

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" din București
FACULTATEA ȘTIINȚA ȘI INGINERIA MATERIALELOR
CATEDRA DE PROCESAREA MATERIALELOR ȘI ECOMETALURGIE

Ing. Ioan Andrei MAUTHNER

TEZĂ DE DOCTORAT

**"ÎMBUNĂTĂȚIREA CALITĂȚII BENZILOR DIN OȚEL PRIN MODERNIZĂRI ÎN
FLUXUL INTEGRAT DE FABRICAȚIE"**

**"QUALITY IMPROVEMENT OF STEEL STRIPS BY REVAMPING
THE INTEGRATED MANUFACTURING FLOW"**

- REZUMATUL TEZEI -

**CONDUCĂTOR DE DOCTORAT
Prof. Univ. Avram NICOLAE**

**București
- 2008 -**

CUPRINS:

PREFAȚĂ	3
CAPITOLUL ÎNȚĂI	4
NECESITATEA CERCETĂRIILOR PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA CALITĂȚII BENZILOR DIN OȚEL PRIN MODERNIZAREA INSTALAȚIILOR TEHNOLOGICE METALURGICE	4
1.1. Justificarea cercetărilor propuse de teză pe baza prevederilor SNDDR și ale documentelor U.E....	4
1.2. Inscrierea temei tezei în tendințele actuale de modernizare a laminoarelor de benzi la cald	4
1.3. Necesitatea elaborării de teze în zona activităților de proiectare a fluxurilor și echipamentelor tehnologice	4
CAPITOLUL AL II-LEA	5
STUDIU REFERITOR LA CARACTERIZAREA CALITĂȚII BENZILOR DIN OȚEL	5
CAPITOLUL AL III-LEA	6
STRUCTURA PLANULUI DE CERCETARE. METODOLOGIA SI APARATURA DE CERCETARE	6
3.1. Structura planului de cercetare	6
3.2. Metodologia de cercetare	6
CAPITOLUL AL IV-LEA	9
STABILIREA PRIN INVESTIGĂRI EXPERIMENTALE A POSIBILELOR MĂSURI DE MODERNIZARE ...	9
4.1. Importanța temperaturii de rulare (t_{rul})	9
4.2. Influența gradului de neuniformitate a încălzirii în cuptorul cu propulsie	13
4.3. Rolul proceselor din trenurile de laminare	14
4.6. Concluzii privind stabilirea posibilelor măsuri de modernizări în fluxul integrat de fabricație	17
CAPITOLUL AL V-LEA	17
CONTRIBUȚII LA FUNDAMENTAREA TEORETICĂ A MĂSURILOR DE MODERNIZARE PRIN AUTOMATIZARE	17
5.1. Scurtă introducere	17
5.2. Proiectarea modelelor de bază	18
5.2.1. Modelul deformației plastice a materialului	18
5.2.2. Modelarea proceselor termice	19
5.2.3. Modelarea deformării elastice	22
5.2.4. Modelul patinării	23
5.3. Presetarea – activitate majoră de asigurare a calității prin optimizarea proceselor și instalațiilor ..	23
5.4. Adaptarea	25
CAPITOLUL AL VI-LEA	26
MĂSURI DE MODERNIZARE TEHNOLOGICĂ ÎN VEDEREA ÎMBUNĂTĂȚIRII CALITĂȚII BENZILOR DIN OȚEL OBȚINUTE PRIN LAMINARE LA CALD	26
6.1. Cazul oțelurilor silicioase de transformator	26
6.2. Cazul oțelurilor pentru ambutisare	27
CAPITOLUL AL VII – LEA	28
MĂSURI DE NATURĂ TEHNICĂ PENTRU MODERNIZAREA FLUXULUI DE FABRICAȚIE	28
7.1. Modernizare în zona cuptoarelor cu propulsie pentru încălzirea sleburilor	28
7.2. Modernizarea trenului finisor	29
CAPITOLUL AL VIII – LEA	33
EVALUAREA ACTIVITĂȚILOR PRIN PRISMA UNOR ELEMENTE DE INGINERIE ECONOMICĂ	33
8.1. Situația scoaterii comerciale de banda laminată la cald și a caderilor pe cauze înaintea modernizării laminorului (1-31 ianuarie 2000)	33
8.2. Situația scoaterii comerciale de bandă laminată la cald și a căderilor pe cauze după modernizarea laminorului (1-31 ianuarie 2007)	35
CAPITOLUL AL IX – LEA	37
AUTOEVALUAREA LUCRĂRII	37
BIBLIOGRAFIE	40

PREFAȚĂ

Oportunitatea și actualitatea tezei de față sunt dovedite în primul rând de faptul că ea abordează un obiectiv major din sfera ingineriei materialelor, și anume dobândirea calității produselor metalice pe baza operaționalizării în industrie a unui concept managerial de deosebită eficiență : modernizarea tehnologiilor și echipamentelor implicate într-un flux integrat de fabricație. Asemenea deziderate constituie astăzi ținte majore de dezvoltare durabilă exprimate concret de Strategia Națională de Dezvoltare Durabilă a României.

Pentru a rezolva tema, la nivelul înalt științific presupus de pretențiile unei teze de doctorat, autorul a proiectat și operaționalizat un plan de cercetare structurat pe intenții, pe care le consideră importante și necesare, care succint ar putea fi rezumate astfel :

- susținerea necesității cercetărilor privind îmbunătățirea calității benzilor din oțel prin modernizarea instalațiilor tehnologice metalurgice;
- definirea și caracterizarea conceptelor de calitate și modernizare în zona fabricării benzilor din oțel;
- stabilirea, prin cercetări experimentale, a posibilelor măsuri de modernizare;
- argumentarea măsurilor preconizate și a căilor de operaționalizare pe bază de modelare matematică a proceselor și echipamentelor;
- proiectarea și implementarea în condițiile concrete ale unui laminor existent în România a măsurilor preconizate;
- compararea din punctul de vedere al specificațiilor de calitate a rezultatelor înregistrate în cele două situații: antemodernizare și postmodernizare;
- evaluarea activităților prin prisma elementelor de inginerie economică;
- antoevaluarea globală a lucrării.

Doctorandul apreciază că încercările sale nu au rămas fără finalitate pozitivă, cu atât mai mult cu cât a beneficiat de încurajarea și sprijinul multor colegi, dintre care, fără intenția de a supăra pe cei nenominalizați, remarc pe:

- colegii de la IPROLAM S.A. - Dorian Macrea, Alexandru Butmi, Dan Popescu, Petre Lunguleasa, Florin Strugari, Andrei Lăzăreanu, Cristian Rădulescu, Margareta Matei, ș.a.;
- cadrele didactice de la Catedra de Procesarea Materialelor și Ecometalurgie condusă de prof. univ. Florin Ștefănescu;
- Eugen Cazimirovici, regretatul profesor universitar, sub a cărui îndrumare am început activitatea de doctorat;
- firmele colaboratoare: CLECIM, ITALIMPIANTI, SMS DEMAG, TECHINT, SIEMENS, VAI, ITWH Krefeld.

Întreprinderea doctorandului nu ar fi putut fi dusă la bun sfârșit dacă nu ar fi fost îndrumat competent și exigent de prof. univ. Avram Nicolae. Îi mulțumesc și pe această cale pentru că tot timpul a fost alături de mine.

Autorul

CAPITOLUL ÎNȚĂI

NECESITATEA CERCETĂRIILOR PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA CALITĂȚII BENZILOR DIN OȚEL PRIN MODERNIZAREA INSTALAȚIILOR TEHNOLOGICE METALURGICE

Tema tezei de doctorat exprimată succint de *dobândirea calității benzilor din oțel laminate la cald prin modernizarea laminoarelor* constituie astăzi obiectiv major de **dezvoltare durabilă (DD)**, exprimat ca atare în Strategia Națională de Dezvoltare Durabilă a României (SNDDR). Modernizarea, ca instrument important pentru dobândirea calității materialelor și produselor metalice, este în același timp și **scop de inovare**, într-o industrie a cărei dezvoltare nu mai poate fi concepută în afara operaționalizării *conceptului de cercetare-dezvoltare-inovare (CDI)*. În acest context subliniem de la bun început că însăși SNDDR explicitează rolul însemnat al *dezvoltării prin proiectare* realizată în institute de proiectare specializate.

Pornind de la premisele de mai sus, în cele ce urmează se va încerca a se demonstra că în prezent cercetările privind creșterea calității produselor și materialelor pe baza modernizării instalațiilor tehnologice (în categoria cărora intră și laminoarele de benzi la cald) constituie o *activitate (DD) necesară și oportună*.

1.1. Justificarea cercetărilor propuse de teză pe baza prevederilor SNDDR și ale documentelor U.E.

Sunt prezentate 16 motivații în baza cărora se poate afirma că cercetările propuse de teză sunt justificate prin prevederi ale SNDDR. Dintre acestea, în acest rezumat, remarcăm următoarele:

- **Se cere îmbunătățirea neîntreruptă a calității produselor.** Piața globalizată se caracterizează printr-o ofertă practic nelimitată de bunuri și servicii, mecanismul concurenței ajungând la perfecțiune. **Calitatea devine factorul decisiv al competitivității.** [1, 3, 16, 22]
- Introducerea progresului tehnic presupune asimilarea în fabricație a noilor materiale și produse și pentru aplicarea de **tehnologii și instalații noi și modernizate, de sisteme de mecanizare și automatizare.**
- *Rolul central jucat de inovare*, ca motor al creșterii economice și ca piatră de hotar în politica de susținere a întreprinderilor, a fost subliniat la Consiliul European desfășurat la Lisabona în martie 2000. Consiliul Europei a elaborat un program ambițios, menit să permită crearea infrastructurii economiei bazate pe cunoaștere, pentru a favoriza *inovarea* și reformele economice și pentru **modernizarea sistemelor de educație, de securitate socială și de producție.**
- Performanța calitativă trebuie astfel programată și proiectată, încât *modernizarea să rezulte ca o entitate coerentă și intercondiționată* dintre:
 - *modernizarea de proces;*
 - *modernizarea de instalație;*
 - *modernizarea de produs.*

1.2. Inscrierea temei tezei în tendințele actuale de modernizare a laminoarelor de benzi la cald

Îmbunătățirea calității benzilor laminate la cald, pe baza modernizării, constituie obiectiv major înregistrat, astăzi, în toate siderurgiile din lume. În această afirmație se află încă o *motivație prin care se poate justifica faptul că asemenea cercetări precum cele din teză sunt oportune și de actualitate*. Pornind de la această idee de bază, în teză se prezintă succint unele dovezi conform cărora multe combinate siderurgice sunt preocupate de modernizarea laminoarelor pentru creșterea calității benzilor din oțel. Se fac referiri concrete privind segmentul reprezentat de cuptoarele cu propulsie, laminoarele semicontrului, eliminarea abaterilor de lățime, reglarea automată a grosimii benzilor, controlul profilului și planității, automatizarea și conducerea pe calculator, proiectarea și fabricarea de noi materiale metalice pentru benzile destinate unor ramuri de vârf (industria auto și industria electrotehnică).

1.3. Necesitatea elaborării de teze în zona activităților de proiectare a fluxurilor și echipamentelor tehnologice

Lucrarea de față propune ca modernizările în vederea dobândirii, asigurării și controlului calității să se realizeze, în primul rând, prin activități de proiectare a fluxurilor și echipamentelor tehnologice în unități specializate cum ar fi: IPROMET, IROLAM ș.a. Deși, o asemenea proiectare este acceptată astăzi ca preocupare CDI (cercetare – dezvoltare-inovare), se constată totuși, cu surprindere, că numărul tezelor de doctorat realizate de specialiști din proiectare este destul de redus. Informații neoficiale arată că în ultimii 30 de ani numărul tezelor susținute de cercetători din cercetare (ICEM, IMNR, INTEC, ș.a.) este de circa 50, în timp ce tezele susținute din zona IPROMET – IROLAM este de 3.

O asemenea situație ar putea avea explicația în următoarele motive principale :

- se consideră că proiectarea nu presupune neapărat cercetare experimentală ;
- interesează, în primul rând, calitatea produsului final al procesului metalurgic (în cazul nostru benzile din oțel) ;
- este greu de cuantificat rolul proiectării echipamentelor, ca mijloace furnizoare de calitate, în procesul global tehnologic.

În teză se aduc unele unele argumente în favoarea ideii că *temele tezelor de doctorat pot fi ancorate și în sfera modernizării prin proiectare tehnologică și de echipamente*.

Dintre acestea apreciem că prezintă interes deosebit următoarele :

- Un ciclu global de managementul calității în proiectare ar trebui să arate astfel (figura 1.1.)

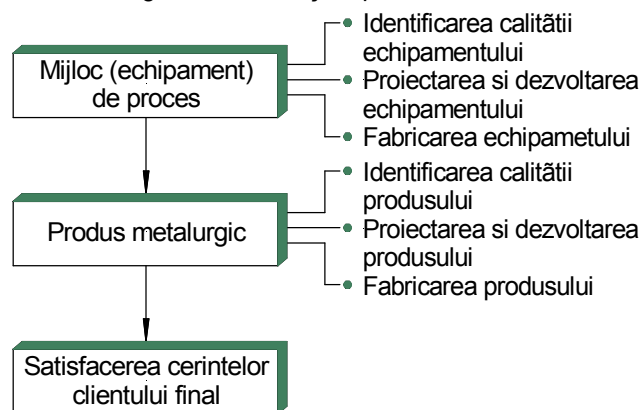
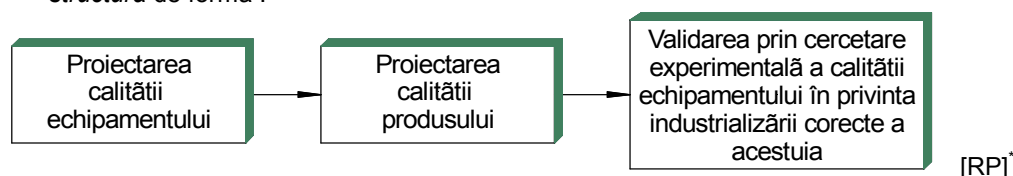


Fig. 1.1 – Schema managementului calității pentru ciclul echipament – produs

- În ceea ce privește necesitatea ca o teză de doctorat să se consolideze pe *cercetări experimentale*, acest deziderat se poate îndeplini prin *programarea testării (validării) calității echipamentelor* în procesul productiv sau, altfel spus, în asigurarea calității produsului final. Aceasta înseamnă, pentru o teză de doctorat, provenită din zona institutelor de cercetare proiectare, o *structură* de forma :



CAPITOLUL AL II-LEA STUDIU REFERITOR LA CARACTERIZAREA CALITĂȚII BENZILOR DIN OȚEL

În literatură există relativ suficiente informații referitoare la restricțiile de calitate impuse benzilor din oțel [46, 47, 51]. Totuși nu poate fi vorba de un studiu sistematizat, cu atât mai mult cu cât în unele norme, impuse de beneficiari uzinelor producătoare de benzi, există specificații care practic nu se întâlnesc în literatură. *În aceste afirmații se află motivul pentru în teză s-a procedat la studierea în detaliu a calității necesare și pretinse benzilor din oțel.*

Se propune o nouă clasificare a specificațiilor de calitate a benzilor din oțel laminate la cald. În baza acestei clasificări se caracterizează următoarele:

- **Calitatea internă**
 - compoziția chimică – parametri de structură – mărimea tensiunilor interne – tendința de îmbătrânire – gradul de orientare optimă a grăunților (caracteristica de anizotropie) – conținutul de gaze și sulfuri.
- **Defecte de suprafață**
 - Peliculele, petele și urmele de impurități nemetalice, amprente, proeminențe – bășicile – zgârieturi, fisuri superficiale – coji – așchii – solzi – lipsa netezirii (rugozități mari) – impuritățile superficiale de tunder – stratul decarburat – calitatea și grosimea stratului de praf depus după diverse operații tehnologice.
- **Abateri geometrice, dimensionale și de formă**
 - profilul și planeitatea – neuniformitatea de grosime pe lățimea și lungimea benzii – abateri de la toleranțele admise – toleranțele la grosime și valori maxime ale bombării – rectiliniaritate – bavuri.
- **Defecte de compactitate**
- **Defecte de natură tehnologică**
 - capacitatea de lipire a spiralelor rulourilor – coeficientul de pachetare – capacitatea de ștanțare.

* [RP] – realizare personală

CAPITOLUL AL III-LEA

STRUCTURA PLANULUI DE CERCETARE. METODOLOGIA SI APARATURA DE CERCETARE

Referindu-se la modernizarea unui flux integrat de fabricație metalurgică tema tezei presupune o lucrare complexă, care în mod obligatoriu trebuie structurată pe plan de cercetare judicios și logic, adus la îndeplinire pe baza unei metodologii eficiente și folosind aparatura de cercetare modernă.

3.1. Structura planului de cercetare

Structura planului de cercetare este proiectată în concordanță cu necesitatea operaționalizării în siderurgie a conceptului de dezvoltare durabilă, deziderat care impune a avea în vedere obiective deosebit de importante.

În cele ce urmează vor fi prezentate părțile planului de cercetare care la operaționalizare vor defini, de fapt, capitole ale lucrării. Într-un astfel de context autorul și-a propus să rezolve obiectivele caracterizate mai jos.

- a) *Susținerea necesității cercetărilor privind îmbunătățirea calității benzilor din oțel prin modernizarea instalațiilor tehnologice metalurgice.*

Rezolvarea unui asemenea deziderat va presupune :

- a1) justificarea cercetărilor propuse de teză pe baza prevederilor SNDDR și documentelor UE ;
- a2) prezentarea argumentelor prin care să se demonstreze că tema tezei se înscrie în tendințele actuale de modernizare a laminoarelor de benzi la cald ;
- a3) selectarea și prezentarea de dovezi în favoarea ideii că temele tezelor de doctorat pot fi ancorate și în sfera modernizării prin proiectare tehnologică și de echipamente, sau altfel scris, că activitățile desfășurate în institutele de proiectare se ridică la nivelul cerut de realizările unei teze de doctorat.

- b) *Definirea și caracterizarea conceptelor de calitate și modernizare în zona fabricării benzilor din oțel.*

În contextul textului de mai sus apreciem că devin necesare activități precum:

- b1) reliefarea corelației dinamice între calitate și solicitările impuse de utilizatorii de benzi laminate la cald;
- b2) efectuarea unui studiu actualizat referitor la caracterizarea specificațiilor de calitate a benzilor din oțel (calitatea internă, defectele de suprafață, abaterile geometrice, dimensionale și de formă, defecte de natură tehnologică).

Menționăm că obiectivele de mai sus au fost deja operaționalizate în teză sub forma capitolelor întâi și al II-lea.

- c) *Stabilirea prin investigații experimentale a posibilelor măsuri de modernizare,*

La acest segment al planului de cercetare, pe bază de cercetări experimentale și bibliografice, autorul își propune să depisteze și să justifice posibilele măsuri de modernizare a fabricației benzilor din oțel. În acest sop vor fi cercetate importanța, rolul și influența pe care o pot exercita asupra calității benzilor diverși parametri de calitate impuși din afară de beneficiari și utilizatori.

- d) *Argumentarea măsurilor preconizate și a căilor de implementare pe bază de modelare matematică a proceselor și echipamentelor.*

- d1) proiectarea modelelor pe baza parametrilor tehnologici care condiționează calitatea produsului;
- d2) exprimarea modelelor în termeni utilizabili în activitățile de programare a controlului, reglării, automatizării și modernizării.

- e) *Proiectarea și implementarea în condițiile concrete ale unui laminor existent, în România, a măsurilor preconizate.*

- f) *Compararea din punctul de vedere al specificațiilor de calitate a rezultatelor înregistrate în cele două situații : înainte de modernizare și postmodernizare.*

- g) *Evaluarea activităților prin prisma elementelor de inginerie economică.*

- h) *Autoevaluarea globală a lucrării.*

3.2. Metodologia de cercetare

Metodologia de cercetare a fost proiectată pornind de la cunoașterea unor concepte, proceduri sau noțiuni moderne, cum ar fi : – abstractizarea – analiza inductivă – analiza deductivă – analiza cantitativă – analiza calitativă – sinteza – informarea – documentarea – modelarea – simularea – validarea – predicția – identificarea procesului – categoriile de cercetare (fundamentală, de dezvoltare, aplicativă) – cercetarea comparată – abordarea sistemică – abordarea contingențială.

Alocarea procedurilor metodologice pentru activitățile prevăzute în planul de cercetare este înfățișată în tabelul 3.1.

ALOCAREA PROCEDURILOR METODOLOGICE

Obiectivul planului	Proceduri metodologice alocate
a1	Abordarea sistematică. Analiză inductivă și calitativă. Prelucrare critică bibliografică. Abstractizare. Cercetare comparată.
a2	Abordare contingențială. Analiză inductivă și calitativă. Scară de laborator. Prelucrare critică bibliografică. Abstractizare. Cercetare comparată.
a3	Abordare sistemică și contingențială. Metoda istorică. Analiza deductivă. Informare. Predicții.
b1	Studiu analitic. Sinteza. Metoda istorică. Recomandări
b2	Cercetare fundamentală. Studiu analitic. Interpretare deductivă și inductivă
c	Proiectare de măsuri. Cercetare dezvoltare. Cercetare experimentală. Prelucrare (grafică și statistică) a datelor. Modelare matematică. Analiză cantitativă
d	Cercetare fundamentală. Modeare matematică. Analiză inductivă și deductivă. Identificarea proceselor
e	Cercetare de dezvoltare și aplicativă. Validare experimentală. Scară industrială. Identificarea proceselor și echipamentelor. Validare la nivel industrial
f	Scară industrială. Studiu analitic. Sinteza. Validare. Cercetare comparată
g	Scară industrială. Validare. Cercetare comparată

În rezumat vor fi prezentate în continuare unele chestiuni de metodologie și operațiuni specifice.

Calitatea trebuie privită și ca *funcție comercială*, având în vedere că rezultatele depind direct de masa produselor admise la livrare pe piață. În acest context, în lucrare se va opera și cu următorii indicatori economici de calitate :

- *masa admisă* (sau pe scurt – *admis*) – ponderea masei [%] din lotul avut în analiză, livrate pe piață ; masa admisă mai poartă denumirea și de *scoatere* ;
- *masa respinsă* (sau pe scurt – *respins*) – ponderea masei [%] din lotul avut în observație necorespunzător în legătură cu specificațiile de calitate ;
- *căderi* – ponderea maselor [%] diferențiate pe defecte, declarate necorespunzătoare în legătură cu specificațiile de calitate

Căderile pot fi definite și calculate în două moduri:

- *căderile k*, prin raportare la masa totală inițială a lotului;
- *căderile c*, prin raportare la masa respinsă.

Din punct de vedere comercial, căderile avute în vedere sunt : bandă zgâriată, abateri grosime, înfășurări necorespunzătoare, înfășurări la rece, rupturi marginale, imprimări de țunder, deteriorări agregat, profil, planeitate (ondulații, profil necorespunzător).

Neuniformitatea încălzirii semifabricatelor, în cuptorul cu propulsie, poate determina abateri de la toleranțele de grosime la procesarea ulterioară (defectul cel mai des întâlnit din cauza neuniformității încălzirii).

Gradul de neuniformitate a încălzirii (g.n.i.) se definește și se măsoară pe baza schemei din figura 3.1. în care sunt menționate funcțiile de măsurare a temperaturilor de pe suprafața și din interiorul semifabricatului supus încălzirii.

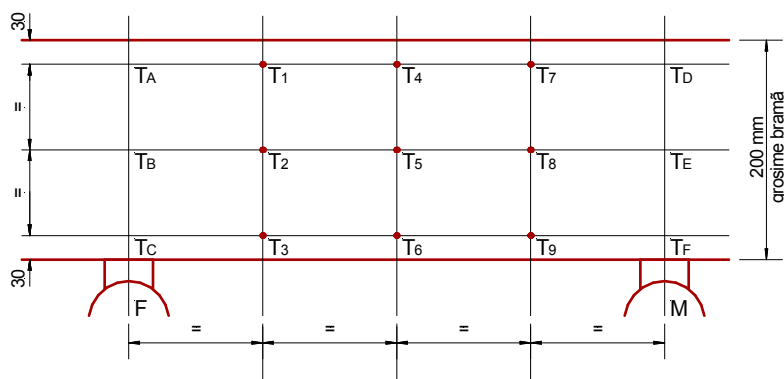


Fig. 3.1 – Schiță pentru definirea și determinarea gradelor de neuniformitate a încălzirii [RP]

În lucrarea de față se propune existența a două grade de neuniformitate, ale căror ecuații de definiție sunt :

- gradul de neuniformitate a încălzirii interioare

$$(g.n.î.)_i = \frac{T_A - T_B}{T_A} \cdot 100, \quad [\%], \text{ sau}$$

$$= \frac{T_4 - T_5}{T_4} \cdot 100, \quad [\%] \quad (3.1) \text{ [RP]}$$

- gradul de neuniformitate a încălzirii de suprafață

$$(g.n.î.)_s = \frac{T_A - T_4}{T_A} \cdot 100, \quad [\%], \text{ sau}$$

$$= \frac{T_c - T_6}{T_c} \cdot 100, \quad [\%] \quad (3.2) \text{ [RP]}$$

Întrucât, legat de legile transmiterii căldurii prin conducție termică în interiorul corpurilor (g.n.î.), nu poate fi evitat, specialistul în cuptoare trebuie să-și concentreze atenția asupra (g.n.î.)_s, în sensul micșorării sale. În această afirmație se găsește motivul pentru care, în lucrarea de față, se va cerceta prioritar (g.n.î.)_s.

Temperaturile luate în calcul vor fi cele de la sfârșitul procesului de încălzire în cuptor.

Măsurătorile privind profilul benzii se fac cu micrometre cu raze X, care funcționează împreună, unul pe axul benzii, celălalt deplasându-se transversal pe bandă în timpul laminării. Primul măsoară continuu grosimea benzii.

Profilul este calculat folosind diferența dintre grosimea măsurată pe axul benzii și grosimile măsurate pe bandă în punctele din dreptul micrometrului de baleiaj, după ce s-a făcut compensarea distanței. Profilul complet al benzii este afișat în cabina operatorului pe un Terminal, iar profilele calculate la 25, 40 și 100 mm de la margini, precum și pana corespunzătoare, sunt transmise prin interfață la calculatorul de proces.

Planeitatea benzii este măsurată cu un aparat cu laser (3 raze laser).

Cele 3 alungiri ca și indicele de planeitate și cel de asimetrie, sunt transmise calculatorului de proces care este prevăzut să afișeze măsurătorile de planeitate în timp real (figura 3.4).

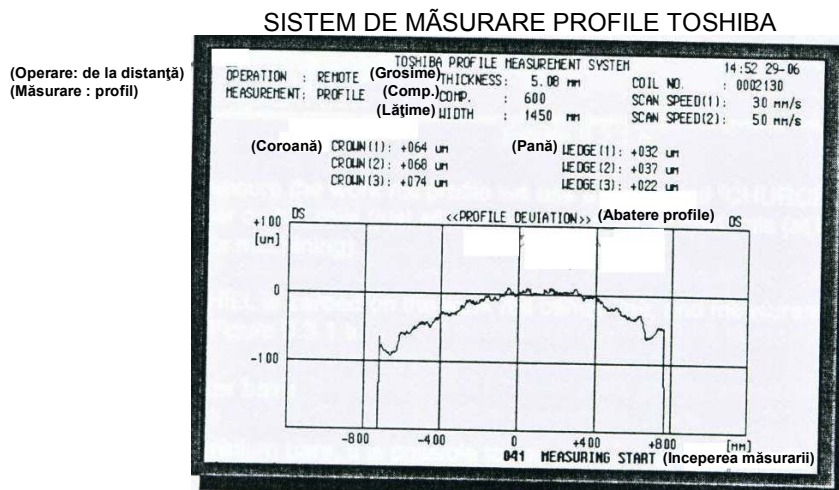


Fig. 3.3 – Afișarea rezultatelor măsurătorilor de profil [RP]

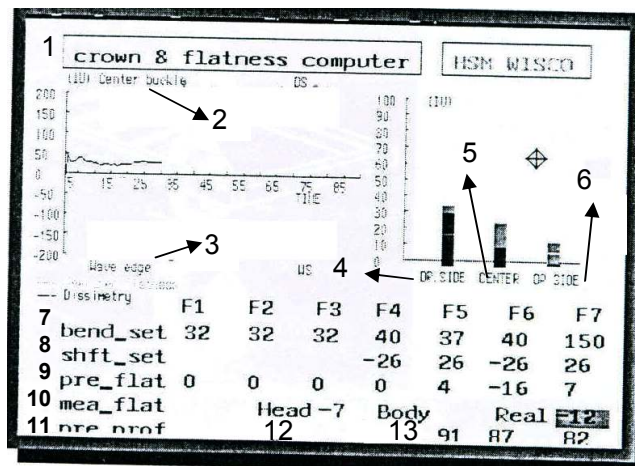


Fig. 3.4 - Afișarea rezultatelor măsurătorilor de planeitate

CAPITOLUL AL IV-LEA STABILIREA PRIN INVESTIGĂRI EXPERIMENTALE A POSIBILELOR MĂSURI DE MODERNIZARE

Intrucât, prin temă s-a asumat modernizarea în fluxul integrat, rezultă că este vorba și de o modernizare de proces ce vizează două etape principale :

- tehnologiile de elaborare și turnare a oțelului lichid ;
- tehnologiile de procesare prin laminare.

In capitolul de față sunt prezentate activitățile dedicate depistării posibilelor măsuri de modernizare care să conducă la îmbunătățirea calității. Această sarcină poate fi îndeplinită prin cercetarea influențelor pe care diferiți factori le pot avea asupra parametrilor tehnologici, prin a căror modificare se poate ajunge la ameliorarea calității benzilor.

Se menționează că investigările, în acest scop, au fost planificate pentru două situații economice :

- fabricarea benzilor din oțel electrotehnic (silicios) ;
- fabricarea benzilor pentru ambutisare adâncă și foarte adâncă.

Parametrii de calitate, avuți în vedere, au fost selectați dintre cei prezentați și caracterizați în capitolul al II-lea.

Se menționează, de asemenea, că în cele ce urmează, în unele situații, vor fi analizate *valori medii și rotunjite* ale unor parametri având la dispoziție valorile concrete și reale măsurate.

4.1. Importanța temperaturii de rulare (t_{rul})

Anterior (capitolul al II-lea) s-a arătat că temperatura de rulare poate influența structura metalografică a materialului.

S-au făcut experimentări pe loturi la care temperatura de rulare a variat între plajele extreme (710-730)°C și (520-560)°C.

Se constată că o dată cu scăderea temperaturii de rulare se micșorează cantitatea de cementită repartizată la limita grăunților, mărindu-se ponderea cementitei plasate în interiorul grăunților. Așa după cum se știe, acest fapt influențează favorabil caracteristicile de plasticitate ale materialului.

Temperatura de rulare influențează, de asemenea, și gradul de recrystalizare.

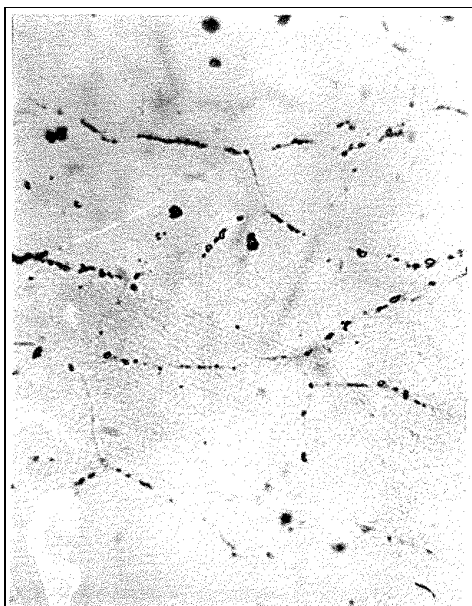
Se poate observa că structura în zona de margine a secțiunii benzii, în apropierea suprafeței, este formată din grăunți fini, echiacși complet recrystalizați, iar în zona centrală din grăunți parțial recrystalizați sau deformați plastic. Din analiza comparativă a rolurilor, din cele trei șarje, a rezultat doar mici diferențe în ceea ce privește grosimea stratului de grăunți echiacși în apropierea celor două fețe ale benzii.

În cazul în care banda nu este răcită cu apă la ieșirea din trenul finisor, temperatura de rulare este de (710-730)°C, față de (520-560)°C, iar în centrul secțiunii benzii se observă o ușoară recrystalizare secundară a granulației.

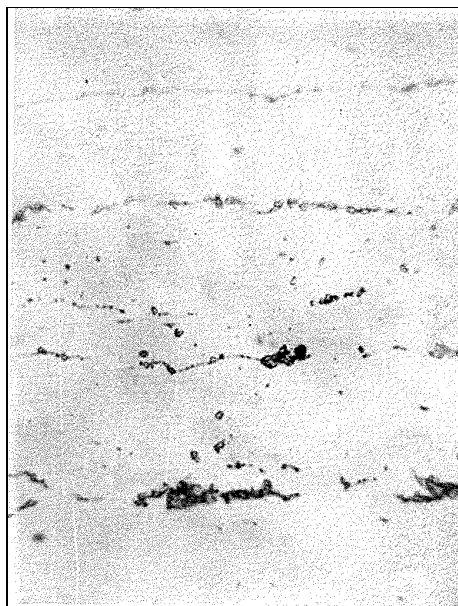
Analiza metalografică a repartției cementitei terțiare a fost efectuată pe șlifuri atacate cu picral 5% la mărirea X500. Se poate observa că în cazul în care banda la cald după ieșirea din trenul finisor s-a răcit cu apă în primele secții, astfel încât temperatura de rulare să fie maxim 560°C, repartția cementitei nu a mai fost pe limita grăunților, ea fiind de această dată distribuită în interiorul grăunților. Se constată, de asemenea, capacitatea de creștere a granulației benzii finale.

Cele de mai sus sunt dovedite de rezultatele experimentărilor materializate în :

- figurile 4.1-4.2 pentru repartția cementitei terțiare și
- figurile 4.3-4.6 pentru gradul de recrystalizare.



zona margine



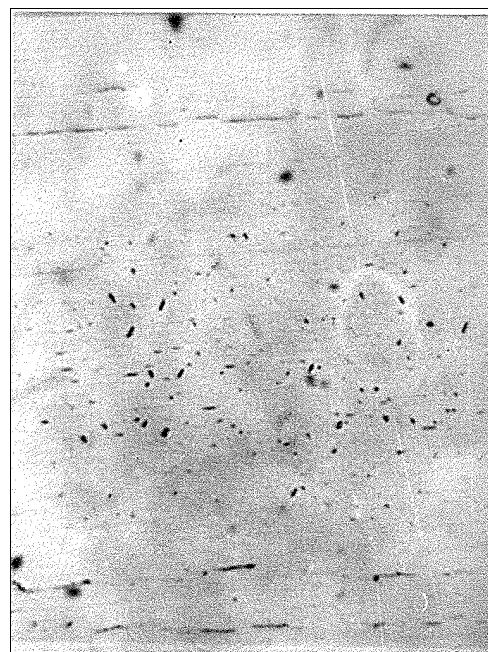
zona centrală

Atac picral 5% X500

a)



zona margine



zona centrală

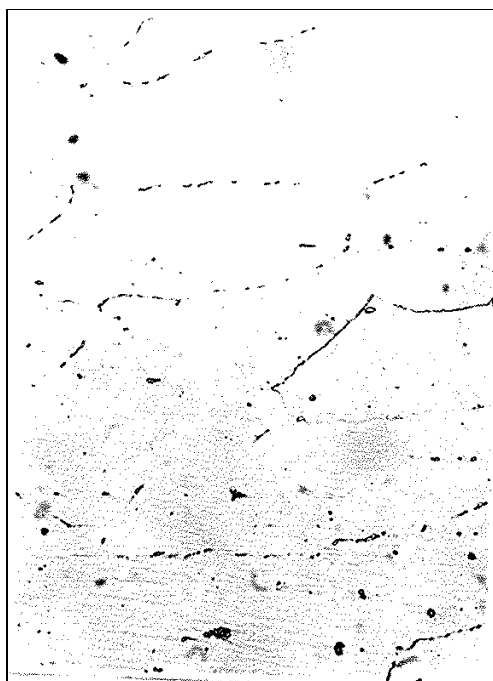
Atac picral 5% X500

b)

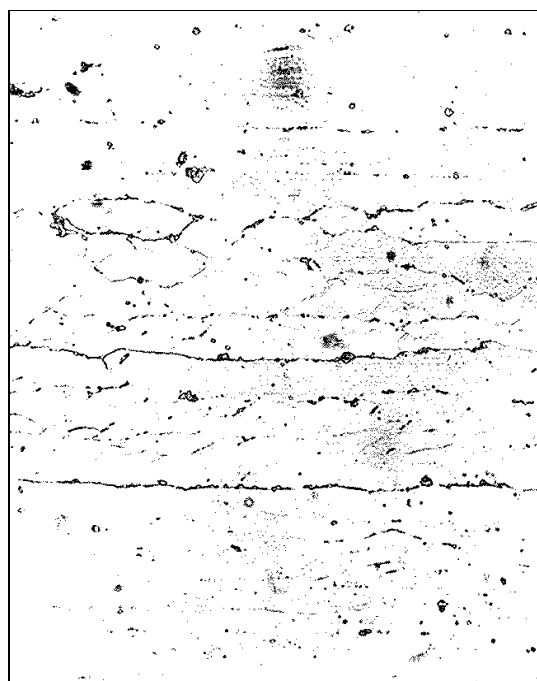
a) $t_{rui}=(710-730)^{\circ}\text{C}$

b) $t_{rui}=(520-560)^{\circ}\text{C}$

Fig. 4.1 - Aspectul metalografic al repartiției cementitei terțiare la un oțel silicios [RP]

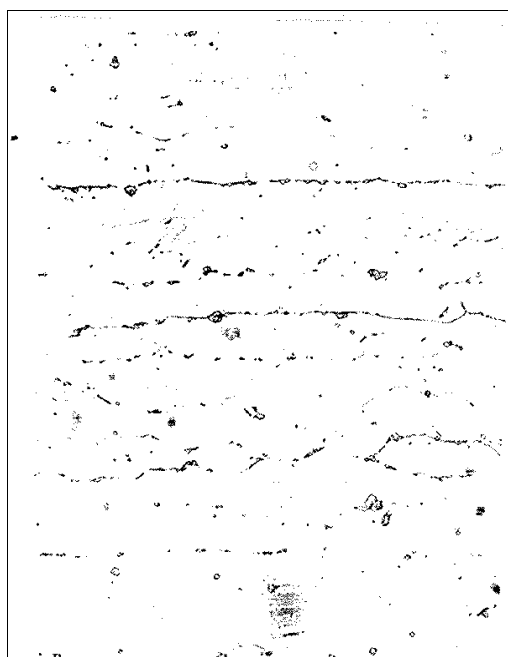


zona margine

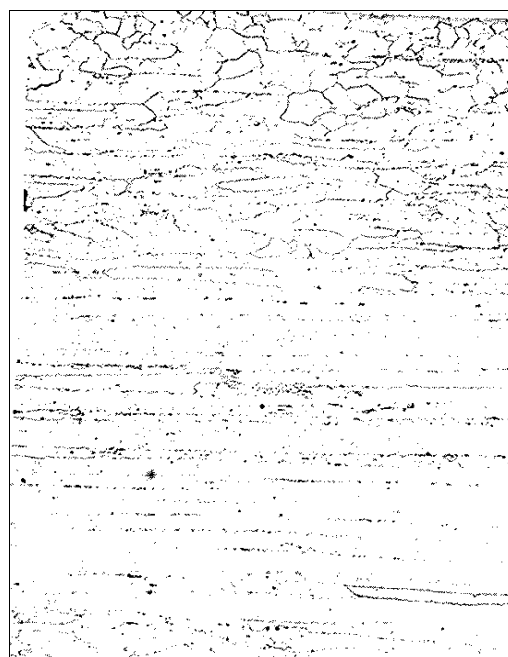


zona centrală

Atac picral 5% X500
a)



zona margine



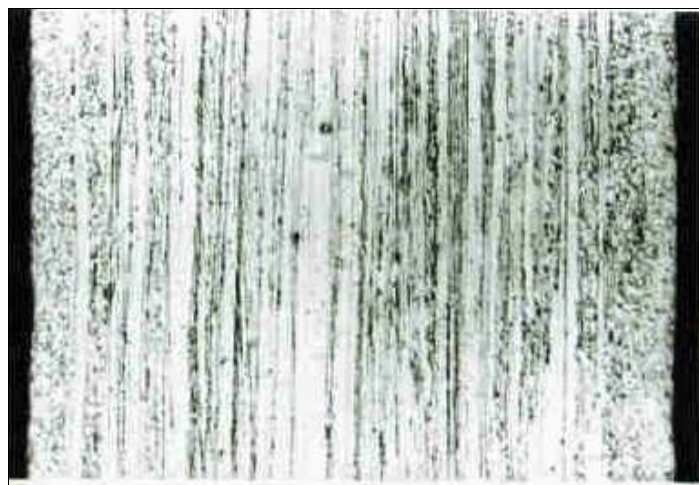
zona centrală

Atac picral 5% X500
b)

a) $t_{\text{rui}} = (710-730)^{\circ}\text{C}$

b) $t_{\text{rui}} = (520-560)^{\circ}\text{C}$

Fig. 4.2 - Aspectul metalografic al repartiției cementitei terțiare la un oțel ambutisare [RP]

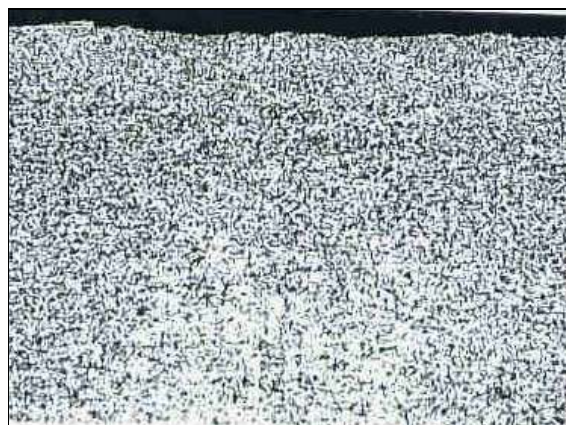


a) $t_{\text{rui}} = (620-640)^{\circ}\text{C}$

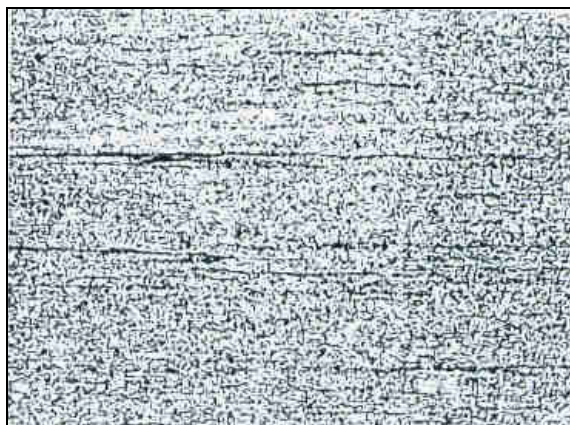


b) $t_{\text{rui}} = (710-730)^{\circ}\text{C}$

Fig. 4.3 – Aspectul granulației la un oțel silicios [RP]



a) suprafață



b) centru

Fig. 4.4 – Aspectul granulației la un oțel silicios [RP], $t_{\text{rui}}=(620-640)^{\circ}\text{C}$ [RP]

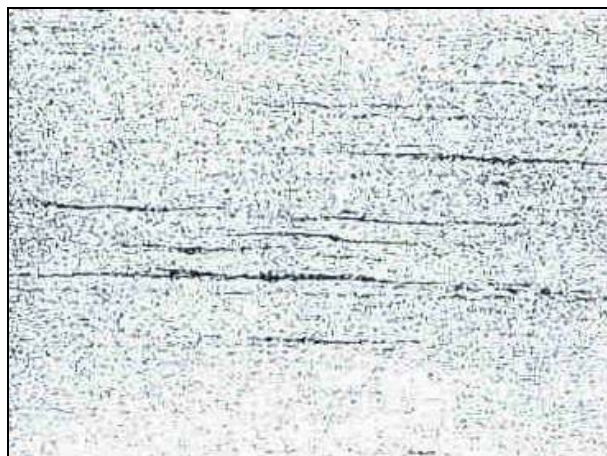


Fig. 4.5 – Aspectul granulației la un oțel silicios, centru, $t_{\text{rui}}=(710-730)^{\circ}\text{C}$ [RP]

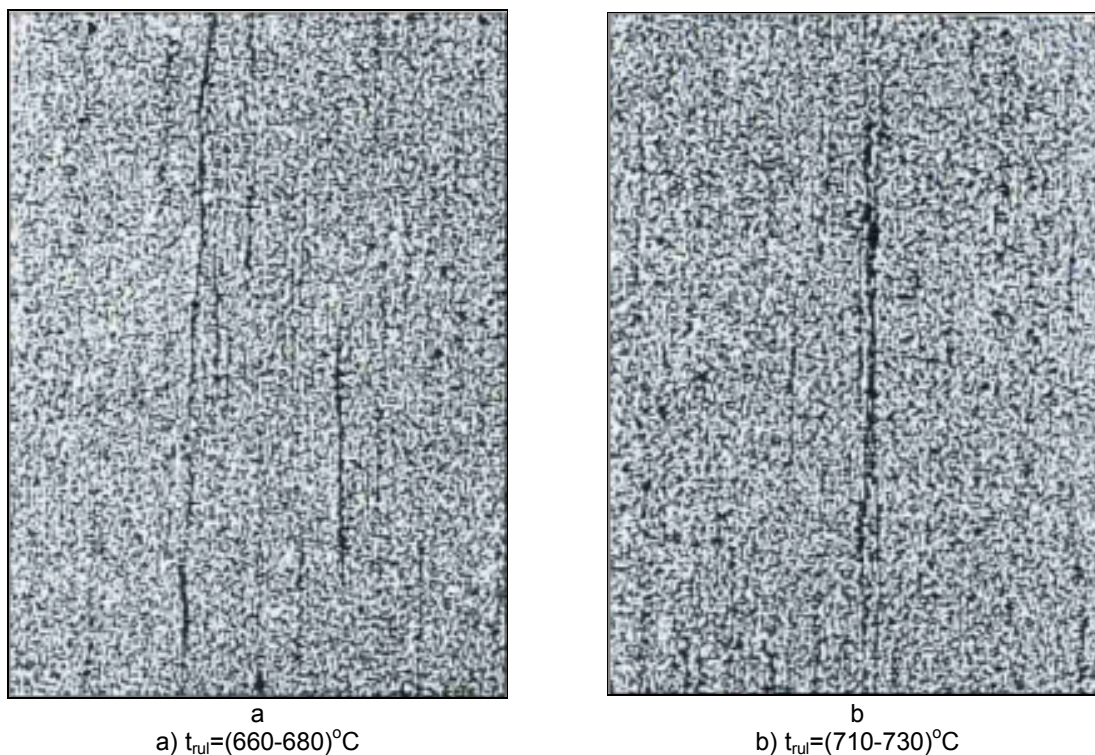


Fig. 4.6 – Aspectul granulației la un oțel de ambutisare, centru [RP]

4.2. Influența gradului de neuniformitate a încălzirii în cuptorul cu propulsie

A fost investigată posibila corelație între (g.n.î.) și căderea pentru variații și abateri de grosime (c_g). Rezultatele măsurătorilor sunt prezentate în tabelul 4.2, iar prelucrarea grafică a datelor – în figura 4.7.

Tabelul 4.2.

CĂDERILE DE GROSIME ÎN FUNCȚIE DE GRADUL DE NEUNIFORMITATE A ÎNCĂLZIRII [RP]

T_1 , [°C]	T_4 , [°C]	(g.n.î.), [%]	c_g , [%]
1260	1242	1,42	15,2
1258	1250	0,68	7,6
1262	1244	1,42	13,8
1246	1230	1,28	15,6
1238	1230	0,63	7,8
1238	1228	0,80	8,5
1246	1230	1,28	12,2
1232	1222	0,81	8,8
1248	1240	0,64	8,2
1252	1242	0,80	9,2
1236	1216	1,61	15,0
1252	1244	0,64	7,2
1242	1238	0,32	6,6
1245	1231	1,12	10,2
1245	1233	0,96	10,8
1238	1231	0,56	7,2
1238	1232	0,48	6,2
1237	1229	0,64	7,0
1241	1236	0,40	6,8

unde: T_1 – temperatura pe lungimea slebului în punct 1; T_4 – temperatura slebului în zona 4.

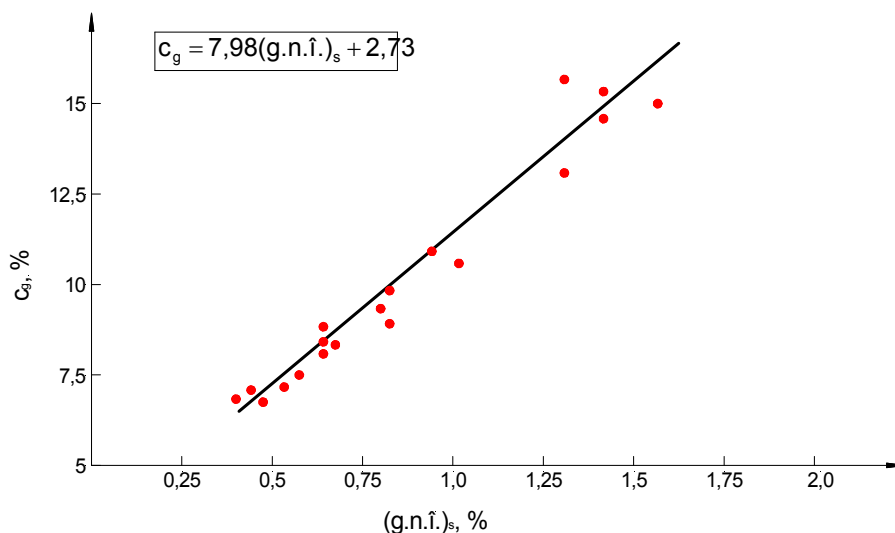


Fig. 4.7 – Variația căderilor de grosime în funcție de neuniformitatea încălzirii [RP]

În urma prelucrării statistice a datelor se obține următorul model pentru variația de grosime în funcție de neuniformitatea încălzirii:

$$c_g = 7,98(g.n.î.)_s + 2,73 \quad (4.1) \text{ [RP]}$$

Concluzia care se trage, în urma acestor experimentări, este că procesul de încălzire, în cuptorul cu propulsie, trebuie astfel condus încât gradul neuniformității încălzirii să se plaseze în plaja (0,3-0,4)%.

4.3. Rolul proceselor din trenurile de laminare

a) Observații efectuate, pe perioade mai îndelungate de timp, au condus la constatarea că regimul de reduceri la trenul finisat poate influența prin fenomenul de recristalizare structura materialului. Astfel, informațiile materializate în figura 4.8 demonstrează că o dată cu mărirea reducerii se îmbunătățește finisarea structurii.



a) reduceri de cca 5%



b) reduceri de cca 10%

Fig. 4.8 – Modificarea structurii oțelului la variația reducerilor în ultima cajă a trenului finisat [RP]

b) Structura materialului este influențată, de asemenea, de temperatura de sfârșit de laminare $t_{s.l.}$ [°C] și de gradul de reducere g.r. [%]. Au fost programate cercetări referitoare la modul în care structura, evaluată prin granulație, este influențată de $t_{s.l.}$ și g.r.

Rezultatele investigărilor sunt prezentate în tabelul 4.3, iar prelucrarea grafică a datelor, în figura 4.9.

Tabelul 4.3.

**ARIA GRĂUNȚILOR, a_g [μm^2], FUNCȚIE DE REDUCERE ȘI TEMPERATURA DE SFÂRȘIT DE LAMINARE [RP]
(oțel cu conținut scăzut de C – 0,03%)**

t _{s.l.} , °C															
800				900				1000				1100			
g.r., %				g.r., %				g.r., %				g.r., %			
20	30	40	50	20	30	40	50	20	30	40	50	20	30	40	50
900	800	720	660	680	600	520	480	500	460	420	370	280	260	220	200

Datele din tabelul 4.3 și figura 4.9 demonstrează că la un oțel cu carbon scăzut, pentru ambutisare (la care s-au făcut observațiile arătate), structura materialului poate fi finisată prin creșterea temperaturii de sfârșit de laminare și micșorarea gradului de reducere.

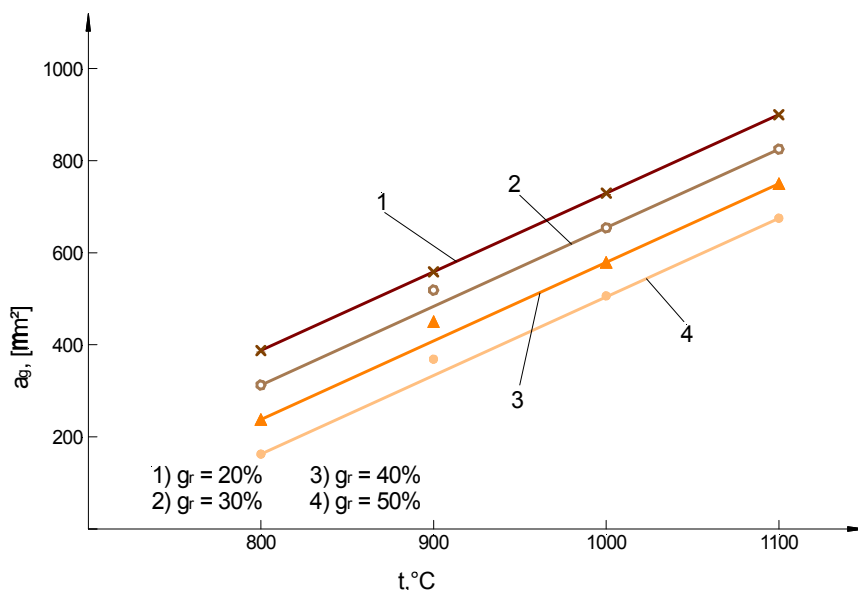


Fig. 4.9 – Finisarea structurii funcție de gradul de reducere și temperatura de sfârșit de laminare [RP]

c) Cercetările efectuate demonstrează că temperatura de sfârșit de laminare influențează unele proprietăți mecanice ale oțelurilor laminate la cald în benzi : R_m [Mpa] (rezistența la tracțiune), R_{p02} [Mpa] (limita de curgere) și A_{80} [%] (alungirea).

Rezultatele cercetărilor programate pentru a stabili dependențe $R_m = f(t_{s.l.})$, $R_{p02} = f(t_{s.l.})$ și $A_{80} = f(t_{s.l.})$ sunt prezentate în tabelul 4.4, iar prelucrarea grafică a datelor în figura 4.10.

Tabelul 4.4.

INFLUENȚA TEMPERATURII DE ÎNCĂLZIRE ÎN CUPTORUL CU PROPULSIE (T_4) ȘI A TEMPERATURII DE SFÂRȘIT DE LAMINARE ASUPRA PROPRIETĂȚILOR MECANICE ALE UNUI OȚEL DE AMBUTISARE [RP]

R_m [MPa]								
$T_{s.l.}, ^\circ C$								
940			900			820		
$T_4, ^\circ C$			$T_4, ^\circ C$			$T_4, ^\circ C$		
1250	1200	1150	1250	1200	1150	1250	1200	1150
320	300	290	290	290	275	280	270	270

R_{p02} [MPa]								
$T_{s,l}, ^\circ\text{C}$								
940			900			820		
$T_{4}, ^\circ\text{C}$			$T_{4}, ^\circ\text{C}$			$T_{4}, ^\circ\text{C}$		
1250	1200	1150	1250	1200	1150	1250	1200	1150
190	180	180	160	160	150	150	145	130

A_{80} [%]								
$T_{s,l}, ^\circ\text{C}$								
940			900			820		
$T_{4}, ^\circ\text{C}$			$T_{4}, ^\circ\text{C}$			$T_{4}, ^\circ\text{C}$		
1250	1200	1150	1250	1200	1150	1250	1200	1150
40	43	44	45	48	47	45	46	48

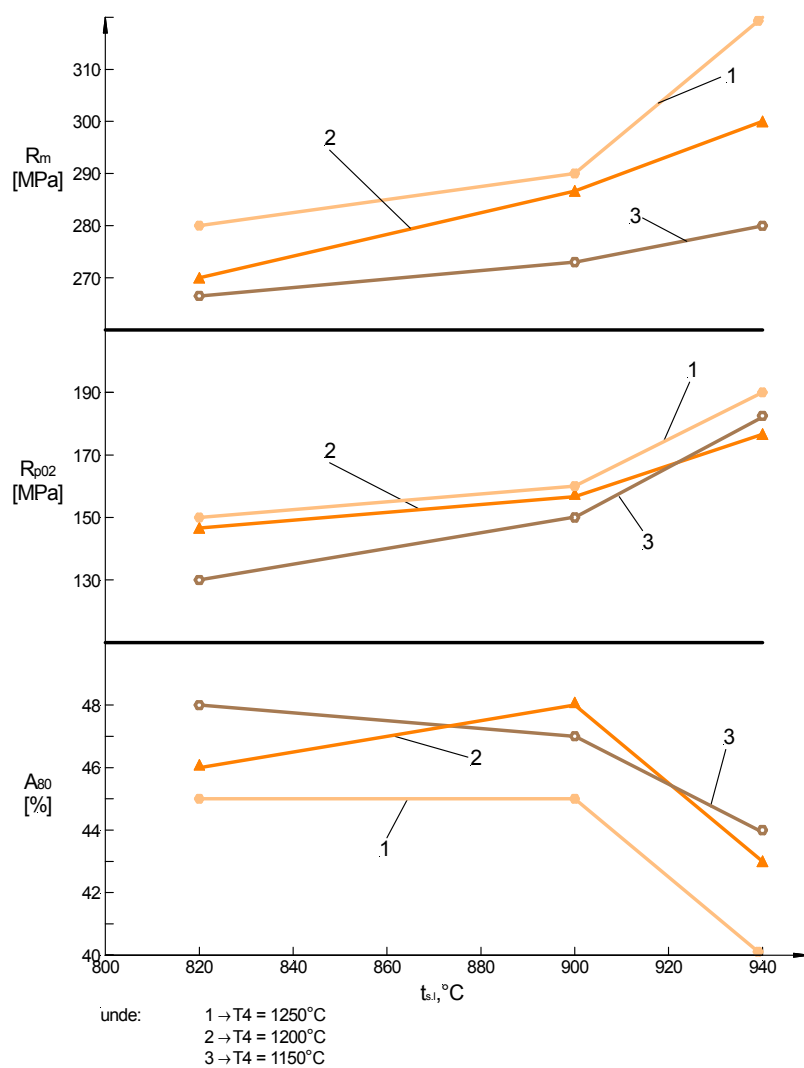


Fig. 4.10 – Influența temperaturii de sfârșit de laminare asupra unor proprietăți mecanice [RP]

Concluzie :

Se constată că temperatura de sfârșit de laminare are influență pozitivă asupra R_m și R_{p02} , dar negativă în ceea ce privește A_{80} .

4.6. Concluzii privind stabilirea posibilelor măsuri de modernizări în fluxul integrat de fabricație

Cercetările prezentate anterior, suplimentate cu unele informații din literatură, permit să se stabilească, obiectiv, unele posibile măsuri de modernizare pe bază de echipamente a fluxului tehnologic integrat de fabricație a benzilor din oțel.

Asemenea măsuri vor fi nominalizate în continuare :

- In zona elaborării și turnării oțelului devin necesare :
 - mărirea purității oțelului prin minimizarea cantităților de incluziuni nemetalice și a conținuturilor de gaze (în special H și N) dizolvate în masa oțelului ;
 - minimizarea conținuturilor unor elemente intrate în compoziția chimică a oțelului.
- In zona încălzirii în cuptoarele cu propulsie:
 - reducerea consumurilor energetice specifice, inclusiv prin optimizarea temperaturilor de încărcare a bramelor în cuptor;
 - optimizarea regimului de temperaturi pentru:
 - reducerea gradului de neuniformitate a încălzirii;
 - reducerea cantităților de oxizi (țunder).
- In zona trenurilor de laminare:
 - se impune obligativitatea automatizării activităților de control și reglare în ceea ce privește toleranțele dimensionale, grosimea, profilul și planeitatea;
 - modificarea regimului de reduceri și temperaturi (de evacuare din cuptor, de sfârșit de laminare, de finisare, de răcire, de rulare), astfel încât să se optimizeze structura de recristalizare (mărirea granulației) repartizarea cementitei spre interiorul granulațiilor și, implicit, proprietățile mecanice ale materialului.
- La modul general devin obligatorii măsuri computerizate în privința controlului, reglării, mecanizării și automatizării echipamentelor tehnologice necesare pe fluxul de fabricație.

CAPITOLUL AL V-LEA

CONTRIBUȚII LA FUNDAMENTAREA TEORETICĂ A MĂSURILOR DE MODERNIZARE PRIN AUTOMATIZARE

Așa după cum s-a arătat deja, modernizarea laminorului de benzi la cald se va realiza, preponderent, prin *automatizarea proceselor și instalațiilor* în scopul obținerii valorilor optime pentru parametrii de calitate a produselor de laminare. De asemenea, se reamintește că dintr-un *sistem integrat de automatizare* în teză se va aborda *proiectul de predicționare prin presetarea laminorului* în vederea funcționării acestuia la indicatori și parametri impuși de calitatea necesară a produselor livrate beneficiarilor din aval.

5.1. Scurtă introducere

După cum este cunoscut, proiectarea sistemelor și activităților de automatizare se bazează preponderent pe modele matematice materializate în algoritmi de calcul pentru indicatorii de proces supuși optimizării. *Este motivul pentru care în cele ce urmează ne propunem să contribuim la perfecționarea modelelor matematice* necesare în activitatea de automatizare a laminorului de benzi la cald. Menționăm, de asemenea, că dintr-un macrosistem integrat de automatizare vom acorda îndeosebi atenție *activității de presetare a laminorului*.

Din punctul de vedere informatic, proiectul de presetare reprezintă un macromodel matematic reprezentând unitatea dialectică a trei modele, denumite în lucrare astfel:

- modelele de bază;
- strategia de presetare ;
- (auto)adaptarea, ca subiect de validare a valorilor calculate prin cele măsurate.

Fluxul de modelare matematică va urmări schema principală a sistemului de presetare prezentată în figura 5.1.

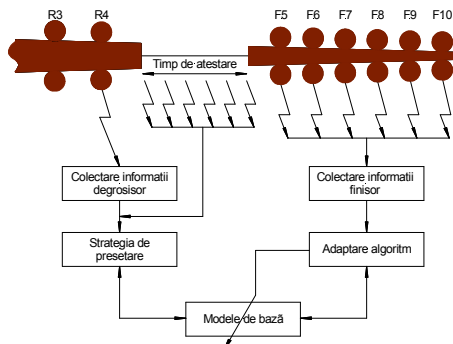
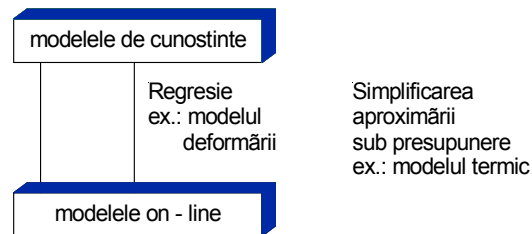


Fig. 5.1. – Schema principală a activității de presetare [RP]

Metodologic, pentru dezvoltarea (conceperea) modelelor se va proceda în două etape :

- **dezvoltarea modelului de cunoștințe**, care presupune, ca pe bază de *cercetări bibliografice informaționale* să se dobândească volumul de cunoștințe teoretice (termofizica proceselor, mecanica deformăției plastice, etc.) necesare construcției ulterioare a modelului propriu-zis ;
- **dezvoltarea modelului on-line**.

Schema după care se va lucra poate fi materializată astfel :



Totuși, aplicația on-line a modelului de cunoștințe poate fi limitată la constrângerea privind timpul de calcul și de constrângerea privind memoria calculatorului. Modelul on-line este apoi dezvoltat de la modelul de cunoștințe pentru scopul aplicării on-line.

Parametrii modelului "on-line" sunt obținuți de la modelul de cunoștințe prin regresie.

5.2. Proiectarea modelelor de bază

În baza modelului de cunoștințe dobândit (care nu face obiect distinct în lucrare, el fiind realizat în baza bibliografiei menționate la sfârșitul tezei) se poate afirma că modelele de bază necesare sunt :

- **Modelul deformăției plastice a materialului** este rezultatul a altor trei submodele :
 - submodelul forței de laminare ;
 - submodelul momentului ;
 - submodelul puterii.
- **Modelul proceselor termice** se desfășoară începând cu următoarele procese derulate de la intrarea până la ieșirea din trenul finisor a materialului :
 - schimbul termic prin convecție și radiație către mediul înconjurător (aer) ;
 - schimbul termic prin conducție de contact cu cilindrii ;
 - absorbția căldurii generate prin deformare plastică ;
 - influența termică a desțunderizării ;
 - schimbul de căldură la stropirea cu apă.
- **Modelul deformăției elastice a laminorului (cajă și cilindrii)**
- **Alte modele** reprezentate de :
 - submodelul patinării ;
 - submodelele termice pentru cilindri.

În cele ce urmează se va încerca a se ajunge la expresiile matematice ale modelelor on-line.

Se va căuta ca ecuațiile obținute să fie operaționale, în sensul de a fi suport pentru schemele de automatizare, în special pentru presetare și adaptare.

5.2.1. Modelul deformăției plastice a materialului

5.2.1.1. Submodelul forței de laminare

Proiectarea acestui submodel se bazează pe legea tensiunii de deformăție plastică, cu ajutorul căreia, pentru forța de laminare F_l , se poate face recomandarea :

$$F = (p_m \cdot k_g \cdot b - T) \cdot i_{arc} \quad (5.1) \quad [26, 49]$$

unde :

- p_m = presiunea medie de laminare $[N/mm^2]$
- k_g = factorul geometric
- b = lățimea benzii $[mm]$
- T = tracțiunea dintre caje $[N/mm]$
- i_{arc} = lungimea arcului dintre produs și cilindru – produs $[mm]$.

Cum calculul forței de laminare depinde de o serie de factori și în special de lungimea arcului, devine necesară elaborarea unui algoritm de calcul pe baza unei diagrame de genul celei prezentate în figura nr. 5.2.

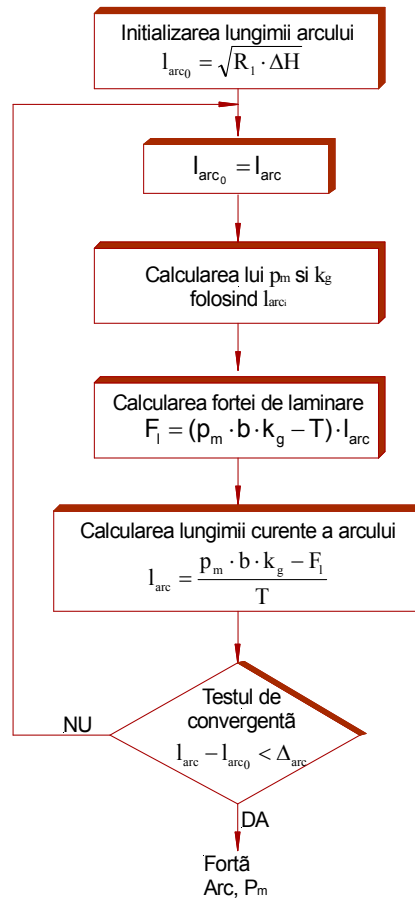


Fig. 5.2. – Diagrama buclelor [RP]

5.2.1.2. Submodelul momentului (puterii)

Pentru predicționarea momentului se recomandă ecuația:

$$M_l = F \cdot l_{arc} \cdot c_m, [\text{N.m}] \quad (5.7) \quad [25, 50, 49]$$

unde c_m este un coeficient de adaptare.

5.2.2. Modelarea proceselor termice

Funcția obiectiv principală a modelului proceselor termice este *temperatura medie pe secțiunea transversală (grosime) a produsului*. Modelul are în vizor procesele derulate pe fluxul prezentat în figura nr. 5.3.

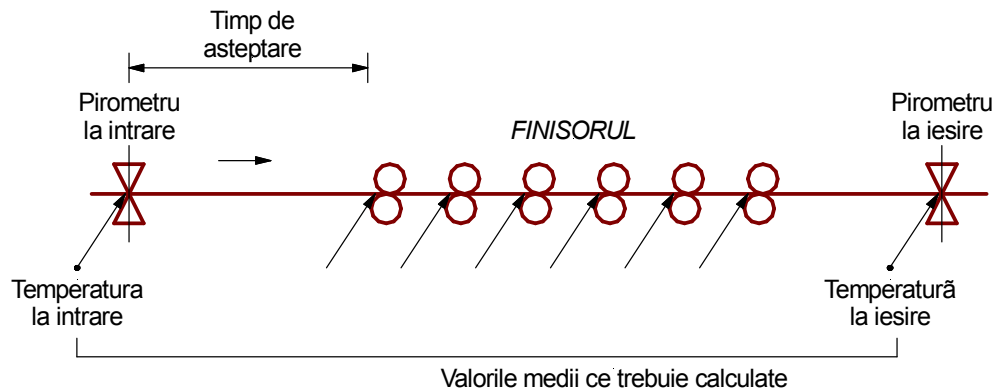


Fig. 5.3. – Segmentul tehnologic analizat de modelul proceselor termice [RP]

5.2.2.1. Variația temperaturilor pe flux

Modelul lucrează cu *temperatura teoretică* (t_{teor}) a suprafeței. Ea este procesată din *temperatura măsurată* t_{pir} , dată de piometru. Pe baza datelor din literatură, ținând cont de necesitățile legate de reglarea prin automatizare, se recomandă următoarele ecuații de calcul :

$$t_{\text{teor}} = e^{k_1 \frac{\Delta \tau}{H_e} [k_2 (H_i - H_e) + k_3 + k_4] t_{\text{pir}}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (5.10) \quad [15, 17]$$

Prin prelucarea informațiilor existente, pentru predicția temperaturii medii, t_{med} , se recomandă ecuația:

$$t_{\text{med}} = t_{\text{teor}} - k_{\text{cond}} \left\{ \varepsilon c_0 \left[\left(\frac{T_{\text{teor}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_a}{100} \right)^4 \right] + \alpha_{\text{conv}} \cdot w_p^{0,8} (t_{\text{teor}} - t_a) \right\} \quad (5.12) \quad [\text{RP}]$$

Schema logică a variației temperaturii de la caja (i) la caja (i+1) se bazează pe informațiile prezentate în figurile 5.5 și 5.6.

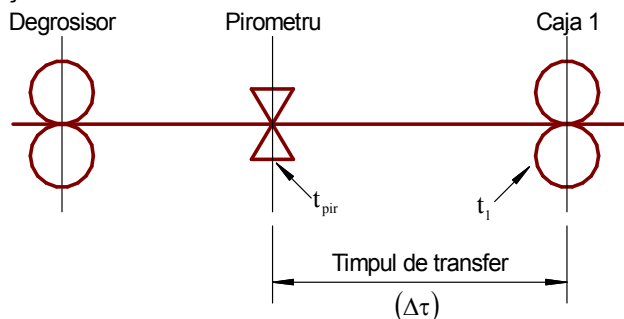


Fig. 5.5 – Flux de analiză termică [RP]

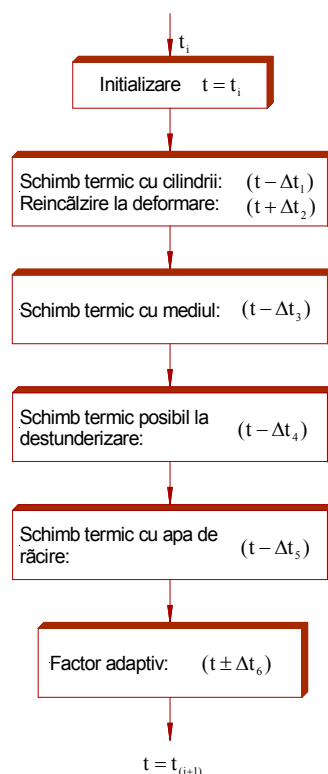
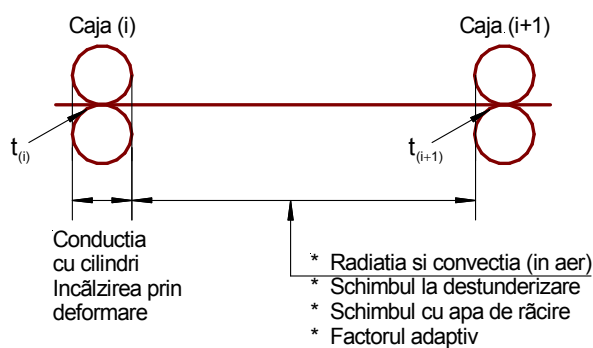


Fig. 5.6 – Schema logică a variației temperaturii [RP]

5.2.2.2. Modelarea schimbului de căldură (puteri termice)

Interesează schimburile de căldură prin situațiile enumerate anterior. Menționăm că valorile cantităților de căldură schimbate între diverse medii se vor calcula ca puteri termice P_t [W] schimbate.

A) Schimbul de căldură prin conducție de contact laminat-cilindru de laminor

În acest caz, puterea termică schimbată, $P_{t.c.c}$, este:

$$P_{t.c.c} = A \cdot K \cdot \Delta t \quad (5.14) \quad [15, 16]$$

Aria suprafeței de schimb de căldură se evaluează ca fiind aria derulată în timpul unei rotații :

$$A = \pi D \cdot b \quad , [m^2/rot] \quad (5.15)$$

Diferența de temperaturi :

$$\Delta t = (t_{pir} - t_c) \quad , [grad] \quad (5.16)$$

depinde de temperatura cilindrului, t_c , care se cunoaște experimental.

Coeficientul global de schimb de căldură K [W/m².grad] este diferența dintre capacitățile de transmitere a căldurii laminatului și cilindrului :

$$K = (K_l - K_c) \quad , [W/m^2.grad] \quad (5.17)$$

Cele două capacități menționate, mai sus, sunt:

$$K_l = \sqrt{\lambda_l \cdot c_l \cdot \rho_l \cdot \tau_c} \quad , [W/m^2.grad] \quad (5.18)$$

$$K_c = \sqrt{\lambda_c \cdot c_c \cdot \rho_c \cdot \tau_c} \quad , [W/m^2.grad] \quad (5.19)$$

În relațiile de mai sus λ este coeficientul de conducție termică [W/m.grad sau J/s.m.grad], c este căldura specifică [J/Kg.grad], ρ este densitatea [Kg/m³], iar τ_c este durata contactului [s].

Pentru evaluarea lui τ_c se pornește de la schema din figura 5.7.

$$\tau_c = \frac{A_{d.c}}{w_s} \quad , [s] \quad (5.20) \quad [RP]$$

În relația de mai sus $A_{d.c}$ [m²] reprezintă aria suprafeței derulate pe cilindru, iar w_s [m²/s] este viteza de derulare a secțiunii laminatului.

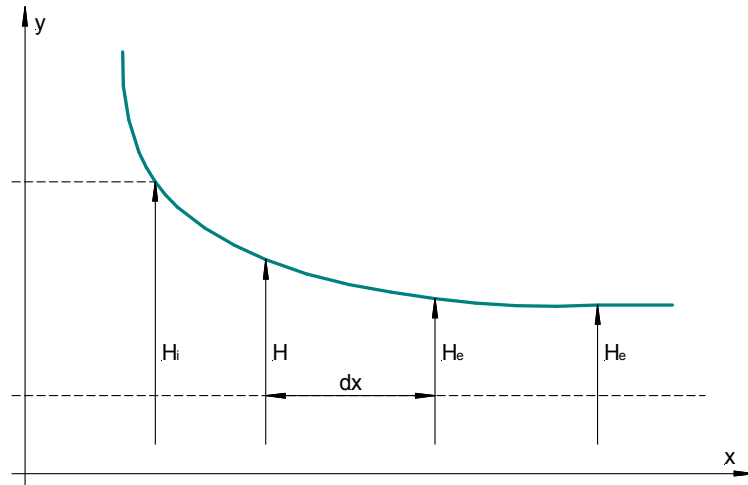


Fig. 5.7 – Schema derulării contactului laminat – cilindru [RP]

B) Procesul de reîncălzire datorată deformării plastice

Se pornește de la energia de deformare E_d :

$$E_d = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot R_l \cdot \ln \frac{H_i}{H_e} \quad , [J] \quad (5.25) \quad [15, 16]$$

C) Procesul de răcire la deșunderizare

Formula pentru schimbul la deșunderizare se bazează pe formula șocului termic în timpul contactului. Numai temperatura crustei se modifică. Energia schimbată nu depinde de valorile grosimii produsului.

Formula ce trebuie folosită la modelare pentru calcularea scăderii temperaturii, Δt_{dt} , este:

$$\Delta t_{dt} = \frac{2(t_{pir} - t_a)}{H_e} \cdot \sqrt{\frac{\lambda_l}{\pi \cdot c_l \cdot \rho_l}} \cdot \frac{L_{dt}}{w_p} \cdot E_{dt} \quad , [grad] \quad (5.27) \quad [50, 51]$$

D) Schimb termic cu apa de răcire

$$\Delta t_{ar} = \frac{t_{pir}}{m_f} \cdot e_r \quad \text{unde :}$$

Δt_{ar} = pierdere de temperatură cu apă de răcire ;

m_f = fluxul de metal [mm^2/s] ;

e_r = eficiența răcirii cu apă [m^2/s].

E) Factor adaptiv

Modelul termic necesită adaptări care să țină cont de fenomenele care pot fi modelate și de imprecizia modelării.

Factorul adaptiv (f_{ad}) se modifică (adaptează) de la produs la produs.

$$\Delta t_{ad} = \frac{t_{pir}}{m_f} \cdot f_{ad} \quad \text{unde :}$$

Δt_{ad} = pierdere de temperatură datorită impreciziei modelului ;

t_{pir} = temperatura inițială.

5.2.3. Modelarea deformării elastice

În acest caz schematizarea pornește de la definirea grafică a deformațiilor și a variației în timp a acestora (figurile 5.8-5.10).

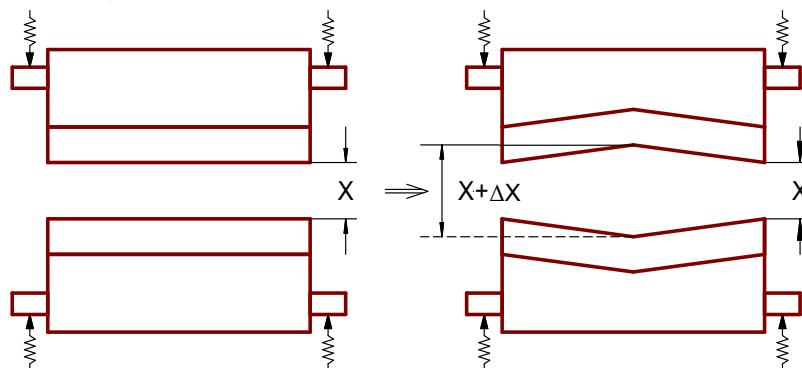


Fig. 5.8 – Schematizarea deformației totale [RP]

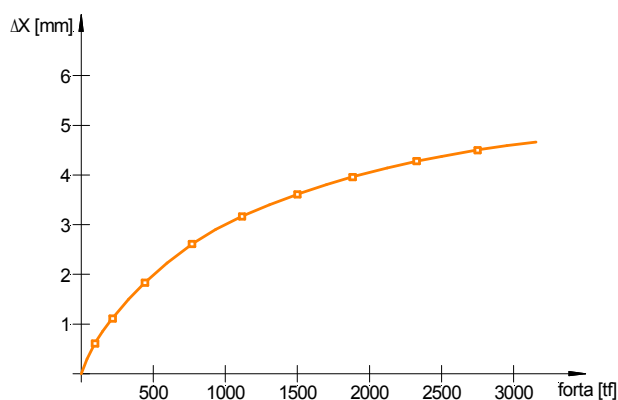


Fig. 5.9 – Diagramă de deformare [RP]

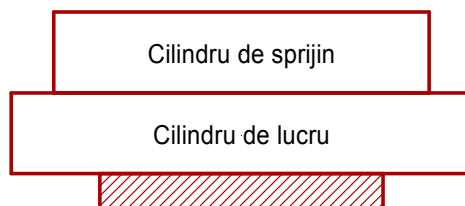


Fig. 5.10 – Poziționarea cilindrilor [RP]

Modelarea pornește cu următoarea ipoteză: deformarea este simetrică și independentă de poziția șurubului.

Modelul de deformare analizat aici este un rezultat regresiv bazat pe următoarele două deformații:

- deformația cilindrilor ;
- deformația datorită strivirii (turtirii).

Deformația D_c a cilindrilor este:

$$D_c = X_1 \cdot \frac{F}{b} + X_2 \cdot \frac{F + 2F_{\text{încovoiere}} - F_{\text{echilibrare}}}{L} \quad [\text{mm}] \quad (5.28)$$

unde:

- F = forța de laminare [t] ;
- $F_{\text{încovoiere}}$ = forța de încovoiere [t] ;
- $F_{\text{echilibrare}}$ = forța de echilibrare [t].

În ecuația de mai sus L este lungimea de contact cilindru de sprijin – cilindru de lucru, iar X_1 și X_2 sunt module de deformare.

5.2.4. Modelul patinării

Modelarea patinării are la bază schema prezentată în figura 5.11.

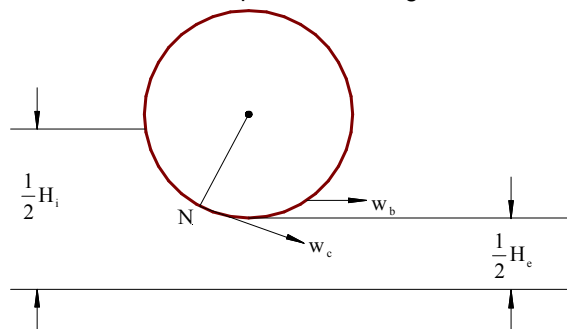


Fig. 5.11. – Schema fenomenului de patinare [RP]

5.3. Presetarea – activitate majoră de asigurare a calității prin optimizarea proceselor și instalațiilor

Într-un program integrat de optimizare – automatizare, prezentarea parametrilor constituie segment major de asigurare a calității.

In cele ce urmează se vor prezenta unele contribuții la elucidarea unor aspecte de natură formală legate de trecerea la presetarea parametrilor de optimizare și implicit, automatizare, a funcționării laminorului.

Obiectivul principal al *strategiei de presetare* este dezvoltarea unei scheme optimale de laminare, bazată, principal, pe faptul că *distribuția puterilor se apropie cât se poate de distribuția nominală*. Într-un astfel de context strategia presetării trebuie să se bazeze pe :

- *cerințele ce trebuie îndeplinite :*
 - grosimea finală cerută ;
 - temperatura finală cerută ;
- *cunoașterea condițiilor de inițializare :*
 - datele de intrare ale benzii (temperaturi, grosimi, greutate, calitatea oțelului) ;
 - dialogul operatorului ;
- *presetările ce trebuie calculate pe bază de modele :*
 - deschiderea dintre cilindri (pozițiile șurubului) ;
 - viteze de înfilare a cajelor ;
 - răcirea benzii între caje ;
- *constrângerile ce trebuie respectate :*
 - putere maximă de laminare (cap și coadă) ;
 - vitezele minimă și maximă ale cajelor ;
 - viteza de ieșire (viteza ultimei caje) în timpul înfilării.

O schemă generală a activității de presetare este prezentată în figura 5.12.

Schema optimală de laminare operează în lanțul : cerințe + constrângeri + distribuția puterii nominale.

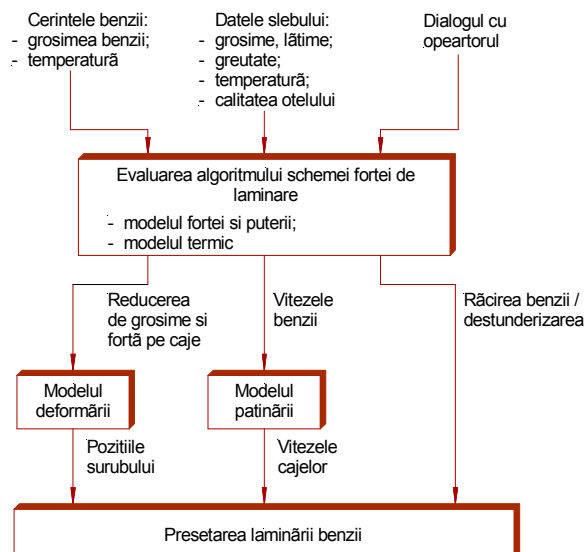


Fig. 5.12. – Fazele activității de presetare [RP]

- Modul de a avea distribuția puterii nominale este modul cel mai preferat de a respecta limitele de putere (respectiv capacitățile cajelor) dacă puterea totală este foarte importantă.
- Dar această schemă de laminare s-ar putea să nu se realizeze pentru că nu poate respecta condițiile de viteză minimă sau maximă. În acest caz, distribuția puterilor (astfel reducerea de grosime) se modifică ușor conform cu o metodă empirică în scopul respectării limitelor de viteză.
- Temperatura dorită nu este una restricționată absolut: dacă nu poate fi obținută după toate intervențiile posibile, este transmis un mesaj de atenționare și algoritmul continuă calculele schemei de laminare (poziție șurubului). Principalele elemente sunt desțunderizarea între caje și răcirea. O activitate posibilă este și regalarea debitului de metal.
- Grosimea este o cerință absolută: dacă nu se poate atinge, programul oprește calculele. De fapt, aceasta înseamnă că puterile necesare laminării sunt excesive. Cu toate acestea, cu permisiunea operatorului, se poate descrește grosimea dorită în scopul respectării limitelor puterii (nu e prioritate de grosime).

Reducerea de grosime la prima cază poate fi fixată. În acest caz, schema optimă de laminare va fi calculată pentru celelalte caje luând în considerare această reducere.

Variabilele independente ce trebuie calculate sunt:

- toate grosimile între caje (grosimile de intrare = ieșire sunt date);
- viteza ultimei caze.

Vitezele celorlalte caje pot fi obținute în concordanță cu legea constantei debitului masei.

Complexitatea algoritmului schemei de laminare optimă derivă din două motive esențiale:

a) Cele două modele principale utilizate sunt:

- modelul forță și putere;
- modelul termic.

Totuși, aceste două modele nu sunt independente. Modelul pentru forță depinde de temperaturi, iar modelul termic folosește forțele de laminare ca date.

b) Un alt motiv este conceperea schemei de laminare optime.

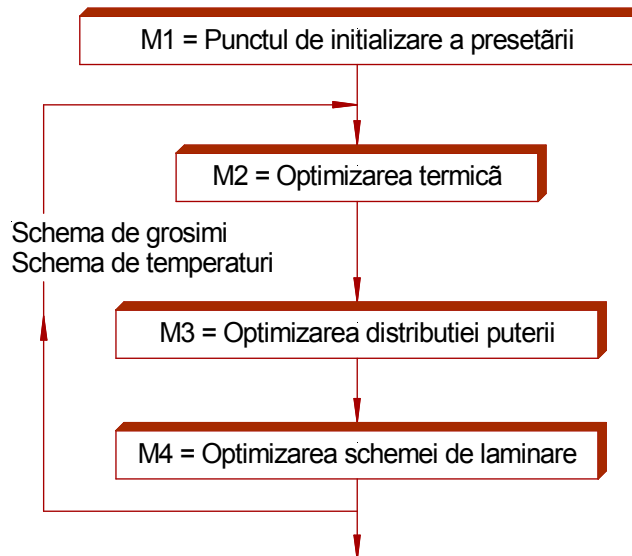
Trebuie găsită o soluție de compromis (optimizată) între distribuția puterii nominale și constrângerile de viteze.

Strategia programului apelează succesiv 4 modele:

- M1 – inițializarea punctului presetării de bază;
- M2 – optimizarea termică;
- M3 – optimizarea distribuției puterii;
- M4 – optimizarea schemei de laminare.

Cele două modele principale (modelul de forță și putere, modelul de temperatură) nu sunt independente, este necesară execuția unei bucle pe modulele M2, M3, M4, pentru a garanta convergența (din experiență, cel puțin 2 bucle).

Se lucrează în următoarea schemă a modulelor:



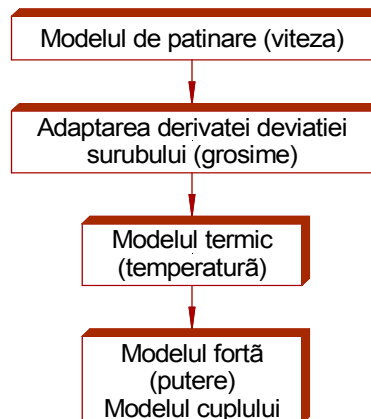
5.4. Adaptarea

Această activitate prevede adaptarea în termen scurt în scopul îmbunătățirii acurateței modelelor de bază și, astfel, a calculării schemei de laminare.

Adaptarea poriectată include următoarele adaptări principale :

- Patinarea : permite compensarea modelului constant.
- Deviația de valoare prescrisă șurubului : permite urmărirea evoluției diametrelor cilindrilor (uzură, termic).
⇔ aducerea la zero – dinamic.
- Temperatura: permite urmărirea calculării erorii posibile a temperaturii, de exemplu, calculul răcirii;
- Forța: pentru principalele oțeluri aliate permite urmărirea variațiilor lente în comportamentul materialului pentru fiecare cajă, permite luarea în considerare a variației condițiilor de contact – cilindri – material (frecare).

Strategia adaptării pornește de la *ordinul de adaptare* :



- Grosimea este o variabilă de bază folosită de fiecare model și astfel trebuie să cunoască vitezele benzii care vor fi calculate conform cu vitezele cajelor (măsurată) și alunecarea după cum urmează :

$Viteza\ benzii = Viteza\ cajei \cdot (1 + alunecare)$.

Astfel, modelul patinării trebuie să fie primul adaptat.

- Legea tensiunii de deformare plastică în modelul de forță depinde de temperatură, astfel că modelul termic va fi adaptat înaintea modelului forță.

Măsurători

Există două feluri de măsurători :

- Măsurătorile "Cap" : imediat după ce capul a trecut de cajă ;
- Măsurătorile "Corp" : după ce laminorul este stabilizat (legea debitului masei poate fi apoi aplicată).

În scopul de a avea rezultate corecte ale adaptărilor trebuie să se compare fiecare valoare măsurată cu două valori apropiate (mini și maxi). Dacă una din datele esențiale nu este inclusă în valori, nu va fi nici o adaptare.

Modelul de temperatură este adaptat înainte de modelul forței pentru că deformația depinde de temperatură.

Siguranța măsurătorilor

Adaptarea se bazează pe valorile măsurate :

- Forțe ;
- Pozițiile șuruburilor.

Respectiv, valorile de mai sus măsurate sunt luate drept bază a adaptărilor.

De exemplu :

- grosime : calculația este bazată pe "deformarea pe grosime"
"deformația pe grosime" = poziția șurubului + deformația (forța măsurată) ;
- lungimea arcului de contact : calculul folosește forțele măsurate.

CAPITOLUL AL VI-LEA MĂSURI DE MODERNIZARE TEHNOLOGICĂ ÎN VEDEREA ÎMBUNĂTĂȚIRII CALITĂȚII BENZILOR DIN OȚEL OBȚINUTE PRIN LAMINARE LA CALD

În cele ce urmează vor fi prezentate măsurile adoptate și operaționalizate de *îmbunătățire tehnologică* a fluxului integrat de fabricație a benzilor.

6.1. Cazul oțelurilor silicioase de transformator

În cadrul programului de cercetări experimentale industriale, efectuate asupra tehnologiei de fabricație a calităților superioare de benzi din oțel silicios cu grăunți neorientați, cu pierderi magnetice scăzute și inducție ridicată, marca M19, s-au analizat un număr de trei șarje de oțel cu tratarea în vid a oțelului și turnarea continuă a sleburilor.

Informațiile privind experimentările sunt prezentate succint în tabelele 6.1-6.3.

Tabelul 6.1. [RP]

COMPOZIȚIA CHIMICĂ PE OȚEL LICHID

Nr. șarjă	Compoziția chimică, %						
	C	Mn	Si	P	S	Al	N
A	0,020	0,15	2,90	0,014	0,004	0,535	0,0078
B	0,030	0,19	2,78	0,022	0,006	0,420	0,0080
C	0,030	0,14	2,76	0,019	0,005	0,460	0,0076

Tabelul 6.2. [RP]

PARAMETRI TEHNOLOGICI PRACTICATI LA LAMINAREA BENZILOR LA CALD

Parametrul / Nr. șarjă	A	B	C
Temperatura cuptorului în zona de egalizare, °C	1200-1220	1210-1230	1210-1230
Temperatura de intrare în trenul finisor, °C	950-1000	950-980	950-980
Temperatura după caja F7, °C	845-865	840-870	840-870
Temperatura de rulare, °C	540-560	530-560	530-560

Tabelul 6.3. [RP]

PARAMETRI DE LAMINARE ÎN TRENUL FINISOR

Parametrul / Caja	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Grosimea benzii, mm	12,05	6,80	4,22	3,04	2,37	2,04	1,90
Viteza, m/sec.	1,22	2,15	3,53	5,12	6,65	7,81	8,52

Modernizările operate pot fi caracterizate prin următoarele concluzii care evidențiază superioritatea :

- tratarea în vid a oțelului lichid ;
- încărcarea sleburilor în cuptoarele cu propulsie la temperatura de cca 600°C, rezultate în urma turnării continue ;
- micșorarea temperaturii de încălzire în zona de egalizare cu cca 5% ;
- utilizarea răcirii cu apă pe primele secții de după ieșirea din trenul finisor, astfel încât temperatura de rulare să fie max. 560°C ;
- reducerea grosimii benzii de la (2,25-2,50) mm la (1,80-2,20) mm.

6.2. Cazul oțelurilor pentru ambutisare

Tablele și benzile laminate la rece de ambutisare adâncă și foarte adâncă sunt realizate din oțeluri cu conținut scăzut de carbon, nealiat sau microaliat cu Ti (Nb), calmate cu aluminiu și cu conținuturi cât mai reduse de elemente reziduale (Mn, S, P) și gaze în oțel.

a) Compoziția chimică

Compoziția chimică a oțelurilor cercetate s-a încadrat în prevederile normelor impuse de beneficiari (tabelul 6.4)

Tabelul 6.4. [RP]

COMPOZIȚIA CHIMICĂ PE OȚEL LICHID

Calitatea	Modul de dezintoxicare	Concentrația elementelor, %					
		C max	Mn max	Si max	P max	S max	Al max
FePO4	calmat	0,08	0,40	-	0,030	0,030	-
A5	calmat	0,08	0,40	0,10	0,025	0,030	-
FePO5	calmat	0,06	0,35	-	0,025	0,030	-

Calitatea FePO6 (IF) se caracterizează printr-o granulație foarte fină și uniformă datorită microalierii cu Ti sau Nb, de punctaj 9 sau mai fină datorită legării complete a atomilor de carbon și azot în carbonitruri.

b) Laminarea benzii la cald

Modificarea regimului de reduceri și temperaturi la laminarea la cald a benzilor cu grosimi de (2,50 – 4,00) mm, utilizate frecvent pentru relaminare la rece la grosimi de (0,70 – 1,20) mm (grosimi solicitate frecvent de industria auto), corelat cu strategiile adecvate de răcire controlată a benzii după laminare la ieșirea din finisor (modul de răcire, viteza de răcire), au constituit scopul experimentărilor ce s-au desfășurat în vederea realizării calității FePO4 (conform SR EN 10.130 – 94), cu caracteristici de plasticitate și ambutisare adâncă superioare calității A5 (XES, ZES) realizate conform STAS 10.318 – 89.

Încălzirea sleburilor TC s-a efectuat în cuptoare cu propulsie la temperaturi de (1250–1280)°C, în zona de egalizare, temperatura sleburilor la evacuare fiind cuprins între (1230–1250)°C.

Aplicarea unei răcirii controlate, în funcție de grosimea benzii și temperatura de sfârșit de laminare, a făcut posibilă realizarea unei temperaturi de rulare cuprinsă între (520–580)°C, în condițiile în care temperatura TF 7 ≥ 860°C.

c) Analiza rezultatelor experimentale

Pentru a evidenția influența anumitor factori metalurgici asupra caracteristicilor mecanice ale benzii finale s-a impus o caracterizare completă atât a benzii la cald cât și a celei laminate la rece din punct de vedere metalografic și al caracteristicilor mecanice.

Probele prelevate din banda laminată la cald s-au analizat metalografic din punct de vedere al aspectului și mărimii granulației, distribuției fazei secundare și al conținutului de incluziuni nemetalice.

Structura benzii laminate la cald este cu granulație recristalizată și uniformă ca mărime de grăunte pe întreaga secțiune. Din punct de vedere al mărimii granulației s-a observat că în cazul în care temperatura de sfârșit de laminare TF7 este de (810-840)°C, granulația feritică este fină de punctaj (9–10), iar în cazul în care temperatura a fost mai ridicată, de (840-880)°C, granulația este mai mare, de punctaj (8–9) și chiar (7–8) la unele rulouri.

S-au prelevat șlifuri metalografice din tabla cu defect de suprafață poziționat la capătul stâng al benzii sub formă de linii transversale cu lungimi de aproximativ (6–7) cm.

În zona cu defecte se constată microscopic la mărimi de 100X incluziuni nemetalice de tip oxizilor de fier însoțite de incluziuni punctiforme de tipul oxizilor complecși sub formă de nori vizibili la mărimi de 500X.

Adâncimea de pătrundere a incluziunilor este variabilă, în secțiunea transversală ~ 0,22 mm.

Structura materialului este feritică cu granulație ~ (7–7,5) iar la margine pe ~ 0,3 mm în jurul defectelor granulație neuniformă mai fină.

Unele aspecte-foto, privind analizele metalografice, au fost prezentate într-un capitol anterior.

Datorită răcirii pe calea cu role la ieșirea din trenul finisor cu primele secții de răcire, temperatura de rulare a fost cuprinsă între (520-570)°C, iar cementita terțială a fost dispusă în peliculele discontinui la limita de grăunte.

Incluziunile nelimitate pe probele analizate sunt oxidice și nitridice, dispuse pe toată grosimea benzii, a căror sumă pe același câmp nu depășește însă valoarea de 2,5.

În cazul unui oțel cu conținutul de carbon la limita maximă (%C–0,08), materialul are o structură feritică fină, de punctaj (9–11), cu cantități mari de cementină depusă la limita grăunților.

Față de aceasta, oțelul cu conținutul scăzut de carbon, de 0,03% are o structură feritică, cu granulație mai mare, de punctaj (7–9), cementita fiind dispusă în pelicule discontinui pe limita de grăunte.

Diametrul mediu al grăunților pentru acest oțel este de aproape două ori mai mare decât a celuilalt, cu conținut de carbon ridicat, aceasta datorându-se și unei temperaturi de sfârșit de laminare de (850-880)°C, față de (800-820)°C.

Granulația mai mare în stare laminată la cald se corelează cu conținutul mai scăzut de carbon, care conduce la existența unei cantități mai mici de fază secundară, creșterea granulației producându-se mai rapid după laminarea la cald.

În ceea ce privește caracteristicile mecanice se arată că pe probele prelevate, din rulourile de bandă laminată la cald, s-au efectuat încercări de tracțiune și de duritate HRB.

Din analiza valorilor caracteristicilor mecanice și de duritate a rezultat o îmbunătățire a plasticității benzii în care granulația este mai mare, de punctaj 8 sau (8–9).

Limita de curgere a scăzut la valori de 290–305 MPa de la (318–337) MPa în cazul unei granulații fine de punctaj (9–10) sau 10, iar alungirea la rupere A5 a crescut la (32–34)% de la (27–30)%. Valoarea durității a scăzut și ea de la (67–72) HRB la (59–62) HRB, îmbunătățindu-se capacitatea de deformare la rece a benzii.

Aceasta permite atât aplicarea unor grade mai mari de reducere la laminarea la rece cât și obținerea unor abateri mai strânse la grosimea a benzii, laminarea realizându-se cu forțe de laminare mult sub limita admisă în cajele de laminare la rece.

Pentru calitatea FeO4 de ambutisare adâncă, încadrarea în clasa de calitate a caracteristicilor mecanice a fost de aprox. 80% pentru grosimi mai subțiri de 0,70 mm și de peste 85% la grosimi cuprinse între (0,70–1,30) mm.

Valorile coeficienților de anizotropie normala r_{90} și de ecrisare n_{90} ce caracterizează capacitatea de ambutisare adâncă a benzii au fost de peste 1,6 și respectiv 0,180 la acele rulouri la care caracteristicile de rezistență și plasticitate s-au încadrat în norma de produs.

d) Concluzii

În urma analizei parametrilor tehnologici realizați și a corelației acestora cu caracteristicile mecanice și structurale ale benzii la cald și la rece a rezultat că alături de compoziția chimică, ponderea cea mai mare de influență asupra caracteristicilor mecanice ale benzii finale o au grosimea benzii, mărimea granulației feritice și gradul total de reducere la rece precum și temperatura de sfârșit de laminare și de înfășurare.

Pentru a realiza o încadrare cât mai mare a nivelului calitativ al benzilor de ambutisare adâncă pentru industria de automobile, la nivelul oxigențelor normei SR EN 10.130–94 au fost operaționalizate următoarele propuneri tehnologice :

- încălzire uniformă atât pe lățimea slebului cât și pe grosime ;
- temperatura de sfârșit de laminare la cald peste 840° C și a celei de înfășurare cuprinsă între (510–570)°C. ;
- proprietăți fizico – mecanice uniforme pe lungimea și lățimea benzii.

CAPITOLUL AL VII – LEA

MĂSURI DE NATURĂ TEHNICĂ PENTRU MODERNIZAREA FLUXULUI DE FABRICAȚIE

Fluxul integrat de fabricație cuprinde următoarele segmente principale :

- elaborarea oțelurilor ;
- turnarea semifabricatelor ;
- încălzirea semifabricatelor ;
- laminarea.

În ceea ce privește elaborarea oțelurilor și turnarea semifabricatelor măsurile importante de îmbunătățire au constat în tratarea în vid a topiturilor și turnarea continuă. *În această lucrare nu se insistă asupra acestor două aspecte.*

7.1. Modernizare în zona cuptoarelor cu propulsie pentru încălzirea sleburilor

Modernizarea cuptorului cu propulsie a vizat instalația de ardere, glisiere, boltă și fațadă descărcare cuptor, instalație de reglare, sistemul de automatizare.

Rezultatele privind indicatorul principal, și anume consumul specific de energie, sunt sintetizate în diagrama din figura 7.1.

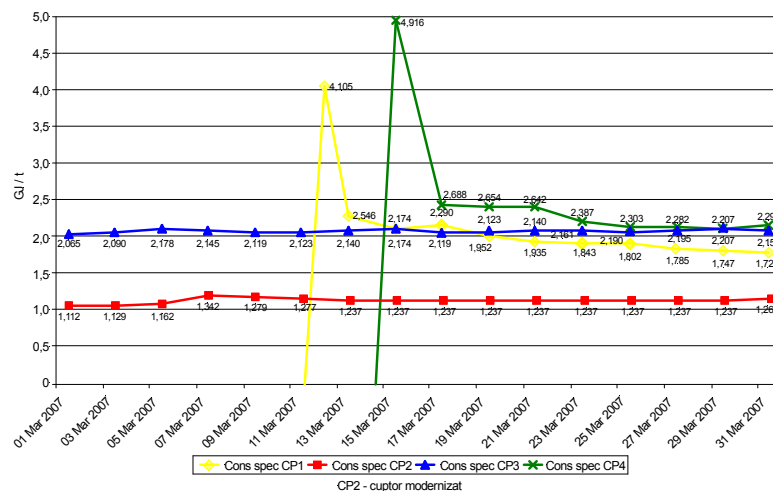


Fig. 7.1. – Consum energetic specific la patru cuptoare cu propulsie (CP) [RP]

7.2. Modernizarea trenului finisor

Modernizările realizate au fost următoarele :

- pentru reglarea grosimii pe direcția longitudinală: instalația de reglaj automat hidraulic (RAG) pe ultimele 3 caje finisoare (F5, F6, F7);
- pentru reglarea profilului și planeității benzii: dispozitive de contracurbare pozitivă a cilindrilor de lucru la ultimele 3 caje finisoare (F5, F6, F7), combinate cu dispozitive de deplasare axială cu 400 mm (± 200 mm), pentru o repartizare mai bună a uzurii cilindrilor și pentru evitarea subțierii marginilor benzii.

De asemenea, pentru reducerea timpilor de oprire a liniei de laminare datorată schimbărilor de cilindri, s-a prevăzut și un sistem de schimbare rapidă a cilindrilor de lucru ai trenului finisor.

Concret, cercetările au abordat modernizarea următoarelor obiective :

- **Sistemul automat de reglarea grosimii benzii (RAG) cu acționare hidraulică :**
 - cilindrii hidraulici ;
 - bucla închisă de reglaj automat al grosimii nominale ;
 - schema de impunere a grosimii și temperaturii de laminare.
- **Sistemul automat de reglare a planeității și profilului benzii :**
 - dispozitiv de curbare a cilindrilor de lucru ;
 - dispozitiv de deplasare axială acilindrilor de lucru ;
 - bucla închisă de reglaj automat al profilului și planeității.

Rezultatele activităților privind modernizarea trenului finisor sunt materializate în figurile 7.2-7.9.

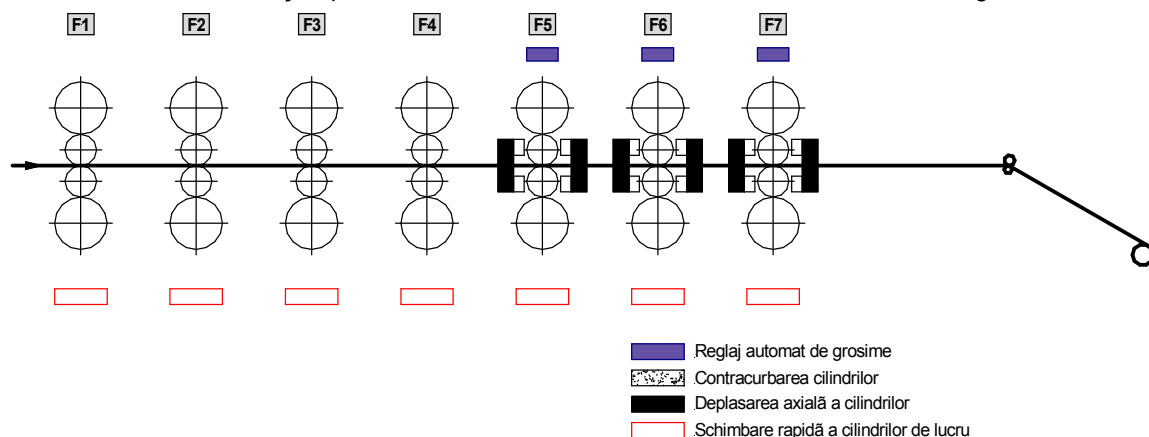
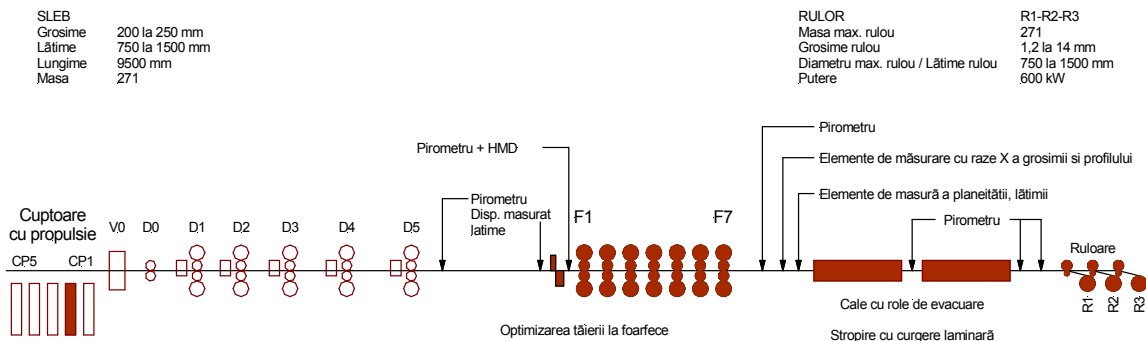


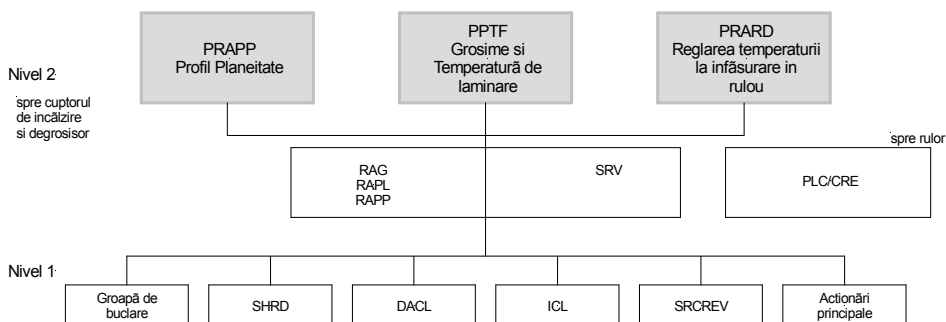
Fig. 7.2 - Modernizările prevăzute la trenul finisor [RP]



KM - REGLARE AUTOMATĂ

Cajele finisoare	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Putere (kW)	6300	6300	6300	6300	6300	6300	6300
Viteza cilindrilor (m/s)	3.7	5.6	7.8	10	13	15.7	18
Raport de transmisie	Direct	Direct	Direct	Direct	Direct	Direct	Direct
Incovoiere cilindri de lucru	40 t	40 t	40 t	40 t	200 t	200 t	200 t
Deplasare axială a cilindrilor de lucru					±200 mm	±200 mm	±200 mm
Forța hidraulică la cilindru					3000 t	3000 t	3000 t
Diametrul cilindrilor de sprijin (mm)	1500/1430	1500/1430	1500/1430	1500/1430	1500/1430	1500/1430	1500/1430
Lungimea tăbliei (mm)	1700	1700	1700	1700	2100	2100	2100
Diametrul cilindrilor de lucru (mm)	700/750	700/750	700/750	700/750	700/750	700/750	700/750
Lungimea tăbliei (mm)	1700	1700	1700	1700	2100	2100	2100

Fig. 7.3. - Laminorul de bandă la cald după modernizare [RP]



PPTF = Program de presetare tren finisor si reglaj automat de grosime
PRAPP = Program reglaj automat de profil si planeitate
PRARD = Program de reglaj automat racire dirijata
RAG = Reglarea automată de grosime
RAPL = Reglarea automată a planeității
RAPP = Reglarea automată a profilului
SRV = Reglarea automată a turatiei motorului si dulap electric pentru succesiunea operatiilor

PLC/CRE = Dulap electric pentru calea cu role de lesire
HGC = Sistem hidraulic de reglare a dimensiunilor
WRB = Incovoierea cilindrilor de lucru
WRS = Deplasarea axială a cilindrilor de lucru
ROTC = Sistem de răcire pe calea cu role de evacuare

Fig. 7.4. – Structura sistemului de automatizare [RP]

REGLAREA AUTOMATĂ GLOBALĂ

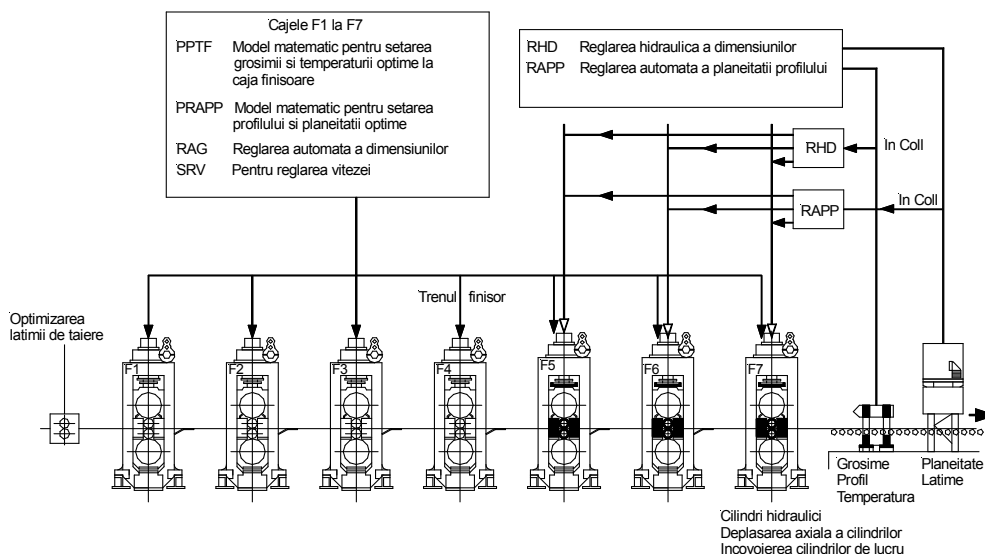


Fig. 7.5. - Pachetul de automatizare a trenului finisor [RP]

Reglarea grosimii nominale

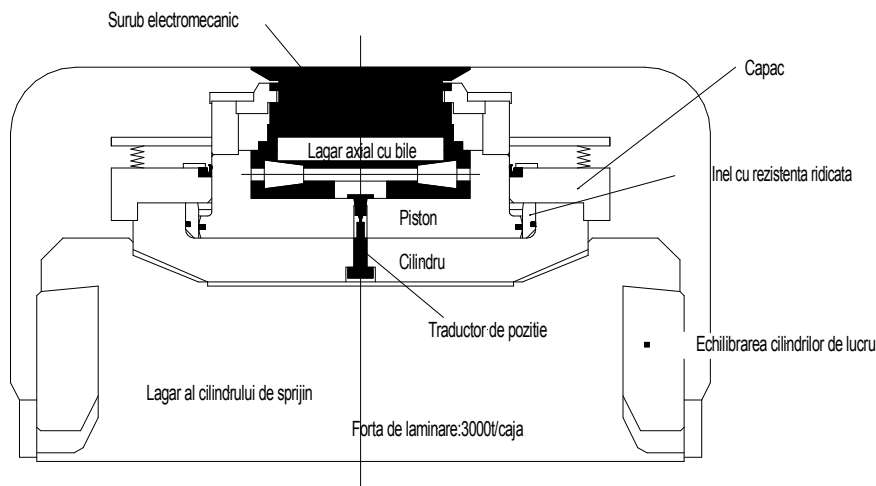


Fig. 7.6. – Capsula RAG pentru forța de frecare redusă [RP]

CONTROLUL PLANEITĂȚII ȘI PROFILULUI

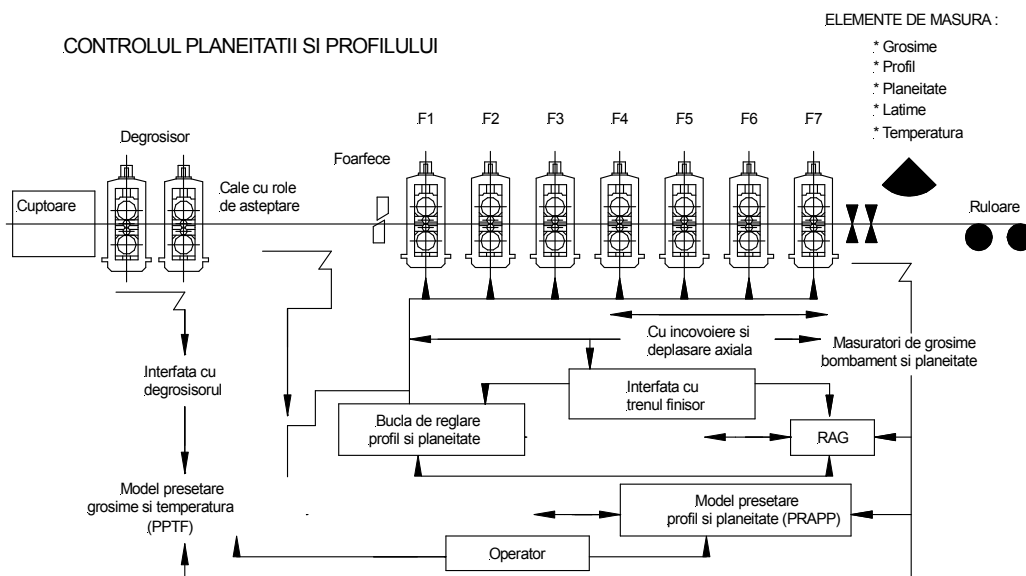


Fig. 7.7 – Pachetul PRAPP într-un laminor de bandă la cald [RP]

REGLAREA GROSIMII NOMINALE

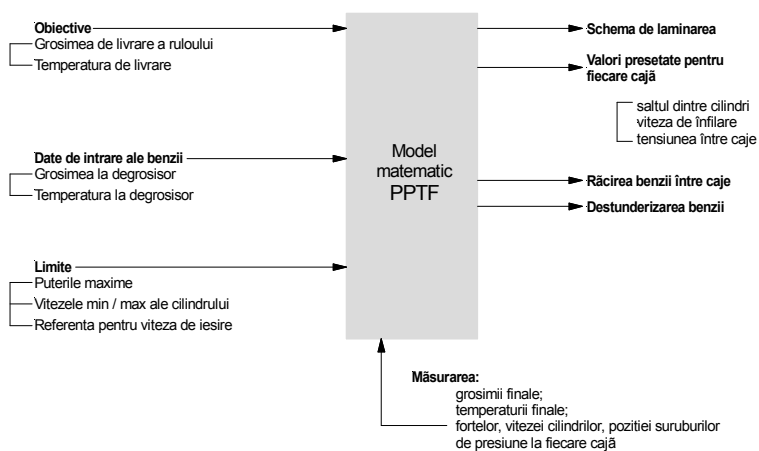


Fig. 7.8. - Intrările / ieșirile modelului PPTF [RP]

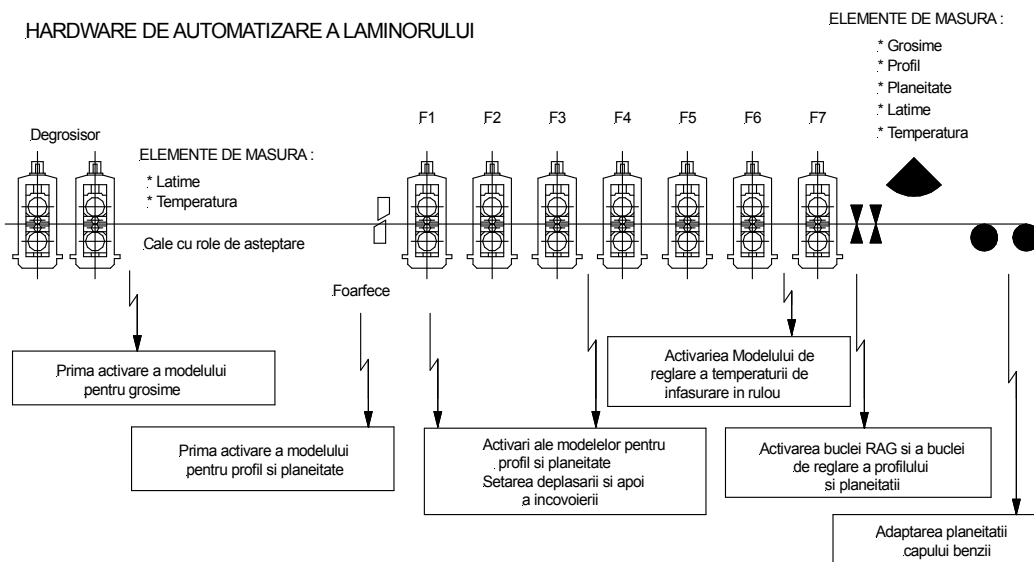


Fig. 7.9. - Punctele de activare a modelelor LBC [RP]

Modernizarea instalației de răcire dirijată a benzii

Este un sistem modern de răcire cu jeturi de apă prin curgere laminară, pornind de la necesitatea reglării temperaturii de înfășurare în rulo (figura 7.11).

REGLAREA TEMPERATURII DE INFASURARE IN RULOU

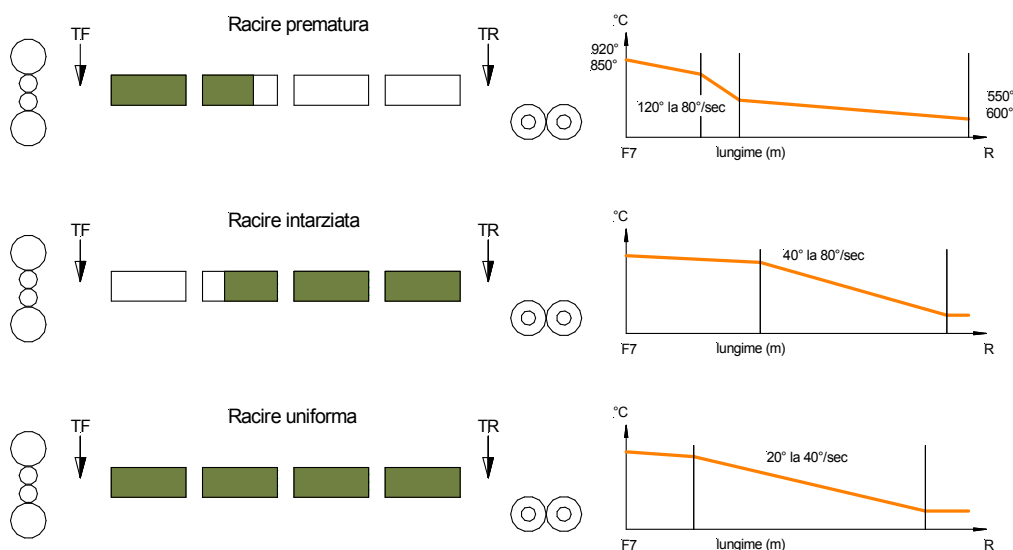


Fig. 7.11. - Timpul de răcire a benzii – viteză reglabilă de răcire [RP]

Modernizarea unui rulo s-a bazat pe o tehnologie de înfășurare descrisă, pe scurt, în continuare

Traductorul de lățime amplasat în fața ghidajelor laterale măsoară lățimea reală a produsului și descenterarea benzii în raport cu axa căii cu role.

În funcție de aceste informații ghidajele de intrare acționate hidraulic sunt poziționate la o lățime mai mare decât lățimea benzii pentru ușurarea angajării.

După detectarea benzii în rolele de tragere, ghidajele laterale se retrag brusc (cursă scurtă) la lățimea benzii pentru asigurarea unei ghidări corecte în timpul secvenței de angajare.

Capul benzii este în continuare urmărit prin detectarea accelerometrului :

- pe rolele de tragere;
- pe fiecare rolă de formare.

Buna urmărire a capului benzii este o condiție necesară pentru derularea secvenței "jump control", care constă în ridicarea brațului rolei de formare în momentul trecerii benzii pentru limitarea șocurilor și a imprimărilor pe rulo.

Rola de formare este reglată în poziția care să permită trecerea capului benzii. De îndată ce s-a efectuat saltul și rola de formare este în contact cu banda, cilindrul hidraulic de comandă este reglat la

presiunea de asigurare a unei tensiuni omogene în bandă și a miezului ruloului bine strâns. După formarea primelor trei spire, dornul este expandat (80% din diametrul maxim) și rolele de formare sunt îndepărtate.

CAPITOLUL AL VIII – LEA

EVALUAREA ACTIVITĂȚILOR PRIN PRISMA UNOR ELEMENTE DE INGINERIE ECONOMICĂ

Eficiența modernizării realizate, într-un combinat siderurgic din România, a fost evaluată prin doi indicatori tehnico-economici de calitate :

- scoaterea comercială de bandă laminată la cald ;
- căderile pe defecte (cauze) de calitate.

Au fost analizate două situații :

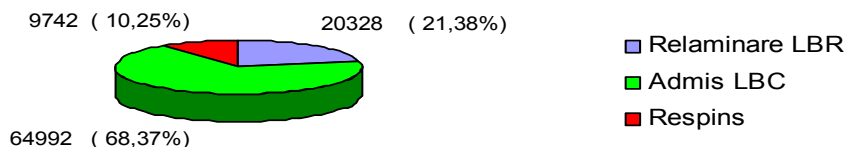
- înainte de modernizarea laminorului (1-31 ianuarie 2000) ;
- după modernizare (1-31 ianuarie 2007).

Rezultatele analizelor sunt prezentate în materialele grafice care urmează. [RP]

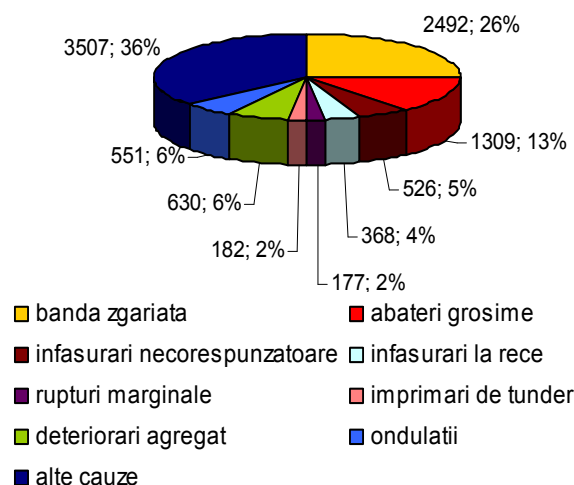
8.1. Situatia scoaterii comerciale de banda laminata la cald si a caderilor pe cauze înaintea modernizarii laminorului (1-31 ianuarie 2000)

a) TOTAL GENERAL	t	Cauzele caderilor	t
TOTAL INSPECTAT (LBC)	74734	banda zgariata	2492
Relaminare LBR	20328	abateri grosime	1309
Admis LBC	64992	infasurari necorespunzatoare	526
Respins	9742	infasurari la rece	368
Scoatere comerciala	68,37%	rupturi marginale	177
		imprimari de tunder	182
		deteriorari agregat	630
		ondulatii	551
		alte cauze	3507

Situatia scoaterii comerciale, inaintea modernizarii laminorului (1-31 ianuarie 2000)



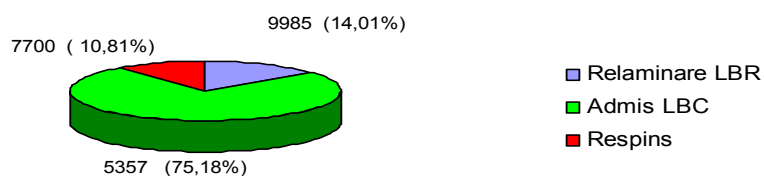
**Cauzele caderilor, inaintea modernizarii laminorului
(1-31 ianuarie 2000)**

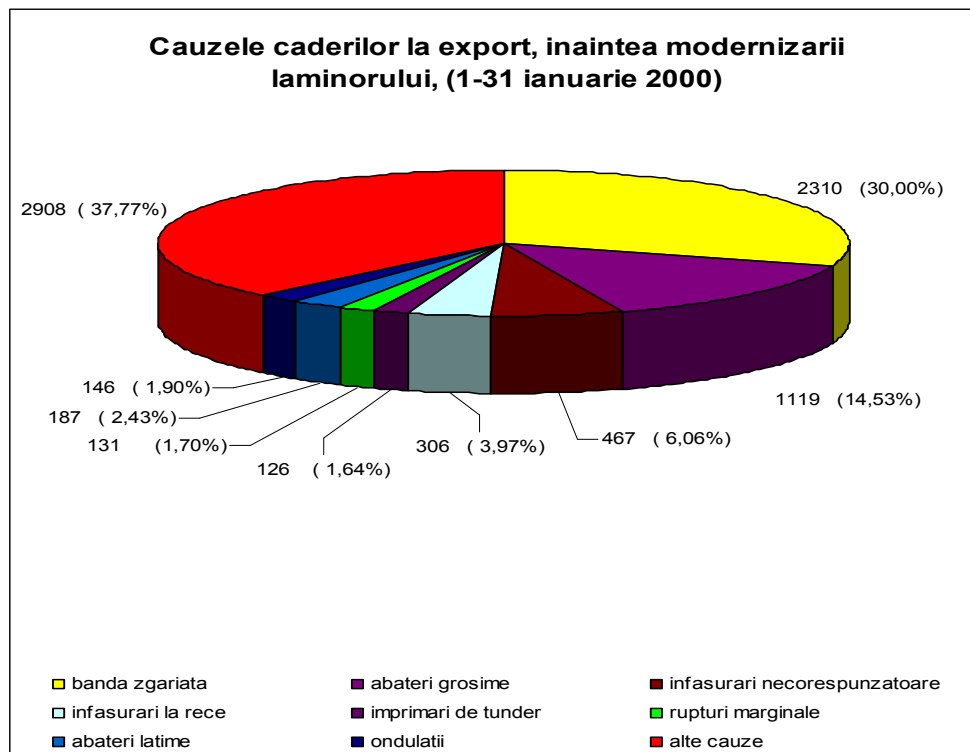


b) Situatia scoaterii comerciale la export, inaintea modernizarii laminorului (1-31 ianuarie 2000)

	t	Cauzele caderilor	t
TOTAL GENERAL	71261	banda zgariata	2310
TOTAL INSPECTAT	61276	abateri grosime	1119
Relaminare LBR	9985	infasurari necorespunzatoare	467
Admis LBC	53576	infasurari la rece	306
Respins	7700	imprimari de tunder	126
Scoatere comerciala	75,18%	rupturi marginale	131
		abateri latime	187
		ondulatii	146
		alte cauze	2908

Situatia scoaterii comerciale la export, inaintea modernizarii laminorului (1-31 ianuarie 2000)



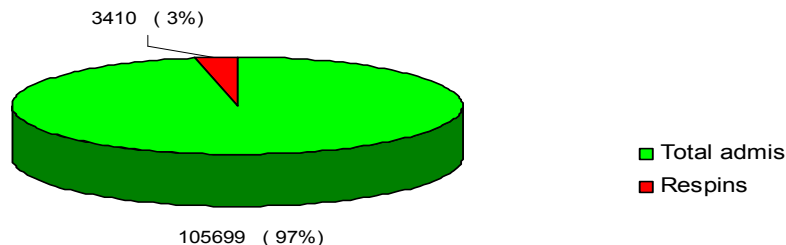


8.2. Situația scoaterii comerciale de bandă laminată la cald și a căderilor pe cauze după modernizarea laminorului (1-31 ianuarie 2007)

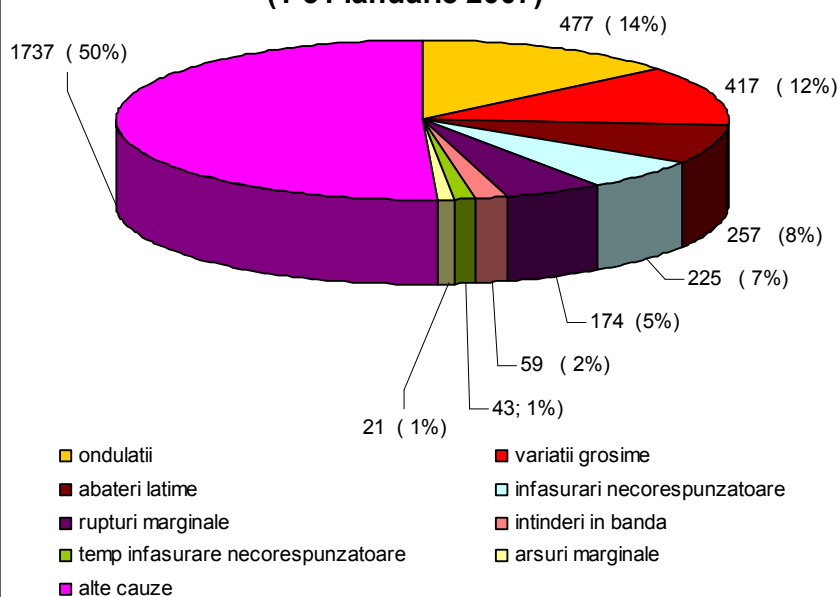
a) TOTAL GENERAL

		Cauzele caderilor	t
TOTAL INSPECTAT	109110	ondulatii	477
Total admis	105699	variatii grosime	417
Respins	3410	abateri latime	257
Scoatere comerciala	96,98%	infasurari necorespunzatoare	225
		rupturi marginale	174
		intinderi in banda	59
		temp infasurare necorespunzatoare	43
		arsuri marginale	21
		alte cauze	1737

Situatia scoaterii comerciale dupa modernizarea laminorului (1-31 ianuarie 2007)



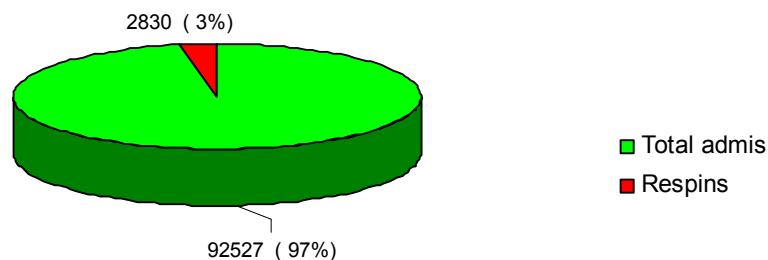
Cauzele caderilor, dupa modernizare laminor (1-31 ianuarie 2007)



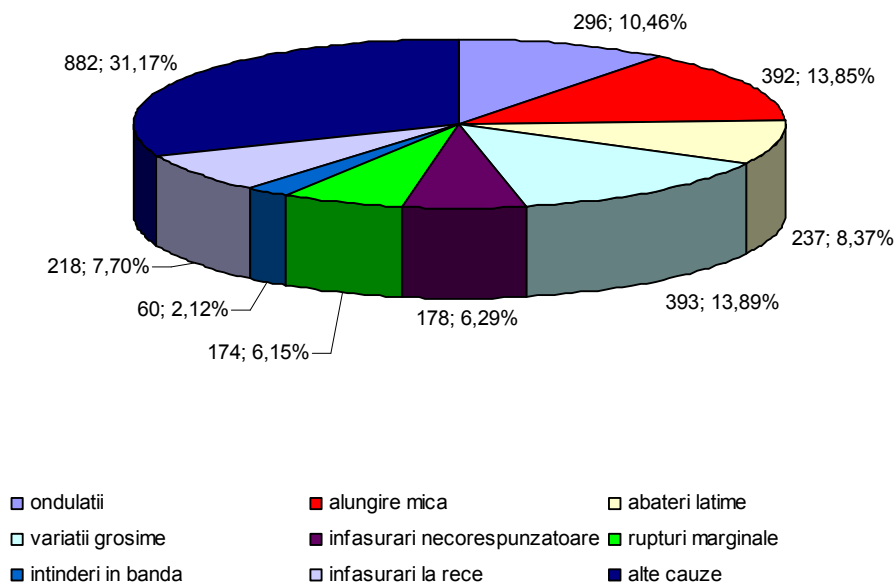
b) Export

TOTAL INSPECTAT		Cauzele caderilor	
Total admis	95376	ondulatii	t
Respins	92527	alungire mica	296
Scoatere comerciala	2830	abateri latime	392
	96,00%	variatii grosime	237
		infasurari necorespunzatoare	393
		rupturi marginale	178
		intinderi in banda	174
		infasurari la rece	60
		alte cauze	218
			882

Situatia scoaterii comerciale la export, dupa modernizarea laminorului (1-31 ianuarie 2007)



Cauzele caderilor la export, dupa modernizarea laminorului, (1-31 ianuarie 2007)



CAPITOLUL AL IX – LEA AUTOEVALUAREA LUCRĂRII

A. IMPORTANȚA ȘI OPORTUNITATEA rezolvării unei teme de cercetare, asemănătoare celei de pe coperta tezei de doctorat, se justifică în primul rând prin:

✚ Tema tezei de doctorat exprimată succint de *dobândirea calității benzilor din oțel laminate la cald prin modernizarea laminoarelor* constituie astăzi obiectiv major de **dezvoltare durabilă (DD)**, exprimat ca atare în Strategia Națională de Dezvoltare Durabilă a României (SNDDR). Modernizarea, ca instrument important pentru dobândirea calității materialelor și produselor metalice, este în același timp și **scop de inovare**, într-o industrie a cărei dezvoltare nu mai poate fi concepută în afara operaționalizării *conceptului de cercetare-dezvoltare-inovare (CDI)*. În acest context subliniem de la bun început că însăși SNDDR explicitează rolul însemnat al *dezvoltării prin proiectare* realizată în institute de proiectare specializate.

✚ Globalizarea **cere îmbunătățirea neîntreruptă a calității produselor**. Piața globalizată se caracterizează printr-o ofertă practic nelimitată de bunuri și servicii, mecanismul concurenței ajungând la perfecțiune. **Calitatea devine factorul decisiv al competitivității.** [1, 3, 16, 22]

- ✚ Introducerea progresului tehnic presupune asimilarea în fabricație a noilor materiale și produse și pentru aplicarea de **tehnologii și instalații noi și modernizate, de sisteme de mecanizare și automatizare**.
- ✚ *Rolul central jucat de inovare*, ca motor al creșterii economice și ca piatră de hotar în politica de susținere a întreprinderilor, a fost subliniat la Consiliul European desfășurat la Lisabona în martie 2000. Consiliul Europei a elaborat un program ambițios, menit să permită crearea infrastructurii economiei bazate pe cunoaștere, pentru a favoriza **inovarea și reformele economice și pentru modernizarea sistemelor de educație, de securitate socială și de producție**.
- ✚ Performanța calitativă trebuie astfel programată și proiectată, încât **modernizarea să rezulte ca o entitate coerentă și intercondiționată** dintre:
 - *modernizarea de proces;*
 - *modernizarea de instalație;*
 - *modernizarea de produs.*

B. JUSTIFICAREA LANSĂRII ÎN CERCETARE A UNEI ASTFEL DE TEME este dovedită, în principal, de faptul că ea este menită să contribuie la *îmbogățirea patrimoniului de cunoștințe din ingineria materialelor și produselor* metalice prin modernizarea unor zone tehnico-tehnologice precum: segmentul reprezentat de cuptoarele cu propulsie, laminarele semicontinui, eliminarea abaterilor de lățime, reglarea automată a lățimii benzilor, controlul profilelor, automatizarea și conducerea pe calculator, proiectarea și fabricarea de noi materiale metalice pentru benzile destinate unor ramuri de vârf (industria auto și industria electrotehnică).

C. ASPECTELE DE NOUȚATE rezultate în urma analizării lucrării pot fi cuantificate după cum se relatează în cele ce urmează:

1. Cantitativ, aportul este ilustrat de:

- dintr-un total de 118 de pagini cca 70% constituie text original;
- materialele grafice, de prelucrare matematică și tabelele se prezintă numeric astfel:

Figuri		Relații		Tabele	
Din literatură	Proprii	Din literatură	Proprii	Din literatură	Proprii
23	41	12	20	5	9

2. Țintele concrete ale tezei vizează obiective originale deoarece:

- se demonstrează că segmentul de dezvoltare-inovare reprezentat de activitatea de proiectare din institute specializate precum IPROLAM, poate și, trebuie să genereze lucrări de nivelul tezelor de doctorat;
- se dovedește că modernizarea echipamentelor și instalațiilor poate fi sursă de îmbunătățire a calității;
- se arată că măsurile de modernizare a echipamentelor și instalațiilor pot fi predicționate prin cercetare experimentală preliminară.

3. Din punct de vedere științific

- Se fundamentează teoretic măsurile de modernizare prin automatizare. În acest context se stabilesc modele matematice transformabile în elemente de limbaj necesar funcționării componentelor de automatizare pentru:
 - proiectarea *modelelor de bază* (modelul deformării plastice, modelul proceselor termice, modelul deformației elastice a laminorului);
 - analiza *procesului de reîncălzire* datorită deformării plastice;
 - analiza procesului de *răcire la desțunderizare*;
 - analiza *adaptării*.
- Se stabilesc prin cercetare experimentală următoarele roluri și interdependențe:
 - rolul măsurilor antelaminare;
 - importanța *temperaturii de rulare* asupra structurii materialului;
 - influența *gradului de neuniformitate a încălzirii în cuptorul cu propulsie* asupra abaterilor de grosime;
 - modificarea structurii la *variația reducerilor din trenul finisor*;
 - finisarea structurii funcție de *gradul de reducere și temperatura de sfârșit de laminare*;
 - influența *temperaturii de sfârșit de laminare și a temperaturii de încălzire în cuptorul cu propulsie* asupra unor proprietăți mecanice ale benzilor.
- S-au utilizat metodologii de cunoaștere moderne:
 - modelarea matematică predicțională a proceselor metalurgice și a instalațiilor tehnologice;
 - prelucrarea tabelară a datelor;

- prelucrarea grafică a datelor;
- obținerea de modele matematice prin prelucrarea statistică a informațiilor.
- Într-un studiu detaliat, privind rigorile de calitate impuse benzilor, se propune o nouă clasificare a specificațiilor: - calitatea internă – defecte de suprafață – abateri geometrice, dimensionale și de formă – defecte de compactitate – defecte de natură tehnologică.

4. Din punct de vedere tehnico-tehnologic

S-a cercetat, prin proiectare și validare, rolul măsurilor de modernizarea echipamentelor și instalațiilor în ce privește calitatea benzilor. Astfel, pe bază de proiecte, norme și instrucțiuni proprii au fost operaționalizate următoarele modernizări pe fluxul de fabricație:

- elaborarea și tratarea în vid a oțelurilor și turnarea continuă a sleburilor;
- modernizarea cuptorului cu propulsie, fapt care a condus la micșorarea consumului specific de energie de la cca 1,7 GJ/t la cca 1,3 GJ/t;
- perfecționarea sistemului automat de reglarea grosimii benzii;
- modernizarea sistemului de asigurare a planeității și profilului;
- modernizarea instalației de răcire dirijată a benzii;
- modernizarea ruloarelor.

5. Din punct de vedere economic

Apelând la elemente de analiză ținând de ingineria economică, în lucrare se prezintă un studiu amănunțit menit să evidențieze avantajele modernizărilor operaționalizate în micșorarea abaterilor de la normele de calitate.

D. DISEMINAREA REZULTATELOR ȘI A CUNOȘTIINȚELOR s-a făcut prin publicarea de lucrări originale în legătură cu titlul tezei:

- 6 articole în reviste de specialitate;
- 2 comunicări la manifestări științifice;
- 4 certificate de inovator.

E. PERSPECTIVELE CERCETĂRIILOR

Lucrarea de față nu este un capăt de linie. Nici nu ar fi de dorit, atâta timp cât există, însă în mod sigur, motive obiective de continuare a cercetărilor în vederea îmbunătățirii și mai avansate a calității benzilor din oțel. Într-un astfel de context semnalăm unele necesități care ar trebui avute în vedere în cazul lansării pe piața cercetării și proiectării a unor lucrări privind modernizarea laminoarelor.

- ✚ Ar deveni importantă și interesantă optimizarea parametrilor de funcționare (exploatare) a echipamentelor modernizate în condițiile minimizării defectelor de calitate.
- ✚ Vor trebui intensificate eforturile privind modelarea proceselor și echipamentelor având ca țintă optimizarea indicatorilor de calitate.
- ✚ Măsurile de obținere a calității trebuie corelate cu cele de mărire a indicatorilor tehnico-economici (de exemplu: mărirea vitezelor de laminare).
- ✚ Trebuie stabilite limitele de minimizare a consumurilor specifice (de materiale și energetice) în condițiile respectării specificațiilor de calitate.
- ✚ Devine necesară introducerea în planurile de cercetare și proiectare a temelor referitoare la extinderea posibilității de turnare continuă a benzilor.

BIBLIOGRAFIE

1. Cănanău, N, s.a. – "Calitate totală", E.D.P, București, 2005;
3. Nicolae, A; Nicolae, Maria; Predescu, C – "Calitatea produselor. Tehnica măsurătorilor metalurgice" – E.D.P, București, 1991;
5. Mândru, C – "Cercetări privind îmbunătățirea calității oțelurilor speciale prin metalurgie secundară" – Teză de doctorat, U.P.B, 2008 (conducător: Nicolae, Maria);
6. Ameling, D – "Oțelul - material inovativ" – In "Stahl u. Eisen" nr. 6, p. 83, 1999;
7. Lindberg, H.U – "Contribuția cercetării metalurgice la îmbunătățirea calității" – In "Stahl u. Eisen", 1999, nr. 5, p. 79;
8. Rizescu C; Ionescu, E – "Materiale informative documentare" – Uniromsider, București, 2000-2005;
9. Treppschuh, F – "Noi tehnologii și echipamente în siderurgie" - In "Stahl u. Eisen" - 2003, nr. 2, p. 59;
10. Vacu, Silivia, s.a. – "Elaborarea oțelurilor aliate" – Ed. Tehnică, București, 1983;
11. Vondran, R – "Noi tehnologii și echipamente în siderurgie" - In "Stahl U. Eisen", 2000, nr. 6, p. 19;
13. Sohaci, Mirela – "Diversificarea surselor de alimentare cu materiale și energie la elaborarea oțelului" – Teză de doctorat, U.P.B, 2005 (conducător Nicolae, A) ;
15. Dina, Vasilica – "Transfer de căldură și instalații tehnice metalurgice" – E.D.P., București, 1996 ;
16. Nicolae, Maria; Nicolae, A; Predescu, C, ș.a. – "Dezvoltare durabilă în siderurgie prin valorificarea materialelor secundare", Ed. Printech, București, 2004;
17. Nicolae, A; Predescu, C – "Bazele teoretice ale agregatelor termotehnologice din industria materialelor metalice" – Ed. Printech, București, 2001;
18. Schwich, V – "Procesarea tablelor la ARCELOR MITTAL Poland" – In "MPT. Int", 2008, nr. 2, p. 92 ;
19. * "Controlul la laminoare" – In "MPT. Int", 2207, nr. 11, p. 112 ;
* *
20. * "Probleme de tehnologie și de cercetare la laminoare" - In "Stahl u. Eisen", 2007, nr.
* * 11, p. 98;
21. Vîrlan, R – "Studii și cercetări referitoare la îmbunătățirea procesului de laminare a tablelor destinate emailării" – Teză de doctorat, U.P.B., 2007 (conducător Nicolae, A) ;
22. Assano, M – "Îmbunătățirea calității bramelor turnate continuu" – In "Revista Meta - CIT", 1995, nr. 7-8, p. 963 ;
23. Banabic, D – Dörr, I. R – "Deformabilitatea tablelor metalice subțiri" – I.P.F, București, 1982;
24. Cazimirovici, E – "Teoria deformării plastice" – Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981;
26. Cazimirovici, E – "Teoria laminării" – Editura BREN, București, 2001;
29. Cazimirovici, E ; Samoilescu, S – "Calibrarea cilindrilor de laminare" – Editura Tehnică, București, 1987;
30. Kritchlez, S – "Calitatea suprafețelor laminatelor" – în "MPT Int.", 2005, nr. 4, p. 78 ;
32. Ehl, R – "Controlul temperaturii la laminare" – E.D.P, București, 2006, nr. 1, p. 38 ;
33. Genser, B – "Progrese în fabricarea platelor" - In "Stahl u. Eisen", 1999, nr. 4, p. 99;
34. Kieb, R – "Linii integrate de laminare" - In "Stahl u. Eisen", 2004, nr. 5, p. 78 ;
35. Kirch, H. J – "Viteze mari la laminarea platelor" - In "Stahl u. Eisen", 1989, nr. 3, p. 57 ;
36. Lemon, S - "Controlul automat al calității la laminare" - în " In "Stahl u. Eisen", 2002, nr. 11, p. 103;
37. Michael, D – "Optimizarea geometriei produselor plate" – In "Stahl u. Eisen", 1999, nr. 3, p. 35 ;
39. Oprescu, I ; Vircolau, I ; Grosu, V – "Utilaje specifice sectoarelor de prelucrări metalurgice" – E.D.P, București, 1983 ;
41. Rădulescu, C., Guțu, M., Derlogea, Ș., – "Utilaje de laminare" - Ed. Tehnică, București, 1979;
42. Rosenthal, D – "Optimizarea proceselor la fabricarea produselor plate" – In "Stahl u. Eisen" nr. 11, p. 47, 2000 ;
43. Svejkskij, S – "Calitate la fabricarea laminatelor" – In "MPT. Int. " – 2006, nr. 2, p. 74;
45. Virlan, R; Nicolae, A – "Optimizarea parametrilor la laminarea benzilor" – In "Metalurgia", 2005, nr. 4, p. 3;
46. Adrian, M – "Tehnologia laminării" – Editura Tehnică, București, 1977;
47. Cijikov, Iu. M – "Prokatnoe proizvodstvo" – Metallurgizdat, Moskva, 1956;
48. Scerbina, N. A – "Goriacia prokatka listov" – Metallurgizdat, Moskva, 1948;
49. Adrian, M – "Laminarea la cald a tablelor și benzilor" – Editura Tehnică, București, 1987;
52. Najarov, S. T – "Defectosopia nedistructivă a materialelor" – Editura Tehnică, București, 1964;

54. Haptjenstein, R – "Detectarea defectelor de suprafață la laminate" – In "Stahl u. Eisen", 1965, nr. 9, p. 513;
55. Brand, L – "Controlul continuu al benzilor laminate la cald" – In "Stahl u. Eisen", 1975, nr. 9, p. 519;
56. Fink, K – "Controlul nedistructiv al laminatelor la cald" – In "Stahl u. Eisen", 1985, nr. 6, p. 353;
57. Geipel, H - "Prelucrarea suprafețelor laminatelor" – In "Stahl u. Eisen", 1961, nr. 12, p. 787 ;
59. Bohm, C – "Cerințe de calitate la oțelurile pentru benzi" – In "Hutnicke Listy", 1969, nr. 3 ;
60. Vrsek, J – "Probleme tehnologice la fabricarea tablelor" – In "Hutnicke Listy", 1968, nr. 9 ;
61. Vrsek, J – "Structura benzilor din oțel" – In "Hutnicke Listy", 1979 nr. 5 ;
62. Janda, E – "Calitatea tablelor pentru electrotehnică" – In "Hutnicke Listy", 1978, nr. 11 ;
63. Kocinov, U. E – "Structura tablelor de transformator" – In "Izv. VUZ – Ciorn. Meta.", 1979, nr. 4;
64. Kadarmetov, A. H – "Calitatea rulourilor din benzi de oțel" – In "Izv. ANSSSR – Metall", 1969, nr. 3 ;
65. Ţelikov, A.I; Grişkov, A. I – "Teoria prokatki" – Metallurghia, Moskva, 1970;
66. Pavlov, I. M – "Teoria prokatki" – Metallurghia, Moskva, 1950;
67. Cazimirovici, E – "Schemă de reduceri pentru laminarea benzilor" – in "Metalurgia", 1972, nr. 10 ;
68. * * – "Atlas de defecte ale produselor laminate și trase din oțel – ICEM-CDP-MIM", București, 1967;
69. Vîrlan, R; Nicolae, A – "Modelarea procesului de laminare a benzilor" – In "Metalurgia", 2007, nr. 8, p. 5;
70. Nicolae A. s.a. – "Cercetări referitoare la îmbunătățirea lubrifierii la laminarea tablelor" – In "Metalurgia", 2007, nr. 7, p. 5;
71. OROWAN – "Calculul forței de laminare în laminoarele de produse plate la cald și la rece" - Proc. Inst. Mech. Engrs.;
72. SIMS-RB – "Calculul forței și cuplului de laminare în laminoarele de benzi la cald" – Proc. Inst. Mech. Engrs ;
73. **Mauthner, A. I** ; Nicolae, A – "Analiza unor procese termice de la laminarea la cald a benzilor" – In "Metalurgia", 2008, nr. 7, p. 14;
74. Nicolae, A; Vîrlan, R – "Operaționalizarea unor modele statistice în conducerea procesului de laminare a tablelor" – In "Metalurgia", 2008, nr. 2, p. 5;
75. **Mauthner, A. I** – în "IPROLAM S.A. București la aniversarea a jumătate de secol de activitate pe drumul integrării europene" – In "Metalurgia", 2008, nr. 3, P. I;
76. **Mauthner, A. I** ; Nicolae, A – "Presetarea parametrilor la automatizarea laminării benzilor din oțel" – In "Metalurgia", 2008, nr. 8, p. 11;
75. **Mauthner, A. I** – în "Centrarea automată a benzilor și liniilor de proces" – Comunicare la simpoziul Societatea Română de Metalurgie, 1996;
76. **Mauthner, A. I** – "Creșterea calității benzilor laminate la cald prin control automat de grosime, profil, planeitate" - Comunicare la simpoziul Societății Române de Metalurgie, 1997;
77. **Mauthner, A. I** – "Creșterea gradului de scoatere și a productivității liniilor de proces prin utilizarea agregatelor de sudat" – In "Metalurgia", 2005, nr. 2, p. 7;
78. **Mauthner, A. I** – "IPROLAM S.A. București la aniversarea a jumătate de secol de activitate a devenit un partener de încredere pe piața externă" - In "Metalurgia", 2008, nr. 4, p. I;
79. **Mauthner, A. I** – "Tendințe noi în modernizarea laminoarelor de benzi la cald" – în "Buletin IRCSID", vol. 16, nr. 2, p. 28, 2008;
80. **Mauthner, A. I** – "Mașina de lăcuit pentru benzi electrotehnice" – Certificat de inovator nr. 45/29.12.1980;
81. **Mauthner, A. I** – "Dispozitiv de ridicare și transport mecanizat al rulourilor și stivei de rulouri, înguste cu ax vertical, cu acționare electromecanică electrotehnice" – Certificat de inovator nr. 23/28.01.1982;
82. **Mauthner, A. I** – "Mașina de sudat benzi cu role prin suprapunere electrotehnice" – Certificat de inovator nr. 141/26.05.1983;
83. **Mauthner, A. I** – "Stivuitoare pentru linii rapide de tăiere transversală electrotehnice" – Certificat de inovator nr. 184/22.06.1983.