherm și s-a evidențiat ca favorabilă zona de menținere pentru diminuarea conținutului de ferită între 1150 și 1200 °C .

Depășirea acestui domeniu pentru oțelul analizat duce la apariția feritei delta și deci la înrăutățirea deformabilității .

Aplicarea rezultatelor în condiții industriale necesită cunoașterea evoluției câmpului termic în lingou .

Ca urmare s-a trecut la analiza câmpului termic în lingouri la încălzirea cu diferite viteze , de la rece într-un cuptor adânc și de asemenea la simularea încălzirii lingourilor calde într-un cuptor cu vatră mobilă .

Graficele determinate și îndeosebi gradientul de temperatură pot constitui bază de date pentru decizie în diverse situații aplicative .

Din variantele prezentate rezultă valori mai reduse ale gradientului termic la menținerea cuptorului la circa 600 °C în cazul încărcării lingourilor reci .

Durata de depășire a gradientului termic maxim ( "responsabil" de generarea fisurilor în material ) este de 1,5 ore față de 2 ore în cazul în care se renunță la menținere .

De asemenea mărimea gradientului scade cu creșterea temperaturii .

În scopul garantării nivelului de utilizare , printr-o constanță a calității semifabricatului , plecându-se de la situația tehnologică actuală de încălzire și laminare a oțelului Cr-Ni-Mo s-a trecut la cercetarea posibilității de obținere a unei structuri favorabile deformării concomitent cu scurtarea duratei de încălzire . În același timp s-a analizat distribuția conținutului de ferită pe probe debitate transversal dintr-un lingou experimental .

S-a determinat diagrama care să asigure o structură favorabilă deformării și aceasta a răspuns și cererii de reducere a timpului total de încălzire ( deci și economiei de combustibil).

Pentru verificarea domeniului de plasticitate optimă s-a cercetat deformabilitatea oțelului de tip Cr - Ni - Mo prin metoda răsucirii la cald . Încercările s-au făcut din 50 în 50 °C de la 1000 la 1250 °C , câte trei probe pe temperatură .

S-a trasat în figura 3.41 diagrama pentru deformabilitatea la cald a oțelului analizat , constatându-se că zona de plasticitate optimă a acestuia se situează între 1150 și 1200 °C

Pentru principalul produs livrat din oțeluri austenitice considerându-se țagla țevă  $\Phi$  180 mm s-a trecut la calculul de aplicare industrială a rezultatelor cercetării și apoi la experimentarea pe laminorul 800 .

Prin pirometrări s-a constatat o bună apreciere a variației temperaturii laminatului și de asemenea s-a verificat valabilitatea noii diagrame de încălzire , dar ce e mai important față de șarjele similare , consumul de oțel a fost mai mic cu 50 Kg/t .

Este de remarcat îndeosebi îmbunătățirea calității suprafeței .

Trebuie subliniată și de această dată importanța , încărcării lingourilor în stare caldă asupra calității laminatului.

Lucrarea și-a propus să constituie atât o cercetare cât și un instrument practic de analiză și decizie în activitatea de

prelucrare metalurgică în scopul garantării nivelului de  
utilizare a produsului finit .