

**CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA  
LAMINĂRII  
TABLELOR SUBȚIRI(SUB 0,5 MM)**

TEZĂ DE DOCTORAT

ing. SOLOMON RAUL VALENTIN

642.444  
369 E

Conducător științific :  
Prof.dr.doc.șt.dhc.ing. NANU AUREL

2004

Introducere.	5
Capitolul I Stadiul actual al dezvoltării industriei siderurgice.	
1.1 Economia mondială la începutul mileniului III.	13
1.2 Siderurgia la începutul mileniului III.	14
1.3 Siderurgia românească.	15
1.4 Restructurări și re tehnologizări în siderurgie.	17
1.5 Tendințe de viitor în fabricația de benzi din oțel.	20
1.5.1. Metalurgia secundară.	25
1.5.2. Sisteme de fabricație a benzilor.	30
1.5.3 Fabricația benzilor utilizând instalațiile de tip DSC-Direct Strip Casting.	36
1.5.3.1 Principiul și caracteristicile procedurii de fabricație a benzilor la cald utilizând instalațiile de tip DSC.	36
1.5.3.2 Factori determinanți în derularea optimă a procesului de fabricație continuă a benzilor la cald, caracteristici principale ale instalației de tip DSC.	37
1.6 Concluzii.	42
Capitolul II Utilaje pentru laminarea benzilor subțiri.	
2.1 Caje de laminare.	43
2.1.1. Caje duo.	43
2.1.2. Caje cuarto.	43
2.1.3. Caje cuarto optimizate.	48
2.1.4. Caje policilindrice.	49
2.2 Profilarea cilindrilor de laminare în sistem CVC (Continuously Variable Crown-Effekt).	50
2.2.1. Echiparea cajelor de laminare cu cilindrii rectificați tip CVC și sistemele de reglare aferente.	52
2.2.2. Variația vitezelor pe lungimea tăbliei în cazul utilizării cilindrilor de tip CVC.	53
2.2.3. Uzura cilindrilor de lucru și de sprijin.	54
2.2.4. Concepte de reglare tehnologică.	54
2.3 Modernizarea unui laminor de benzi la rece.	56
2.3.1. Propuneri de modernizări a cajelor de laminare a benzilor la rece din Complexul Industrial Oțelu-Roșu.	59
2.4 Optimizări constructive ale laminorului cuarto Ø255/Ø750×750 mm de benzi late subțiri din cadrul unității siderurgice Oțelu-Roșu.	61
2.4.1. Montarea unui sistem de tensionare a cilindrilor de lucru.	61
2.4.2. Montarea unui sistem de încărcare negativă a cilindrilor de lucru.	62
2.4.3. Modificarea interstițiului de laminare prin înclinarea diferită a celor doi cilindrii de lucru.	62
2.4.4. Controlul și reglarea temperaturii cilindrilor de lucru.	63
2.4.5. Sistemul de măsurare, control și reglarea planeității benzii laminate la rece.	64
2.4.6. Adaptarea unui sistem hidraulic de fixare-înclemare a cilindrilor de lucru în ansamblul cajei de laminare.	65
2.4.7. Controlul și reglarea parametrilor dinamici în cadrul procesului de laminare.	65
2.4.8. Sistemul automat de control, măsurare și reglare a grosimii benzii laminate la rece.	66

2.4.9. Sistemul CVC de profilare al cilindrilor de lucru și reglare a interstițiului de laminare.	67
2.4.10. Sistemul automat de reglare a excentricității cilindrilor de lucru față de axa mediană a cilindrilor de sprijin și ai cajei.	69
2.5 Concepte noi în proiectarea instalațiilor de laminare a benzilor.	70
2.5.1. Conceptul de proiectare Mill-Modelling al instalațiilor de laminare.	70
2.6 Concluzii.	78
Capitolul III Tehnologii aferente fabricării benzilor laminate la cald.	
3.1 Evoluția liniilor de laminare a benzilor late subțiri laminate la cald.	79
3.2 Tehnologia actuală de fabricație a benzilor laminate la cald.	82
3.3 Optimizarea fabricației benzilor în cadrul Complexului Industrial din Oțelu-Roșu.	84
3.4 Concluzii.	97
Capitolul IV Tehnologia de laminare la rece a benzilor din oțel.	
4.1 Optimizări în fabricația benzilor înguste laminate la rece.	103
4.2 Optimizarea procesului de laminare la rece a benzilor din oțel prin introducerea sistemului de măsurare a planeității fără contact.	106
4.3 Optimizarea procesului de laminare la rece a benzilor din oțel prin introducerea sistemului mecanic de compensare a excentricității rulorului.	107
4.4 Optimizarea procesului de laminare la rece a benzilor din oțel prin implementarea strategiilor de reglare automate.	107
4.5 Concluzii.	108
Capitolul V Sistemul de măsurare a grosimii benzii laminate la rece din cadrul Complexului Industrial Oțelu-Roșu.	
5.1 Metode de măsurare a grosimii benzilor laminate la rece.	109
5.2 Instalația de măsurare a grosimii benzii laminate la rece implementată în cadrul Complexului Industrial din Oțelu-Roșu.	110
5.2.1 Funcționarea sistemului de măsurare a grosimii benzii.	111
5.3 Rezultate ale implementării sistemului de măsurare a grosimii benzii laminate la rece în cadrul Complexului Industrial din Oțelu-Roșu.	112
5.4 Concluzii.	
Capitolul VI Evaluarea eficienței economice.	
6.1 Eficiența economică a implementării tehnologiei de turnare continuă a benzilor în cadrul Complexului Industrial din Oțelu-Roșu.	121
6.2 Eficiența economică a optimizărilor tehnologiei de laminare a benzilor subțiri-înguste în cadrul Complexului Industrial Oțelu-Roșu.	121
6.3 Concluzii.	125
Capitolul VII Concluzii.	126
Bibliografie.	131

# INTRODUCERE

Economia mondială și în ultimii ani a avut o evoluție pozitivă fiind mult influențată de conjuncturile socio-politice și financiare ce caracterizează societatea în perioada respectivă.

Siderurgia ca ramură principală a economiei a înregistrat în această perioadă o creștere importantă deși a fost perturbată atât de criza financiară din Asia de Sud din anii 1997–1998 cât și de evenimentele din septembrie 2001.

Oțelul ca principal produs al siderurgiei rămâne pe mai departe în mod detașat materialul numărul 1 al acestei perioade de început de mileniu mai ales prin următoarele:

- capacitățile tehnologice performante de producere și prelucrare;
- capacitatea mare de reciclare a acestui material;
- caracteristicile fizico-mecanice ale acestui material și astăzi departe de a fi explorate în întregime.

Siderurgia cu toate caracteristicile ei trebuie și astăzi admisă ca ramura care prin indicatorii ce o caracterizează definește gradul de dezvoltare al societății respective.

Trebuie reținut că:

- siderurgia prin parametrii ce o caracterizează este o ramură rentabilă a economiei;
- siderurgia este o ramură necesară unei economii dezvoltate;
- siderurgia este o ramură strategică a oricărei societăți.

Siderurgia este totodată și o ramură a economiei caracterizată de o dinamică deosebită. Din cele 2500 de sortimente de oțel oferite de siderurgie utilizatorilor acestui material peste 50% aparțin ultimilor șase ani. Concomitent cu această înnoire a sortimentației trebuie remarcate progresele înregistrate în tehnicile și tehnologiile de fabricație aferente acestei ramuri. În ultimii zece ani productivitatea muncii în siderurgie s-a dublat.

Cu toate aceste realizări trebuie precizat că potențialul acestui material –oțelul– sunt încă departe de a fi explorate în întregime. Se remarcă în ultima perioadă gruparea eforturilor producătorilor de oțel și a semifabricatelor realizate din el cu eforturile constructorilor de mașini care utilizează aceste materiale împreună cu cercetătorii din institutele de cercetări – proiectări ale ambelor sectoare pentru a realiza produsele finale cu caracteristici optimizate.

O altă tendință remarcată în ultima perioadă vizează optimizarea logisticii vizând sectoarele de realizare a produselor finale în contextul în care trecerea spre sistemul calității totale este tot mai prezentă în fabricație.

Și numai cele câteva trăsături ale dezvoltării tehnicii și tehnologiilor din siderurgie prezentate mai sus justifică pe deplin abordarea unei teme ce vizează optimizarea fabricației benzilor subțiri laminate din oțel, tema prezentei teze de doctorat.

În primul capitol după o definiție sumară a evoluției economiei mondiale și a câtorva din factorii ce definesc conjunctura socio-politică a actualei perioade se prezintă date ce definesc evoluția siderurgiei la acest început de mileniu și câteva din trăsăturile ce caracterizează această evoluție.

Evoluția economiei românești și a siderurgiei românești este prezentată în contextul european și chiar mondial. Definiția structurii, a caracteristicilor și a principalelor obiective ale restructurării siderurgiei românești completează prezentarea problematicii siderurgiei din România și încadrarea tematicii prezentei teze de doctorat în ansamblul acesteia.

Prezentarea tendințelor ce se remarcă în lume în abordarea dezvoltării siderurgiei reliefează importanța pe care o acordă statele dezvoltate industrial în consolidarea poziției pe piață a producătorilor lor de oțel și implicarea unor organisme internaționale în susținerea și sprijinirea inovării și progresului în această ramură economică deosebit de importantă a fiecărui stat.

Siderurgia prin parametrii ce o caracterizează definește în cea mai mare măsură standardul de dezvoltare a unei societăți.

Prezentarea obiectivelor și a direcțiilor de evoluție a siderurgiei precum și a produselor realizate împreună cu modernizările ce caracterizează tehnicile și tehnologiile din domeniul siderurgiei realizează imaginea complexă și extinsă a acestei teme dar mai ales dinamica extrem de rapidă pe care o cunoaște aceasta în ultima perioadă.

Analiza amplă și aprofundată a evoluției tehnicii și tehnologiilor din siderurgie permite stabilirea obiectivelor principale ale restructurării și re tehnologizării Complexului Industrial din Oțelu-Roșu în primul rând prin prisma fabricației de benzi.

Prezentarea sistemelor de fabricație a benzilor și evoluția lor în timp dă o imagine complexă a unei fabricații ce cuprinde peste 35% din producția de oțel realizată pe plan mondial.

Cunoașterea și prezentarea în lucrare a ultimelor soluții vizând turnarea continuă a benzilor subțiri, soluții aflate în fază de stații pilot respectiv stații preindustriale reliefează inovarea intensă ce are loc în acest domeniu al tehnicii.

Implementarea acestui sistem de turnare continuă a benzilor subțiri în cadrul tehnologiei din Complexul Industrial din Oțelu-Roșu și propunerea de organizare a acesteia ca o unitate de tip Mini-Mill axat pe două produse:

- plate și lungi;
- benzi și profile

reprezintă o soluție originală.

Implementarea sistemului de turnare continuă a benzilor subțiri pe lângă alte avantaje asigură:

- integrarea fabricației benzilor subțiri în Complexul Industrial din Oțelu-Roșu;
- reducerea costurilor de fabricație cu cca 40% față de variantele tehnologice clasice aplicate;
- readucerea nivelului tehnic al fabricației benzilor subțiri în cadrul Complexului Industrial din Oțelu-Roșu la nivelul tehnic actual.

Capitolul II al lucrării prezintă utilajele pentru laminarea benzilor subțiri, caracteristicile ce definesc aceste utilaje și principalele soluții constructive regăsite în construcția acestor mașini.

Prezentarea amplă a sistemului de cilindri tip CVC începând cu descrierea principală a soluției, definirea matematică a conturului cilindrilor și până la închiderea într-un sistem automat de reglare a bombajului cilindrilor în funcție de derularea procesului de laminare definește nivelul tehnic la care se află astăzi construcția utilajelor pentru laminarea benzilor subțiri.

În lucrare se prezintă o soluție de modernizare a unui laminor de benzi, a unei caje de laminare a benzilor prin care s-a urmărit:

- optimizarea procesului de laminare prin reducerea numărului de treceri;
- obținerea unei grosimi mai mici a benzii laminate;
- reducerea forțelor și momentelor aferente laminării;
- creșterea parametrilor produsului realizat – a benzii – prin:
  - reducerea câmpului de toleranță al benzii laminate;
  - îmbunătățirea planeității benzii laminate;

Din analiza datelor ce caracterizează modernizarea cajei de laminare respective rezultă un salt calitativ esențial al utilajului.

Prezentarea a 10 soluții tehnice care aplicate în construcția utilajelor aferente laminării benzilor subțiri reprezintă o sinteză a evoluției tehnicii din ultimii ani în construcția acestor utilaje.

Analiza fiecăruia din aceste soluții și implementarea lor în construcția utilajelor aflate în dotarea Complexului Industrial din Oțelu-Roșu reprezintă o contribuție deosebită în re tehnologizarea unității productive, a utilajelor acesteia.

Din soluțiile prezentate evidențiem:

- dotarea cajei cu un sistem de tensionare a cilindrilor de lucru;
- dotarea cajei cu un sistem de încărcare negativă a cilindrilor de lucru;
- dotarea cu un sistem de înclinare a cilindrilor de lucru;
- implementarea cu un sistem de control și reglare a temperaturii cilindrilor de lucru;
- dotarea cu un sistem de măsurare și reglare a planeității benzii;
- dotarea cu un sistem de fixare – înclemare a cilindrilor de lucru;
- dotarea cajei de laminare cu un sistem automat de reglare a excentricității cilindrilor de lucru față de axele cilindrilor de sprijin și a cadrului cajei;
- implementarea unui sistem automat de control și reglare a parametrilor dinamici ai procesului de laminare;
- implementarea unui sistem automat de control și reglare a grosimii benzii laminate;
- implementarea unui sistem automat de reglare a bombajului cilindrilor în funcție de desfășurarea procesului de laminare.



In proiectarea noilor instalații aferente laminării benzilor subțiri s-a conturat un nou concept care grupează optimizarea pe cel puțin trei nivele și anume:

- Nivelul I – cuprinzând optimizarea constructivă a laminorului;
- Nivelul II – incluzând optimizarea parametrilor laminorului;
- Nivelul III – vizând optimizarea performanțelor.

Prezentarea detaliată a tematicii fiecărui nivel al optimizării cu sinteza soluțiilor constructive și implementarea lor în modernizarea utilajelor din dotarea Complexului Industrial din Oțelu-Roșu reprezintă un aport deosebit la conceperea în ansamblu și în detaliu a re tehnologizării bazei tehnice a unității.

Sintetizând rezultatele analizei detaliate ale utilajelor aferente laminării, ale optimizării constructive a acestora în vederea asigurării optimizării parametrilor laminorului precum și a asigurării optimizării performanțelor procesului respectiv se poate concluziona că utilajele unității pot fi aduse la nivelul tehnicii actuale iar că produsele realizate pot fi caracterizate din punct de vedere calitativ conform cu actualele standarde de calitate.

De asemenea în lucrare se prezintă că se pot obține:

- o reducere a costurilor aferente fabricației de benzi laminate la rece între 40% și 60% față de variantele considerate clasice ale fabricației;
- reducerea costurilor aferente numai laminării la rece a benzilor cu cel puțin 40%;
- îmbunătățirea parametrilor calitativi ai produselor realizate prin:
  - reducerea câmpului de toleranță la 1/4 din valoarea celor realizate în prezent;
  - reducerea abaterilor de la planeitate la cca 1/2 din valorile realizate în prezent;
  - îmbunătățirea calității suprafeței benzii prin îmbunătățirea rugozității suprafețelor benzilor laminate la rece cu cel puțin 50%.

In capitolul III al lucrării după prezentarea structurii produselor laminate lungi și a produselor laminate plate – respectiv benzi, se prezintă evoluția constructivă a unităților de fabricație a benzilor subțiri laminate la cald, evoluție ce poate fi divizată și caracterizată prin șase generații.

Dacă utilajele aferente primei generații sunt evidențiate începând cu anul 1926 și cuprindeau cca. 70 de unități productive, majoritatea au fost modernizate primind valențe aferente generațiilor mai avansate.

Dacă utilajele aferente primelor două generații prelucrau în general oțel turnat în semifabricate – brame – începând cu generația a treia specifică anilor 1970–1980 semifabricatul de pornire devine un semifabricat turnat continuu.

O dată cu declanșarea primei crize energetice în ani, în jurul anului 1975 se impune reconsiderarea acestor utilaje ca și concepție dar mai ales ca performanțe.

În perioada anilor 1970–1990 se conturează a patra generație a utilajelor aferente laminării benzilor iar începând cu anul 1989 se conturează a cincia generație care utilizând semifabricate turnate continuu de 40–60 mm grosime face uz numai de un cuptor de egalizare a temperaturii semifabricatului turnat continuu economisind o mare cantitate de energie în acest mod.

Ultima generație a mașinilor aferente fabricației de benzi laminate făcând uz de procesul D.S.C. de turnare continuă a benzilor subțiri se află în faza de experimentare tehnică și tehnologică, implementare în producție astăzi.

Prin parametrii tehnico–economici pe care îi realizează aceste utilaje, cele aparținând celei de-a șasea generații se vor impune cu siguranță în tehnica anilor următori. după parcurgerea fazelor de stații pilot respectiv unități preindustriale în care se află astăzi.

În lucrare se prezintă pentru prima dată o soluție de integrare a fabricației benzilor subțiri laminate la rece în Complexul Industrial din Oțelu-Roșu.

Soluția vizând turnarea continuă a benzilor subțiri așa cum este cunoscută astăzi prin cele două stații pilot și două instalații preindustriale este prezentată pe larg în cadrul acestui capitol al lucrării împreună cu caracteristicile tehnice și economice ce o caracterizează.

Implementarea acestei soluții reprezintă o optimizare la nivel macro – al întreprinderii – a fabricației benzilor laminate la rece în cadrul Complexului Industrial din Oțelu-Roșu.

Complementar dar integrat în complexul fabricației benzilor laminate în lucrare sunt prezentate câteva din caracteristicile aferente elaborării oțelului, a turnării continue a oțelului predestinat fabricării benzilor subțiri laminate.

Deoarece calitatea benzilor este definită începând cu calitatea oțelului elaborat și turnat, lucrarea cuprinde mijloacele tehnice prin care se pot conferi caracteristicile tehnice ale oțelului precum și tratamentele secundare – aferente metalurgiei secundare – prin care se asigură calitatea laminatului final în condiții de eficiență economică.

Este prezentată în continuare optimizarea laminării benzilor în cadrul Complexului Industrial din Oțelu-Roșu. Este optimizarea a doua la nivelul macro al întreprinderii.

Lucrarea propune o optimizare graduală în etape a procesului de laminare la cald a benzilor subțiri, toate însă pornind de la semifabricat turnat continuu. Eliminând cel puțin o laminare cu încălzirea semifabricatului aferentă, benzile subțiri laminate prin structura costurilor devin competitive.

În etapele 2 și 3 ale optimizării laminării benzilor se vizează realizarea benzilor de lățime sporită 150 mm în etapa a doua, respectiv 200 mm în etapa a treia.

În conceptul de optimizare completă a laminării benzilor la cald se propune completarea dotării tehnice a laminorului de benzi la cald cu o caje degrositoare complementară. reconsiderarea constructivă a liniei de laminare intermediare și transformarea liniei de laminare finisoare într-o linie continuă de laminare.



Soluțiile de laminare propuse au fost verificate prin calcule dar și în cadrul procesului de laminare, prin urmărirea parametrilor electrici ai acționărilor laminorului și încadrarea acestor valori în valorile definite de standarde.

Lucrarea prezintă o analiză a eficienței energetice a cuptorului de încălzire a semifabricatelor, soluții de optimizare energetică a acestuia și graficul sintezei bilanțului termic al cuptorului cu caracteristici tehnice optimizate.

Din optimizările propuse și realizate în conformitate cu soluțiile prezentei teze de doctorat reliefăm următoarele:

- Optimizarea funcționării cuptorului de încălzire a semifabricatului mai ales prin recuperarea căldurii gazelor arse în trei trepte poate aduce o creștere a randamentului acestui utilaj cu cel puțin 15%-20% ;
- Optimizarea arderii combustibilului în funcție de compoziția gazelor de ardere – conținutul în  $O_2$  și conținutul în  $H_2$ ,  $CO$  și  $CH_4$  – poate aduce un aport la randamentul cuptorului între 7% și 11%;
- Laminarea benzilor pornind de la semifabricate turnate continuu  $\square 120$  mm aduce prețul benzilor laminate în domeniul competitiv;
- Abordarea laminării benzilor de lățimi mărite – 150 mm respectiv 200 mm poate aduce o creștere a productivității în laminorul de benzi la rece până la dublarea acesteia;
- Optimizarea fabricației benzilor prin realizarea unor laminate cu grosimi mai mici, cu câmpuri de toleranță restrânse aduce importante reduceri ale costurilor de fabricație – mai ales prin reducerea numărului de tratamente termice intermediare și a numărului trecerilor – la laminarea la rece a benzilor.

În capitolul IV al lucrării sunt prezentate principalele probleme ale tehnologiei laminării la rece a benzilor subțiri cu referire directă la cele două secții de laminare la rece a Complexului Industrial din Oțelu-Roșu.

Dacă prima secție de laminare la rece a benzilor înguste poartă amprenta nivelului tehnicii anilor 1950, a doua secție a benzilor subțiri late reprezintă nivelul tehnic al anilor 1975–1980 și problemele modernizării, re tehnologizării și optimizării sunt total diferite în cele două secții.

În secția de benzi înguste laminate la rece prima problemă propusă spre rezolvare o reprezintă reconsiderarea mașinii de laminat. Făcând parte din nivelul I de optimizare în lucrare se propune:

- Reconsiderarea acționării principale a mașinii atât ca putere dar mai ales ca soluție tehnică – trecând mașina pe acționare tot în curent continuu dar cu convertizoare statice de curent;
- Reconsiderarea acționării ruloarelor și deruloarelor, tot în curent continuu și tot alimentate prin convertizoare statice de curent;
- Reconsiderarea structurii dinamice a ansamblului mașinii de laminare urmărind obținerea unei rigidități maxime a acestuia;
- Dotarea mașinii cu un sistem activ de control al dimensiunii benzii laminate și includerea lui într-un sistem automat de reglare;

- Reconsiderarea întregului sistem de ungere – răcire și optimizarea lui poate aduce un aport deosebit în îmbunătățirea calității produselor realizate – a benzilor laminate la rece.

În cadrul celei de a doua secții de benzi late – laminate la rece toate cele 10 măsuri de îmbunătățire tehnică a cajei de laminare prezentate în cadrul capitolului II al prezentei teme reprezintă propunerile de optimizare ale bazei tehnice a procesului de laminare la rece.

În contextul general al problemei optimizării fabricației benzilor laminate la rece lucrarea propune două trepte – scări – la care să fie abordată tema.

La nivelul întreprinderii – pe o treaptă macro se propune implementarea turnării continue a benzilor – varianta D. S. C. – lucrare care poate fi realizată cu un minim de cheltuieli, uzina dispunând de foarte multe facilități tehnice și tehnologice.

Cu această soluție prețurile benzilor laminate la cald ar atinge un minim în raport cu orice alt producător.

Utilizarea acestor benzi poate fi luată în considerare și pentru laminorul de benzi înguste laminate la rece după o fâșiere adecvată a benzii laminate la cald.

La același nivel al întreprinderii trecerea la laminarea benzilor din semifabricat turnat continuu  $\square$ 120 mm la lățimi de 100 mm, 150 mm și 200 mm vine cu o scădere esențială a costurilor de fabricație și cu creșteri ale productivității în cadrul laminorului de benzi înguste laminate la rece.

O problemă deosebit de interesantă în fabricația benzilor laminate la rece o reprezintă cea a benzilor cu margini prelucrate. Se cunosc astăzi cel puțin 15 tipuri de margini prelucrate ale benzilor înguste, aceste produse având un preț deosebit de atractiv, fără a impune cheltuieli deosebite.

În capitolul V al lucrării sunt prezentate problemele controlului automat al dimensiunii benzii laminate.

Din multitudinea de soluții cunoscute în tehnica măsurării mărimilor mecanice a fost aleasă metoda de măsurare a grosimii benzii prin contact direct. Un traductor inductiv – simplu într-un cuplaj diferențial preia informația și o transmite spre un bloc de măsurare – afișare a mărimii măsurate care asigură și divizarea câmpului măsurat în 3(5) domenii transmițând semnale de execuție către elementele sistemului automat de reglare a dimensiunii benzii.

Sistemul de măsurare a grosimii benzii poate extinde măsurarea pe întreaga lățime a benzii – în puncte, în segmente sau în mod continuu. De asemenea sistemul de măsurare a grosimii benzii poate fi comandat și retras din poziția de măsurare – în poziția de așteptare – deasupra benzii sau în poziția de repaus – în afara domeniului de derulare a benzii.

În finalul capitolului V se prezintă graficele de dispersie a valorilor măsurate ale grosimii benzilor în timpul probelor.

Soluția de control automat a dimensiunii benzii este o soluție extrem de robustă și asigură o mare fidelitate în urmărirea dimensiunii benzii din timpul laminării.

În Capitolul VI al lucrării se prezintă evaluarea eficienței economice a optimizărilor propuse și realizate în cadrul prezentei teze.

Reținând elementele ce caracterizează eficiența economică a soluțiilor prezentate în lucrare reliefăm următoarele:

- Implementarea în tehnologia de fabricație a benzilor subțiri la Oțelu-Roșu a tehnicii și tehnologiei turnării continue a benzilor subțiri poate aduce prețul benzilor laminate la 250 – 275 \$/tonă față de 400 – 415 \$/tonă în variantele considerate clasice de fabricație;
- Implementarea tehnologiei de laminare a benzilor direct din țagla turnată continuu  $\square$ 120 mm poate aduce prețul benzilor laminate la cald la 350 – 375 \$/tonă.

Reducerea grosimii benzii laminate la cald concomitent cu mărirea lățimii benzii poate aduce creșteri esențiale ale productivității în laminarea la rece a acestora inclusiv în reducerea costurilor de fabricație în această unitate.

Dacă benzile de 105 mm lățime au fost testate în fabricație și sunt prezentate date din procesul de fabricație – pentru lățimile de 150 mm au fost efectuate probe.

Extinderea lățimii benzii până la 200 mm lățime impune modificări în construcția laminorului unele din acestea – a doua cajă degrositoare – fiind începută.

În general costurile de producție aferente prelucrării benzii în laminorul de benzi la rece se situează între 75 \$/tonă și 150 \$/tonă.

Față de un preț mediu de vânzare a benzilor laminate la rece cuprins între 550 – 610 \$/tonă se poate vedea că prin măsurile de optimizare implementate în cadrul unității fabricația benzilor subțiri este rentabilă având și perspectiva de a-i fi mărită substanțial această rentabilitate.

Încadrându-se în tendința generală de evoluție din domeniul siderurgic fiind în concordanță cu cerințele pieței, rezolvarea temei prezentei lucrări vine cu un aport tehnic dar și economic deosebit în bilanțul unității.

Autorul mulțumește pe această cale tuturor celor care l-au sprijinit și îndrumat în realizarea acestei lucrări.

Autorul exprimă un gând de mulțumire cu totul special,  
domnului Profesor dr.doc.șt.dhc.ing. AUREL NANU,  
conducătorul științific al acestei teze de doctorat.

Autorul

# CAPITOLUL I

## Stadiul actual al dezvoltării industriei siderurgice

### 1.1 Economia mondială la începutul mileniului III

Evoluția economiei mondiale în ultimii ani este tot mai mult influențată de conjuncturile socio-politice și financiare ce caracterizează societatea în perioada respectivă. Criza financiară din orientul îndepărtat declanșată în 1997 a influențat evoluția economiei mondiale pentru un interval de timp destul de extins. După calmarea efectelor crizei, economia mondială a avut o evoluție pozitivă între anii 1999 și 2003 fiind caracterizată de creșteri economice variind între 2,8% și 4%.

Evenimentele din septembrie 2001 din SUA au declanșat o reacție extrem de violentă în toate sectoarele economiei mondiale și în toate zonele geografice ale lumii. Creșterea economică mondială în anul 2001 a scăzut față de anul precedent, la fel și creșterea comerțului mondial. În figura 1.1 se prezintă evoluția creșterii economice mondiale în perioada 1990-2003 respectiv evoluția creșterii comerțului mondial în aceeași perioadă.

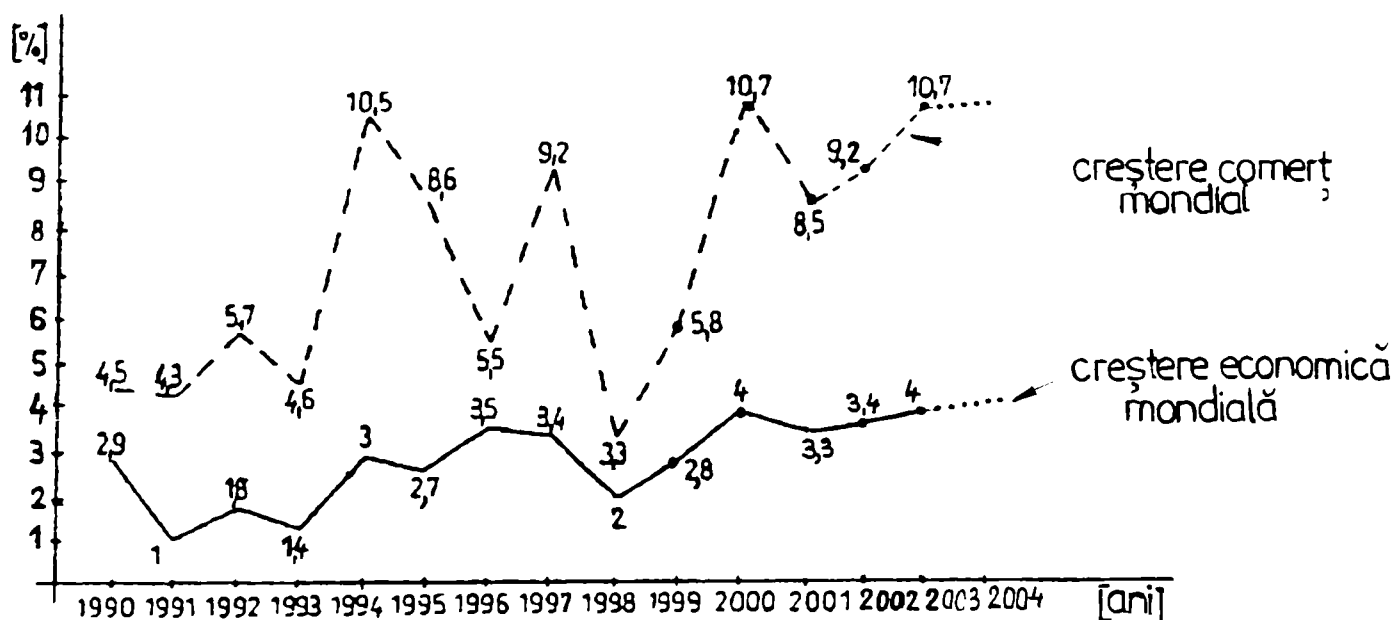


Fig. 1.1 Evoluția creșterii economice mondiale și evoluția creșterii comerțului mondial

Evenimentele din septembrie 2001 au determinat reconsiderarea esențială a multor proiecte mergând pînă la reconsiderarea strategiilor de dezvoltare în majoritatea țărilor. Cele mai afectate zone economic au fost cele din America dar și cele din Japonia și Europa. Doar China și Rusia au înregistrat creșteri economice ce depășesc media creșterilor față de anii anteriori.

În acest context al evoluției economiei mondiale se poate încadra și evoluția siderurgiei ca ramură principală a economiei. Dacă în ultimii ani producția de oțel ca principal indicator de caracterizare a activității acestui sector, a cunoscut creșteri importante ajungând de la 840 mil. tone/2000 și 850 mil. tone/2001 la 902 mil. tone/2002 și la 920 mil. tone/2003. În figura 1.2 se prezintă evoluția producției de oțel pe plan mondial și structura acesteia. Țările din spațiul geografic Asia și în primul rând

China s-au remarcat prin creșteri ale producției de oțel peste media creșterilor globale. În celelalte țări puternic industrializate nivelul producției în intervalul 1990 – 2003 a marcat numai creșteri ușoare.

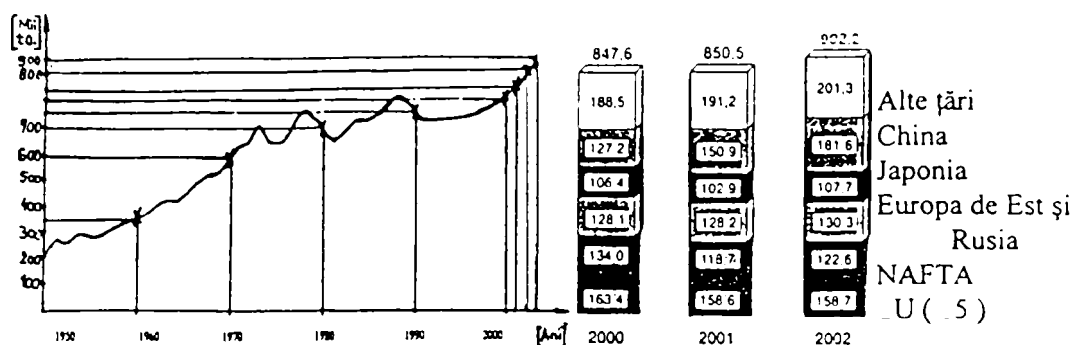


Fig.1.2 Evoluția producției de oțel pe plan mondial și structura acesteia

S-a estimat că efectele acestor perturbații au fost depășite în a doua jumătate a anului 2002 când valorile creșterilor economice s-au situat în jurul valorilor ce caracterizau climatul economic general înainte de septembrie 2001. În același context se estimează că va evolua și producția de oțel a țării ca principal indicator de caracterizare a economiei.

## 1.2 Siderurgia la începutul mileniului III

Producția de oțel în lume este realizată astăzi în majoritate prin cele două metode considerate clasice:

- oțel elaborat în convertizoare cu oxigen cca. 60%;
- oțel elaborat în cuptoare electrice cca. 35%.

Obținerea oțelului în varianta tehnologică incluzând reducerea directă a minereului de fier, deci utilizând buretele de fier nu depășește astăzi 45 Mil. tone/an deci sub 5% din producția mondială de oțel. În elaborarea oțelului utilizarea fierului vechi este remarcată într-o proporție de 37%.

Se remarcă în întreaga siderurgie tendința de re tehnologizare – restructurare, acțiune care este caracterizată mai ales prin următoarele:

- concentrarea producției în mari unități productive care dispunând de o logistică optimă și de utilaje performante reușesc să optimizeze costurile de producție;
- organizarea unităților de tip Mini – Mill care acoperă segmentele de piață lăsate libere de marile combinate și care prin parametrii economici pe care îi realizează sunt competitive pe piața extrem de dură a oțelului;
- implementarea tehnicilor și tehnologiilor de ultimă oră care asigură realizarea unor performanțe deosebite. Spre exemplificare în prezent turnarea continuă a oțelului depășește 78% din cantitatea de oțel elaborat;
- utilizarea intensivă a acestor utilaje, indicatorii respectivi depășind 85–90% ceea ce face ca eficiența proceselor de fabricație să fie ridicată.

Ca o exemplificare a celor prezentate mai sus s-ar putea reține câteva trăsături din evoluția siderurgiei germane:



- la o producție comparabilă de fontă – respectiv oțel în 1970 erau în funcțiune 125 de furnale iar în anul 2000 – 15 furnale produceau peste 85% din cantitatea respectivă;
- numărul angajaților a fost redus cu cca. 74%;
- productivitatea muncii a crescut cu 283%.

Oțelul trece și azi drept un material tradițional. El se realizează în permanență în produse noi, în forme noi dar mai ales cu caracteristici tot mai bune.

În lume producția de oțel depășește de 28 de ori producția de aluminiu și de peste 5 ori producția de materiale plastice.

Oțelul:

- prin caracteristicile sale,
  - prin structurile productive eficiente,
  - prin capacitatea sa mare de reciclare
- este un material de reținut și care își păstrează locul și în societatea de mâine.

Dacă Industria Siderurgică prin prisma istoriei se situează în vârful evoluțiilor atunci viitorul îi este definit fără dubii.

### 1.3 Siderurgia românească

Economia României în anul 2003 a marcat o creștere a PIB cu aproximativ 5% față de anul 2002. Industria metalurgică din România realizează în prezent 20,7% din valoarea producției industriale și aproximativ 6% din PIB. În anul 2003 producția de oțel a crescut cu 3,4% față de anul 2000 creșterea fiind resimțită atât în domeniul laminatelor lungi cât și în cel al laminatelor plate. În figura 1.3 se prezintă evoluția producției de oțel în România în perioada 1950–2000 și structura acesteia în anul 2000.

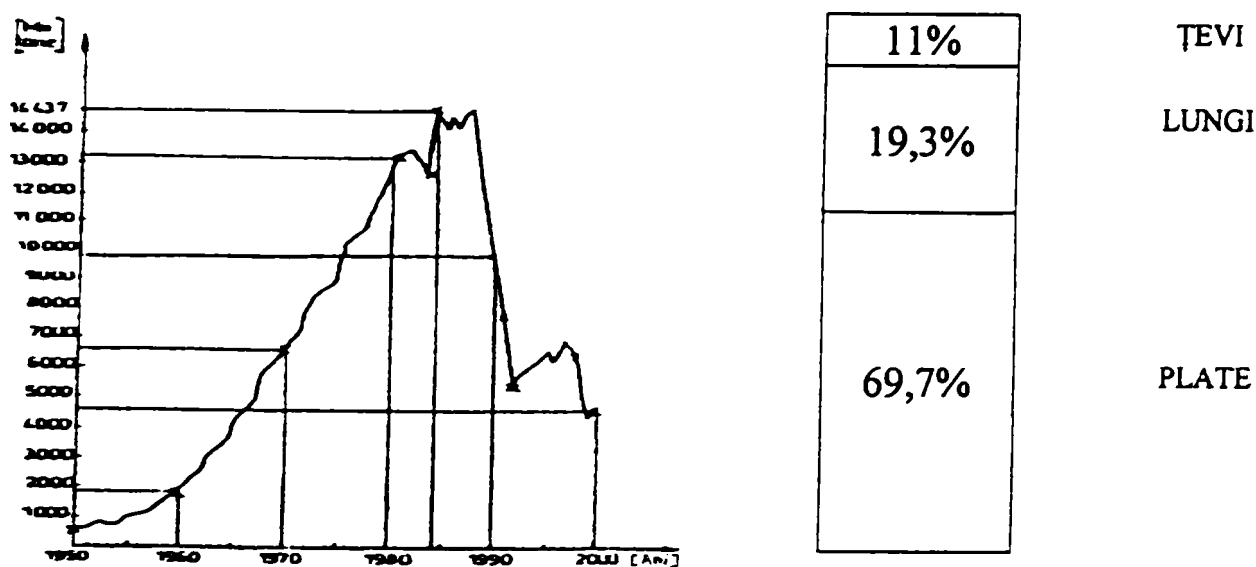


Fig.1.3 Evoluția producției de oțel în România și structura acesteia în anul 2000 [11].

În anii 2000 – 2001 exporturile de produse metalurgice reprezentau 13% respectiv 16% din totalul exporturilor românești. Exporturile către țările dezvoltate a



fost de 74,4% iar către țările Comunității Europene de 67,8%. În anul 2001 primii 10 parteneri în derularea exporturilor produselor siderurgiei însumând 73,4% din totalul exporturilor românești au fost: Italia, Germania, Franța, Marea Britanie, Turcia, Olanda, Ungaria, SUA, Austria, Grecia.

În figura 1.4 se prezintă destinația exporturilor pe produse siderurgice din România în anul 2000 și structura exportului de produse siderurgice ale României în anul 2000 în țările UE și USA.

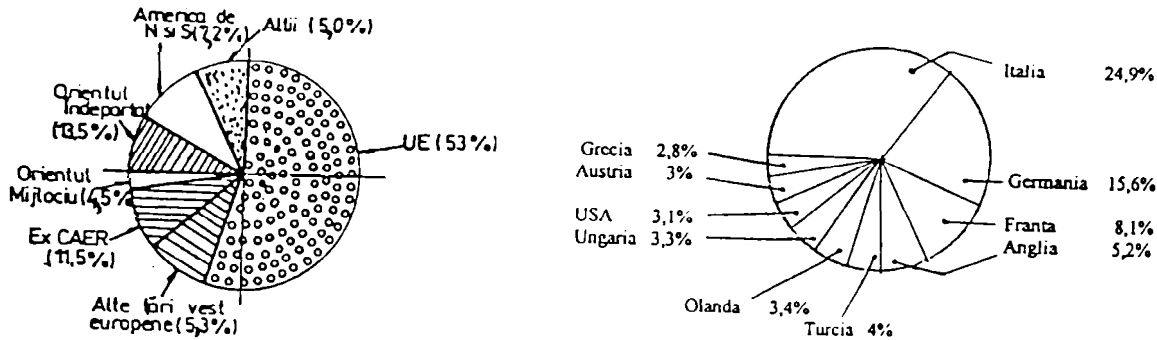


Fig.1.4 Destinația exporturilor pe produse siderurgice din România în anul 2000 și structura de produse siderurgice ale României în anul 2000 în țările UE și USA

În anul 2001 producția industrială în raport cu anul 2000 a cunoscut o creștere de 8,2%, în metalurgie creșterea fiind de 16,1%. Consumul intern de produse siderurgice în anul 2001 a marcat o creștere de 6,5% în raport cu anul 2000, iar în anul 2002 s-a realizat o creștere cu 3,1%. Producția de oțel brut a României a ajuns la 4,9 mil. tone din care 74,6% oțel de convertizor și 25,4% oțel elaborat electric. Ponderea turnării continue în anul 2001 a atins 77%. Producția de table și benzi laminate la rece se situează la 437 mii tone/an în 2000, 415 mii tone/an în 2001 și 440 mii tone/an pentru 2002. Din studiile și rapoartele tehnico-economice privind evoluția produselor laminate plate și lungi se prezintă în figura 1.5 dinamica și structura producției de laminate finite lungi și plate.

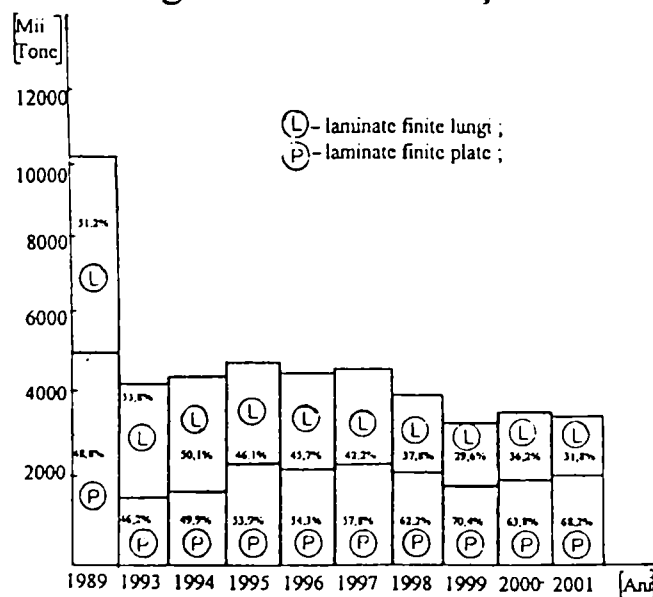


Fig.1.5 Dinamica și structura producției de laminate

#### 1.4 Restructurări și rețehnologizări în siderurgie

Evoluția siderurgiei în România se derulează în conformitate cu strategia de restructurare a industriei siderurgice aprobată de Guvernul României în luna octombrie 2001, aceasta vizând următoarele:

- Restructurarea selectivă prin promovarea tehnologiilor performante și a produselor cu valoare adăugată mare, cu caracteristici la nivelul standardelor și normelor Uniunii Europene;
- Optimizarea capacităților de producție în concordanță cu cererea pieței interne și externe;
- Modernizarea instalațiilor și tehnologiilor existente în vederea reducerii consumurilor și costurilor, a îmbunătățirii calității produselor și a reducerii nivelului de poluare;
- Restructurarea complexă: economică, financiară, comercială și managerială a societăților;
- Elaborarea unor programe speciale de utilizare a resurselor umane, creșterea flexibilității și a mobilității forței de muncă.

Încadrată în acest context tema prezentei lucrări abordează și rezolvă probleme ale optimizării constructive a utilajelor aferente prelucrării prin laminare la rece a benzilor ridicându-le la nivelul utilajelor ce echipează unitățile moderne de prelucrare la rece a benzilor.

Studiul vizând Restructurarea Siderurgiei Românești elaborat cu sprijinul financiar al Comisiei Europene în cadrul programului Phare urmează a fi avizat în cadrul negocierilor de aderare a României la Uniunea Europeană.

Conform acestui studiu se definește un nivel al capacităților de producție de aproximativ 8,1 mil. tone oțel brut pentru anul 2010 respectiv 8,9 mil. tone laminate pentru anul 2010, componența acestora din urmă fiind de 4,4 mil. tone produse lungi respectiv 4,5 mil. tone laminate plate în ideea realizării unor indici de utilizare de aproximativ 85% la elaborarea oțelului respectiv de 80% la laminarea oțelului.

În figura 1.6 se prezintă capacitățile de elaborare ale oțelului și capacitățile de laminare instalate la nivel național, nivelele de producții ce urmează a fi realizate în anul 2010.

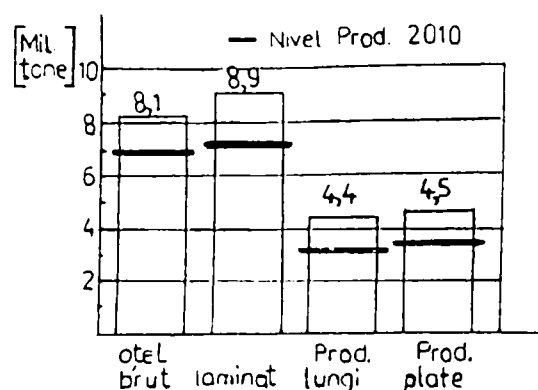


Fig.1.6 Capacități de elaborare ale oțelului și capacități de laminare, nivelele de producții prognozate pentru anul 2010

642.444

369 E

Industria metalurgică românească este structurată în două ramuri principale:

- **SIDERURGIA** - având drept obiectiv elaborarea și prelucrarea oțelului prin procedee de laminare;
- **METALURGIA NEFEROASELOR** – având drept obiectiv elaborarea și prelucrarea neferoaselor și adiacent acestora două subramuri:
  - materiale refractare;
  - materiale cãrbunoase – electrozi siderurgici.

Industria metalurgică cuprindea în 1996 un număr de 106 societăți comerciale având un număr de 186700 angajați.

Industria metalurgică realiza în 1996:

- 10% din producția industrială a țării;
- 16% din exportul total al țării;
- 10% din importul total al țării.

Siderurgia românească cuprinde:

- 7 unități care elaborează și laminează oțel;
- 34 de unități care laminează oțel;
- 7 unități care produc țevi laminate și țevi sudate.

Produsele realizate în siderurgia românească se pot grupa în 4 grupe:

1 Produse plate

- table laminate la cald și la rece;
- benzi laminate la cald și la rece;
- table și benzi electrotehnice;
- table și benzi inoxidabile;
- table și benzi zincate și plumbuite.

2 Produse lungi

- profile grele și mijlocii;
- oțel beton și sârme laminate;
- trefilate;
- oțel calibrat;
- plase sudate;
- lanțuri și cuie.

3 Țevi și conducte

- țevi laminate;
- țevi sudate;
- conducte petroliere.

4 Utilaj siderurgic

Structura siderurgiei în România cuprinde:

1 Două combinate integrate amplasate pe Dunăre:

- realizând peste 72% din producția de oțel a țării;
- dispunând de o soluție optimă din punct de vedere logistic;
- având capacități de prelucrare:
  - Ispat Galați 6,95 mil. to/an – produse plate;
  - Siderca Călărași 1,7 mil. to/an – produse lungi;

2 Un combinat integrat amplasat în interiorul țării

- realizând cca 12% din producția de oțel a țării
- având capacități de prelucrare:
  - Siderurgica Hunedoara 1,5 mil. to/an – produse lungi;

3 Patru complexe industriale amplasate în interiorul țării

- realizând cca 15% din producția de oțel a țării
- având capacități de prelucrare:
  - COSTTârgoviște 0,6 mil. to/an – produse lungi;
  - ISCIT Câmpia Turzii 0,5 mil. to/an – produse lungi;
  - CS Reșița 0,4 mil. to/an – produse lungi;
  - SOCOMET Oțelu Roșu 0,25 mil. to/an – produse lungi;
  - 0,075 mil. to/an – produse plate;

4 Șapte uzine de laminare și prelucrare a țevelor amplasate în interiorul țării

5 Alte unități de prelucrare a oțelului amplasate în interiorul țării

Această structură corespunde atât tendințelor manifestate în prezent pe plan mondial cât și specificului situației existente în România prin:

- concentrarea producției în unități definite drept optime din punct de vedere logistic;
- utilizarea eficientă a dotărilor tehnice existente;
- utilizarea eficientă a forței de muncă calificată existentă.

În tabelul 1.1 se prezintă principalii parametri tehnico-economici ce caracterizează siderurgia românească în ansamblul siderurgiei mondiale.

Tabelul 1.1 Siderurgia românească în ansamblul siderurgiei mondiale

Parametrii tehnico – economici	2002	
	Unitate de Măsură	Valoare efectivă
Producția de oțel la nivel mondial	Mil. to	902
Capacitatea de producție a României	Mil. to	12
Producția de oțel a României	Mil. to	6
Grad de folosire a capacităților	%	50
Locul României în ierarhia mondială	-	25
Ponderele producției românești în producția mondială	%	0,7

Principalele obiective ale restructurării siderurgiei românești:

- adaptarea capacităților de producție la cererea internă și externă;
- creșterea calității produselor;
- creșterea ponderii produselor cu grad avansat de prelucrare;
- modernizarea capacităților de producție viabile;
- creșterea eficienței economice;
- creșterea productivității muncii;
- creșterea ponderii exportului;
- reducerea consumurilor energetice;
- optimizarea consumurilor materiale;
- alinierea la logistica de protecție a mediului.

Principalele măsuri tehnice cuprinse în programul de restructurare a siderurgiei românești vizează printre altele:

- readucerea parametrilor principalelor agregate aflate în dotarea siderurgiei românești la valori comparabile cu cele aflate în exploatare astăzi în țările industriale avansate;
- generalizarea turnării continue a oțelului;
- generalizarea tehnologiilor aferente metalurgiei secundare;
- generalizarea sistemelor de asigurare a calității produselor și trecerea la sistemul “calității totale”;
- introducerea sistemelor de control și conducere a fabricației cu ajutorul calculatoarelor de proces;
- introducerea sistemelor de conducere automată cu ajutorul calculatoarelor a activității unităților productive.

În concluzie tema prezentei teze de doctorat se încadrează cu tendințele actuale remarcate în evoluția siderurgiei pe plan mondial, în evoluția siderurgiei principalelor țări industrializate și este în concordanță cu principiile și liniile directoare care definesc restructurarea siderurgiei românești.

### **1.5 Tendințe de viitor în fabricația de benzi din oțel**

Pe harta lumii se remarcă zone mai dens populate și zone mai puțin populate. Dinamica demografică va accentua această reprezentare neuniformă. Această diferențiere creează tensiuni dar și șanse. Acolo unde densitatea populației este mai mare și cererea de alimente chiar și de metal este mai mare dacă cerința este susținută și de puterea de cumpărare.

Pe aceeași hartă repartizarea producătorilor de metal este și mai neuniform repartizată.

În viitorul apropiat se întrevăd următoarele mutații:

- Este de așteptat ca în zonele de consum noi să apară și capacități de producție noi;
- Este de așteptat ca noii producători să penetreze și ei pe piața producătorilor consacrați;

- Este posibil ca acești producători – datorită costurilor mici de fabricație să devină extrem de activi pe piața externă.

Se impune în acest caz o atitudine corespunzătoare din partea oricărui producător de oțel care dorește să rămână activ pe piața oțelului, din partea oricărui stat care dorește să-și păstreze segmentul economic – metalurgia pe care îl deține.

În general se conturează câteva direcții de abordare:

- Inițierea de colaborări cu țările care își dezvoltă capacități de prelucrare metalurgică și participarea la dezvoltarea acestora;
- Adaptarea capacităților proprii la performanțele tehnice și tehnologice dar mai ales adaptarea la conjunctura definită de acești noi producători;
- Accentuarea în mod deosebit a cercetării, a dezvoltării tehnice și tehnologice pentru asigurarea unei calități ridicate și pentru a asigura păstrarea avansului existent față de potențialii noi concurenți pe piața oțelului;

Numai investind în viitor se vor putea impune pe piața extrem de dură și densă a oțelului.

Odată cu extinderea procesului de globalizare, cu extinderea Comunității Europene și cu intrarea în vigoare a Uniunii Monetare Europene, fenomenele pe piața extrem de dură a oțelului devin tot mai acute. Urmărind în mod deosebit eliminarea concurenței neloiale în viitorul organismelor internaționale sunt reținute:

- eliminarea subvențiilor acordate de stat către sectoarele respective;
- transparența pieței;
- reguli de comportament în perioadele de criză.

Dar tot în competența organismelor economice multinaționale se află disponibilități de a susține acțiuni de cercetare – inovare – dezvoltare în domenii considerate esențiale din punct de vedere al evoluției tehnicii și tehnologiilor – care utilizate judicios pot asigura impunerea pe piață a producătorului respectiv.

Pentru exemplificare în cadrul Comunității Europene se derulează PROGRAME CADRU – în prezent al 5 – lea PROGRAM CADRU care pentru o perioadă de cinci ani are la dispoziție pentru cercetare – dezvoltare sume de cca 10 – 15 miliarde de Euro. Al 4 – lea PROGRAM CADRU a avut la dispoziție cca 26 miliarde de DM.

EGKS – Comunitatea Europeană a Cărbunelui și a Oțelului alocă anual peste 50 milioane de Euro cercetării și dezvoltării tehnicii numai în Germania.

În re tehnologizarea sectoarelor siderurgice însăși statele respective au intervenit investind sume de zeci de miliarde de USD, unele state chiar naționalizând industria respectivă, re tehnologizând-o, după care au introdus-o în competiția din domeniul respectiv prin reprivatizare.



Inovarea accentuată a proceselor tehnologice dar și a produselor care a caracterizat ultimul deceniu a extins enorm caracteristicile oțelurilor aferente construcției de mașini, mai ales caracteristicile impuse de predestinația oțelului. Atât oțelurile predestinate tratamentelor termochimice cât și oțelurile de îmbunătățire, oțelurile predestinate fabricației arcurilor, oțelurile aferente fabricației de rulmenți au cunoscut o evoluție calitativă deosebită.

În ultima perioadă prin efortul cercetătorilor și al producătorilor domeniului metalurgic, completat de eforturile cercetătorilor și al prelucrătorilor din industria prelucrătoare conjugat cu efortul constructorilor de mașini s-au obținut rezultate remarcabile care definesc faptul că viitorul oțelului este asigurat.

În cadrul colaborării celor trei factori merită reliefat succesul proiectului U.L.S.A.B./Ultra Light Steel Auto Body/. Proiectul cuprindea optimizarea construcției caroseriei automobilului incluzând utilizarea materialelor optime pentru fiecare piesă constitutivă a ansamblului, optimizarea formei structurii și concepția componentelor precum și tehnologiile optime de realizare și montare a ansamblului.

În final s-au realizat următoarele:

- scăderea greutății caroseriei cu 68 Kg - cca 25% - ajungând la cca 203 Kg;
- creșterea rigidității caroseriei cu peste 80%;
- scăderea costurilor de fabricație cu peste 3% - de la 980 \$ la 947 \$;
- scăderea numărului de componente cu cca 20% - de la 200 la 158.

Urmare a succesului acestei abordări un număr de 30 de producători de oțel, utilizatori de oțel în construcția de automobile precum și compartimentele de cercetare din ambele sectoare s-au angajat într-un nou proiect U.L.S.A.S./Ultra Light Steel Auto Suspension /.

Exemplele anterioare definesc modul simplu și profund de abordare a tematicilor optimizării fabricațiilor de la elaborarea materialelor – a oțelului – până la explorarea tuturor caracteristicilor potențiale ale acestuia în construcția produselor finale.

Abordarea sistemică a fabricației produselor siderurgice de tipul benzilor și materializarea optimizărilor în acest domeniu încadrându-se în orientarea generală pe care o cunoaște evoluția tehnicii pe plan mondial poate să apară cu eficiență deosebită – cu perspectiva pentru viitorul unității active în domeniul oțelului și al produselor din oțel.

Relevante sunt unele obiective spre care evoluează tehnica și tehnologiile în domeniul siderurgiei.

I În elaborarea oțelului se remarcă mai multe direcții de evoluții:

- a)
  - restrângerea ecartului de definare a compoziției chimice a diverselor mărci de oțel;
  - ridicarea gradului de puritate a oțelului;
  - asigurarea unor caracteristici ereditare încă de la elaborare;
  - asigurarea unor conținuturi reduse de gaze H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>;

- controlul și dirijarea unor separări în stare solidă.
- b)
  - alieri optimizate în perspectiva asigurării caracteristicilor fizico-mecanice;
  - microalieri cu elemente ce modifică comportamentul oțelului la tratamentele ulterioare;
  - adăugarea unor materiale modificatoare a caracteristicilor oțelului.

II În elaborarea produsului se remarcă mai multe direcții de evoluții:

- a)
  - obținerea formei optime a piesei printr-un minim de acțiuni tehnologice;
  - restrângerea câmpului de toleranță al produselor;
  - atestarea în baza unor verificări efective a lipsei defectelor;
  - asigurarea și atestarea calității suprafeței produsului impusă de utilizarea ulterioară.
- b)
  - asigurarea caracteristicilor de rezistență riguros definite;
  - asigurarea și garantarea unor caracteristici chiar din cadrul procesului de elaborare și prelucrare metalurgică;
  - asigurarea unor structuri dirijate și definite;
  - asigurarea unor caracteristici de textură;
  - garantarea unor caracteristici tehnologice.

Deși pe plan mondial în ultimii 10 ani producția de oțel și consumul de oțel a crescut continuu - oțelul rămânând și astăzi materialul nr.1 al economiei începutului mileniului III - trebuie să remarcăm următoarele:

- produsele ce se realizează astăzi sunt mai ușoare;
- se extinde utilizarea înlocuitorilor;
- se extind tehnologiile noi în fabricația produselor.

Astăzi cu toate că utilizarea produselor plate – benzile laminate la rece – devine la constructorii de mașini tot mai eficientă, competența producătorilor de oțel este atestată, procedeele de fabricație au fost perfecționate – eficiența economică este cea care definește viabilitatea oricărui proces de fabricație pe piața extrem de dură a oțelului.

Tema prezentei teze impune o abordare extrem de largă a unei tematici care se extinde de la elaborarea oțelului cu întreaga problematică a ei și până la tratamentele finale ale laminatelor – verificarea și atestarea caracteristicilor acestora.

Abordarea complexă a acestei teme este impusă în primul rând de perspectiva trecerii spre conceptul “calității totale”, concept tot mai mult promovat astăzi.

Optimizările în domeniul calității laminatelor pornesc în general de la puritatea oțelului, structurile și caracteristicile genetice ale oțelului până la garantarea și atestarea prin verificări efective ale caracteristicilor fizico – mecanice și tehnologice obținute prin tratamente termo – mecanice sau tratamente complexe ale produselor finite.

Acest mod de abordare a tematicii – în contextul conceptului “ calității totale “ face necesară prezentarea inclusiv a problematicii actuale a elaborării oțelului cu toate modernizările, re tehnologizările și optimizările implementate, deși depășesc cadrul strict al prezentei lucrări aceasta completând spectrul optimizării fabricației de benzi subțiri laminate la rece.

În siderurgia mondială cca 35% din producția de oțel este realizată în cuptoare electrice cu arc – deci din acest punct de vedere – Complexul Industrial din Oțelu Roșu este aliniat la structura actuală a tehnologiilor de fabricație din acest domeniu.

Se remarcă faptul că în acest context tehnologic în ultimii ani au avut loc mutații tehnice și tehnologice care au reușit să confere proceselor viabilitate în primul rând prin parametrii tehnico – economici pe care îi realizează. În actualul concept tehnologic cuptorul electric a rămas un utilaj de topire a fierului vechi, restul de procese metalurgice desfășurându-se în alte utilaje siderurgice complementare aflate în dotarea unităților respective.

În tabelul 1.2 sunt prezentate principalele soluții tehnice implementate în tehnologia de elaborare a oțelului prin arc electric care au dus la ameliorarea esențială a indicatorilor tehnico-economici ai proceselor tehnologice respective în intervalul de timp 1970 – 2000.

Tabelul 1.2 Soluții tehnice implementate în tehnologia de elaborare a oțelului prin arc electric, valori ale indicatorilor ce caracterizează aceste soluții tehnice

Nr. Crt.	Soluții tehnice implementate	Variația indicatorilor		
		Energie Electrică	Durață	Electrozi
1	Pregătirea fierului vechi	750kW/to	180min	7kg/to
2	Lance de oxigen	↓	↓	↓
3	Metalurgie secundară			
4	Boltă și pereți răciți			
5	Putere ridicată			
6	Zgură spumantă			
7	LF/ Laddle Furnance /			
8	EBT/ Excentric Bottom Taping /			
9	Preîncălzire fier vechi			
10	Cuptoare electrice în curent continuu			
11	Agitarea pneumatică a băii metalice topite			
12	Manipulatori de lăncii de C și O <sub>2</sub>			

## 1.5.1 Metalurgia secundară

Cerințele calitative impuse oțelurilor în primul rând dar și considerentele de productivitate – respectiv eficiență economică au impus implementarea metalurgiei secundare în ansamblul tehnologiei de elaborare a oțelului.

Metalurgia secundară asigură astăzi următoarele:

- descongestionarea agregatelor de topire;
- definirea mult mai exactă a compoziției chimice a oțelului elaborat;
- îmbunătățirea purității oțelului elaborat;
- sincronizarea elaborării și a turnării oțelului;
- dirijarea mult mai precisă a temperaturii oțelului înaintea turnării.

În metalurgia secundară, în funcție de utilajele de bază ale sectorului primar de elaborare a oțelului, se conturează două grupe funcționale și anume:

I Metalurgia secundară în convertizor

II Metalurgia secundară în oală

a) în atmosferă

- LF – Ladle Furnace

b) sub vid

- VD – Vacuum Decarburation
- VOD – Vacuum Oxygen Decarburation
- RH – Rheinstahl Heraus
- RH – OB – Rheinstahl Heraus -Oxygen Blowing

Din ansamblul de utilaje aferent metalurgiei secundare prezentat mai sus în conformitate cu cerințele pieței cu referire la calitatea produselor aflate în programul normal de fabricație a Complexului Industrial din Oțelu-Roșu se impune cu stringență implementarea unei instalații de tratare a oțelului în oala de turnare de tipul LF.

În funcție de evoluția cererii pieței – în funcție de caracteristicile impuse produselor complexului industrial se va putea hotărâ extinderea dotării cu una sau mai multe utilaje aferente metalurgiei secundare aflate în dotarea unităților siderurgice.

## II Turnarea continuă a oțelului:

La nivel mondial din oțelul elaborat se toarnă continuu 77% iar la nivel național 80% din oțelul elaborat se toarnă continuu.

În funcție de secțiunile semifabricatului turnat continuu predestinat laminării și benzilor de-a lungul evoluției tehnologiei de turnare continuă s-au dezvoltat și aplicat trei variante:

a ) Varianta considerată convențională pornește de la semifabricate turnate continuu – sleburi – având lățimea variind între 800 mm până la 2200 mm și grosimea variind între 200 mm până la 350 mm. Aceste semifabricate turnate continuu urmează să fie reîncălzite în cuptor și apoi laminate într-o linie continuă de laminare a benzilor la cald până la grosimi cuprinse între 2 - 6 mm.

b ) Varianta optimizată apărută odată cu perfecționările procesului de turnare continuă pornește de la semifabricat turnat continuu de lățimi până la 1800 mm și grosimi cuprinse între 40 mm și 60 mm. Aceste semifabricate urmează să fie introduse într-un cuptor de egalizare a temperaturii la ieșirea de pe mașina de turnare continuă, după care se laminează într-o linie continuă de laminare a benzilor la cald. Grosimea produsului finit poate atinge valori de până la 1 mm.

c ) O variantă actuală aflată în stare de experimentare pe două stații pilot asigură realizarea unui semifabricat turnat continuu având lățimi de până la 2500 mm și grosimi cuprinse între 8 mm și 15 mm. Acest semifabricat urmează să fie introdus într-o linie continuă de laminare a benzilor la cald, grosimea produsului finit poate fi realizată în domeniul dimensional mai mic de 1 mm. Principiul procedurii este prezentat în figura 1.7 Oțelul lichid este turnat printr-un sistem de alimentare pe o bandă transportoare din cupru răcită intensiv cu apă pe partea inferioară, care este înfășurată peste doi tamburi acționați electro – mecanic. Întregul proces de solidificare se desfășoară în atmosferă de argon pe prima jumătate a camerei de inertizare iar pe a doua jumătate a camerei de inertizare asupra suprafeței benzii se insuflă un amestec de argon și bioxid de carbon. Banda turnată părăsește banda de transport, ajunge pe o cale cu role aflată într-o incintă de egalizare termică și este adusă la temperatura prescrisă de laminare după care intră într-o linie continuă de laminare benzi la cald.

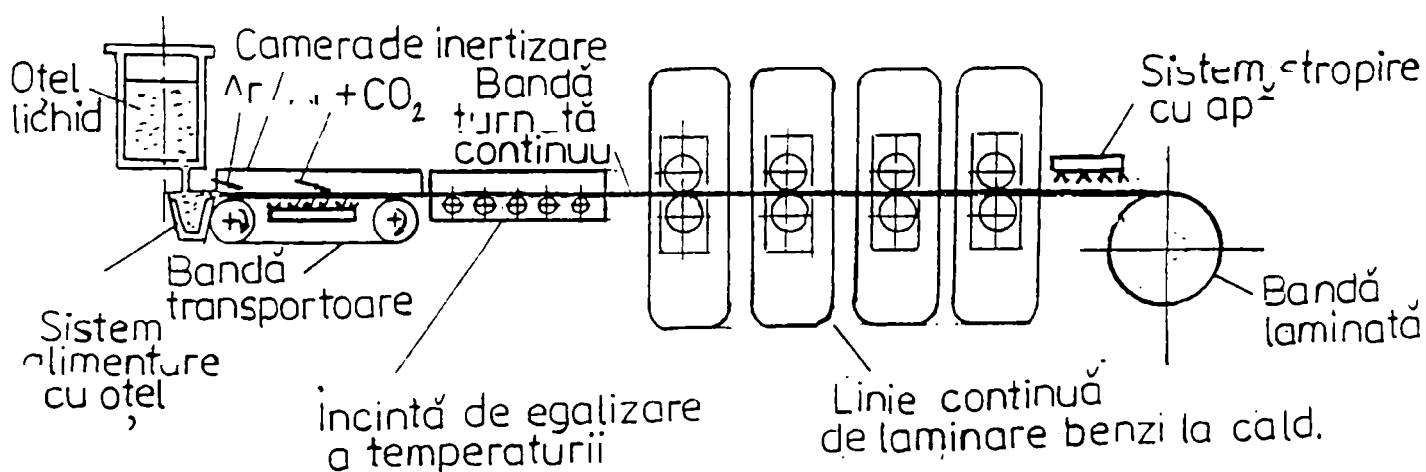


Fig.1.7 Schema tehnologică de turnare continuă a benzilor subțiri și laminarea la cald – în flux a acesteia.



Bazat pe același principiu al turnării continue a oțelului în benzi late, în două unități siderurgice din Germania au fost realizate două instalații preindustriale de fabricație a benzilor late din oțel inoxidabil. Schemele tehnologice de fabricație a benzilor late se prezintă în figura 1.8. În prima unitate siderurgică s-au produs benzi de lățimi 1130 mm și grosimi de 2,2-2,3 mm fără laminarea la cald a acestora. Ulterior benzile au fost laminate la rece până la grosimi de 0,8 mm. A doua unitate siderurgică este dotată cu echipamente pe același principiu de turnare a benzilor late, suplimentar a fost introdusă o cașă cuartă de laminare la cald a benzilor turnate continuu dând posibilitatea unității să producă benzi late din oțeluri inoxidabile, oțeluri carbon și oțeluri silicioase.

Caracteristicile tehnice ale benzilor late la cald obținute prin folosirea instalațiilor pilot și a instalațiilor preindustriale în comparație cu cele ale benzilor obținute prin procedeele clasice certifică dezvoltarea acestor noi soluții și abordarea execuției unei instalații industriale. În prima schemă tehnologică din figura 1.8 există posibilitatea ca unitatea de înfășurare a benzii să funcționeze pe un program de fâșiere bandă în lipsa turnării continue a acestor benzi.

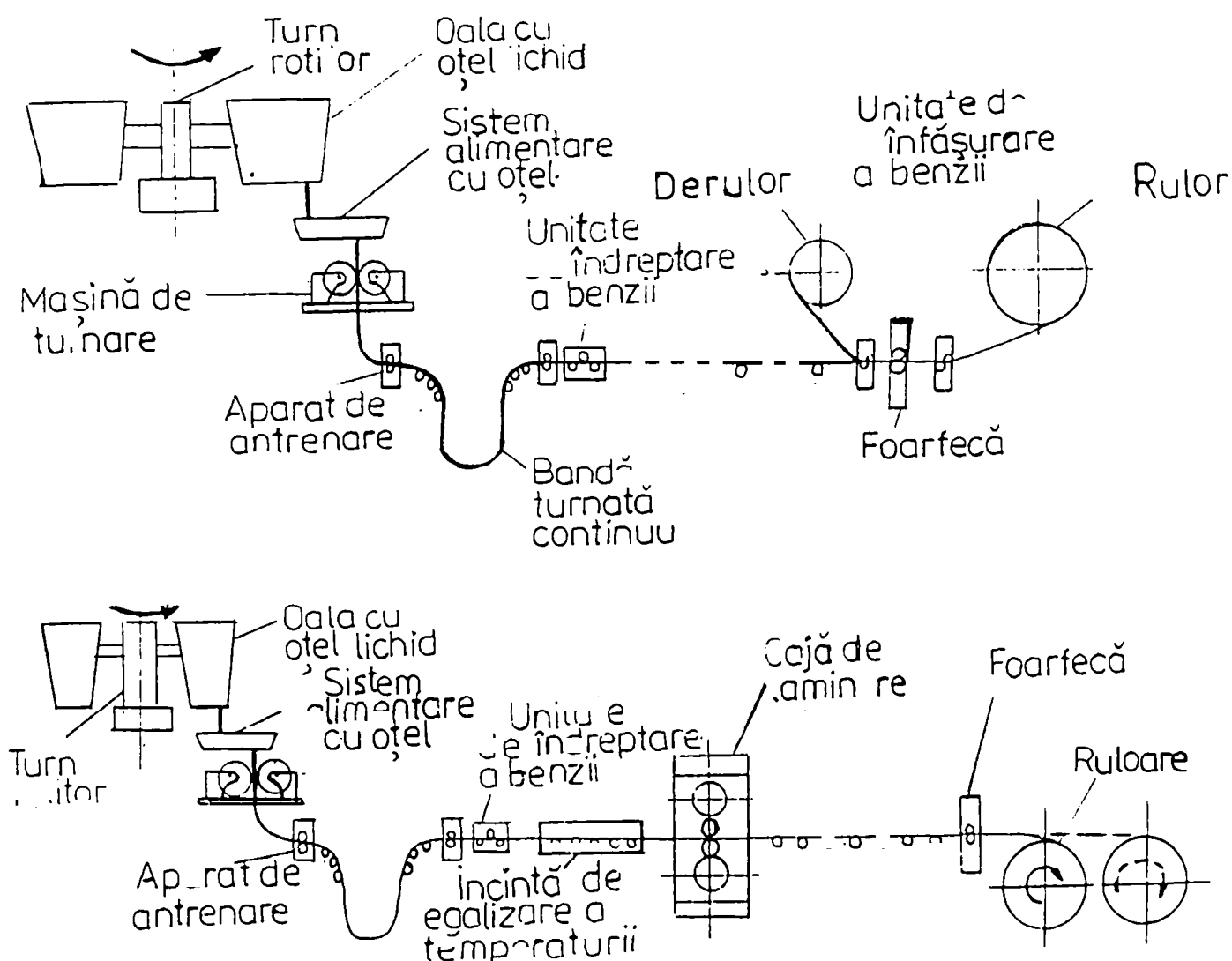


Fig.1.8 Scheme tehnologice actuale de turnare continuă a benzilor late.



Funcționarea și reglarea continuă a procesului de turnare și laminare la cald în vederea obținerii benzilor permite:

- realizarea unor produse finite – laminate la cald - de grosimi în jur de 1 mm;
- realizarea unor consumuri energetice mai mici cu 75% față de varianta clasică prin eliminarea treptelor de reîncălzire a metalului;
- reducerea considerabilă a timpului de fabricație a benzilor prin utilizarea unor viteze de turnare între 30 - 100 m/min., max. 150m/min.;
- creșterea scoaterii de metal.

În contextul actual de reducere a consumurilor specifice și a noxelor rezultate în urma procesului de turnare și laminare și pe baza informațiilor tehnice cu privire la cele trei variante de fabricație a benzilor la cald se constată:

- economisirea energiei de încălzire aferentă procesului de obținere a benzilor laminate la cald cu 85% față de varianta clasică ceea ce corespunde unei economii de 2,8 GJ/tonă;
- reducerea emisiilor de CO<sub>2</sub> de la 185 kg/tonă la 25 kg/tonă deci o reducere de 160 kg/tonă – respectiv de 86%;
- reducerea emisiilor de NO<sub>2</sub> de la 290 gr./tonă la 20 gr./tonă deci o reducere de 270 gr./tonă – respectiv de 90%;
- reducerea emisiilor de SO<sub>x</sub> de la 50 gr./tonă la 15 gr./tonă deci o reducere de 35 gr./tonă – respectiv o reducere cu 70%.

Analizând la nivel de schemă structurală diverse unități siderurgice de fabricație a produselor laminate la cald și la rece se constată că acestea au fost realizate într-o construcție compactă, sunt organizate în flux continuu, asigură o fabricație flexibilă și sunt conduse cu ajutorul calculatoarelor de proces și de sistem.

O dezvoltare deosebită au cunoscut în ultima perioadă unitățile siderurgice mici care au fluxuri integrate și care se încadrează în conceptul actual de unități “Mini – Mill”.

În cadrul acestui concept de fabricație a benzilor fluxurile tehnologice includ următoarele operații:

- elaborarea oțelului;
- tratarea oțelului lichid în utilajele aferente metalurgiei secundare;
- turnarea continuă a oțelului;
- laminarea la cald în instalații aferente ultimei generații;
- laminarea la rece în instalații performante;
- prelucrarea avansată și înobilarea benzilor laminate la rece;
- desfacerea produselor finite în sisteme complexe de desfacere.

Problemele asigurării calității benzilor laminate deci implicit problemele asigurării calității oțelului elaborat rămân hotărâtoare pentru procesele de fabricație. În consecință măsurile ce se impun pentru asigurarea calității oțelului elaborat sunt prioritare.

Costurile aferente unui proces de fabricație trebuie să asigure eficiența economică a sa, deci viabilitatea procesului.

Se impune deci alinierea parametrilor utilajelor angajate în elaborarea și turnarea oțelului la cei realizați de unități reprezentative ale siderurgiei pe plan mondial.

În contextul celor prezentate în lucrare se prezintă soluția de re tehnologizare a sectorului primar de elaborare și turnare a oțelului de la Complexul Industrial Siderurgic din Oțelu – Roșu.

Actuala conjunctură economică impune o abordare graduală a modernizării care să cuprindă următoarele acțiuni:

#### 1 Modernizarea sectorului de elaborare a oțelului prin:

- transformarea cuptorului electric într-un agregat de topire;
- creșterea puterii instalate a agregatului de topire;
- extinderea elementelor constructive răcite cu apă;
- echiparea agregatului cu un sistem de evacuare a oțelului fără zgură;
- echiparea utilajului de topire cu sisteme de insuflare a oxigenului și a cărbunelui în cuptor;
- utilizarea tehnologiei de topire cu zgură spumantă;
- completarea dotării oțelăriei electrice cu o instalație de tratare a oțelului în oală de tip LF;
- conducerea cu calculatorul a procesului de elaborare a oțelului.

#### 2 Modernizarea turnării continue a oțelului prin:

- completarea dotării oțelăriei electrice cu o instalație de turnare continuă a benzilor;
- introducerea tuburilor de imersie între oală și distribuitor respectiv între distribuitor și cristalizor;
- introducerea sistemului de răcire cu apă pulverizată la mașinile de turnare continuă;
- conducerea cu calculatorul a procesului de turnare continuă a oțelului.

Prin aceste măsuri propuse în cadrul prezentei lucrări se poate trece la o organizare a fluxului de fabricație a benzilor în sistem Mini Mill în cadrul Complexului Industrial din Oțelu-Roșu – un sistem paralel cu sistemul de bază al complexului, sistem propus de autorul lucrării.

Prin această abordare se poate aprecia rezolvată o primă treaptă de optimizare – la nivel macro – a acestei fabricații.

### 1.5.2 Sisteme de fabricație a benzilor

Pentru încadrarea în actualele cerințe tehnice, economice și ecologice și pentru a realiza produse cu performanțe tehnice tot mai ridicate în domeniul realizării benzilor s-au definit în ultima perioadă trei sisteme de fabricație:

- Sistemul Convențional – caracteristic anilor 1960 – 1980;
- Sistemul C. S. P. – Compact Strip Production – caracteristic anilor 1990 – 2000;
- Sistemul D. S. C. – Direct Strip Casting – caracteristic perioadei actuale.

Sistemul convențional cuprinde după turnarea continuă a bramelor având grosimi cuprinse între 200 mm - 250 mm și lățimi variind între 800 mm - 2200 mm, cuptoare de încălzire a acestora precum și linii de laminare complexe care asigură obținerea unor benzi laminate la cald având grosimi cuprinse între 2mm -15 mm.

Caracteristic acestor unități productive este capacitatea mare de prelucrare la care se dimensionează (aproximativ 3 mil. tone/an) pentru a aduce prețul produsului în sfera acceptării sale de către piață. Atât costurile investiționale cât și cele energetice aferente proceselor rămân foarte ridicate.

Sistemul C. S. P. prin tehnologia adoptată permite obținerea unor semifabricate turnate continuu având grosimi cuprinse între 40 mm - 60 mm, semifabricate care trecând printr-o linie de laminare la cald formată în general de un tandem de 5 sau 6 caje într-o structură tipică sistemului asigură drept produs final banda laminată la cald în ecartul dimensional al grosimilor cuprins între 2 mm - 6 mm. Costurile investiționale și cele energetice aferente proceselor fac ca instalațiile să devină competitive de la capacitatea de producție mai mari de 500000 mii tone/an.

Sistemul D. S. C. experimentat în prezent pe stații pilot permite obținerea unor benzi turnate continuu având grosimi cuprinse între 8 mm - 15 mm și lățimi de până la 2500 mm utilizând viteze de turnare continuă mai mari de 100 m/min. Aceste benzi intrând direct în cajele de laminare la cald asigură obținerea unor benzi laminate la cald cu grosimi de până la 1 mm și cu performanțe tehnice deosebite.

În concordanță cu cele prezentate se prezintă în figura 1.9 imaginea de ansamblu a unei unități siderurgice convenționale și a unei unități siderurgice CSP de producere a benzilor laminate la cald. Pe baza analizelor tehnico-economice și a rezultatelor practice obținute cu cele două sisteme (convențional și CSP), se prezintă în figura 1.10a o evoluție a costurilor aferente prelucrării unei tone de bandă laminată la cald funcție de capacitatea de producție a unităților siderurgice. Pentru un nivel al costurilor din unitățile siderurgice din Germania se definesc capacitățile de prelucrare de la care unitățile siderurgice convenționale și CSP devin rentabile. În figura 1.10b se reprezintă ponderea costurilor turnării și a costurilor laminării unei tone de bandă laminată la cald, din totalul costurilor aferente prelucrărilor pentru unitățile siderurgice CSP1, CSP2 și unitatea siderurgică convențională. Pe baza informațiilor tehnico-economice ce definesc cele trei procedee de obținere a benzilor laminate la cald, la o productivitate identică se prezintă în tabelul 1.3:

- dimensiunile de gabarit;
- nivelul comparativ al consumurilor energetice;
- nivelul comparativ al costurilor de producție și de investiții.

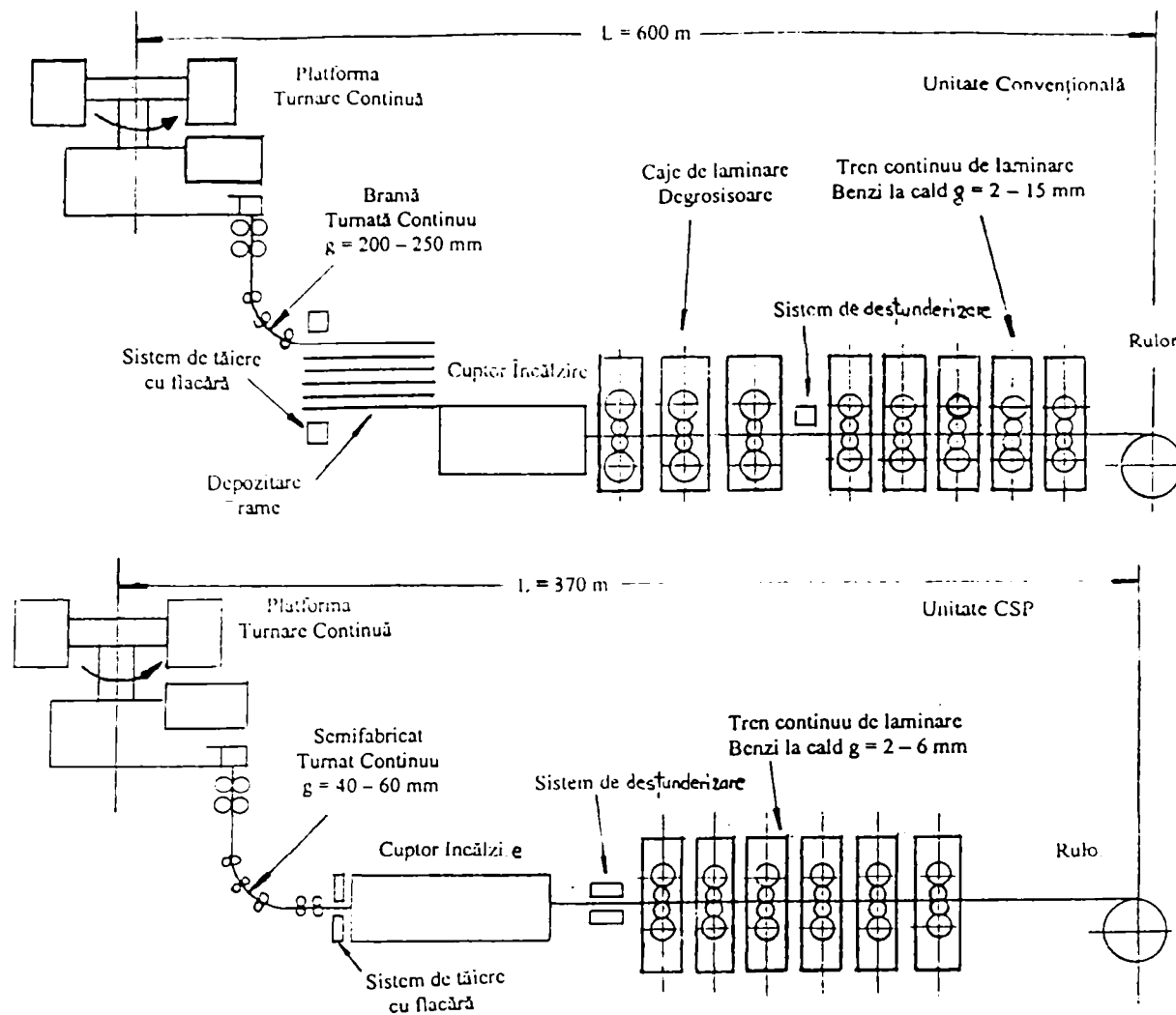


Fig.1.9 Schema tehnologică a unei unități siderurgice CONVENȚIONALE și a unei unități siderurgice CSP pentru producerea benzilor

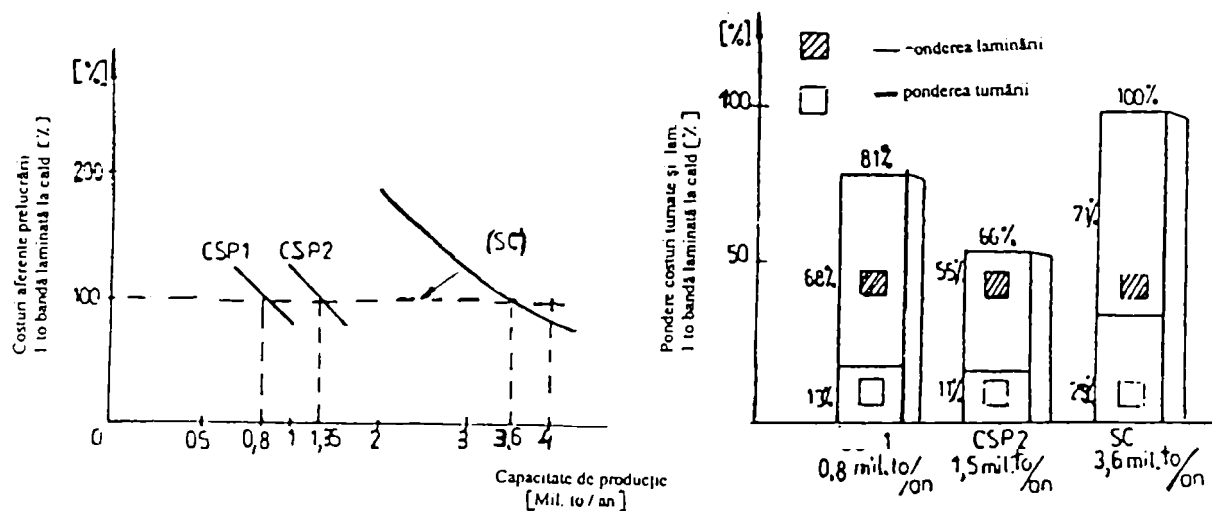


Fig.1.10 Variația costurilor de producție și definirea capacităților de prelucrare de la care unitățile siderurgice pot deveni operaționale pe piață



UNITATE  
CSP

UNITATE  
CONVENȚIONALĂ

de prezent pe plan mondial urmează a se implementa în unități productive soluția tehnologică DSC – Direct Strip Casting – soluție care a fost testată cu succes pe două instalații pilot și două instalații preindustriale.

Soluția sistemului DSC de obținere a benzilor late laminate la cald poate deveni interesantă și pentru o unitate siderurgică de tip “ Mini – Mill “ cum este unitatea siderurgică de la Oțelu – Roșu, mai ales că unitatea are în dotare o secție de laminat benzi late la rece de capacitate 60000 tone/an și o oțelărie electrică cu două mașini de turnare continuă.

Unitatea siderurgică din Oțelu-Roșu nu are în dotare utilaje aferente realizării benzilor laminate late la cald, astfel că realizarea benzilor laminate late la rece rămâne un factor neintegrat în această unitate siderurgică.

Adaptarea unei mașini de turnare continuă a benzilor conform tehnologiei DSC poate fi soluția care va integra fabricația benzilor laminate la rece la unitatea siderurgică din Oțelu-Roșu în cadrul conceptului actual integrat de unitate siderurgică de tip “ Mini-Mill “.

Tehnologia de obținere a benzilor laminate la cald utilizând sistemul DSC este următoarea:

- evacuarea oțelului lichid din oala de turnare într-un sistem de alimentare cu posibilitatea reglării debitului de oțel;
- evacuarea oțelului lichid într-un jgheab orizontal cu ghidaje laterale;
- solidificarea oțelului, insuflarea gazului de protecție ( argon și bioxid de carbon ), preluarea benzii solidificate de către o bandă transportoare din cupru răcită cu apă și înfășurată peste două role motoare;
- preluarea benzii turnate continuu de pe banda transportoare de către o cale cu role și conducerea acesteia la linia de laminare benzi la cald;
- laminarea în benzi de grosimi de până la 1 mm.

În figura 1.11 se prezintă o soluție constructivă cu principalele componente a instalației de turnare benzi la cald utilizând sistemul DSC [1,44].

Experimentarea cu succes a obținerii de benzi turnate continuu la cald cu ajutorul stațiilor pilot DSC a creat următoarele avantaje tehnice și economice față de procedeul convențional și CSP:

- se obțin benzi cu un nivel calitativ ridicat la costuri investiționale și de producție scăzute;
- s-a renunțat la încălzirile ulterioare ale semifabricatelor și deci s-au redus consumurile energetice;
- s-a deschis perspectiva producerii de benzi din mărci de oțeluri de înaltă rezistență utilizate în construcția mijloacelor de transport și a construcțiilor metalice ușoare, care nu puteau fi obținute prin procedeele convenționale și CSP.



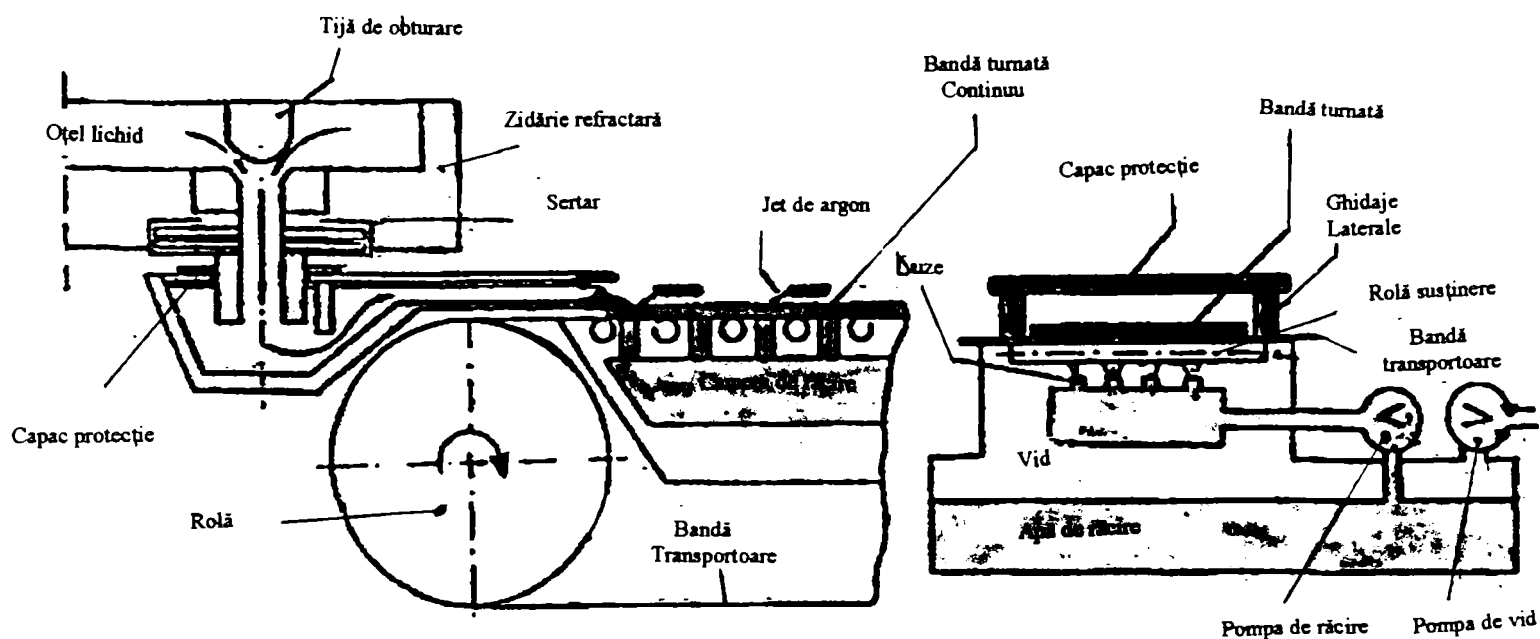
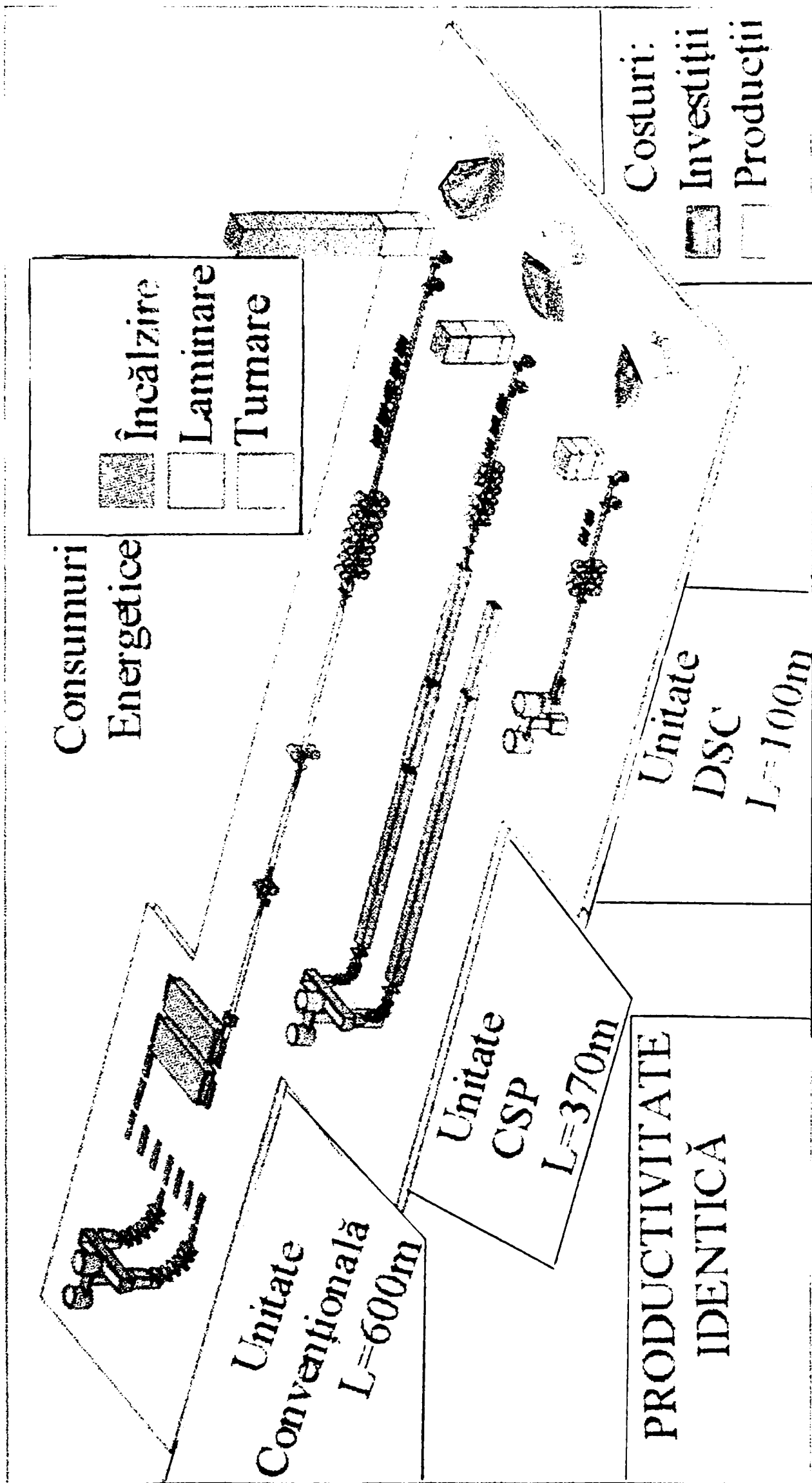


Fig. 1.11 Schema constructivă a turnării benzilor la cald utilizând sistemul DSC

Tabelul 1.3 Caracteristici tehnico-economice ale unităților siderurgice de tip Convențional, CSP și DSC la o productivitate identică

Caracteristici unitate siderurgică	Um	Sistem convențional	Sistem CSP	Sistem DSC
Lungime	[m]	600	370	100
Consum energetic	[%]	100	50	25
Costuri de producție și de investiții	[%]	100	75	60



### 1.5.3 Fabricația benzilor utilizând instalațiile de tip DSC – Direct Strip Casting

O instalație specifică obținerii de benzi la cald direct din topitura de oțel o constituie instalația de turnare continuă a benzii din oțel de tip DSC – Direct Strip Casting – realizată prin efortul conjugat al:

- compartimentelor de cercetare din Mefos și Clausthal;
- producătorilor de oțel din Salzgitter AG și Thyssen Krupp Sthal AG;
- constructorilor de instalații SMS Demag AG;
- EGKS – Comunitatea Europeană a Cărbunelui și Oțelului.

Obiectivele principale care au stat la baza transpunerii în practică a acestor instalații au fost:

- îndeplinirea normelor ecologice cu referire la desfășurarea procesului de fabricație a benzilor la cald;
- realizarea instalației cu costuri investiționale minime;
- reducerea costurilor de producție comparativ cu tehnologiile deja cunoscute;
- obținerea de dimensiuni finale și caracteristici tehnice ale produsului finit comparabile cu produsele realizate cu tehnologiile deja cunoscute;
- obținerea de noi mărci de oțeluri care se regăsesc în produse finale de tip bandă.

#### 1.5.3.1 Principiul și caracteristicile procedurii de fabricație a benzilor la cald utilizând instalațiile de tip DSC

Schema constructivă a turnării continue a benzilor la cald utilizând sistemul DSC este prezentată în figura 1.11.

Oțelul lichid este adus printr-un sistem de alimentare prevăzut cu o tijă de obturare în vederea reglării debitului de oțel pe o bandă transportoare realizată din oțel sau cupru.

Banda transportoare este intens răcită cu apă în partea inferioară și execută o mișcare circulară continuă peste două role acționate electromecanic. Răcirea se execută la trecerea benzii transportoare prin camera de răcire utilizând un sistem de răcire format dintr-o pompă de răcire și o rețea de duze de stropire amplasate între rolele de susținere a benzii transportoare.

Topitura de oțel se deplasează împreună cu banda transportoare într-o incintă vidată protejată de un capac de protecție. În această incintă de inertizare se insuflă pe suprafața topiturii de oțel un jet de argon, are loc procesul de solidificare după care pe suprafața solidificată se insuflă un amestec de argon și bioxid de carbon în vederea micșorării oxidării oțelului elaborat.

Grosimea benzii solidificate este reglabilă între 8 mm și 15 mm. Banda astfel obținută este dirijată printr-un tunel etanș unde temperatura materialului este reglată la valoarea corespunzătoare începerii procesului de laminare la cald.

În continuare procesul de obținere a benzilor la cald se derulează într-o linie continuă de laminare și se obțin benzi de grosimi finale mai mici de până la 0,8 mm.

### 1.5.3.2 Factori determinanți în derularea optimă a procesului de fabricație continuă a benzilor la cald, caracteristici principale ale instalației DSC

#### A ) Dirijarea oțelului lichid

În vederea obținerii unei benzi cu lățime constantă și a vitezei de deplasare a filmului de oțel egală cu cea a benzii transportoare, instalația de tip DSC are în componența sa un sistem de dirijare a oțelului lichid. În figura 1.12 se prezintă sistemul de dirijare a oțelului lichid. Oțelul este adus într-o cameră laterală din care este ridicat sub depresiune într-o a doua cameră care se află deasupra benzii transportoare. Deoarece depresiunea în a doua cameră compensează presiunea ferostatică rezultă că presiunea de turnare aferentă vitezei de depunere este definită prin diferența dintre nivelul benzii și nivelul de umplere a primei camere.

#### B ) Stabilitatea benzii transportoare în plan vertical

Acest fenomen de instabilitate a benzii transportoare în plan vertical apare atunci când distribuția de temperatură pe lățimea benzii este neuniformă și deci pot să apară corespunzător acestor zone pe banda transportoare anumite deformații verticale. Pentru înlăturarea și evitarea acestor deformații zonale instalația DSC este echipată cu un set de role de susținere amplasate sub banda transportoare și aflate în contact permanent cu aceasta.

#### C ) Viteze egale între banda de oțel și banda transportoare

Pentru evitarea frecărilor exterioare între banda de oțel și banda transportoare, instalația DSC este dotată cu inductoare electromagnetice de tip liniar amplasate deasupra topiturii de oțel în camera de inertizare, inductoare ce realizează un câmp magnetic cu ajutorul căruia se obține aceeași viteză a benzii din oțel și a benzii transportoare. Acțiunea câmpului electromagnetic de frânare este echivalentul frânării electromagnetice de la turnarea continuă convențională.

#### D ) Stabilitatea procesului de inertizare a suprafeței benzii din oțel

Asupra calității suprafeței benzilor elaborate cu ajutorul instalațiilor DSC, un rol extrem de important îl are protejarea suprafeței benzii pe durata solidificării oțelului și pe durata imediat următoare acestui proces.

În figura 1.13 a se pune în evidență o suprafață de bandă care a rezultat la contactul cu aerul din incinta de inertizare. În contact cu aerul se generează pe topitura de oțel zguri care se adună în picături care după solidificare datorită tensiunilor termice se sparg generând pe suprafața benzii cratere care dau o calitate inacceptabilă a suprafeței acesteia.

În figura 1.13 b se pune în evidență o suprafață de bandă care a rezultat la contactul acesteia cu un jet de argon în incinta de inertizare. Se evidențiază o mulțime de pori mici în partea superioară a benzii care se oxidează la începerea procesului de laminare rezultând o suprafață necorespunzătoare a benzii laminate la cald.

În figura 1.13 c se pune în evidență o suprafață de bandă care a rezultat la contactul acesteia cu un jet de argon în prima treime a camerei de inertizare, după care pe suprafața benzii s-a insuflat un amestec de argon și bioxid de carbon până la ieșirea benzii solidificate din incinta de inertizare. Prin prezența bioxidului de carbon se realizează într-un strat foarte subțire din topitura de oțel o reducere a conținutului de carbon realizând pe suprafața oțelului un film superficial care generează în continuare o decarburare a suprafeței. Grosimea acestui film este definită de grosimea stratului de difuzie a carbonului în stratul superficial. Are loc așadar un transfer către mijlocul secțiunii benzii a microporozităților și prin laminarea la cald acestea nu vor influența calitatea suprafeței benzii.

#### E ) Limitarea laterală a benzii solidificate

Pe instalațiile de tip DSC în vederea obținerii lățimii programate a benzii solidificate s-a introdus un sistem de limitare laterală a benzii. Sistemul este compus din bare de cupru răcite cu apă sau ghidaje din grafituri speciale nerăcite. Deoarece frecarea laterală a acestor elemente cu banda solidificată ar produce defecte de laminare și deranjamente ale acestui proces, elementele de limitare laterală se deplasează împreună cu banda solidificată. Un sistem de limitare laterală a benzii solidificate este prezentat în figura 1.14.

Caracteristicile principale ale instalației DSC destinate fabricației continue a benzilor la cald în regim industrial:

- 1 Capacitatea de turnare maximă 240 tone/h;
- 2 Grosimi ale materialului turnat 8 – 15 mm;
- 3 Grosimi ale benzii laminate sub 1 mm;
- 4 Lățimea de turnare: reglabilă între 900 mm și 2500 mm;
- 5 Viteze liniare ale benzii solidificate reglabile până la 100 m/min;
- 6 Lungimea zonei de răcire primară a oțelului 10 m;
- 7 Lungimea zonei de solidificare a oțelului 3 m;
- 8 Lungimea zonei de stabilizare a temperaturii benzii solidificate 10-25 m;
- 9 Lungimea zonei de sprijin lateral a benzii turnate 3 m;
- 10 Lungimea totală a instalației 100 m.

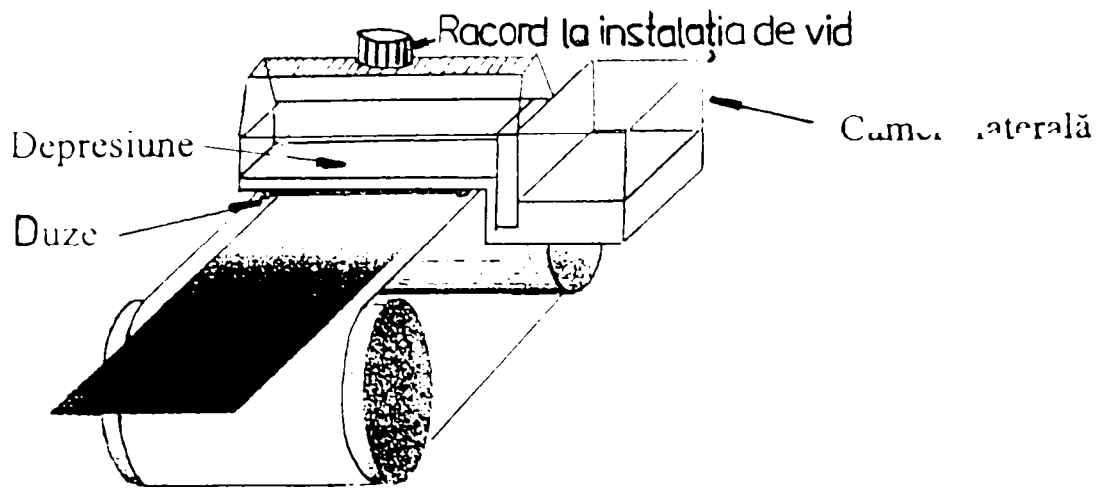


Fig. 1.12 Sistem de alimentare cu oțel lichid sub depresiune

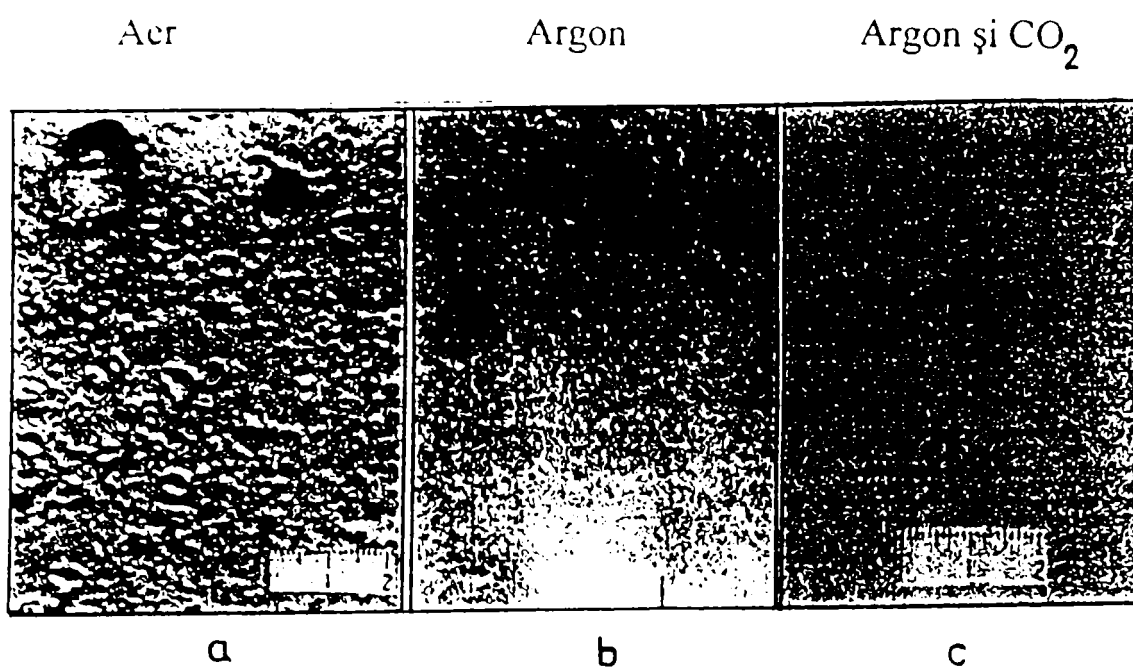


Fig. 1.13 Suprafața benzii turnate solidificată în diferite atmosfere

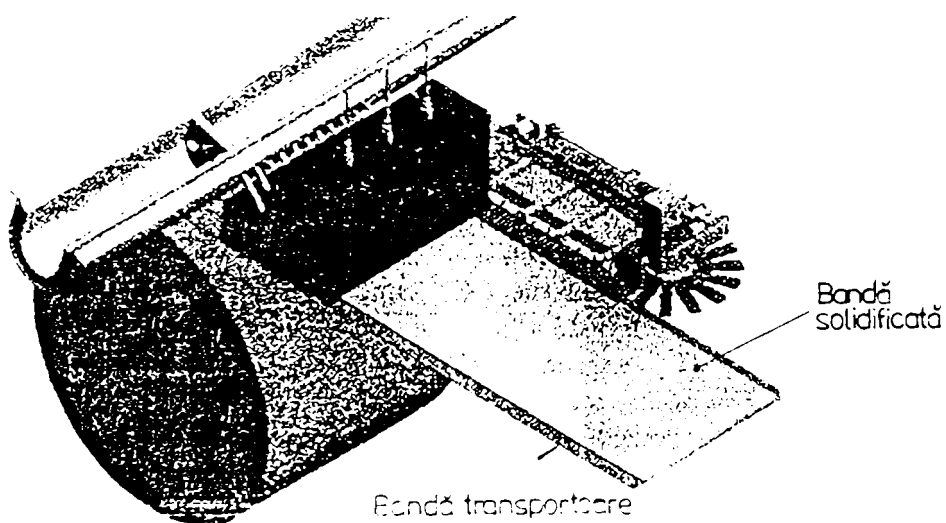


Fig. 1.14 Sistem de limitare laterală a benzii din oțel solidificate



Analizând evoluția procedeeelor tehnologice de obținere a produselor finite plate existente la nivel mondial rezultă clar tendința oricărui producător de produse plate este aceea de a accede la tehnologiile de vârf care în principal urmăresc transformarea unei topituri de oțel în produsul finit de tip bandă.

Prin eforturi conjugate ale cercetătorilor din domeniul elaborării calităților de oțel, al celor din domeniul proiectării utilajelor și al executanților de utilaj siderurgic s-au pus bazele teoretice și practice de turnare continuă a benzilor din oțeluri inoxidabile, extinzând în următoarea etapă și obținerea de benzi din oțeluri nealiate.

Avantajele care decurg din implementarea acestei tehnologii de obținere directă a produselor plate sunt:

- eliminarea instalației de turnare continuă a bramelor;
- eliminarea dotărilor auxiliare de manipulare a bramelor;
- eliminarea încălzirii suplimentare a semifabricatului în cuptor pentru al laminare în produs tip bandă;
- eliminarea laminării la cald;
- eliminarea transportului semifabricatului între operațiile de încălzire și laminare;
- micșorarea timpului productiv de realizare a produsului finit.

În figura 1.15 se prezintă fluxul tehnologic actual de obținere directă a benzilor din oțel și fluxul tehnologic clasic de obținere a benzilor din oțel laminate.

Prin rezultatele obținute și a avantajelor ce decurg din utilizarea acestei tehnologii se pot desprinde următoarele concluzii:

1 Implementarea noii tehnologii este realizabilă în orice societate comercială metalurgică care dispune de sectorul de elaborare a oțelului, deci inclusiv în Complexul Industrial din Oțelu-Roșu.

2 Consumurile tehnologice mai mici decât în cazul utilizării tehnologiilor convenționale și a celor de tip CSP fac ca noua tehnologie să fie ușor implementată utilizând resurse financiare reduse.

3 Calitatea oțelului elaborat împreună cu caracteristicile dimensionale ale produsului finit în comparație cu banda obținută prin procedeele clasice este considerată a fi echivalentă și deci piața de desfacere a produselor de tip bandă este o certitudine.

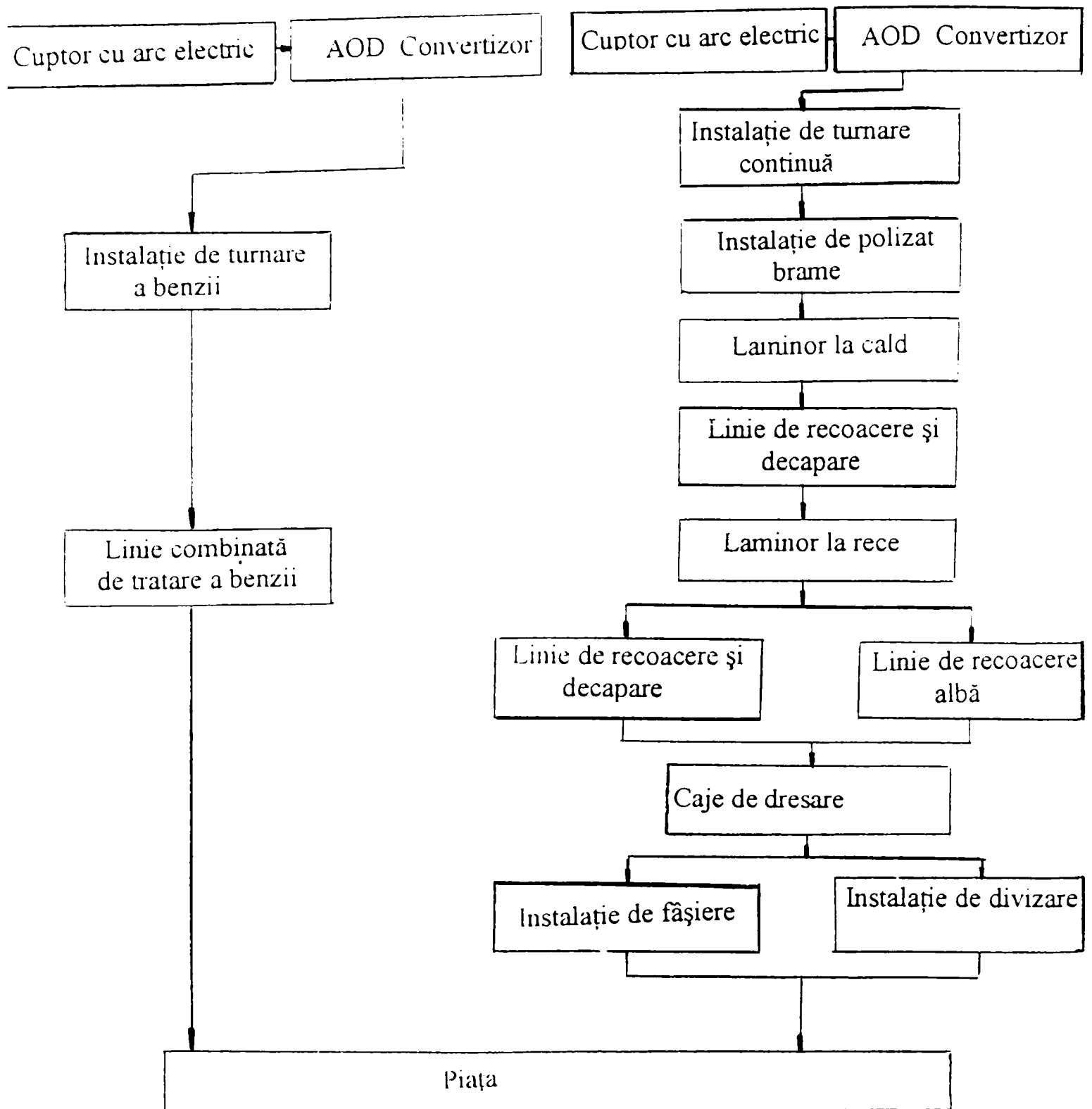


Fig. 1.15 Fluxuri tehnologice de fabricație a benzilor din oțel

## 1.6 Concluzii:

Evoluția economiei la nivel mondial atât în prezent cât și în viitorul apropiat ne indică faptul că și producția de oțel cunoaște un curs ascendent.

În concordanță cu tema prezentei teze de doctorat viitorul fabricației de benzi subțiri din oțel aparține instalațiilor de tip DSC și mai ales prin perfecționările ce se vor aduce aceste instalații vor fi eficiente pe plan mondial.

Pentru Complexul Industrial din Oțelu-Roșu în ceea ce privește fabricația de benzi din oțel rămâne ca acest concept de fabricație să reprezinte singura soluție abordabilă în actuala conjunctură economică a siderurgiei românești.

Implementarea acestei instalații de fabricație a benzilor din oțel în cadrul Complexului Industrial din Oțelu -Roșu este realizabilă:

- cu costuri investiționale mai mici cu până la 40% față de o instalație convențională;
- cu consumuri energetice a instalației mai mici cu până la 50% față de o instalație de tip CSP;
- cu costuri de fabricație ale benzii ce ating valori cuprinse între 250 – 275 \$/tonă față de 375 – 400 \$/tonă realizate cu tehnologiile de tip convențional și CSP.

### Utilaje pentru laminarea benzilor subțiri

Principalul utilaj utilizat la laminarea tablelor subțiri îl constituie caja de laminare. Construcția cajei de laminare este hotărâtoare pentru obținerea preciziei dimensionale a laminatelor finite. Realizarea unor benzi laminate finite cu înalte caracteristici de calitate (abateri dimensionale restrânse) atât pe lungimea benzii cât și pe secțiunea acesteia impune utilizarea unor construcții deosebite.

Pentru laminarea tablelor subțiri din punct de vedere constructiv se utilizează următoarele tipuri de caje de laminare:

- caje duo;
- caje cuarto;
- caje cuarto optimizate;
- caje policilindrice.

#### 2.1 Caje de laminare

##### 2.1.1 Caje duo

Cajele duo sunt utilaje principale de laminare cu doi cilindri orizontali așezați în același plan vertical. Se folosesc la laminarea tablelor ca și caje degrositoare precum și la laminarea benzilor înguste. Aceste construcții de caje nu permit obținerea unor precizii dimensionale ridicate.

##### 2.1.2 Caje cuarto

Cajele cuarto sunt utilaje care au patru cilindri orizontali așezați în același plan vertical. Cei doi cilindri mijlocii au diametre mai mici și sunt folosiți ca cilindri de lucru. Cilindrii exteriori sunt de sprijin pentru cilindrii de lucru și au diametre mai mari. Prin utilizarea cilindrilor de lucru cu diametrul mai mic se reduc forțele necesare laminării iar sprijinirea pe diametru mare micșorează încovoierea provenită din forțele de laminare asigurând astfel obținerea unor table cu abateri dimensionale pe secțiune reduse.

Acționarea cajelor se face de obicei prin cilindrii de lucru. Transmiterea forței de laminare spre cadru se realizează prin lagărele cilindrilor de sprijin. Cilindrii de sprijin sunt antrenați prin frecare de mișcarea cilindrilor de lucru.

Perfecționarea sistemelor de reglare a grosimii coroborat cu diferite măsuri constructive ce conduc la mărirea rigidității naturale a cajei asigură realizarea unor produse finite cu abateri dimensionale mai restrânse.

Pentru mărirea preciziei dimensionale a laminatelor plate în afara creșterii rigidității obținute prin:

- mărirea secțiunii coloanelor cadrelor;
- scurtarea fluxului forțelor;
- mărirea diametrelor cilindrilor;
- mărirea diametrelor fuselor

se utilizează pretensionarea cajelor. Sub acțiunea forței de laminare caja lucrează ca un resort deformându-se aproximativ proporțional cu forța. Dacă forța variază ca urmare a unor abateri de grosime rezultate din laminări anterioare (datorită unor

diferențe a rezistenței la deformare din cauza diferențelor de temperaturi sau de structură) sau din cauza excentricității cilindrilor atunci distanța dintre cilindri variază cu rezultate negative asupra preciziei dimensionale a produsului. Elementele caiei cuarto de laminare care se deformează elastic – ca un resort – în timpul procesului de laminare a benzilor sunt:

- traversa superioară;
- mecanismul șurub/piuliță;
- portlagărele și lagărele cilindrilor superiori de sprijin și de lucru;
- elementele de măsurare a forței (mesdoze);
- cilindrii de sprijin și de lucru superiori;
- cilindrii de sprijin și de lucru inferiori;
- portlagărele și lagărele cilindrilor inferiori de sprijin și de lucru;
- traversa inferioară;
- coloanele cadrului.

Considerând că fiecare element ce compune caia de laminare se deformează elastic în timpul procesului de laminare, se prezintă în figura 2.1 schema caiei cuarto sub acțiunea forțelor de laminare și pretensionare împreună cu deformațiile elastice aferente fiecărui element component al caiei.

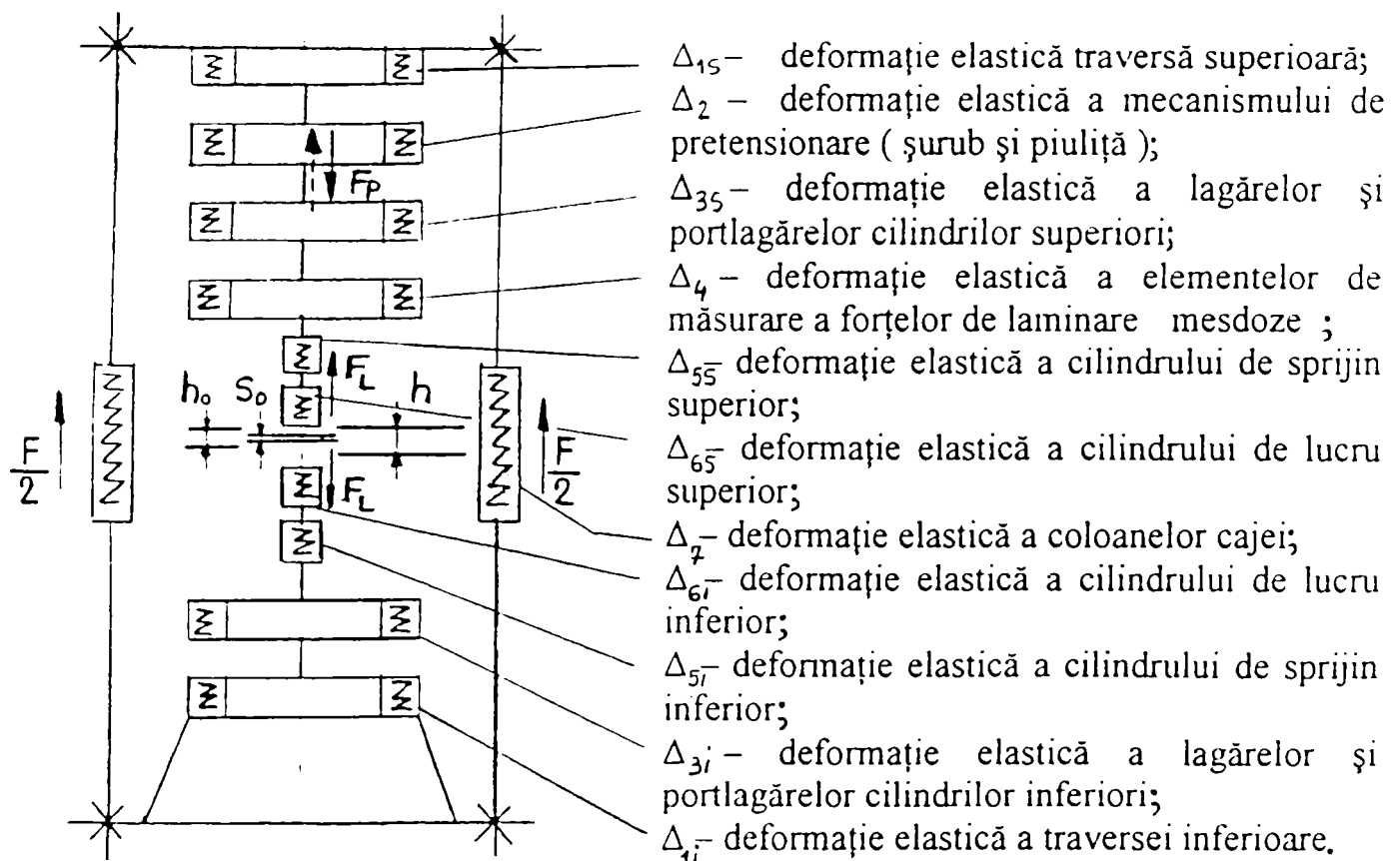


Fig. 2.1 Schema caiei cuarto sub acțiunea forțelor de laminare și pretensionare

În cazul cajei pretensionate pentru laminarea benzilor există următoarea relație de echilibru ce acționează asupra cajei [1,3]:

$$F = F_L + F_P; \text{ [MN]} \quad (2.1)$$

F – forța în coloanele cadrului cajei de laminare;

$F_L$  – forța de laminare;

$F_P$  – forța de pretensionare.

În practică cajele de laminare pot lamina în două moduri distincte:

a)  $F = \text{constant}$ ;  $F_L$  și  $F_P$  variază astfel încât diferențele să se compenseze ( $F_L = F_P$ ); [1, 20]

b)  $F_P = \text{constant}$ ; variația forței de laminare se compensează prin variația forței din coloanele cadrului.

Notând cu  $\Delta_t$  deformația elastică a cajei și ținând cont de cele prezentate în figura 2.1 se poate scrie relația:

$$\Delta_t = \Delta_{1s} + \Delta_2 + \Delta_{3s} + \Delta_4 + \Delta_{5s} + \Delta_{6s} + \Delta_7 + \Delta_{6i} + \Delta_{5i} + \Delta_{3i} + \Delta_{1i} \quad (2.2)$$

Folosind relațiile (2.1) și (2.2) se poate defini modulul de rigiditate al cajei de laminare astfel:

$$M = \frac{F}{\Delta_t}; \text{ [MN/mm]} \quad (2.3)$$

Din figura 2.1 se calculează grosimea benzii laminate cu relația:

$$h_o = s_o + \frac{F}{M}; \text{ [mm]} \quad (2.4)$$

$s_o$  - interstițiul de laminare mm, h - grosimea benzii înainte de laminare,

$h_o$  - grosimea benzii laminate.

Notând cu  $M_L$  modulul de rigiditate al cilindrilor de laminare și cu  $M_P$  modulul de rigiditate al elementelor pretensionate și utilizând egalitatea:  $\frac{1}{M} = \frac{1}{M_L} + \frac{1}{M_P}$  (2.5) relația (2.4) devine:

$$h_o = s_o + \frac{F_L}{M_L} - \frac{F_P}{M_P} \quad \Leftrightarrow \quad h_o = s_o + \Delta_L - \Delta_P; \text{ [mm]} \quad (2.6)$$

$\Delta_L$  - deformația elastică a cilindrilor de laminare rezultată în urma acțiunii forței de laminare;

$\Delta_P$  - deformația elastică a elementelor pretensionate ca urmare a acțiunii forței de pretensionare.

Analizând procesul de laminare în cazul  $F = \text{constant}$  – forța în coloanele cadrului cajei de laminare constantă – și considerând că din laminare rezultă o grosime mai mică decât cea prescrisă, atunci diferența dintre cele două grosimi  $\Delta h$  va fi definită de următoarea relație:

$$\Delta h = h_o - h'_o = s_o + \frac{F_L}{M_L} - \frac{F_P}{M_P} - \left( s_o + \frac{F'_L}{M'_L} - \frac{F'_P}{M'_P} \right); \text{ [mm]} \quad (2.7)$$



Rezultă că diferența de grosime a benzii laminate față de cea prescrisă se compune din suma algebrică a deformațiilor aferente forțelor de laminare și a forțelor de pretensionare:

$$\Delta h = \frac{\Delta F_L}{M_L} + \left( -\frac{\Delta F_P}{M_P} \right); [\text{mm}] \quad (2.8)$$

Deoarece  $\Delta F_L = -\Delta F_P$  la  $F = \text{constant}$  – forța în coloanele cadrului caiei de laminare constantă – atunci relația (2.8) devine:

$$-\Delta h = \frac{\Delta F_P}{M}; [\text{mm}] \quad (2.9)$$

În figura 2.2 se reprezintă diagrama “efort-deformație” a elementelor caiei pretensionate atunci când se lucrează cu  $F = \text{constant}$  în coloanele cadrului.

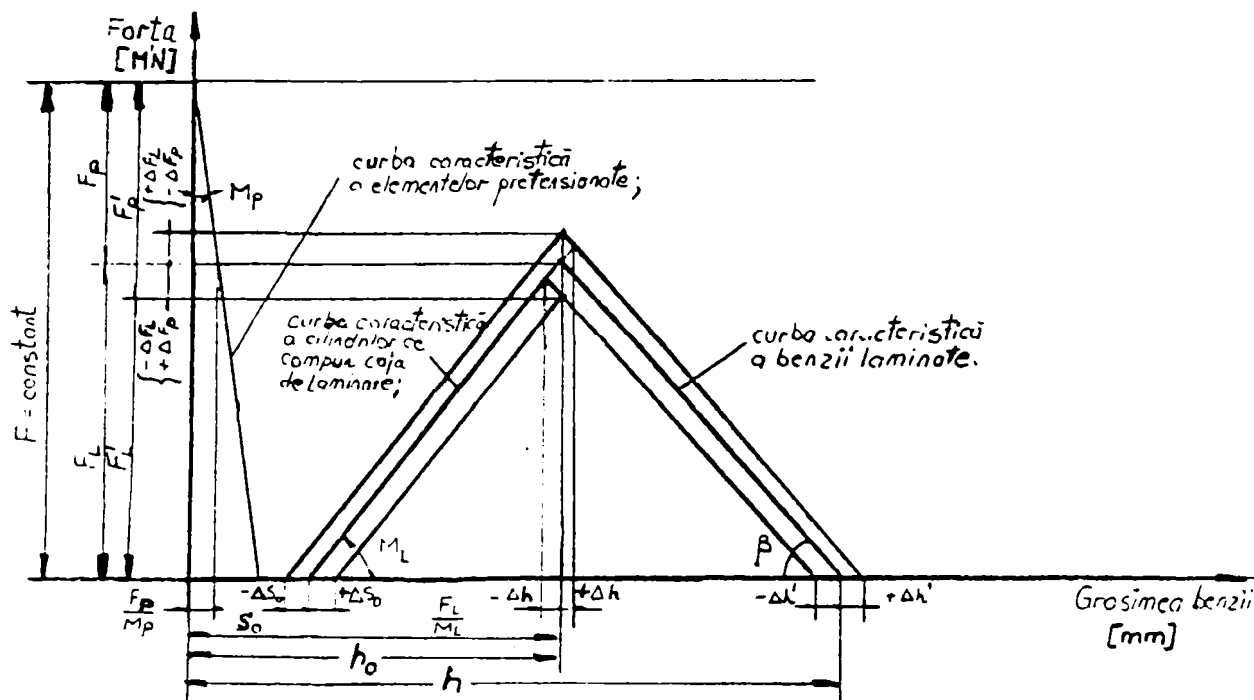


Fig. 2.2 Diagrama efort-deformație a caiei de laminare pretensionate;  $F = \text{constant}$ .

Analizând procesul de laminare în cazul  $F_P = \text{constant}$  – forța de pretensionare constantă – ceea ce înseamnă că deformațiile elastice a pieselor pretensionate sunt constante respectiv mărimea interstițiului aferent laminării este constant și impunând condiția ca banda laminată să fie de grosime constantă este necesar ca:

$$\frac{F_L}{M_L} - \frac{F_P}{M_P} = \text{constant}; [\text{mm}] \quad (2.10)$$

Prin operații matematice succesive relația (2.10) devine:

$$\frac{M}{M_P + M_L} \cdot F - F_P = \text{constant}; [\text{N}] \quad (2.11)$$

În figura 2.3 se reprezintă diagrama “efort-deformație” a elementelor caiei pretensionate atunci când se lucrează cu  $F_P = \text{constant}$  și se consideră o creștere a grosimii benzii laminate cu  $\Delta h$  urmare a creșterii cu  $\Delta h'$  a grosimii benzii la intrare.



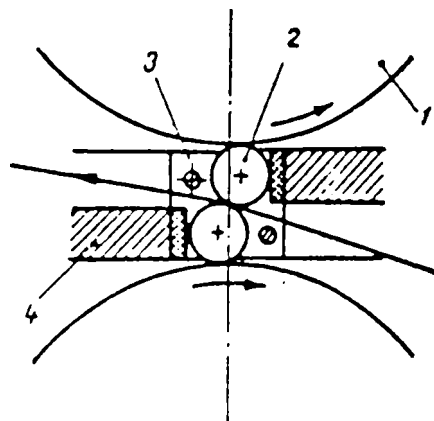
### 2.1.3 Caje cuarto optimizate

Laminarea benzilor și tablelor subțiri impune găsirea unor soluții pentru obținerea de produse cu grosimi din ce în ce mai mici, cu caracteristici mecanice și precizie dimensională tot mai ridicate și cu o calitate deosebită a suprafeței și structurii.

Reducerea maximă de grosime într-o singură trecere de laminare este invers proporțională cu diametrul cilindrilor de lucru, dar chiar recurgând la treceri repetate cu recoaceri intermediare există o limită de grosime sub care nu se poate coborî utilizând cilindrii de lucru de diametru dat.

Se ajunge la o limită la care deformația elastică a cilindrilor e mai mare decât deformația plastică a materialului. Teoretic se consideră că limita grosimii minime este 0,0005 din diametrul cilindrilor de lucru al cajelor, practic însă limita tehnică este de 0,001 din diametrul cilindrilor de lucru al cajelor. Utilizarea unor cilindri de lucru cu diametru mic prezintă însă dificultăți în procesul de laminare ca de exemplu încovoierea lor pronunțată [1, 20].

Caja cuarto cu cilindrii dezaxați reprezintă o soluție ce caută să rezolve problema acestei încovoieri. Caja are cilindrii de lucru cu diametru foarte mic așezați în plane decalate față de planul axelor cilindrilor de sprijin. Pentru menținerea în poziție se prevăd suprafețe de rezemare laterale. În figura 2.5 se prezintă schema constructivă a cajei cuarto cu sprijin lateral a cilindrilor.



- 1 – cilindrii de sprijin acționați;
- 2 – cilindrii de lucru;
- 3 – piesă de sprijinire a cilindrilor de lucru;
- 4 – bloc de sprijinire laterală.

Fig. 2.5 Caje cuarto cu sprijin lateral

Caja cuarto cu cilindrii de sprijin laterali previne încovoierea cilindrilor de lucru în plan orizontal prin sprijinire laterală. Micșorarea diametrului cilindrilor de lucru este limitată de posibilitatea transmiterii cuplului de laminare și de încovoierea în plan orizontal pe direcția de laminare datorită tracțiunii în bandă și forței orizontale ce apare când acționarea se face prin cilindrii de sprijin. Caja cuarto cu cilindrii de sprijin laterali are următoarele particularități:

- cilindrii de lucru se găsesc într-un plan vertical deplasat față de planul cilindrilor de sprijin;

- sprijinirea laterală se face în partea de deplasare a cilindrilor de lucru prin cilindrul intermediar și arborele de sprijin cu rulmenți așezați pe o grindă;
- cilindrii de lucru sunt antrenați prin frecare de cilindrii de sprijin care sunt cuplați cu grupul de acționare.

Distribuția forțelor în spațiul de laminare este prezentată în figura 2.6. La caja cuartă cu cilindrii de sprijin laterali diametrul cilindrilor de lucru este mai mic decât jumătatea diametrului cilindrilor de lucru al cajelor cuartă obișnuite. Din analiza constructivă a cajei cuartă de laminare benzi la rece din cadrul unității siderurgice din Oțelu – Roșu rezultă că soluția cajei cuartă optimizată cu sprijin lateral nu este aplicabilă.

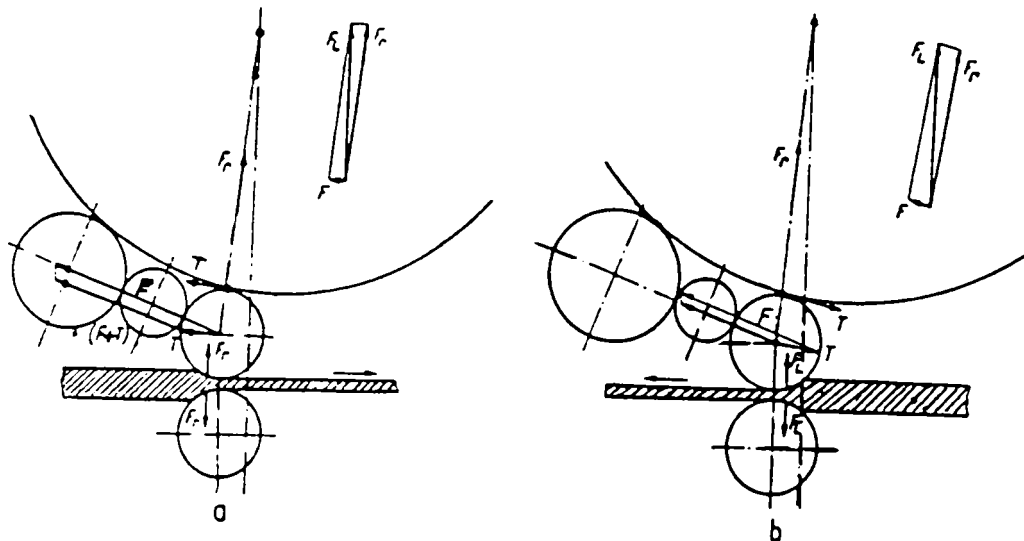


Fig. 2.6 Distribuția forțelor în zona de lucru la caja cuartă cu cilindri laterali de sprijin:

- laminarea în direcția opusă cilindrilor laterali;
- laminarea în direcția către cilindrii laterali de sprijin.

#### 2.1.4 Caje policilindrice

Cajele cu mai mult de patru cilindrii se folosesc în mod exclusiv pentru laminarea la rece a benzilor subțiri. Scopul principal al înmulțirii cilindrilor îl constituie micșorarea diametrului cilindrilor de lucru respectiv micșorarea efortului de laminare compensând slăbirea rezistenței cilindrilor prin adăugarea unor cilindrii de sprijin.

Cajele policilindrice se construiesc uzual cu 6 cilindrii orizontali în X, cu 12 cilindrii orizontali și cu 20 de cilindrii orizontali. Schema acestor construcții este prezentată în figura 2.7. La cajele policilindrice care folosesc cilindrii de lucru de diametru foarte mic se realizează o reducere mult mai mare la o trecere decât se poate obține la cajele cuartă. În plus cajele policilindrice se caracterizează prin posibilitatea de a lamina bandă cu raportul grosime față de lățime până la  $1/40000$ .

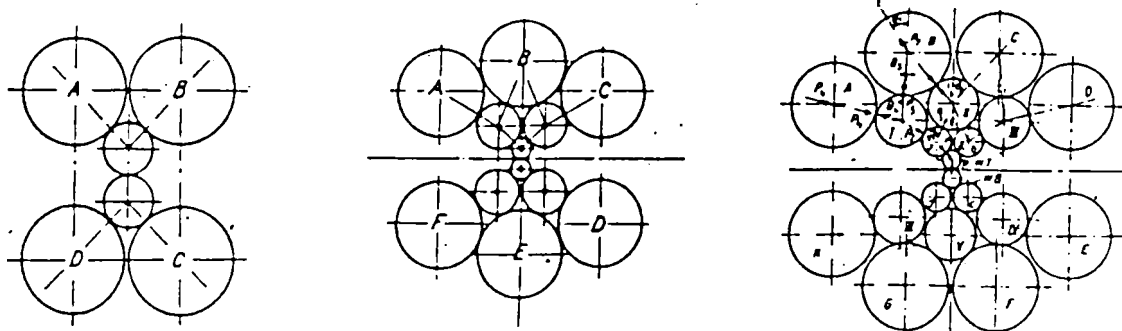


Fig. 2.7 Scheme principale aferente cajelor policilindrice

## 2.2 Profilarea cilindrilor de laminare în sistem CVC (Continuously Variable Crown- Effekt).

Utilizatorii benzilor laminate la rece și la cald impun condiții tot mai ridicate privind calitatea benzii laminate și anume:

- respectarea toleranței grosimii benzii;
- respectarea profilului secțiunii benzilor;
- respectarea planeității benzilor;
- respectarea calității suprafeței.

Respectarea profilului secțiunii benzilor laminate în timpul procesului de laminare depinde de următorii factori tehnologici:

- mărimea forțelor de laminare;
- profilul cilindrilor de lucru și de sprijin;
- temperatura cilindrilor de lucru și de sprijin;
- uzura cilindrilor de lucru și de sprijin.

Atunci când forța pe lagăr depășește domeniul de presiuni al deformării, cilindrii de sprijin se încovoie, iar cilindrii de lucru se situează astfel, încât se schimbă repartizarea presiunii între aceștia și cei de sprijin, suma presiunilor rămânând constantă. În figura 2.8 se prezintă repartizarea presiunilor între cilindrii de lucru și cei de sprijin.

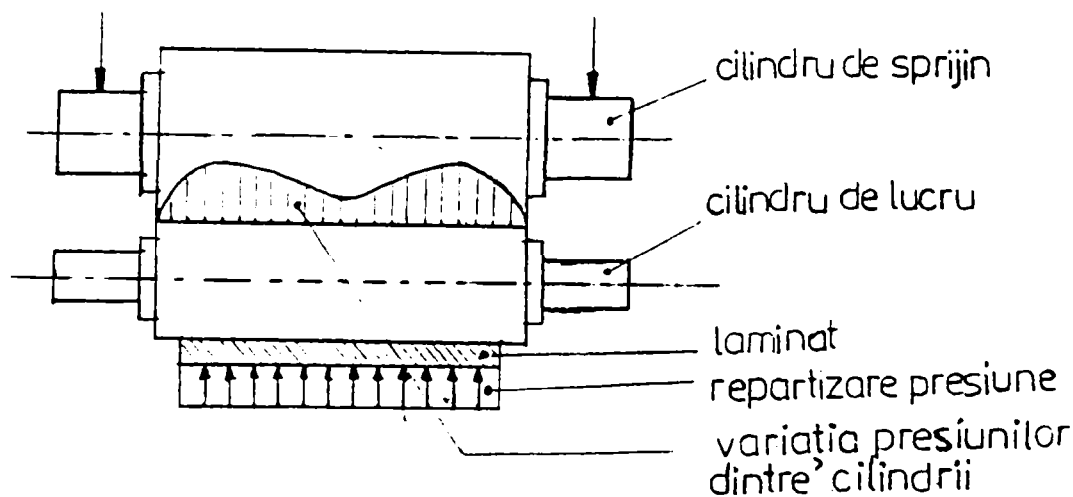


Fig. 2.8 Repartizarea eforturilor de contact între cilindrii de lucru și cilindrii de sprijin

Pentru realizarea profilului necesar al generatoarelor cilindrilor de lucru (cu cilindrii de sprijin rigizi) se utilizează următoarele soluții tehnice:

- compensarea deformației, din încovoiere, prin utilizarea cilindrilor cu tăblie profilată (bombament concav sau convex);
- reglajul pe cale termică (diferențe de temperatură pe lungimea tăbliei);
- reglajul hidromecanic, prin încovoierea controlată a cilindrilor; se produce o încovoiere suplimentară care se suprapune peste cea rezultată din forța de laminare.

În urma analizării factorilor tehnologici care influențează și definesc profilul secțiunii transversale a laminatului se constată că modificări majore ale profilului benzii rezultă din:

- modificarea bombajului termic al cilindrului;
- modificarea uzurii cilindrilor;
- modificarea forțelor de laminare.

Față de aceste perturbații ce influențează esențial profilul secțiunii benzii laminate se impune introducerea sistemelor automate de reglare care să vizeze menținerea cât mai riguroasă a profilului impus benzii laminate.

O soluție deosebit de eficientă de reglare a parametrilor tehnologici ce definesc procesul de laminare a apărut o dată cu sistemul CVC—Continuously Variable Crown Effekt. Sistemul CVC face uz de cilindrii de lucru – uneori și cilindrii de sprijin – prelucrați în formă de S. Prin deplasarea axială a cilindrilor de lucru se obține un bombaj neutru, un bombaj pozitiv sau un bombaj negativ rezultând o variație controlată a interstițiului de laminare așa cum se poate vedea în figura 2.9.

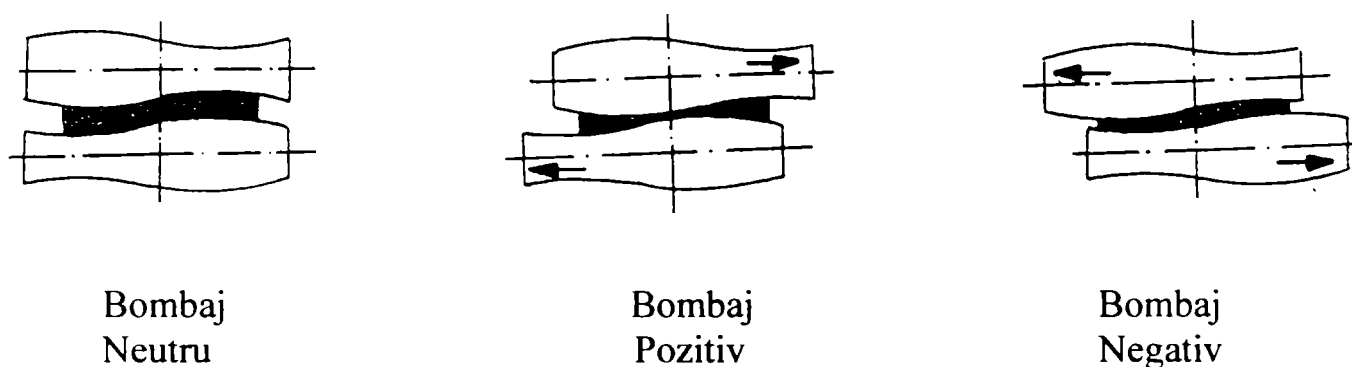


Fig. 2.9 Variația interstițiului de laminare prin deplasarea axială a cilindrilor de lucru prelucrați în formă de S

Cilindrul superior și cel inferior de lucru sunt rectificăți având generatoarea lor sub forma literei S - poziția de montaj a unuia dintre cilindrii fiind rotită cu 180°, cei doi cilindrii definesc un contur de laminare caracterizat de un bombaj neutru, un bombaj pozitiv sau un bombaj negativ o dată cu deplasarea axială a celor doi cilindrii. Acest principiu va defini o posibilitate tehnică de a regla procesul de laminare în timpul desfășurării sale. Conturul CVC este definit printr-un polinom de gradul 3 de forma [1,22]:

$$r(x) = a_3 x^3 + a_2 x^2 + a_1 x + a_0 \quad (2.12)$$

în care:

- $r$  - raza cilindrului de lucru;
- $x$  - coordonata pe lungimea tăbliei;
- $a_i$  - coeficienți polinomiali ce definesc domeniul de reglare al sistemului CVC.

Prin alegerea adecvată a coeficienților polinomiali se pot defini domeniile de reglare ale sistemului CVC într-un câmp larg în care procesul de laminare poate să fie



controlat. Pentru trei exemple tipice în figura 2.10 se reprezintă dependența dintre pozițiile de deplasare axială a cilindrilor de lucru și bombajul echivalent aferent.

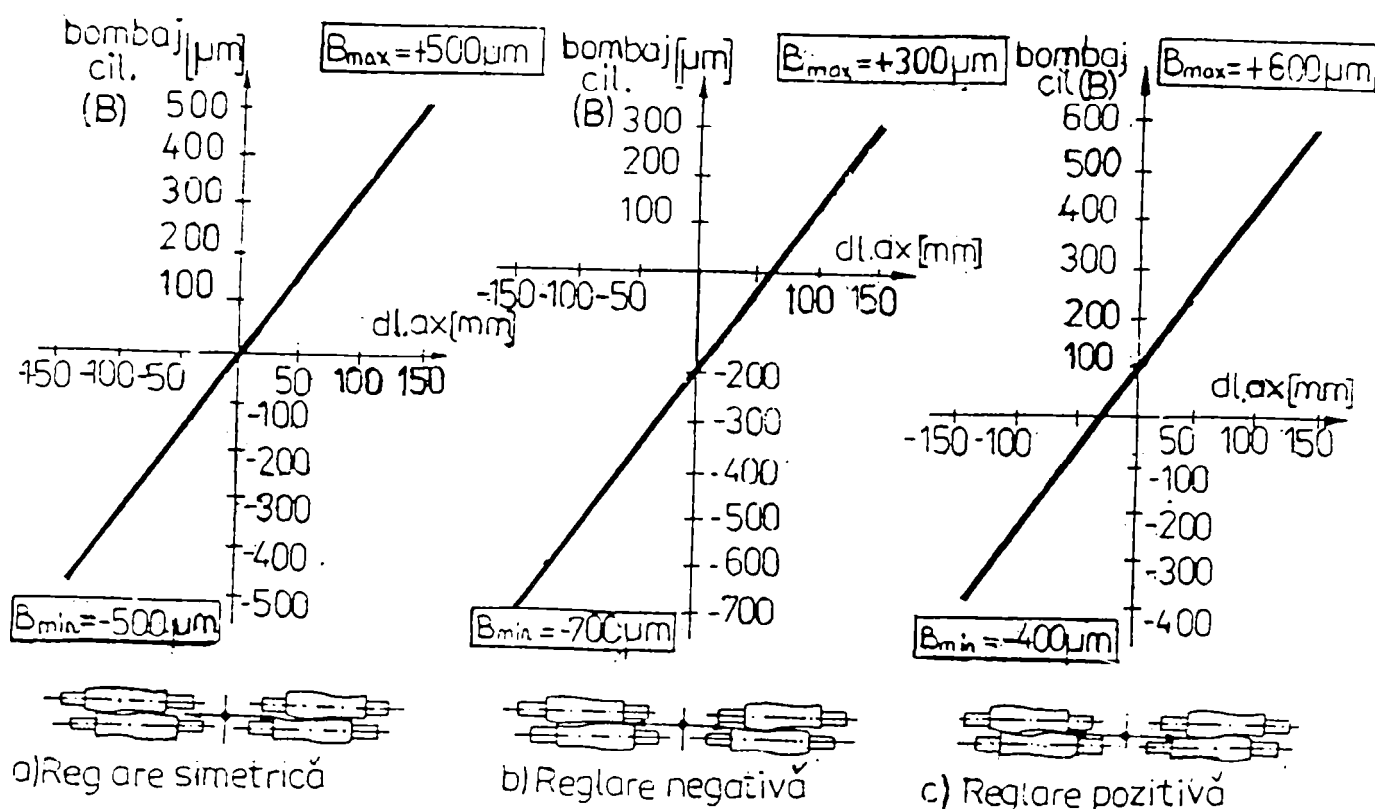


Fig. 2.10 Dependența dintre deplasarea axială a cilindrului de lucru și bombajul echivalent al cilindrului

### 2.2.1 Echiparea cajelor de laminare cu cilindrii rectificați tip CVC și sistemele de reglare aferente

Prin mărirea domeniului de reglare și prin micșorarea timpilor de reglaj se creează pentru procesul de laminare un avantaj hotărâtor. În cazul unui laminor în tandem, cilindrii din ultima cajă de laminare sunt rectificați tip CVC. Rectificarea cilindrilor în formă de S reprezintă una dintre problemele de bază în realizarea sistemului de reglare CVC. În vederea reglării se impune realizarea unui concept integrat ce privește rectificarea cilindrilor în formă de S, sistemul de deplasare axială și mărimile ce caracterizează procesul, care să asigure obținerea unui produs finit de înaltă calitate. În figura 2.11 se prezintă ansamblul echipat cu cilindri rectificați în formă de S. Sistemul CVC de reglare a interstițiului de lucru al laminorului are drept elemente de execuție două motoare hidraulice liniare care asigură deplasarea axială a cilindrilor de laminare. Comanda de deplasare axială în vederea reglării – modificării profilului – interstițiului de laminare este dată în funcție de datele transmise de calculatorul de proces peste care se suprapun mărimile de ieșire ale sistemelor de comandă adaptivă la perturbațiile procesului. Comanda de deplasare axială a cilindrilor se dă în funcție de variația mărimilor de caracterizare a procesului

laminării – informația curentă din proces precum și a perturbațiilor ce apar în timpul derulării procesului de laminare. Acestea sunt:

- deformațiile elastice ale cilindrilor de lucru (încovoieri și aplatizări);
- deformațiile termice la intrare;
- uzura cilindrilor;
- variațiile dimensionale ale benzii la intrare;
- repartitia forței specifice de laminare pe lățimea benzii;
- repartitia tensionării benzii pe lățimea ei.

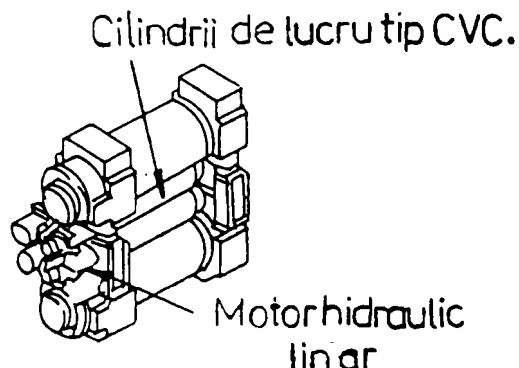


Fig. 2.11 Ansamblul echipat cu cilindri rectificați în formă de S

### 2.2.2 Variația vitezelor pe lungimea tăbliei în cazul utilizării cilindrilor de tip CVC

Diferența de diametre pe cilindrii de laminare rectificați cu utilizarea sistemului CVC pe lungimea tăbliei variază cu un ordin de mărime de maximum 1 mm. Pornind de la acest fapt rezultă că diferențele de viteze variază cu 0,25% în interstițiul de laminare. În funcție de reducerea la laminare diferențele de viteză dintre cilindru și bandă variază între 5% și 40% în zona de frânare și între 0,5% și 8% în zona de accelerare. Acest aspect este prezentat în figura 2.12.

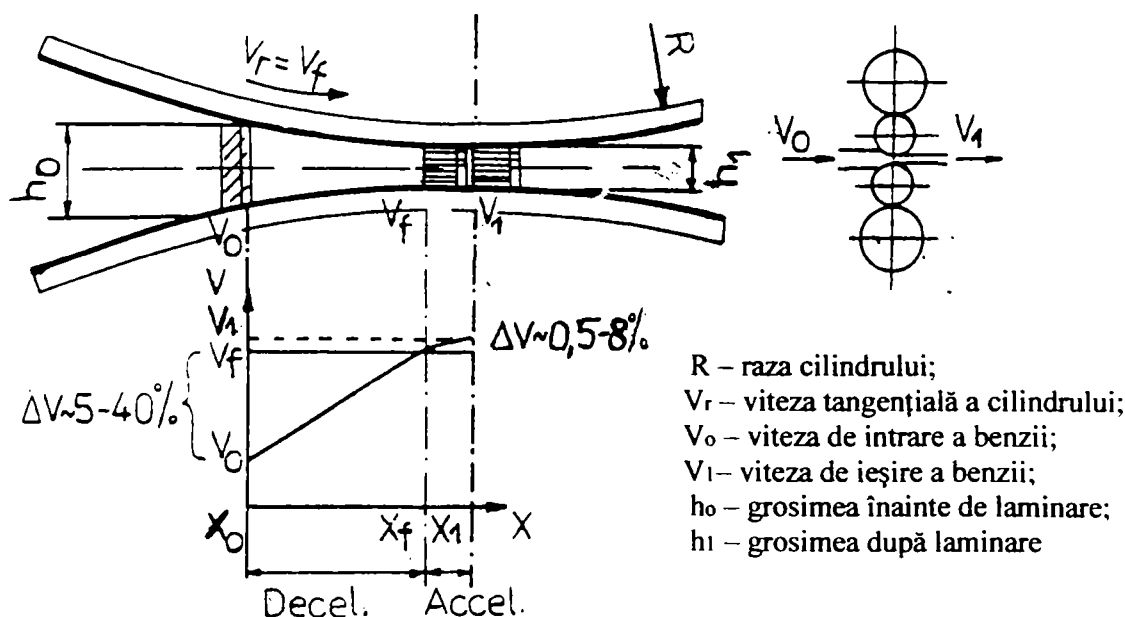


Fig. 2.12 Variația vitezelor de-a lungul interstițiului de deformare în timpul laminării

### 2.2.3 Uzura cilindrilor de lucru și de sprijin

Comportamentul la uzură a cilindrilor șlefuiți în sistem CVC a fost studiat experimental pe un număr mare de cilindri. S-a constatat că uzura cilindrilor de lucru și mărimea interstițiului de laminare este repartizată uniform așa cum se prezintă în figura 2.13. Uzura cilindrilor de sprijin este de asemenea egală cu cea existentă la cajele convenționale.

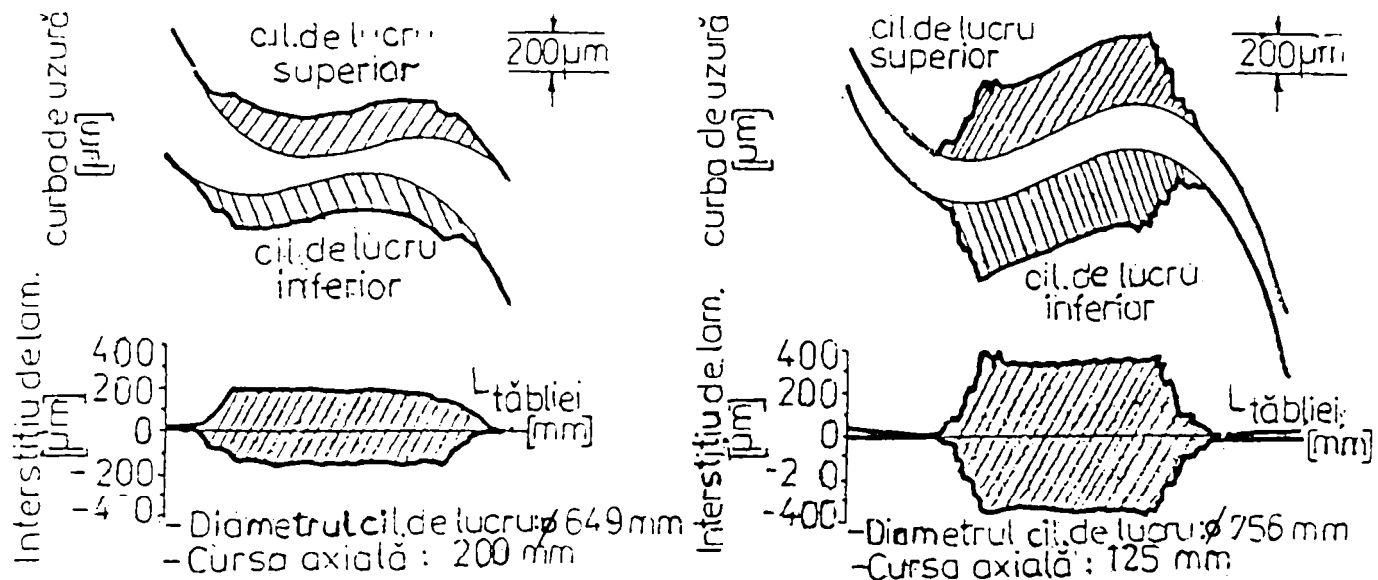


Fig. 2.13 Evoluția uzurii cilindrilor și modificarea interstițiului laminării la laminarea în sistem CVC

### 2.2.4 Concepte de reglare tehnologică

Pentru reglarea procesului de laminare în timpul derulării sale în vederea compensării perturbațiilor ce apar, laminorul este echipat cu bucle de reglare automată. Aceste bucle asigură:

- reglarea grosimii benzii;
- reglarea temperaturii cilindrilor;
- reglarea profilului și a planeității benzii.

Reglarea grosimii benzii este asigurată de o buclă de reglare clasică în care mărimea prescrisă este menținută prin mărimile de ieșire ale sistemului respectiv.

Reglarea temperaturii cilindrilor de lucru este asigurată prin răcirea controlată a zonei de deformare, ea influențând forma și mărimea interstițiului de laminare.

Reglarea planeității benzii inclusiv a formei profilului benzii laminate are drept mărimi de execuție deplasările axiale ale cilindrilor de lucru, încovoierea fusurilor cilindrilor de lucru, poziționarea cilindrilor de sprijin, răcirea cilindrilor de lucru.

Planeitatea este definită de un polinom matematic de forma:

$$P(x) = p_0 + p_1 x^{[1]} + p_2 x^{[2]} + p_3 x^{[3]} + p_4 x^{[4]} \quad (2.13)$$

Un microprocesor electronic calculează abaterile între mărimea prescrisă și cea măsurată urmând să acționeze asupra parametrilor de reglare a cărei în vederea egalizării mărimilor măsurată și prescrisă. Gradul [1] al polinomului acționează ca o mărime de reglare asupra sistemului de poziționare hidraulică a cilindrilor de sprijin. Gradul [2] al polinomului acționează ca o mărime de reglare a deplasării axiale a cilindrilor de lucru respectiv asupra sistemului de poziționare hidraulică a cilindrilor de lucru. Gradele [3] și [4] ale polinomului acționează ca o mărime de reglare asupra sistemului de răcire al cilindrilor. Coeficienții polinomiali  $p_i$  definesc domeniul de reglare al sistemului automat de reglare a procesului de laminare utilizând cilindrii de laminare de tip CVC. În figura 2.14 este prezentată schema sistemului automat de reglare a procesului de laminare utilizând cilindrii de laminare de tip CVC cu detalierea buclelor de reglare.

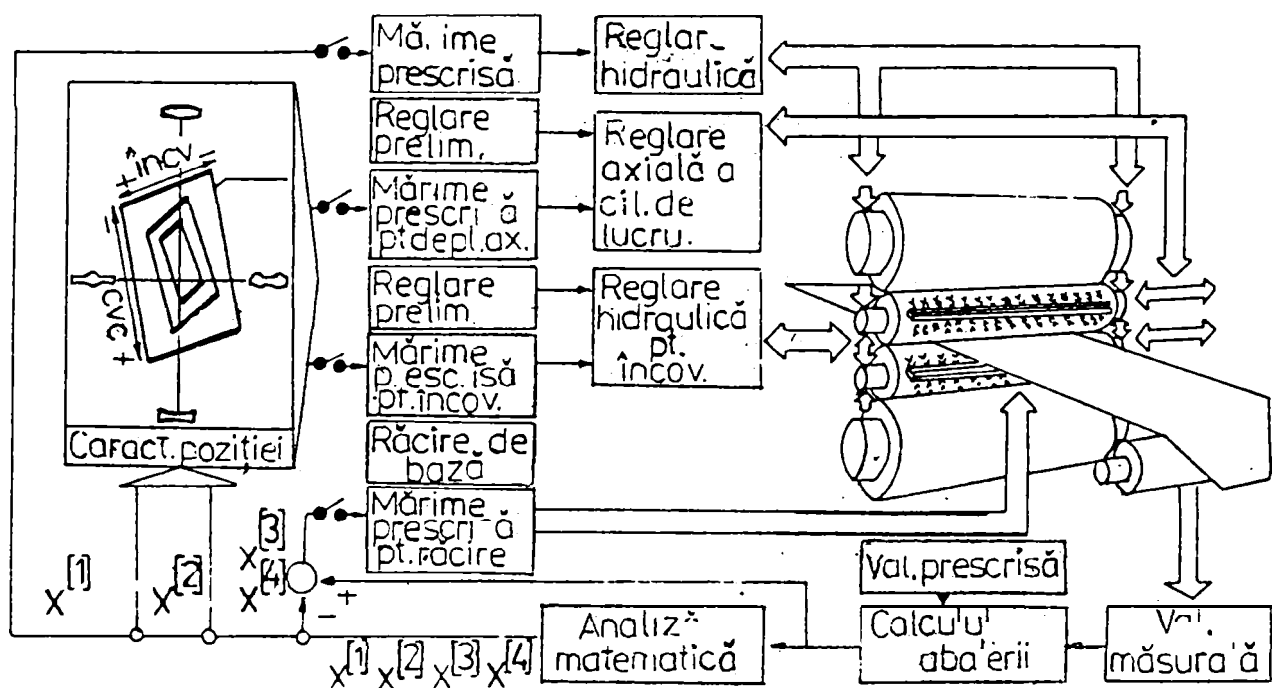


Fig. 2.14 Schema buclelor de reglare a procesului de laminare utilizând cilindrii de laminare de tip CVC

În vederea reglării profilului și planeității benzii laminate se impune definirea inițială a profilului benzii. Această definire se face prin următorii parametri:

- înălțimea profilului benzii;
- înălțimea relativă a profilului benzii;

La reglarea inițială în instalație se programează: profilul dorit al benzii și planeitatea benzii.

În timpul desfășurării procesului de laminare apar drept perturbații:

- deformațiile elastice ale cilindrilor;
- bombajul termic;
- bombajul definit de poziția relativă a cilindrilor de lucru.

### 2.3 Modernizarea unui laminor de benzi la rece

Progresul tehnicii impune asigurarea realizării unor produse de înalți parametrii calitativi în condiții de eficiență economică ridicată. În vederea asigurării acestor obiective se impune re tehnologizarea instalațiilor de laminare a acestor produse.

O soluție pentru asigurarea cerințelor pieței moderne pentru producerea benzilor subțiri din oțeluri înalt aliate, aliaje pe bază de nichel în condiții de eficiență ridicată o constituie re tehnologizarea unei caje de laminare de tip cuar to și transformarea ei într-o cajă sexto conform soluției prezentate în figura 2.15.

Conceptul general de modernizare include cele mai noi realizări pe plan mondial:

- utilizarea sistemelor de profilare a cilindrilor de lucru tip CVC ce asigură reglarea optimă a profilului benzii;
- utilizarea cilindrilor de lucru cu diametru minimizat asigură consumuri energetice reduse, un număr minim de laminări și recoaceri pentru obținerea produsului finit;
- utilizarea coordonării procesului de laminare cu ajutorul calculatorului în vederea reducerii componentelor orizontale ale forțelor de laminare conduce la reducerea deformației elastice a cilindrilor de lucru, a forțelor de laminare și mărește durabilitatea lagărelor cilindrilor de laminare;
- acționarea cajei prin vechii cilindrii de lucru transformați în cilindrii de sprijin asigură condiții optime pentru instalarea sistemului de deplasare axială a cilindrilor de lucru necesari în cazul utilizării cilindrilor rectificați tip CVC. De asemenea antrenarea cilindrilor de lucru prin frecare de la cilindrii de sprijin intermediari reprezintă soluția optimă de antrenare ținând cont de minimizarea diametrelor cilindrilor de lucru;
- instalarea sistemului de reglare hidraulică rapidă a interstițiului de laminare în locul sistemului vechi electromecanic asigură posibilitatea reacției rapide de corecție a sistemului tehnologic în vederea încadrării în câmpuri de toleranță restrânsă și asigură o protecție simplă și rapidă la suprasarcini accidentale.

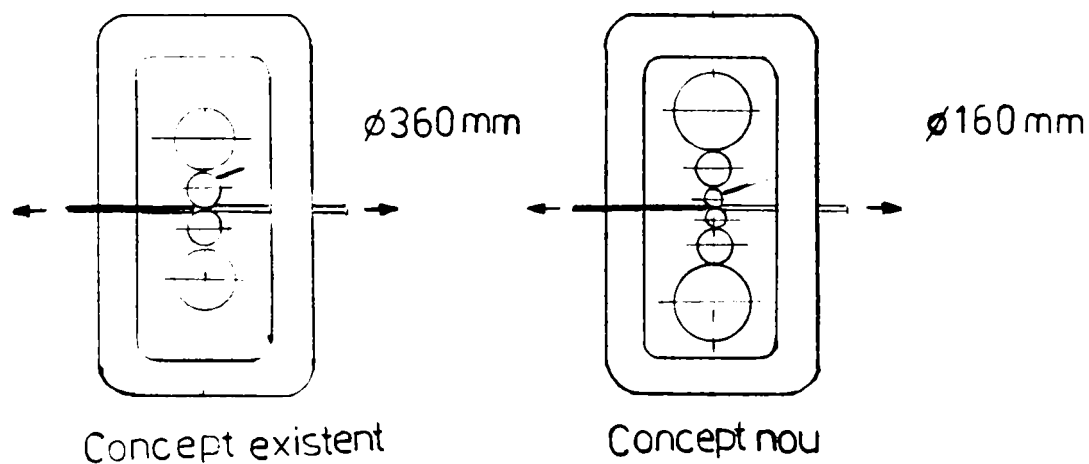


Fig. 2.15 Transformarea unei caje de laminare de tip cuar to în tip sexto

Parametrii principali ai cajei înainte și după re tehnologizare sunt prezentați în tabelul 2.1.

Ansamblul cajei de laminare modernizată prezentată în figura 2.16 constă dintr-un sistem de reglare cu bucle de reglare închise coordonat cu ajutorul calculatorului de proces.

Numai sistemul de control și reglare a planeității cuprinde un ansamblu de 29 traductori montați în instalația tehnologică sub banda aflată în procesul de laminare. O altă serie de traductori preiau informația curentă vizând ceilalți parametri ai procesului tehnologic. Tot acest ansamblu al mărimilor de definiere al procesului de prelucrare formează informația curentă a sistemului. Aceasta este transmisă calculatorului de proces care în funcție de programul lui stabilește mărimile de execuție pentru fiecare buclă de reglare a procesului.

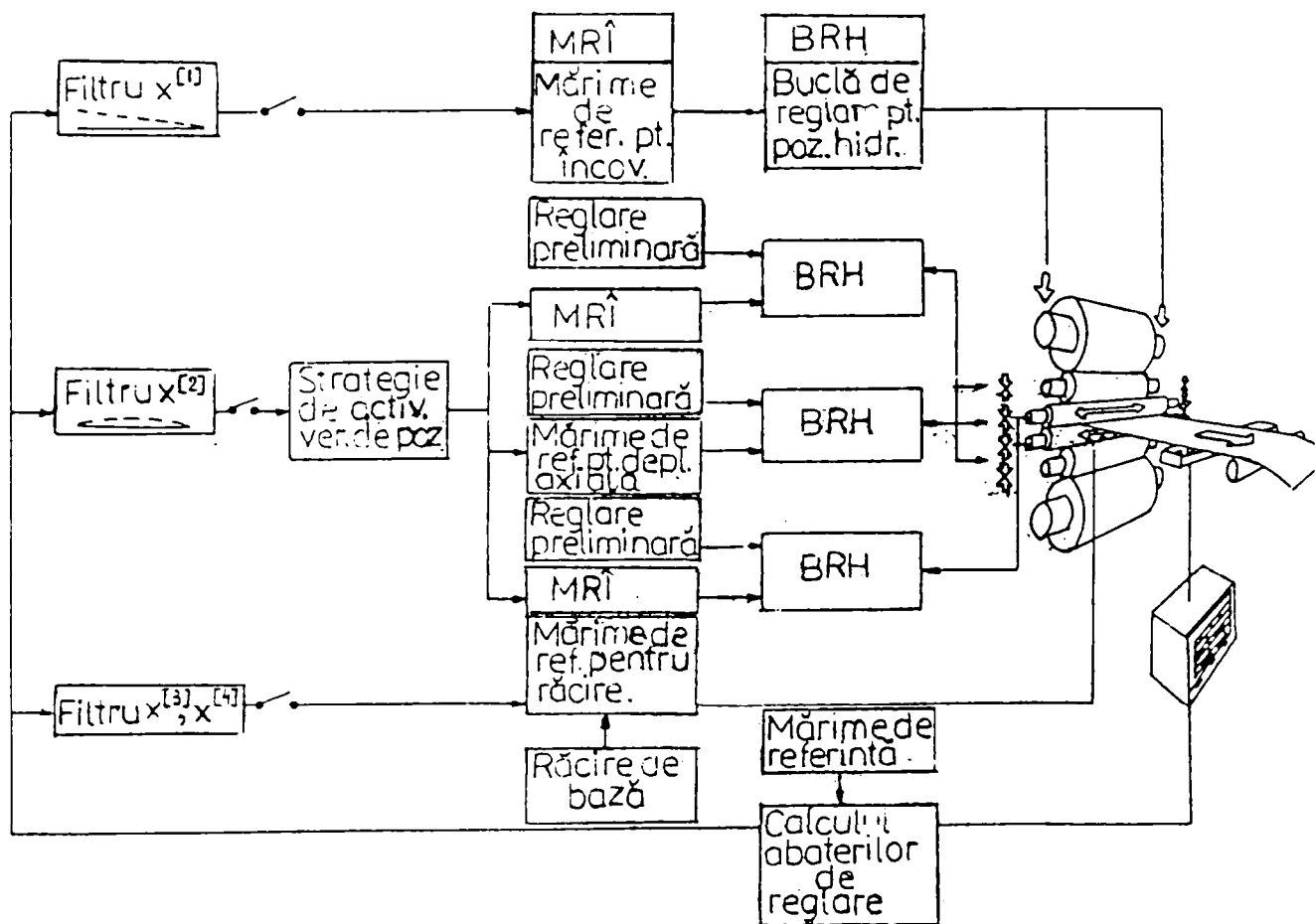


Fig. 2.16 Schema de reglare automată a procesului de laminare pe caja modernizată tip sexto cu detalierea buclelor de reglare tehnologică

Obiectivele care au stat la baza realizării programului de re tehnologizare a unei caje de laminare cuarto au fost:

- minimizarea numărului de laminări;
- obținerea unei grosimi de bandă laminată mai mică;
- reducerea forței de laminare;
- obținerea de toleranțe a benzii laminate mai restrânse;
- obținerea unei planeități a benzii laminate mai bună;



- creșterea numărului de ore de laminare utilizând aceeași cilindrii de laminare;
- micșorarea timpului de schimbare a cilindrilor utilizați în procesul de laminare.

Pentru atingerea obiectivelor de re tehnologizare care au generat o creștere a producției de benzi laminate la rece, o îmbunătățire a calității benzii laminate, o creștere a disponibilității liniilor de prelucrare ulterioare a benzilor laminate s-au optimizat și introdus:

- diametrul cilindrilor folosiți în caja de laminare;
- sistemul de poziționare a cilindrilor;
- sistemul de încovoiere a cilindrilor utilizați în caja de laminare;
- sistemul de profilare a cilindrilor CVC și sistemul de reglare axială;
- sistemul de răcire multizonală a cilindrilor de laminare;
- sistemul de măsurare a planeității;
- sistemul de schimbare a cilindrilor utilizați în caja de laminare;

Tabelul 2.1: Caracteristici principale ale laminorului înainte și după modernizare

Caracteristici principale	Înainte de modernizare CAJA CUARTO	După modernizare CAJA SEXTO
Material	Oțeluri aliate	Oțeluri aliate
Lățimea benzii: – max.	830 mm	830 mm
– min.	400 mm	400 mm
Grosimea benzii la intrare	4 mm	4 mm
Grosimea benzii la ieșire	0,3 mm	0,15 mm
Diametrul cilindrii de lucru: – max.	360 mm	160 mm
– min.	326 mm	145 mm
Diametrul cilindrii intermediari: – max.	–	360 mm
– min.	–	320 mm
Diametrul cilindrii de sprijin: – max.	860 mm	860 mm
– min.	825 mm	820 mm
Lungimea tăbliei:		
– cilindrii de lucru	900 mm	990 mm
– cilindrii intermediari	–	900 mm
– cilindrii de sprijin	900 mm	900 mm
– Sistem de poziționare electro-mecanic	Da	Nu
– Forța de laminare	10000 KN	–
– Sistem de poziționare hidraulic	Nu	Da
– Forța de laminare	–	7000 KN

### 2.3.1 Propuneri de modernizări a cajelor de laminare a benzilor la rece din Complexul Industrial Oțelu – Roșu.

În secția de benzi late laminate la rece utilajele de bază sunt două caje cuarto  $\varnothing 255/\varnothing 750 \times 750$ , una specializată în lucrări de laminare degrositoare – laminări din bandă laminată la cald de grosime 2–2,5–3 mm în benzi laminate la rece de grosime 0,5–0,8–1 mm, iar a doua considerată cajă de laminare finisoare – laminând bandă laminată la rece de grosime 0,5–0,8–1 mm până la grosime de 0,2 mm.

Construcția extrem de robustă a cajelor permite forțe de laminare de ordinul 7MN, are acționarea principală antrenată de două motoare în curent continuu de putere 370 kW și turație reglabilă continuu de la 0–340 rot./min, ceea ce conferă posibilitatea lucrului cu viteze de laminare reglabile continuu între 0–160 m/min.

Cele două ruloare respectiv deruloare sunt acționate de motoare electrice în curent continuu de putere 37 kW având turația reglabilă continuu și posibilitatea de a realiza tracțiuni în bandă de maximum 2700 daN.

Cajele de laminare existente au sisteme de poziționare a cilindrilor electromecanice.

Rulorul are un dispozitiv de urmărire a înfășurării benzii pe bază fotoelectrică pentru a preveni rularea telescopică a benzii. În rest cajele nu dispun de elemente de reglare a parametrilor tehnologici ai laminării. În acest context cunoscând caje cuarto de laminare a benzilor la rece existente în alte unități și necesitățile tehnologice aferente procesului de laminare a benzilor late subțiri la Oțelu – Roșu se propun următoarele optimizări constructive – completări de facilități tehnologice oferite de cajele cuarto la cajele care echipează secția de benzi late la rece:

1. Montarea unui sistem de tensionare a cilindrilor de lucru – acesta conferind posibilitatea încovoierii pozitive a cilindrilor de lucru și prin aceasta stabilizarea grosimii benzii în limite mai restrânse.
2. Montarea unui sistem de încărcare negativă a cilindrilor de lucru – acesta conferind posibilitatea încovoierii negative a cilindrilor de lucru ceea ce duce la o stabilizare a grosimii benzii în limite mai restrânse.
3. Modificarea interstiului de laminare prin înclinarea diferită a celor doi cilindri de lucru – prin aceasta se obține o variație continuă a grosimii benzii pe lățimea ei.
4. Controlul și reglarea temperaturii cilindrilor de lucru – prin aceasta se realizează un câmp termic definit în cilindrul de lucru și se obține o reglare a grosimii benzii de-a lungul lățimii benzii.

5. Sistemul de măsurare, control și reglarea planeității benzii laminate la rece prin care se preia informația curentă din procesul de laminare vizând planeitatea benzii și comanda parametrilor tehnologici care o definesc în timpul laminării.
6. Adaptarea unui sistem hidraulic de fixare – înclemare – a cilindrilor de lucru în ansamblul cajei de laminare – prin care se compensează elasticitatea sistemului tehnologic constituit din cadrul cajei, șurubul și portlagărul cilindrului.
7. Controlul și reglarea parametrilor dinamici în cadrul procesului de laminare prin care se măsoară forțele de laminare și variațiile acestora în timpul procesului de laminare.
8. Sistemul automat de control, măsurare și reglare a grosimii benzii – prin care se măsoară și se reglează grosimea benzii pe toată durata procesului de laminare.
9. Sistemul CVC de profilare al cilindrilor de lucru și reglare a interstițiului de laminare – prin care se reglează grosimea benzii în lungul lățimii într-un câmp de toleranță foarte restrâns.
10. Sistemul de reglare automată a excentricității cilindrilor de lucru față de axa mediană a cilindrilor de sprijin și ai cajei – prin care se reglează și comandă desfășurarea procesului de laminare.

Caja de laminare cuarto asigură înaintea propunerilor privind optimizările constructive următoarele performanțe tehnologice:

- grosimea benzii 0,29 - 0,40mm cu toleranță a grosimii benzii de 0,05mm,
- lățimea benzii 510-725mm cu toleranță a lățimii benzii de 0,7mm;
- rectilinitatea benzii bună – abateri de la rectilinitatea marginii benzii sub 1,5mm/1m;
- planeitatea benzii bună – abateri de la planeitate sub 3mm.

Utilajele existente în dotarea laminorului de benzi late la rece aparținând Complexului Industrial din Oțelu-Roșu pot fi completate constructiv cu echipamentele tehnologice de reglare a principalilor parametri ce definesc procesul de laminare la rece a benzilor.

## 2.4 Optimizări constructive ale laminorului cuarto - Ø255/Ø750×750 mm - de benzi late subțiri din cadrul unității siderurgice Oțelu - Roșu

### 2.4.1 Montarea unui sistem de tensionare a cilindrilor de lucru

Prin montarea unor motoare hidraulice liniare între portlagărele cilindrilor de lucru, prin forța de apăsare realizată de acestea rezultă o încovoiere pozitivă a cilindrilor de lucru și prin aceasta stabilizarea secțiunii benzii laminate într-un câmp de toleranță restrâns.

La diametrii ai motoarelor hidraulice liniare de Ø 70 mm și cursă de 35 mm și la presiuni de 100 - 310 bar rezultă forțe cuprinse între 7500 daN până la 25000 daN.

Reglarea presiunii în sistemul hidraulic realizată cu aparatură de comandă-reglare proporțională, determină o conducere a procesului tehnologic extrem de rapidă. Acest sistem de reglare poate fi foarte ușor integrat în sistemul automat de comandă și reglare a mașinii și a procesului în funcție de desfășurarea sa. Schema constructivă a sistemului de tensionare a cilindrilor de lucru se prezintă în figura 2.17.

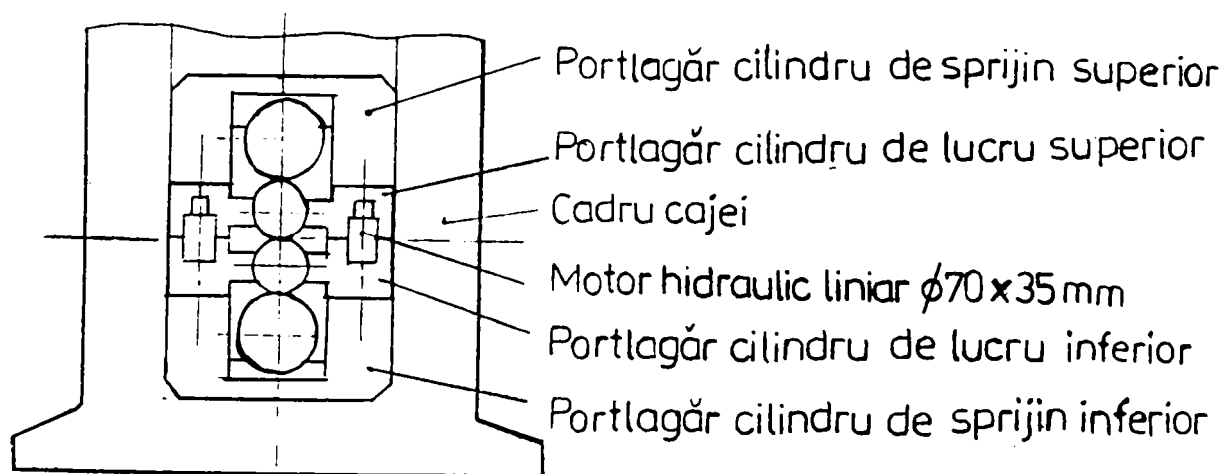


Fig. 2.17 Schema constructivă a sistemului de tensionare a cilindrilor de lucru

#### 2.4.2 Montarea unui sistem de încărcare negativă a cilindrilor de lucru

Încărcarea negativă a cilindrilor de lucru prin montarea unor motoare hidraulice liniare între portlagărele cilindrilor de lucru și portlagărele cilindrilor de sprijin permite încărcarea cu forțe reglabile în același domeniu de variație 7500-25000 daN a cilindrilor de lucru în sens invers acțiunii cilindrilor prevăzuți la punctul anterior.

Dimensiunile și construcția motoarelor hidraulice este aproximativ aceeași cu a celor prezentați la punctul anterior.

Și aceste motoare hidraulice vor fi încărcate cu presiuni reglabile continuu între 100-310 bar, fiind incluși în sistemul automat de comandă și reglare a instalației de laminare.

Sistemul realizează așa numita corijare prin încovoiere negativă a cilindrilor de lucru spre deosebire de primul sistem de tensionare care realiza încovoierea pozitivă a cilindrilor de lucru.

Ambele sisteme de încărcare - tensionare a cilindrilor de lucru conferă cajei de laminare un grad de libertate deosebit vizând reglarea constanței grosimii benzii laminate de-a lungul interstițiului de laminare pe toată lungimea tăbliei cilindului. Schema constructivă a acestui sistem se prezintă în figura 2.18.

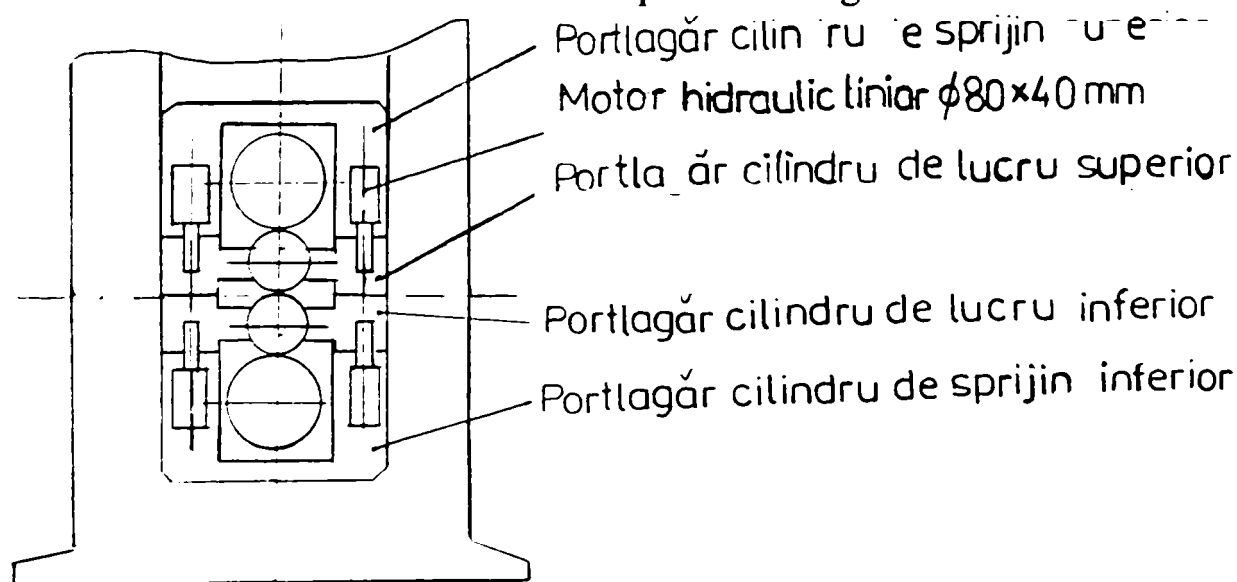


Fig. 2.18 Schema constructivă a sistemului de încărcare negativă a cilindrilor de lucru

#### 2.4.3 Modificarea interstițiului de laminare prin înclinarea diferită a celor doi cilindri de lucru

Prin poziționarea diferită a portlagărelor cilindrilor de lucru cu ajutorul șuruburilor de presiune sau chiar prin setul de motoare hidraulice se obține o înclinare a unuia din cilindrii de lucru sau a celuilalt față de axa mediană iar prin această înclinare se instalează o variație continuă a grosimii benzii de-a lungul lățimii benzii.

Doi senzori rotativi înregistrând mișcarea unghiulară a șuruburilor de presiune controlează această instalare diferențiată a fiecărui portlagăr al cilindrilor de lucru. Precizia de poziționare este de  $\pm 0,01$  mm. Schema constructivă a sistemului de modificare a interstițiului de laminare se prezintă în figura 2.19.

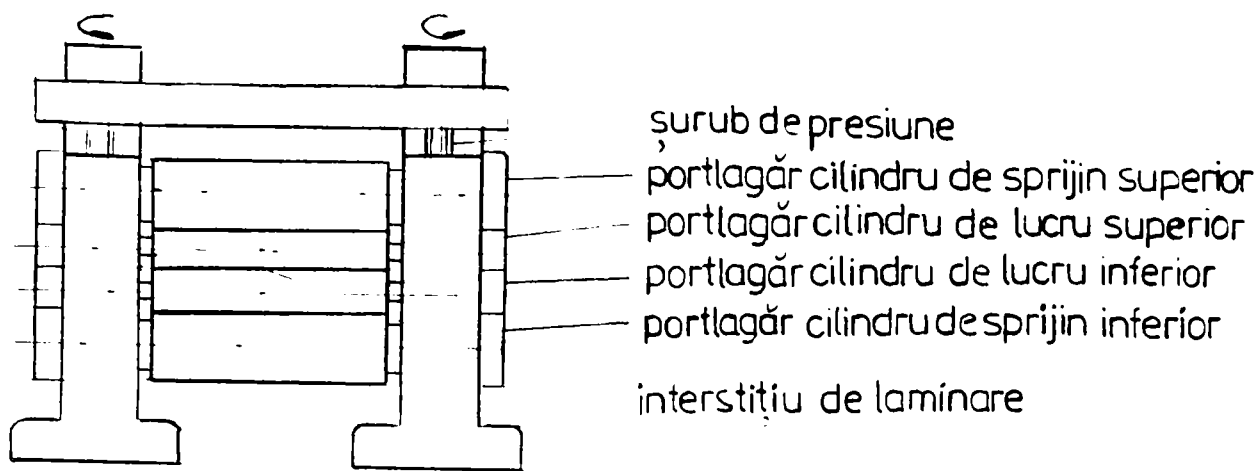


Fig. 2.19 Schema constructivă a sistemului de modificare a interstițiului de laminare prin înclinarea diferită a celor doi cilindri de lucru.

#### 2.4.4 Controlul și reglarea temperaturii cilindrilor de lucru

Căldura rezultată în timpul procesului de deformare plastică a materialului laminat ca rezultat al acțiunii cilindrilor de lucru asupra acestuia determină o încălzire diferențiată a cilindrilor de lucru de-a lungul tăbliei acestora.

Prin dirijarea răcirii diferențiate a zonelor cilindrilor de lucru, prin debitele de stropire a lichidelor de ungere-răcire de-a lungul tăbliei cilindrilor se obține o repartitie uniformă a temperaturii cilindrilor de lucru, în final se obține o dilatare diferențiată a cilindrului de lucru.

Prin dirijarea acestor dilatări ale cilindrilor de lucru se pot controla grosimile benzii laminate pe caja respectivă. În unitățile de laminare moderne se întâlnesc sisteme centralizate de ungere-răcire a cilindrilor de lucru formate din 100 duze de stropire, grupate diferențiat pe zone având diametre caracteristice diferite. Prin această constituire a sistemului se pot regla vitezele și debitele de stropire în fiecare zonă caracteristică a cilindrilor de lucru.

În mod curent la instalațiile de laminare moderne sunt vehiculate debite între 1–2 m<sup>3</sup>/min. la presiuni între 5–10 bar.

Sistemul conferă posibilitatea corijării secțiunii benzii laminate pe cajă de ordinul 0,01 – 0,05 mm. Schema constructivă a sistemului de răcire – ungere a cilindrilor de lucru este prezentată în figura 2.20.

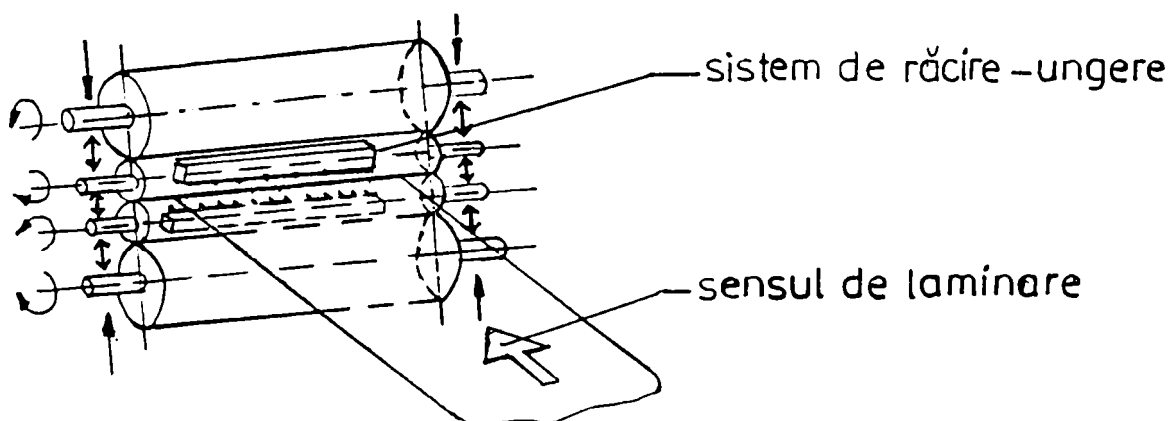


Fig. 2.20 Schema constructivă a sistemului de răcire – ungere a cilindrilor de lucru



#### 2.4.5 Sistemul de măsurare, control și reglarea planeității benzii laminate la rece

Planeitatea benzii reprezintă a doua mărime calitativă de caracterizare a benzilor laminate la rece alături de toleranța grosimii.

Pentru măsurarea acestui parametru în prezenta lucrare se propune montarea unei role de testare a planeității benzii laminate pe întreaga lățime a acesteia având pe suprafața exterioară montate circa 32 de traductoare care în funcție de tensiunea benzii în zona de palpate a lor definesc câmpul tensional din banda laminată. În funcție de tensiunea existentă în bandă forța care apasă pe traductor este diferită și din însumarea forțelor palpate de traductori de-a lungul lățimii benzii laminate se definește repartiția câmpului tensiunilor normale din banda laminată care la rândul lor definesc, determină și influențează planeitatea benzii laminate.

Prin implementarea acestui sistem de testare-măsurare a planeității benzii se pot dirija procesele de laminare mai ales prin sistemul de tensionare a benzii prin rulo și derulo obținându-se:

- o bandă laminată cu o planeitate foarte bună;
- o creștere a productivității prin mărirea vitezelor de laminare și conducerea forțelor de tensionare a benzilor prin rulo și derulo în funcție de planeitatea efectivă a benzii laminate;
- evitarea unor operații complementare de îndreptare – planare a benzii laminate pe o mașină specială de îndreptat – planat chiar și dacă aceasta este montată într-un flux conexe procesului tehnologic de fabricare a benzilor laminate la rece.

Schema constructivă a sistemului de măsurare, control și reglare a planeității benzii laminate la rece se prezintă în figura 2.21.

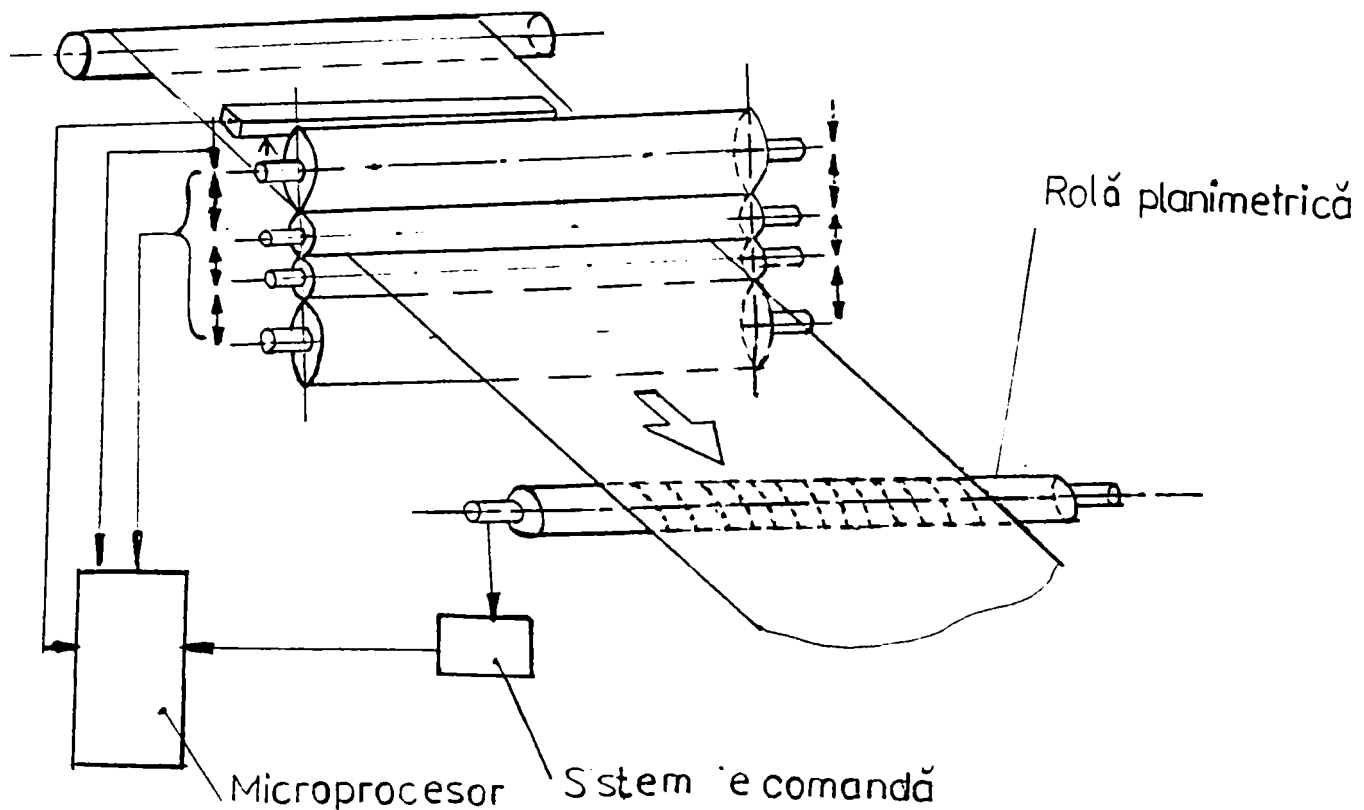


Fig. 2.21 Schema principială de măsurare, control și reglare a planeității benzii laminate la rece

#### 2.4.6 Adaptarea unui sistem hidraulic de fixare – înclemare a cilindrilor de lucru în ansamblul cajei de laminare

Parametrii dinamici extrem de ridicați (puteri și momente de laminare) cu care se acționează cilindrii de lucru ai cajelor de laminare a benzilor late subțiri fac ca timpul de lucru cu acești cilindri să fie de 3 – 8 ore, uzura suprafeței active a cilindrilor determinând încetarea procesului de laminare și înlocuirea acestora cu un set nou de cilindri. În acest context implementarea unui sistem de fixare – înclemare în caja a cilindrilor de lucru cu ajutorul unor sisteme hidraulice – un ansamblu de motoare hidraulice liniare cu dublu efect reprezintă o soluție ce conferă cajei de laminare o caracteristică deosebită în privința deservirii ei.

Performanțele sistemului hidraulic de fixare – înclemare sunt conferite alături de sistemele de reglare a încovoierii pozitive și negative a cilindrilor de lucru de un sistem hidraulic complex și unitar pentru întregul utilaj tehnologic – caja de laminare. Schema constructivă a sistemului hidraulic de fixare – înclemare a cilindrilor de lucru se prezintă în figura 2.22.

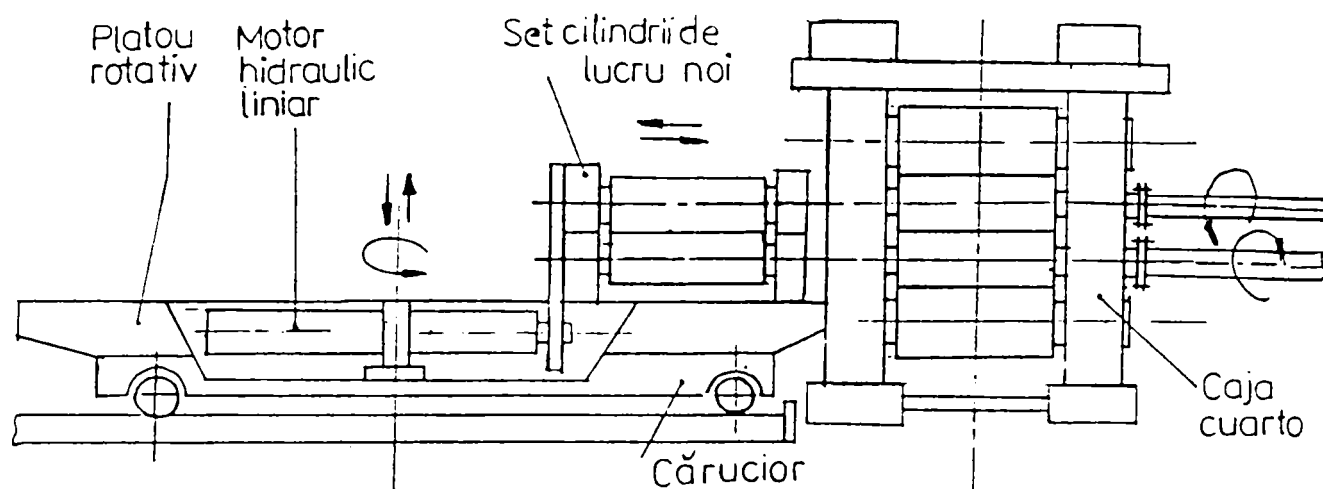


Fig. 2.22 Schema principală a sistemului hidraulic de fixare – înclemare a cilindrilor de lucru

#### 2.4.7 Controlul și reglarea parametrilor dinamici în cadrul procesului de laminare

Pentru controlul și reglarea parametrilor dinamici ai procesului de laminare în timpul desfășurării sale respectiv a forțelor de laminare și a momentelor de laminare, în prezenta lucrare se prevede dotarea cajei de laminare cu două traductoare de forță inductive de tip G – Kelk putând măsura forțe între 1 și 5 MN.

Măsurarea momentelor de laminare – a cuplurilor aferente laminării se realizează prin controlul parametrilor electrici ai motoarelor acționărilor principale eliminând influențele aferente mersului în gol și a perturbațiilor neapartinând procesului de laminare.

Acest ansamblu de măsurare și control al parametrilor dinamici ai procesului de laminare formează cel mai important sistem de control al procesului de laminare în timpul desfășurării sale și constituie informația curentă principală preluată pentru controlul și reglarea procesului de laminare.

Toate celelalte informații curente preluate din proces reprezintă informația curentă complementară, informației de bază realizată de acest sistem. Schema constructivă de control și reglare a forței de laminare se prezintă în figura 2.23.

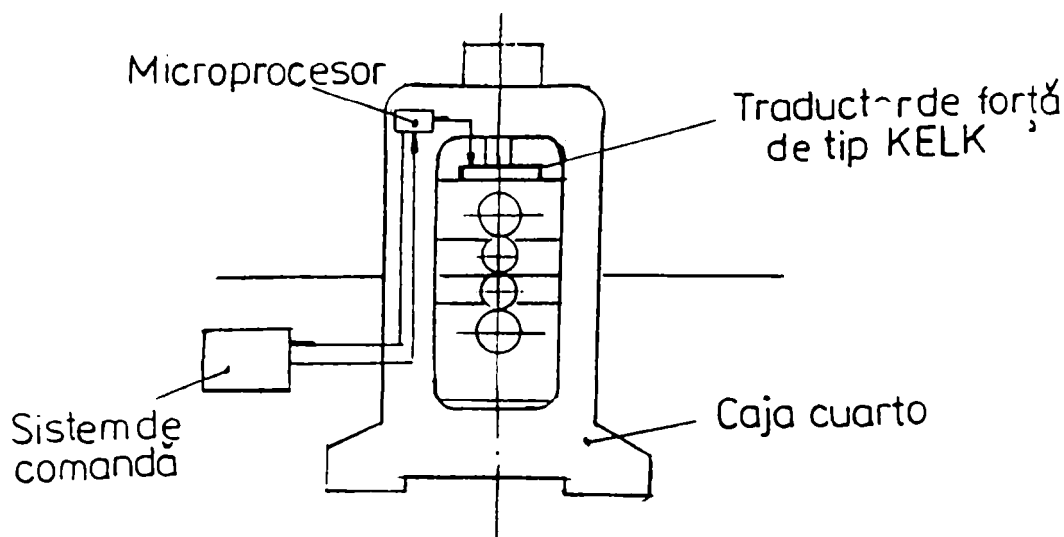


Fig. 2.23 Schema principală de control și reglare a parametrilor dinamici ai procesului de laminare

#### 2.4.8 Sistemul automat de control, măsurare și reglare a grosimii benzii laminate la rece

Dimensiunea efectivă a grosimii benzii laminate la rece variind într-un ecart definit de clasa de precizie aferentă procesului de laminare la rece reprezintă caracteristica calitativă principală a produsului realizat.

Limitarea variației acestei grosimi în ecarturi cât mai reduse – ecarturi ce definesc clase de precizie tot mai ridicate reprezintă țelul principal al fiecărui realizator – producător de produse de laminate subțiri. În mod deosebit păstrarea acestor dimensiuni cu variații în ecarturile foarte scăzute de-a lungul lungimii unor benzi având până la câțiva kilometri lungime reprezintă o temă deosebită pentru constructorul unui utilaj de o asemenea anvergură.

Măsurarea continuă a grosimii benzii laminate în mai multe puncte de-a latul întregii benzi și reglarea parametrilor caracteristici ai procesului de laminare pentru încadrarea în ecarturile restrânse prestabilite ale grosimii benzii de-a lungul întregii lungimi a laminatului reprezintă obiectivul care trebuie asigurat prioritar de sistemul automat de măsură, control și reglare al cajei de laminare.

În tehnica actuală s-au dezvoltat două metode principal diferite de măsurare, control și reglare a dimensiunii laminatelor și anume:

- a) măsurarea dimensiunilor caracteristice ale laminatelor cu ajutorul radiațiilor penetrante;
- b) măsurarea dimensiunilor caracteristice ale laminatelor cu ajutorul palpărilor directe a mărimilor respective și a transformării acestora în mărimi electrice.

Dacă prima metodă este aplicată în mod deosebit la controlul – măsurarea și reglarea laminatelor complexe – a profilelor, a doua metodă s-a răspândit cu deosebire la măsurarea și reglarea laminatelor plate respectiv a tablelor și benzilor laminate la rece. În acest context prezenta lucrare de doctorat propune și rezolvă un sistem automat de măsurare prin palpăre directă a dimensiunii benzii laminate la rece utilizând – pentru transformarea în mărimi electrice a mărimii mecanice măsurate – transductoare inductive liniare care prin puterea de rezoluție pe care o dețin pot măsura dimensiuni de ordinul 0,001 mm în câmpuri de măsură ce depășesc 10 mm lungime.

Un sistem complex de poziționare poate conferi posibilitatea măsurării grosimii benzii în mai multe puncte caracteristice pe lățimea benzii de-a lungul întregii lungimi derulate – laminate.

#### 2.4.9 Sistemul CVC de profilare al cilindrilor de lucru și reglare a interstițiului de laminare

O soluție deosebit de eficientă aplicată în timpul procesului de laminare o reprezintă sistemul automat de reglare continuă a interstițiului de laminare folosind cilindrii de lucru rectificăți de tip CVC.

Partea teoretică vizând principiul și tehnica sistemului CVC a fost prezentată la subcapitolul 2.2. În continuare se va insista asupra particularităților constructive ale acestui sistem și implementarea lui în instalațiile de laminat cuarto din dotarea secției benzi late subțiri din cadrul Complexului Industrial din Oțelu – Roșu.

Rezolvarea acestei implementări reprezintă una din contribuțiile prezentei lucrări la optimizarea fabricării benzilor laminate la rece. Pornind de la definirea matematică a profilului cilindrilor de lucru printr-o funcție polinomială de gradul III (relația 2.12, subcapitolul 2.2) s-a trecut la definirea mărimilor efective ce caracterizează bombajul cilindrilor de lucru ce echipează instalațiile de laminat cuarto din cadrul Complexului Industrial din Oțelu – Roșu.

Cilindrii de lucru având un diametru de  $\varnothing 255$  mm și o lungime a tăbliei de 750mm au fost prevăzuți cu o înălțime a conturului în S al cilindrilor de  $750\mu\text{m}$ . Execuția acestui profil se poate materializa pe o mașină de rectificat cilindrii printr-un program adecvat instalat în mod special pentru profilarea – bombarea cilindrilor respectivi.

Instalațiile de laminat cuarto din dotarea uzinei nu au avut sistem de reglare axială a cilindrilor de lucru în timpul laminării. Realizarea sistemului de reglare axială a acestor cilindrii de lucru a implicat conferirea unui grad de libertate complementar, o deplasare axială a lor de  $\pm 75$  mm. Soluționarea acestei probleme a impus utilizarea unor rulmenți ai cilindrilor de lucru având un inel interior superlat. inel care permite rularea corpurilor de rulare ale rulmenților pe întregul domeniu de reglare axială – 150 mm.

Soluția implică deci utilizarea unor rulmenți de construcție specială dar care nu ridică probleme deosebite de uzinare în fabricația lor – rulmenții cilindrilor de lucru sunt prescriși, sunt rulmenți radiali cu multiple rânduri de role cilindrice drept corpuri de rostogolire.

O rezolvare deosebită o reprezintă sistemul de deplasare axială a cilindrilor de lucru, având drept elemente de execuție două hidromotoare liniare iar elemente de comandă și reglare ventile electrohidraulice proporționale. Sistemul este alimentat de

la sistemul hidraulic central al utilajului care prin aparatură de reglare asigură presiunea optimă necesară fiecărui grup reglat între 60-310 bar. Sistemul automat de reglare axială a poziției cilindrilor de lucru asigură o deplasare axială simultană a celor doi cilindri – simetrică păstrând în permanență constantă axa ansamblului de laminare, axa de simetrie a cilindrilor cajei de lucru.

Deplasările axiale ale cilindrilor de lucru sunt controlate efectiv cu ajutorul unor traductoare de poziție inductive, semnalul acestora fiind comparat în elementele blocului de reglare de valorile de referință prestabilite și formează reacția negativă a sistemului automat de reglare a bombajului la o perturbație a mărimii de caracterizare a procesului în timpul desfășurării sale. Prin această soluționare de fapt se face un pas suplimentar în reglarea buclei respective prin aceea că reacția sistemului automat la o perturbație este controlată printr-o deplasare axială a cilindrilor iar efectul acestei reacții se repercutează asupra produsului finit corectându-i efectul perturbației care a declanșat reacția sistemului automat de reglare respectivă.

Elementele de comandă – reglare proporțională asigură prin performanțele lor: precizia, fidelitatea de răspuns la semnal și viteza de reacție, parametrii necesari sistemului automat de reglare pentru obținerea și menținerea benzii laminate în limitele prevăzute de normele și standardele în vigoare – cca. 1/4 din câmpul de toleranță definit pentru produsele laminate la rece de uz general realizate înaintea implementării acestui sistem în cajele de lucru.

Performanțele enunțate mai sus determină pentru cajele de laminare cuarto posibilitatea laminării unor platbenzi cu caracteristici fizico-mecanice cu totul deosebite în ceea ce privește:

- precizia dimensională cu referire la grosimea benzii;
- planeitatea benzii laminate la rece;
- constanța caracteristicilor geometrice de caracterizare a secțiunii transversale a benzii laminate pe lungime de câțiva kilometri de bandă.

Schema principală a sistemului de reglare automată continuă a interstițiului de laminare utilizând cilindri de lucru de tip CVC se prezintă în figura 2.24.

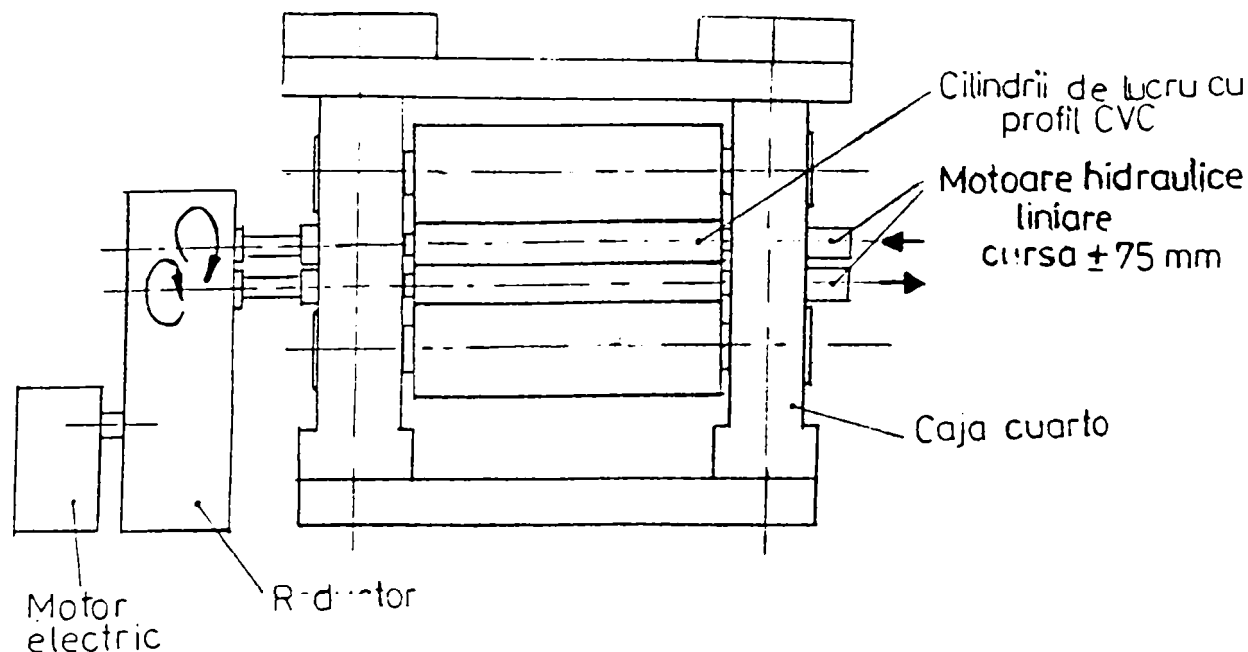


Fig. 2.24 Schema principală de reglare automată continuă a interstițiului de laminare utilizând cilindri de lucru de tip CVC



#### 2.4.10 Sistemul automat de reglare a excentricității cilindrilor de lucru față de axa mediană a cilindrilor de sprijin și ai cajei

În cadrul subcapitolului 2.5 au fost tratate aspectele teoretice și de constituție a acestor sisteme de reglare a stabilității cilindrilor.

Materializarea constructivă a acestui sistem reprezintă un element de performanță al instalațiilor de laminat. Se regăsesc în general aceste sisteme automate de reglare în construcția cajelor cuarto de laminare a benzilor foarte late.

Pentru benzile subțiri și late aflate în programul de fabricație al Complexului Industrial din Oțelu – Roșu, implementarea acestui sistem automat de reglare rămâne opțională, mai ales datorită reglărilor realizate cu ajutorul sistemului automat CVC și al efectelor acestuia asupra preciziei benzii laminate.

În prezenta lucrare se definesc soluțiile constructive vizând implementarea sistemului CVC în construcția cajei de laminare, dar oportunitatea implementării sistemului de reglare a excentricității cilindrilor de lucru rămâne o problemă deschisă ce va fi definită de performanțele pe care le va atinge utilajul tehnologic – caja de laminare cuarto echipată cu sistemele de reglare CVC și celelalte sisteme prezentate.

Performanțele prezentate mai sus sunt mult ameliorate prin folosirea sistemelor de compensare dinamică enunțate mai sus respectiv prin utilizarea sistemului automat de control și reglare a grosimii benzii laminate.

Deoarece în evoluția sistemelor de control și reglare a grosimii benzilor subțiri s-au conturat două tendințe: măsurare grosime prin mijloace clasice –palpatoare urmărite de traductoare inductive și măsurare grosime cu ajutorul radiațiilor penetrante și datorită simplității constructive, a siguranței în funcționare, a preciziei și caracteristicilor de timp foarte mici dar mai ales lipsei nocivităților ce însoțesc soluțiile ce vizează radiațiile penetrante, soluția propusă în prezenta lucrare este încadrată în prima tendință.

Datorită importanței deosebite pe care o are acest sistem, acesta a fost tratat pe larg în cadrul prezentei lucrări – capitolul V – unde sunt prezentate și performanțele realizate de acesta.

Sistemele de reglare ai parametrilor dinamici ai procesului permit controlul procesului și optimizarea acestuia din punctul de vedere al desfășurării lui iar sistemul de control și reglare a grosimii benzii asigură reglarea procesului în vederea obținerii performanței laminatului – stabilizarea benzii laminate la rece într-un câmp de toleranță foarte restrâns – cca. 1/4 din câmpul de toleranță al benzilor laminate în sistem clasic.



## 2.5 Concepte noi în proiectarea instalațiilor de laminare a benzilor

### 2.5.1 Conceptul de proiectare Mill – Modelling al instalațiilor de laminare

Utilizarea calculatoarelor electronice în cadrul instalațiilor de laminare a tablelor subțiri creează posibilitatea:

- minimizării necesarului de forță de muncă;
- optimizării calităților produselor finite,

dar asigură și o optimizare a construcției utilajului din faza de proiectare prin utilizarea proiectării asistată de calculator.

În acest context noul concept de proiectare Mill – Modelling realizează prin simularea funcționării elementelor componente o optimizare a proceselor dinamice și reglarea încă din faza incipientă de proiectare. Sistemul se bazează pe legile fizice și datele tehnologice cunoscute introduse în calculator. Sistemul Mill – Modelling este structurat ierarhizat pe trei nivele:

#### OPTIMIZAREA PROCESULUI DE LAMINARE LA RECE A BENZILOR DIN OȚEL

##### **NIVEL I      OPTIMIZAREA CONSTRUCTIVĂ A LAMINORULUI**

Diametrul cilindrilor  
Stabilitatea cilindrilor  
Sistemul de acționare principal

##### **NIVEL II      OPTIMIZAREA PARAMETRILOR LAMINĂRII**

Poziționarea cilindrilor  
Încovoierea cilindrilor  
Bombajul cilindrilor  
Răcirea cilindrilor  
Ungerea cilindrilor

##### **NIVEL III      OPTIMIZAREA PERFORMANȚELOR**

Bucle de reglare a grosimii  
Bucle de reglare a planeității  
Bucle de reglare a temperaturii

Conceptul High –Tech Rolling asigură datele generale ce stau la baza proiectării instalațiilor de laminare, dimensionarea elementelor principale cât și asigurarea parametrilor tehnologici de exploatare.

Primul nivel vizează dimensionarea instalației și constă din:

- **determinarea diametrului optim al cilindrului de lucru** funcție de programul de fabricație ținând cont că diametrul cilindrului de lucru determină mărimea forțelor și momentelor de laminare posibil de aplicat dar și grosimea minimă a benzii laminate. În figura 2.25 se reprezintă variația forțelor de laminare și a tensiunilor din bandă în funcție de coordonatele interstițiului de laminare la diferite valori ale diametrelor cilindrului de lucru.

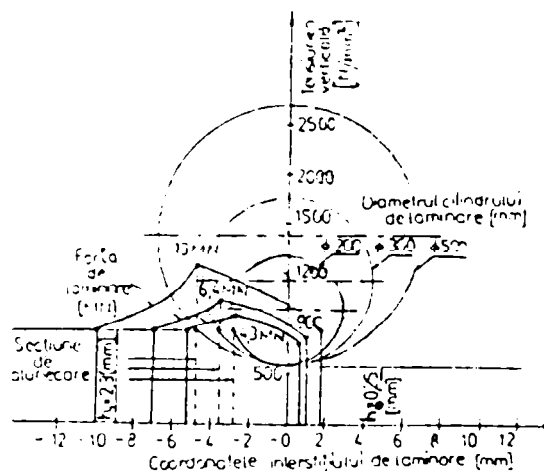


Fig. 2.25 Variația forțelor de laminare și a tensiunilor din bandă în funcție de coordonatele interstițiului de laminare

În vederea determinării diametrului optim se determină pentru fiecare dimensiune din program diametrul minim al cilindrului posibil de utilizat, urmând a se stabili diametrul optim pentru întreg programul de fabricație.

- **determinarea stabilității de laminare.** În timpul laminării apar forțe orizontale ce determină deformații elastice ale cilindrului de lucru superiori și inferiori. Practica ne arată că acestea sunt diferite la cilindrul superior și inferior. În figura 2.26 se prezintă cazul general de poziționare a cilindrului de lucru față de cei de sprijin marcându-se deformațiile elastice ale acestora în timpul procesului de laminare.

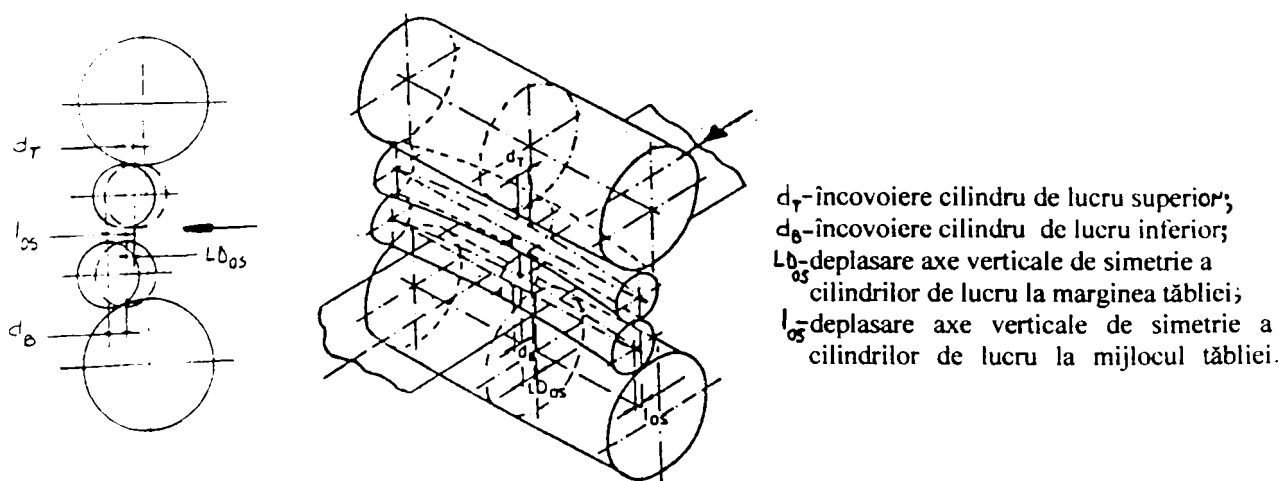


Fig. 2.26 Montajul cilindrului – situația solicitării normale

Principial axele cilindrilor de lucru se află situate în afara planului axelor cilindrilor de sprijin. Practica ne arată că poziționările sunt diferite la cilindru de lucru superior și cel inferior. Deformația elastică a cilindrilor datorită expunerii lor sistemului de forțe aferent laminării prezintă un maxim la mijlocul cilindrului. La atingerea unor forțe critice în cadrul procesului de laminare deformațiile elastice își modifică sensul, procesul de laminare devenind instabil.

În figura 2.27 se prezintă imaginea ansamblului de deformare a cilindrilor de sprijin, cilindrilor de lucru în cazul acestei situații.

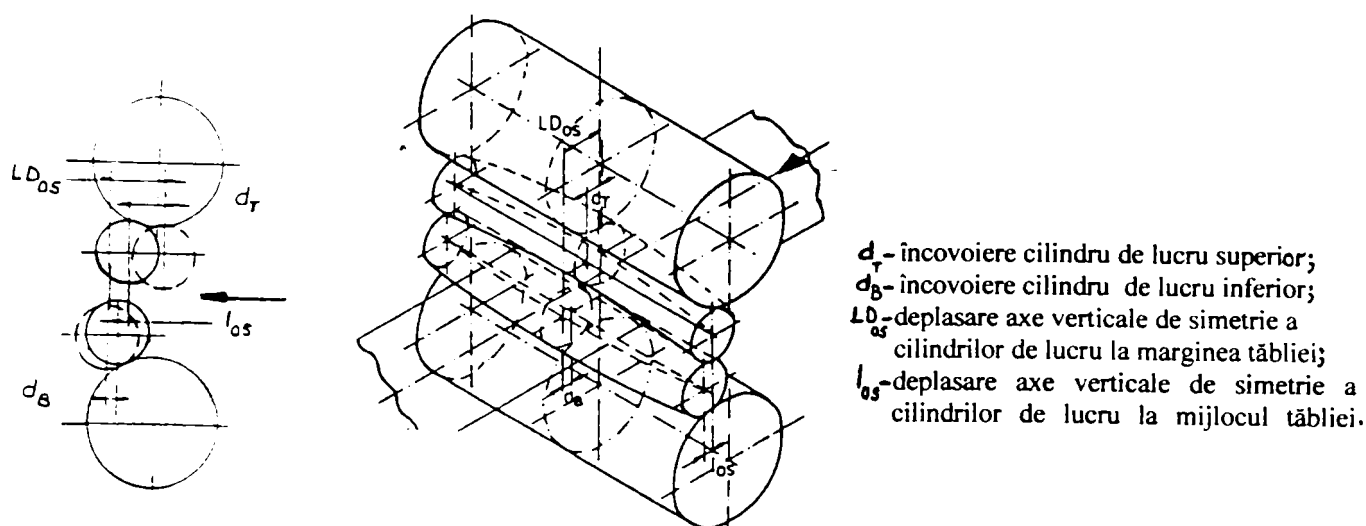


Fig. 2.27 Montajul cilindrilor – poziționarea cilindrilor – în situația supraîncărcării cilindrilor în procesul de laminare

Forța critică este dependentă de:

- lățimea benzii;
- rigiditatea cilindrilor de laminare (implicit diametrul cilindrilor);
- rigiditatea lagărelor și portlagărelor;

În figura 2.28 se prezintă variația forței critice de laminare la diverse lățimi ale benzii laminate pentru diverse valori ale diametrului cilindrului de lucru.

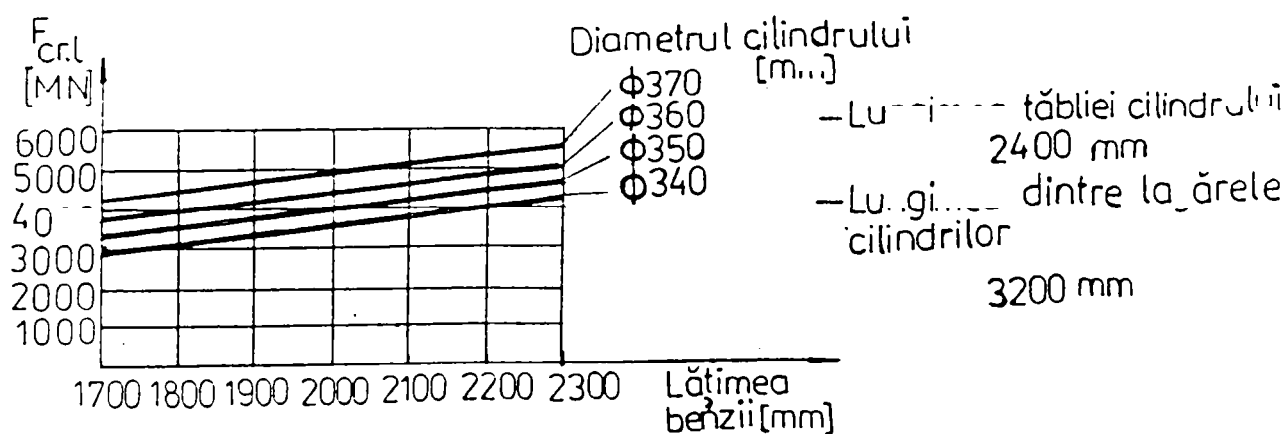


Fig. 2.28 Variația forței critice de laminare în funcție de lățimea benzii laminate pentru diverse valori ale diametrelor cilindrilor de lucru

- **alegerea antrenării cilindrilor de lucru sau de sprijin.** Antrenarea directă a cilindrilor de lucru asigură transmiterea fluxurilor dinamice – a momentului aferent laminării direct elementelor de execuție – cilindrilor de lucru. Reducerea diametrului cilindrului de lucru în vederea optimizării constructive a utilajului pune problema capacității acestuia de a prelua momentul de laminare. De asemenea utilizarea sistemelor de deplasare axială a cilindrilor în cadrul sistemului CVC complică elementele constructive aferente antrenării cilindrilor de lucru. În aceste condiții se trece tot mai des la implementarea soluției tehnice de antrenare a cilindrilor de sprijin care prin frecare vor antrena cilindrii de lucru în mișcarea caracteristică laminării.

În figura 2.29 se prezintă modul de transmitere a momentului aferent laminării prin antrenarea cilindrilor de sprijin iar prin frecare cilindrilor de lucru.

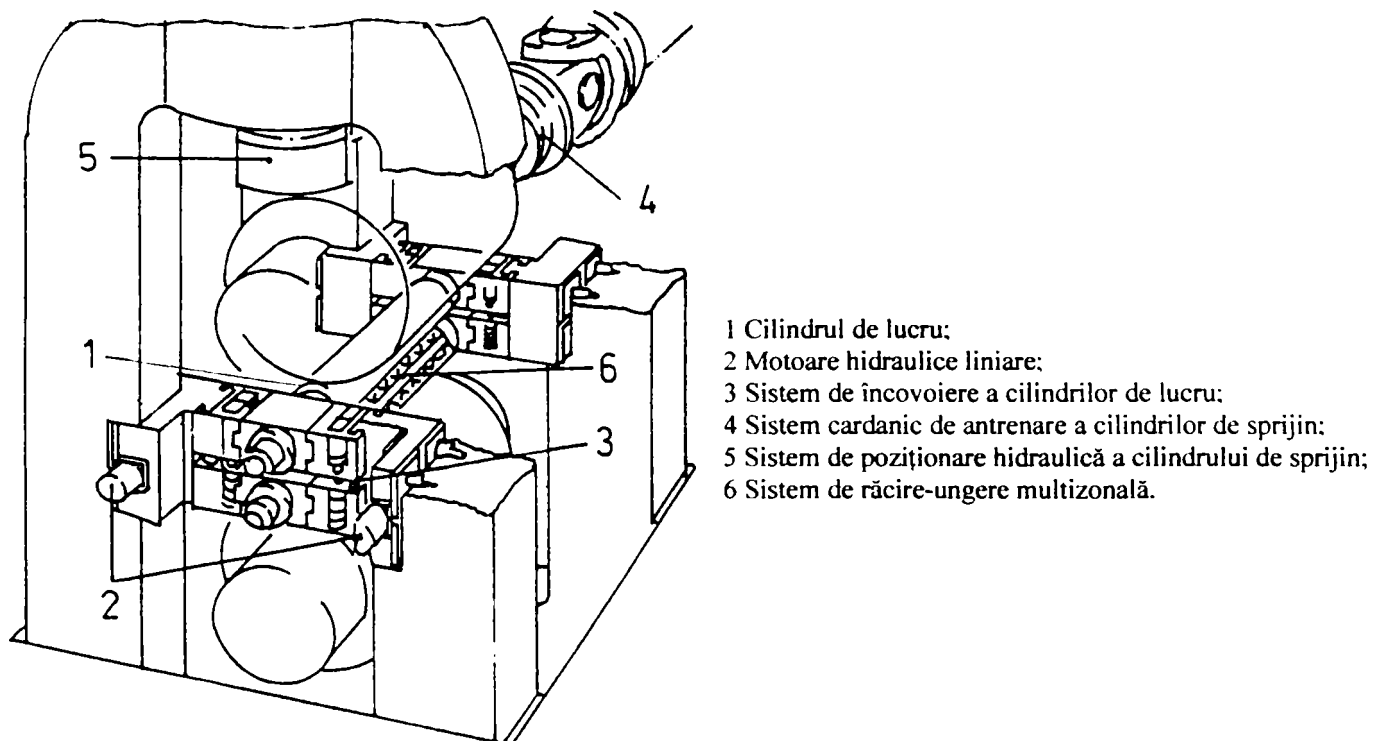
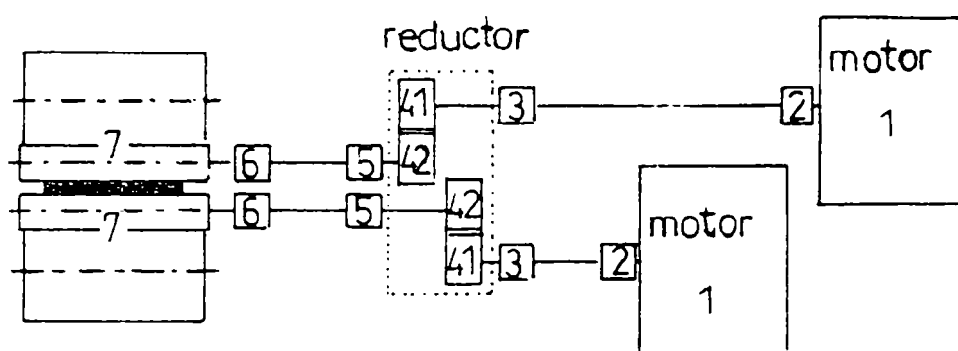


Fig. 2.29 Transmiterea momentului de laminare pentru o cajă echipată cu cilindrii de lucru de tip CVC

- **stabilizarea orizontală.** Este deosebit de importantă pentru minimizarea încărcării pe lagăre și minimizarea deformațiilor elastice a cilindrilor de lucru. În funcție de datele tehnologice ale laminării calculatorul de proces estimează forțele orizontale la fiecare trecere în vederea minimizării componentei orizontale a forței de laminare.

-**sistemul de antrenare.** Ultima problemă legată de dimensionarea utilajului o constituie optimizarea sistemului de antrenare în vederea asigurării capacității acestuia de a răspunde prompt la corecțiile impuse de sistemul de reglare dinamic.

Schema generală a sistemului de antrenare se prezintă în figura 2.30.



- 1 Motoare electrice de acționare
- 2 Semicuple motor
- 3 Semicuple intrare reductor
- 41 Sistem de roți dințate I
- 42 Sistem de roți dințate II
- 5 Semicuple ieșire reductor
- 6 Semicuple intrare cilindrii de lucru
- 7 Cilindri de lucru

Fig. 2.30 Sistemul de antrenare al cilindrilor de lucru cu principalele componente ale transmisiei

În vederea asigurării unei funcționări liniștite este deosebit de importantă determinarea frecvențelor proprii de vibrație ale elementelor componente ale transmisiei, deoarece aceste vibrații afectează parametrii de funcționare ai utilajului și calitatea produsului finit realizat. În acest scop sistemul de antrenare se reduce la un sistem de mase concentrate, calculatorul estimând frecvența proprie de oscilație a sistemului precum și amplitudinea oscilațiilor în vederea evitării funcționării aproape de limita intrării în rezonanță.

Al doilea nivel al optimizărilor îl reprezintă definirea parametrilor laminării și constă din:

- **determinarea sistemelor de poziționare a cilindrilor în caja de laminare.** În vederea obținerii unei benzi laminate de grosime constantă este necesar ca interstițiul de laminare -  $s_0$  - să poată fi reglat continuu în funcție de abaterile de grosime ale benzii la intrarea în procesul de laminare. Sistemul de poziționare a cilindrilor trebuie:

- să asigure în timp cât mai scurt deplasarea cilindrilor pentru instalarea valorii prescrise a interstițiului -  $s_0$ ;
- să asigure menținerea interstițiului de laminare indiferent de nivelul perturbațiilor produse în timpul desfășurării procesului de laminare.

Forma constructivă și funcționarea unui sistem de poziționare a cilindrilor se stabilește în funcție de celelalte sisteme care deservesc caja de laminare și anume:

- sistemul de schimbare a cilindrilor de lucru și de sprijin;
- sistemul de reglare a încovoierii cilindrilor.

Pentru poziționarea cilindrilor în cajă se pot folosi:

- sisteme de poziționare electro - mecanice;
- sisteme de poziționare hidraulice.

Pe baza datelor tehnice care stau la baza dimensionării unor astfel de sisteme de poziționare și în urma rezultatelor înregistrate din exploatare în tabelul 2.2 se prezintă performanțe obținute de cele două sisteme de poziționare.

Tabelul 2.2: Performanțe obținute în exploatare de sistemele de poziționare

Nr. crt	Caracteristica	Sistem electro – mecanic	Sistem hidraulic
1	Viteza de poziționare: - în gol - în sarcină	0,8-1,2 mm/s 0,8-1,2 mm/s	2,0-3,5 mm/s 1,5-2,5 mm/s
2	Durata accelerării din repaus la viteza maximă	0,6 s	0,06 s
3	Durata efectuării unei curse egală cu 0,5 mm - în sarcină - în gol	1,25 s 7 s	0,22 s 2s
4	Precizia de poziționare	0,0025 mm	0,03 mm
5	Cursa minimă	0,020 mm	0,002 mm
6	Viteza de deschidere rapidă a cilindrilor în caz de suprasarcină accidentală	0,8 mm/s	12,5 mm/s

Deoarece performanțele sistemelor de poziționare hidraulică sunt superioare celor electro-mecanice se recomandă folosirea acestora la construcțiile actuale de caje de laminare.



- **stabilirea sistemelor de încovoiere a cilindrilor.** În timpul procesului de laminare cilindrii sunt solicitați la încovoiere, rezultând o deformare elastică a lor care nu este constantă de-a lungul tăbliei cilindrilor. Laminarea în aceste condiții ar produce:

- ondulații pe mijlocul benzii dacă aici apare fenomenul de “supralaminare”
- ondulații pe marginile benzii dacă aici apare fenomenul de “supralaminare”

Pentru obținerea benzilor de grosime constantă pe toată lățimea și pentru evitarea fenomenelor mai sus enunțate este necesar:

- să se introducă cilindrii de sprijin mai rigizi pentru a reduce deformarea rezultată din încovoierea cilindrilor;
- să se introducă cilindrii de laminare cu tăblia profilată – bombată –;
- să se introducă sisteme de răcire controlate a tăbliei cilindrilor în vederea compensării deformăției rezultate din încovoierea cilindrilor;
- să se introducă sisteme de încovoiere ce acționează asupra fusurilor cilindrilor în vederea compensării deformăției rezultate din încovoierea cilindrilor.

- **stabilirea bombajului cilindrilor de laminare.** Pentru menținerea constantă a interstițiului de laminare este necesar ca cilindrii de laminare să fie profilați astfel încât să se compenseze deformarea elastică a cilindrilor produsă de forțele de laminare din proces. În cazul utilizării cilindrilor de laminare clasici profilarea tăbliei cilindrilor poate fi realizată după o curbă parabolică de formă convexă sau concavă. Această profilare mecanică se realizează prin operația de rectificare pe mașini de rectificat dotate cu echipament de programare de tip CNC, valoarea bombajului fiind definit ca o diferență dintre razele de la mijlocul și marginea tăbliei. Valoric bombajul cilindrilor se realizează în limitele 0,01-0,5 mm și se stabilește în funcție de dimensiunile cilindrilor și de grosimea benzii ce urmează a fi laminată. Astfel pentru laminarea benzilor care au:

- grosimi  $< 0,1$  mm se recomandă bombaje cuprinse între limitele 0,015-0,025 mm;
- grosimi de 0,1-0,2 mm se recomandă bombaje cuprinse între limitele 0,025-0,15 mm.

Introducerea noii tehnologii de profilare a cilindrilor prezentată în figura 2.9 impune realizarea generatoarei cilindrului sub forma unei curbe definite de un polinom de gradul III. Pe lungimea tăbliei cilindrului forma generatoarei este sub formă de S și această profilare mecanică se realizează prin operația de rectificare pe mașini de rectificat dotate cu echipament de programare de tip CNC. Dependența dintre bombajul echivalent al cilindrului de lucru și deplasarea axială a acestuia se prezintă în figura 2.10.

- **determinarea sistemelor de răcire și ungere a cilindrilor de laminare.** În timpul desfășurării procesului de laminare la rece rezultă o cantitate de căldură ca urmare:

- a deformării plastice a materialului metalic;
- a frecării ce apare între bandă și cilindrii de lucru, între cilindrii de lucru și cei de sprijin, în lagărele cilindrilor.

Deoarece căldura produsă în timpul laminării este un factor perturbator a calității benzii - grosime și planeitate, se necesită utilizarea sistemelor de răcire a cilindrilor pentru a stabili un echilibru termic între căldura care se produce și

căldura care se evacuează din caja de laminare fără a modifica calitatea benzilor laminate. Acest lucru presupune o distribuție uniformă a temperaturii pe toată tăblia cilindrilor astfel încât bombajul la cald a cilindrilor să fie egal cu suma dintre bombajul la rece obținut din prelucrare mecanică și dilatarea cilindrilor ca urmare a încălzirii cilindrilor. Menținerea echilibrului termic al cilindrilor de laminare se realizează prin distribuția neuniformă a lichidului de răcire care trece prin duzele de stropire amplasate de-a lungul tăbliei cilindrilor și prin realizarea unui regim constant de laminare.

Al treilea nivel cuprinde sistemele de reglare cu bucle de reglare cu reacție negativă ce asigură menținerea produsului finit în parametrii prestabiliți. În vederea obținerii unei planeități corespunzătoare se utilizează sisteme complexe de reglare ce asigură reglarea poziției cilindrilor pe verticală, reglarea axială a cilindrilor utilizând sistemul cilindrilor bombați de tip CVC. Sistemul general Mill-Modeling asigură pe lângă proiectarea asistată de calculator a unei caje de laminare și simularea funcționării complete a unui laminor compus din mai multe caje în tandem.

În figura 2.31 se prezintă un laminor cu trei caje în tandem. În aceste condiții sistemul se reglează automat în cazul apariției unei perturbații (de exemplu o variație a grosimii materialului la intrare duce la reglarea automată în cascadă a parametrilor tuturor cajelor de laminare din aval) asigurând menținerea produsului finit în câmpul de toleranță impus. Rezultatele măsurărilor experimentale de reglare automată a parametrilor de funcționare a cajelor de laminare sunt prezentate în figura 2.32.

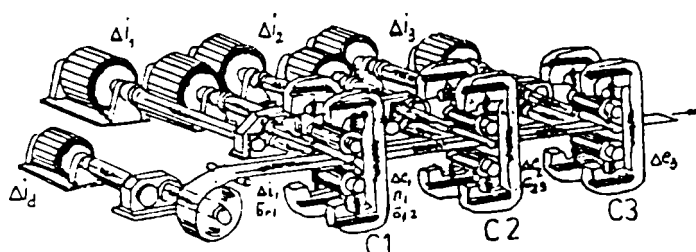


Fig. 2.31 Laminor în tandem cu trei caje de laminare

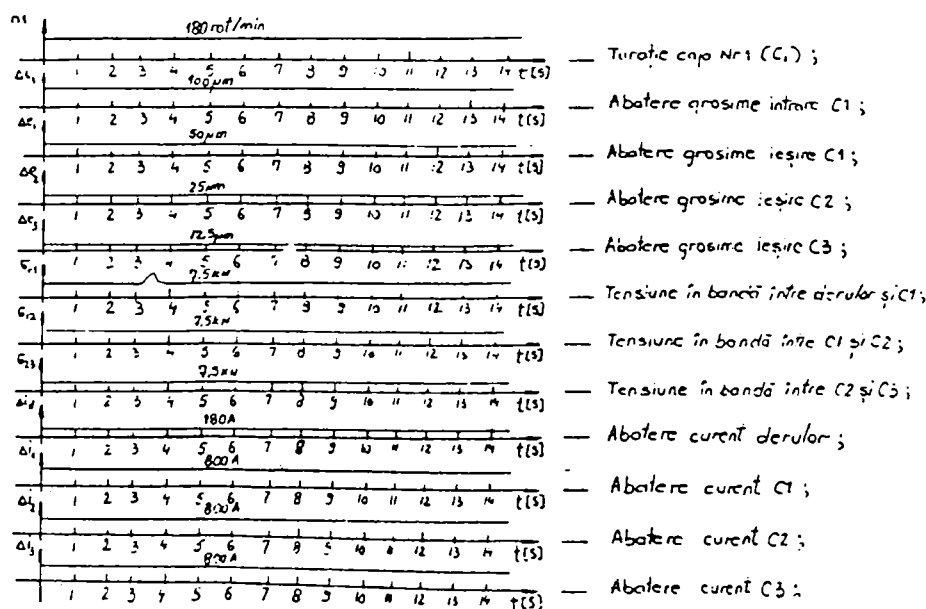


Fig. 2.32 Mărimi de caracterizare a procesului laminării și perturbații la laminarea benzilor la rece pe o linie de laminare în tandem cu trei caje de laminare

## 2.6 Concluzii

Abordată problema optimizării fabricației de benzi laminate la rece prin prisma acestui nou concept de optimizare desfășurat pe cele trei trepte de optimizare și rezolvarea acestei optimizări va permite unității productive de fabricație a benzilor laminate la rece din cadrul Complexului Industrial din Oțelu-Roșu să se alinieze:

- la ultimele reglementări cu privire la calitatea produselor;
- la nivelele de producție realizate la nivel mondial.

Reliefăm în acest context:

- reducerea costurilor aferente fabricației benzilor laminate la rece între 40% și 60% față de variantele clasice;
- îmbunătățirea parametrilor calitativi ai produselor realizate prin:
  - reducerea câmpurilor de toleranță la cca. 1/4 din valoarea celor realizate în prezent;
  - reducerea abaterilor de la planeitate la cca. 1/2 din valorile asigurate în prezent;
  - ridicarea calității suprafeței prin îmbunătățirea rugozității suprafețelor benzilor laminate cu cel puțin 50%.
- reducerea costurilor de prelucrare prin laminare la rece a benzilor cu cel puțin 40%, respectiv 85-95 \$/tonă la 55-60 \$/tonă mai ales prin:
  - optimizarea numărului de treceri de laminare;
  - optimizarea numărului de tratamente termice intermediare;
  - optimizarea parametrilor procesului de fabricație;
  - optimizarea controlului și atestarea calității produselor prin verificări efective ale acestuia.

## Tehnologii aferente fabricării benzilor laminate la cald

În prezent la nivel național producția de laminate plate deține o pondere de 67% din producția totală de laminate iar în cadrul acesteia producția de benzi și table subțiri laminate la cald deține o pondere de 20%.

În ansamblul ei tehnologia de obținere a tablelor și benzilor subțiri este tipică unităților în care se prelucrează și este determinată de intensitatea fluxului de fabricație și de cerințele calitative impuse.

### 3.1 Evoluția liniilor de laminare a benzilor late subțiri laminate la cald

Realizarea benzilor laminate la cald în ultimele decenii a cunoscut o evoluție deosebită. În țările industrializate fiecare a doua tonă de oțel elaborat este transformată în bandă laminată la cald, această realizare a fost materializată atât prin construcția unor noi instalații de laminare cât și prin creșterea productivității instalațiilor de laminare.

Pe plan mondial instalațiile de laminare benzi la cald au evoluat de-a lungul deceniilor, instalațiile de laminare fiind clasificate în șase generații. Potențialul de evoluție tehnologică nu este complet explorat, tehnologiile actuale permițând noi soluții și performanțe.

Prima generație – G1 – a instalațiilor de laminat benzi la cald este datată ca începând din anul 1926 și este caracterizată de existența următoarelor utilaje:

- două cuptoare de încălzit semifabricate;
- o cajă degrositoare duo reversibilă;
- o linie de laminare finisoare formată din patru caje cuarto.

Din această generație au fost realizate 70 de instalații care de-a lungul anilor au fost majoritatea modernizate sau înlocuite de laminoare aparținând altor generații. Din performanțele acestor instalații se enumeră:

- greutatea colacilor până la 5 tone;
- viteze de laminare 10 – 12 m/s;
- capacitate de laminare 1,5 – 2 mil. tone/an.

A doua generație – G2 – a instalațiilor de laminare benzi la cald aparține anilor 1960 – 1970 și este caracterizată de existența următoarelor utilaje:

- cuptor de încălzit semifabricate;
- o linie de laminare degrositoare formată din patru caje cuarto;
- o linie de laminare finisoare formată din șapte caje cuarto.

Din performanțele acestor instalații se enumeră:

- prelucrează brame de dimensiuni: 300×1880×9000 mm;
- lățimi ale benzii laminate mai mari de 2000 mm;
- greutatea colacilor de 32 tone;
- viteze de laminare de până la 15 m/s;
- capacitate de laminare 3,2 mil. tone/an.

A treia generație – G3 – a instalațiilor de laminare benzi la cald aparține anilor 1970 – 1980 și este caracterizată de existența următoarelor utilaje:

- cuptor de încălzit semifabricate;
- o linie de laminare degrositoare 3/4 continuă sau continuă formată din 6 – 7 caje de laminare;
- o linie de laminare finisoare formată din 7 – 9 caje de laminare.

Din performanțele acestor instalații se enumeră:

- prelucrează brame de dimensiuni: 355×1950×12800 mm;
- lățimi ale benzii laminate 2250 mm;
- greutatea colacilor de 45 tone;
- viteze de laminare 23 m/s;
- capacitate de laminare 5 – 6 mil. tone/an.

Prima instalație de laminare din generația a treia a fost pusă în funcție în Japonia și în următorii cinci ani au mai fost construite încă 5 instalații de laminare identice.

Criza energetică declanșată în anii 1975 a făcut ca parametrii acestei generații de instalații să fie reconsiderați. Unitățile productive au fost obligate:

- să coboare costurile de investiții și de exploatare;
- să coboare costurile energetice la realizarea benzilor laminate la cald;
- să creeze structuri flexibile și adaptabile la cerințele cumpărătorilor;
- să adapteze tehnica și tehnologia proceselor în vederea realizării unor benzi cu caracteristici ridicate.

Rezultatul acestor acțiuni a conturat o nouă generație de instalații de laminare.

A patra generație – G4 – a instalațiilor de laminare benzi la cald aparține anilor 1980 – 1990 și este caracterizată de existența următoarelor utilaje:

- cuptor de omogenizare și menținere a temperaturii semifabricatului turnat continuu;
- linie de laminare degrositoare cu acționări principale deosebit de puternice;
- linie de laminare finisoare formată din 2 – 4 caje de laminare;
- introducerea sistemului “ Koill – Box “;
- sisteme de poziționare a cilindrilor de laminare;
- sisteme de control și reglare automată a grosimii și lățimii benzii;
- sisteme de verificare a planeității.

Din performanțele acestor instalații se enumeră:

- prelucrează semifabricat turnat continuu de grosimi 200 – 250 mm;
- lățimi ale benzii laminate cuprinse între 1600 mm și 2200 mm;
- greutatea colacilor de până la 20 tone;
- viteză de laminare de până la 20 m/s;
- laminare la o temperatură aproximativ constantă.

A cincea generație – G5 – a instalațiilor de laminare benzi la cald a apărut în anul 1989 o dată cu turnarea continuă a bramelor de grosimi 40 – 60 mm și este caracterizată de existența următoarelor utilaje:

- mașina de turnare continuă brame subțiri;
- cuptor de omogenizare și menținere a temperaturii semifabricatului turnat continuu;
- cinci până la șapte caje de laminare având:
  - sisteme de poziționare a cilindrilor de laminare;
  - sisteme de control și reglare automată a grosimii și lățimii benzii
  - sisteme de verificare a planeității.

Din performanțele acestor instalații se enumeră:

- prelucrează semifabricat turnat continuu de grosimi 40 la 60 mm;
- lățimi ale benzii laminate de până la 1800 mm;
- greutatea colacilor de până la 20 tone;
- viteza de laminare de până la 20 m/s;
- laminare la o temperatură aproximativ constantă;
- capacitatea de laminare 1,5 mil. tone/an.

A șasea generație – G6 – a instalațiilor de laminat benzi la cald este caracteristică perioadei actuale, utilajele și performanțele acestor instalații sunt descrise pe larg în subcapitolul 1.5.3., din prezenta lucrare.

În tabelul 3.1 se prezintă principalele caracteristici tehnice ale instalațiilor de laminare benzi la cald corespunzătoare generațiilor de la 1 – 6.

Tabelul 3.1: Principalele caracteristici tehnice ale instalațiilor de laminare benzi la cald corespunzătoare generațiilor de la 1 – 6.

Caracteristici tehnice	G1	G2	G3	G4	G5	G6
Intervalul de timp [ani]	1926 1960	1960 1970	1970 1980	1980 –	1990 –	Actual
Capacitatea de laminare [mil. tone/an]	1,5 – 2,5	3 – 4	5 – 6	5 – 6	1,5 – 2,5	0,2 – 0,8
Greutatea colacului [tone]	4 – 10	16 – 25	27 – 35,7	18 – 25	18 – 25	18 – 25
Viteza de laminare maximă [m/s]	10 – 12	16 – 22	27 – 34	20	20	≥ 30
Grosimea minimă de laminare [mm]	2,5	1,5	0,8	1,2	0,8	0,8
Lățimea de laminare [mm]	1100 2500	1600 2200	2300 –	1600 2200	1800 –	1800 –
Toleranța minimă la grosime [mm]	0,15	0,15	0,15	0,07	0,05	< 0,05
Toleranța minimă la lățime [mm]	0 – 20	0 – 20	0 – 20	0 – 12	0 – 10	0 – 7
Numărul cajelor de laminare	6	6	7 – 9	7	5 – 7	1 – 5
Materia primă de pornire	Bloc Turnat		Bloc Turnat Sau Semifabricat Turnat Continuu		Semif. Turnat Continuu	Tablă Turnată Continuu
Tipul liniei tehnologice	Semicontinuă		Continuă		Semicontinuă sau 3/4 Continuă	Continuă

Evoluțiile tehnice și tehnologice din ultimii ani definesc o dinamică deosebită în domeniul utilajelor, echipamentelor și instalațiilor de laminare a benzilor la cald.

Prin parametrii tehnici, tehnologici și economici pe care îi realizează instalațiile de laminare astăzi poate fi reconsiderat conceptul general de funcționare a unei unități siderurgice integrate în cadrul conceptului de unitate de tip Mini-Mill ceea ce conferă posibilitatea unităților siderurgice mai mici de a aborda și realiza asemenea soluționări.



Ca rezultat al investigării caracteristicilor tehnice și tehnologice ale acestor instalații de laminare cu referire la realizarea produselor plate subțiri – laminoare de benzi late subțiri la cald, în prezenta lucrare se conturează o soluție de integrare a fabricației benzilor late subțiri laminate la rece pornind de la benzi laminate subțiri la cald din benzi turnate continuu.

În prezent pe plan mondial sunt în stare de funcționare 259 de linii de laminare benzi late subțiri laminate la cald, repartitia lor în spațiul geografic al lumii este prezentată în figura 3.1.

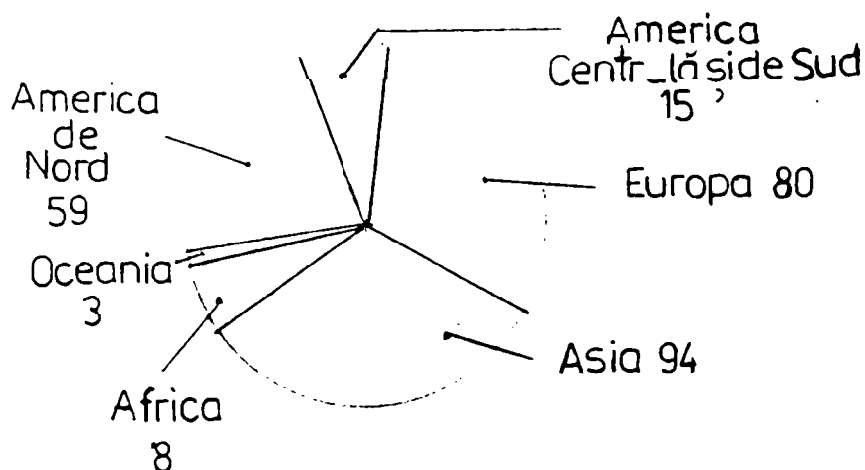


Fig. 3.1 Repartitia pe plan mondial a liniilor de laminare benzi late subțiri laminate la cald

### 3.2 Tehnologia actuală de fabricație a benzilor laminate la cald

Considerentele actuale de calitate ale benzilor și tablelor laminate la cald și respectiv cele economice vizând eficiența tehnologiei au conturat în timp fluxuri tehnologice tipice pentru perioadele respective de dezvoltare, fluxuri care cuprind următoarele:

#### I Elaborarea oțelului

- La nivel mondial 75% din producția de oțel se obține în convertizoare și 25% din producția de oțel se obține în cuptoare electrice.
- La nivel mondial 95% din oțelul elaborat se tratează în cadrul metalurgiei secundare prin unul din procedeele consacrate:
  - Barbotarea topiturii cu argon;
  - RH – Rheinstahl Heraus – instalație de vidare parțială;
  - RH - OB - Rheinstahl Heraus Oxygen Blowing – instalație de vidare parțială cu insuflare de oxigen;
  - VD – Vacuum Decarburation – instalație de vidare cu barbotare de argon;
  - VOD – Vacuum Oxygen Decarburation – instalație de vidare cu aport de oxigen și barbotare de argon;
  - LH – Ladle Furnace – instalație de tratament a oțelului lichid în oală;
  - AOD – Argon Oxygen Decarburation – instalație de tratare a oțelului lichid – decarburare – prin insuflarea de oxigen sau amestec de oxigen și argon;
  - IC – instalație de tratament a oțelului lichid în oală incluzând încălzirea chimică.

## II Turnarea continuă a benzilor subțiri din oțel

Procedeul de turnare continuă a benzilor din oțel a stat în centrul atenției a multor cercetători de-a lungul anilor. Prima soluție tehnică a fost conturată și patentată în anul 1866 de către Henry Bessemer. De atunci și până în zilele noastre când s-a trecut la deservirea operațională a procedurii s-au realizat 2 stații pilot fiecare cu particularitățile ei și respectiv 2 instalații preindustriale de realizare a benzilor subțiri din oțel.

Astăzi privind prin prisma indicatorilor tehnico-economici ce trebuie realizați în timpul proceselor de fabricație și a concurenței extrem de dure existente pe piața produselor plate din oțel este necesar ca abordarea unei probleme de perspectivă să fie realizată cu ajutorul soluțiilor tehnice noi care se vor impune prin performanțele realizate.

Soluția tehnică pe care o apreciez cel mai mult și care se află în faza de experimentare industrială este cea prezentată pe larg în subcapitolul 1.5.3 al prezentei lucrări.

Implementarea în fluxul de fabricație al Complexului Industrial din Oțelu-Roșu a unei linii de turnare continuă a benzilor, concepută a fi proiectată și realizată ținând cont de conjunctura actuală a siderurgiei românești, deschide perspectiva unei fabricații deosebit de competitive pentru viitor.

În condițiile în care problemele de tehnologie a proceselor de elaborare și tratare a oțelurilor în fazele respective asigură în primul rând calitatea din ce în ce mai ridicată a materialului, problemele legate de tehnologie a proceselor de fabricație a produselor plate asigură în afara calității produselor și eficiența economică a costurilor procesării.

În cadrul prezentei lucrări s-a conceput integrarea fabricării benzilor laminate la cald aferente fluxului de laminare la rece a benzilor completând conceptul de Mini-Mill al Complexului Industrial din Oțelu-Roșu și pe domeniul produselor plate al benzilor subțiri și a tablelor subțiri laminate la rece.

Unitatea siderurgică din Oțelu -Roșu a fost dimensionată pentru o capacitate de elaborare a oțelului de 450000 tone/an având în dotare două instalații de turnare continuă a semifabricatelor de tip blumuri.

În cadrul prezentei lucrări s-a conceput implementarea unei a treia mașini de turnare continuă a benzilor subțiri ceea ce va asigura integrarea fabricației acestor benzi.

Cu un efort financiar relativ mic investiția poate fi abordată rezultând un proces de fabricație integrat pe un segment de produse care se valorifică la un preț avantajos pe piața oțelului cca. 500 \$/tonă, față de cca. 265 \$/tonă prețul mediu de vânzare a produselor laminate lungi.

În figura 3.2 se prezintă propunerea de implementare a unei instalații de turnare continuă a benzilor subțiri urmată de un tandem de 2–3 caje de laminare la cald a benzilor turnate continuu. Prin această structură unitatea siderurgică din Oțelu-Roșu se va putea situa la nivelul unităților din siderurgie care realizează indicatori de eficiență ridicați.

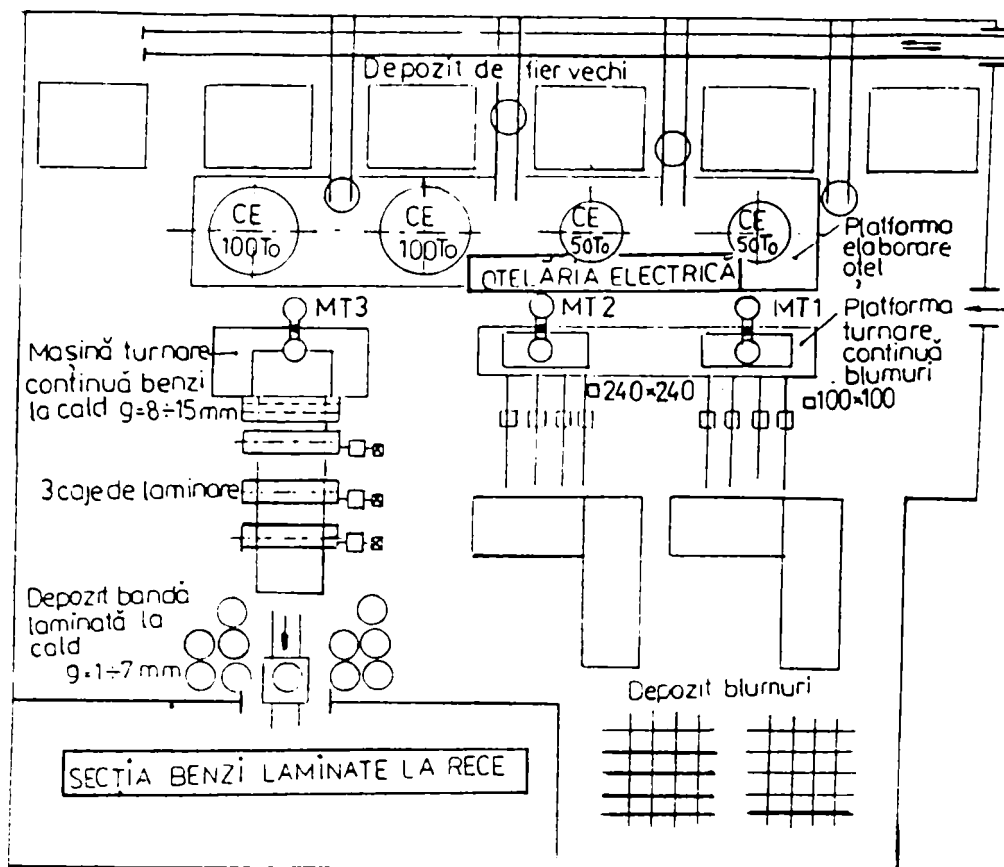


Fig. 3.2 Configurația unității siderurgice din Oțelu-Roșu în vederea integrării fabricației produselor plate laminate la cald și la rece

Prima treaptă de optimizare a fabricației benzilor în cadrul Complexului Industrial din Oțelu-Roșu – soluția prezentată în prezenta teză de doctorat – reprezintă o soluție de tip macro de optimizare a fabricației cu extinderea dotării tehnice a unității cu o instalație de turnare continuă a benzilor de tip DSC.

Deși costurile aferente unei asemenea dotări pot fi estimate la cca. 3mil.USD valorificarea producției realizate va putea amortiza aceste cheltuieli investiționale în mai puțin de 1,5 ani de la punerea în funcțiune.

### 3.3 Optimizarea fabricației benzilor laminate la cald în cadrul Complexului Industrial din Oțelu -Roșu

Unitatea siderurgică din Oțelu-Roșu are în dotare utilaje aferente elaborării oțelului și a turnării acestuia fiind profilată în general pe fabricația produselor lungi.

Instalațiile de turnare continuă au fost concepute pentru turnarea blumurilor de la secțiuni  $100 \times 100$  mm până la  $240 \times 260$  mm. Unitatea este dotată cu capacități de laminare a profilelor lungi: laminor de profile speciale  $\varnothing 550$  și laminor de profile mici  $\varnothing 330$ . În paralel cu aceste dotări aferente fabricației produselor lungi unitatea dispune de două secții de prelucrare a benzilor laminate la rece care au capacități de prelucrare:

- 60000 tone/an benzi de lățimi 600 mm și grosimi de până la 0,22 mm;
- 15000 tone/an benzi de lățimi 105 mm și grosimi de până la 0,35 mm.

Pentru prima capacitate materia primă – benzi laminate la cald – de grosimi 1.5 mm până la 6 mm urmau a fi aprovizionate de la unitatea siderurgică din Galați (Ispat Galați).

Din considerente tehnice și economice colaborarea cu o unitate siderurgică aflată la 800 km este extrem de dificilă. Unitatea de fabricație a benzilor laminate la rece a fost neintegrată în fluxul de fabricație a unității din Oțelu-Roșu. Numai transportul benzilor de la Galați la Oțelu-Roșu cca. 12 \$/tonă face dificilă competitivitatea unității pe piața benzilor.

A doua secție de prelucrare a benzilor laminate la rece ce dispune de o capacitate proiectată de laminare de 15000 tone/an este destinată fabricării benzilor subțiri–înguste cu caracteristici tehnice deosebite. Aceste benzi definesc pe piața produselor plate un segment deosebit de atractiv.

Din sortimentarea mărcilor de oțel care se regăsește în programul de fabricație al laminorului de benzi subțiri–înguste se enumeră:

- benzi rezistive de tip kantal;
- benzi rezistive de tip nicrotal;
- benzi din oțeluri silicioase destinate fabricării elementelor elastice, arcurilor;
- benzi cu conținut redus de carbon destinate fabricării produselor ambutisate foarte adânci;
- benzi din oțeluri aliate destinate fabricării lanțurilor petroliere.

Fluxul tehnologic normal, utilizat la fabricația benzilor subțiri–înguste laminate la cald de lățimi 20 ÷ 105 mm și grosimi 2,3 ÷ 4 mm cuprinde următoarele faze tehnologice:

- elaborare oțel;
- turnare continuă în blumuri de secțiuni □140 mm – □200 mm;
- laminare la cald în țagă de secțiune □80 mm;
- laminare la cald în benzi.

În condițiile actuale de concurență pe piața produselor plate, prețul benzilor realizate pe acest flux de fabricație nu mai este competitiv.

Prezenta lucrare propune și rezolvă optimizarea fabricației benzilor subțiri – înguste de la unitatea siderurgică din Oțelu-Roșu în două etape caracterizate de două soluții tehnologice tipice.

Prima soluție tehnologică include laminarea platbenzilor subțiri–înguste direct din țagla turnată continuu de secțiune □120 mm, prin aceasta reducându-se practic o operație de laminare a materialului într-un laminor mijlociu.

Din ansamblul costurilor aferente acestei operații de laminare se reliefează:

- reducerea consumurilor energetice în tehnologia de fabricație a benzilor subțiri înguste cu circa 60%;
- reducerea timpilor aferenți ciclului de fabricație cu cel puțin 30 de zile;
- reducerea emanațiilor de noxe ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_x$ ) cu cel puțin 60%.

A doua soluție tehnologică vizează optimizarea însăși a procesului de laminare din cadrul laminorului prin creșterea lățimii benzii laminate până în jurul valorii de 200 mm, benzile înguste urmând a fi obținute prin fâșierea acestor benzi late, operația de fâșiere fiind o operație frecventă în orice laminor de benzi la rece.

O etapă de viitor se conturează o dată cu realizarea condițiilor tehnice de a lamina benzi de lățimi mai mari de 200 mm, în acest caz productivitatea va crește în continuare odată cu creșterea lățimii benzii.

Analizând starea tehnică a laminorului înainte de introducerea optimizărilor enunțate mai sus a rezultat faptul că puterea motorului de antrenare al cajei degrositoare precum și momentul antrenării cilindrilor de laminare permit la actuala gamă dimensională a cilindrilor de lucru – diametrul și lungimea tăblei – laminarea unor secțiuni mai mari de  $\square 80$  mm, respectiv  $\square 120$  mm.

În cadrul prezentei lucrări au fost verificați parametrii dinamici ai laminării prin mărimile electrice ale acționării, în timpul laminării țaglelor turnate continuu de secțiune  $\square 120$  mm. Datele prelevate în timpul laminării sunt prezentate în tabelul 3.2 și ele atestă capacitatea cajei de-a prelua sarcinile aferente laminării acestei secțiuni  $\square 120$  mm, desigur către limita superioară a domeniului lor de definiție.

Tabelul 3.2: Măsurători ale puterii efective în [kW] cu care a fost încărcat motorul principal de acționare a cajei degrositoare la laminarea țaglei  $\square 120$  mm – pe întreaga gamă de treceri – Tr1 la Tr7, măsurate în timpul laminării a 15 țagle.

Nr. țagă	Tr1	Tr2	Tr3	Tr4	Tr5	Tr6	Tr7
1	1060	1110	1010	1060	920	845	735
2	1090	1100	1010	1055	925	850	730
3	1020	1050	985	1020	900	825	720
4	1040	1070	995	1040	930	835	730
5	1100	1140	1020	1075	935	850	740
6	1020	1050	1005	1045	910	825	710
7	1025	1035	980	1000	890	805	705
8	1090	1115	1025	1050	910	840	815
9	1030	1045	1090	1060	925	840	780
10	1020	1040	990	1040	910	830	725
11	1040	1150	1035	1060	930	850	735
12	1020	1010	980	1010	890	795	710
13	1040	1050	985	1040	910	830	715
14	1060	1100	995	1050	915	850	720
15	1090	1110	1010	1070	940	880	745

Observații: - Tr1 la Tr7 – număr de treceri.

În cadrul lucrării s-au reconsiderat reducerile de secțiune a laminatului pe fiecare trecere în așa fel încât procesul de laminare să decurgă în condiții optime fără

depășirea limitelor de rezistență ale cilindrilor, a elementelor constructive ale cajei și a caracteristicilor acționării cajei.

Elementele geometrice ale calibraului, forțele, momentele, puterile de laminare teoretice sunt prezentate în tabelul 3.3.

S-a notat cu:

$V_1$ - viteza de laminare;	$n_c$ - turația de lucru;
$I_r$ - coeficient de alungire;	$T_1$ - temperatura de laminare;
$S_i$ - secțiune laminat;	$L$ - lungimea laminatului;
$B_1$ - lățime inițială laminat;	$t$ - timpul de laminare;
$B_2$ - lățime finală laminat;	$F_1$ - forța de laminare;
$H_1$ - înălțime inițială laminat;	$M_n$ - momentul de laminare;
$H_2$ - înălțime finală laminat;	$P$ - puterea de laminare.
$D_1$ - diametru de lucru;	
$D_h$ - reducerea absolută;	

Schemele de laminare la cald a benzilor subțiri-înguste de lățime 105mm realizate din țagă laminată  $\square 80$  mm și respectiv țagă turnată continuu  $\square 120$  mm în cadrul unității siderurgice din Oțelu-Roșu sunt prezentate în figura 3.3. În tabelul 3.4 și 3.5 se prezintă corespunzător celor două tehnologii de laminare:

- dimensiunile laminatului realizat pe fiecare trecere:  $B \times H$ ;
- secțiunea laminatului pe fiecare trecere:  $S$ ;
- coeficientul de alungire:  $I_r$ ;
- lungimea laminatului pe fiecare trecere:  $L$ .

Tabelul 3.3: Elementele geometrice ale calibraului, forțele și momentele de laminare, calculul teoretic

Nr. crt.	Tipul Calibraului	$V_1$	$I_r$	$S_i$	$B_1$	$B_2$	$H_1$	$H_2$	$D_1$	$D_h$
-	-	[m/s]		[mm] <sup>2</sup>	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
Tr1	Cutie	2,763	1,35	10668	120	127	120	84	503	36
Tr2	Cutie	2,703	1,36	7764	84	88	127	88	492	39
Tr3	Lat	2,835	1,33	5800	88	105	88	58	516	30
Tr4	Patrat	2,692	1,30	4494	58	42	105	107	490	16
Tr5	Lat	2,906	1,32	3380	107	109	42	31	529,5	11
Tr6	Lat	2,882	1,33	2530	109	110	31	23	524,5	8
Tr7	Lat	2,948	1,34	1887	110	111	23	17	536,5	6

Nr. Crt.	$n_c$	$T_1$	$L$	$t$	$F_1$	$M_n$	$P$
	[rot/min]	[°C]	[m]	[s]	[MN]	[daNm]	[kW]
Tr1	105	1185	2,7	0,97	1,826	377	1030
Tr2	105	1150	3,6	1,33	1,870	383	1054
Tr3	105	1135	4,8	1,69	1,780	364	988
Tr4	105	1110	6,3	2,34	1,840	379	1045
Tr5	105	1060	8,3	2,85	1,610	335	876
Tr6	105	1020	11,1	3,85	1,520	295	770
Tr7	105	980	14,9	5,05	1,295	255	668



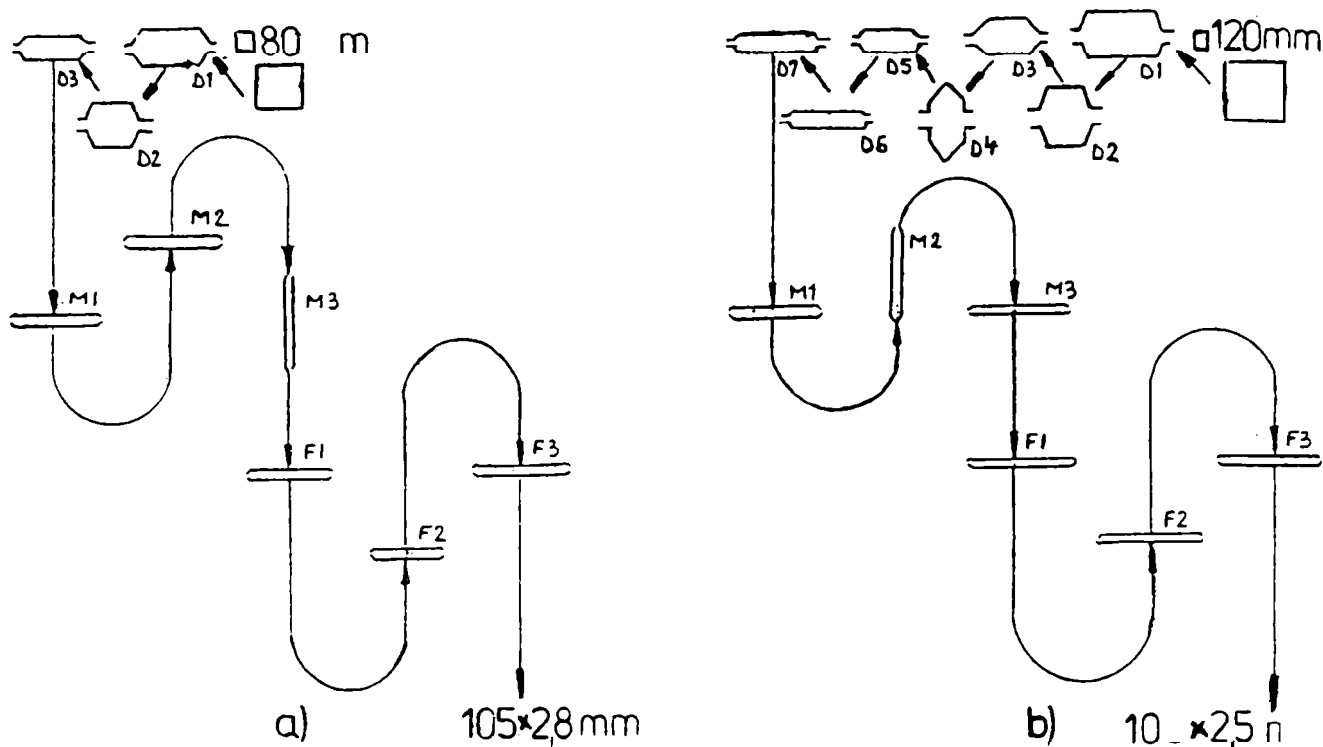


Fig.3.3 Schemele de laminare la cald a benzilor de lățime 105 mm și grosime 2,5mm:  
 a) din țagă laminată  $\square 80 \times (1500 \div 3000)$  mm;  
 b) din țagă turnată continuu  $\square 120 \times (1500 \div 3000)$  mm.

Tabelul 3.4: Tehnologia de laminare a benzilor la cald de lățime 105 mm și grosime 2.5 mm din țagă laminată de secțiune  $\square 80$  mm și lungime 3000 mm

Nr. trecere	Dimensiune B×H [mm]×[mm]	Secțiune S [mm] <sup>2</sup>	Coefficient de alungire I <sub>r</sub>	Lungime laminat L [mm]
0	80×80	6400	–	3000
D1	102×48	4896	1,30	3921
D2	65×65	4225	1,16	4544
D3	105×31	3255	1,29	5898
M1	106×17,5	1885	1,75	10350
M2	108×10,5	1134	1,63	16931
M3	102×10,5	1071	1,05	17927
F1	103×6,7	690	1,56	27822
F2	104×4,4	458	1,52	41958
F3	105×2,8	294	1,56	65306

Observații:

- D – caja degrositoare;
- M – caja mijlocie;
- F – caja finisoare.

Tabelul 3.5: Tehnologia de laminare a benzilor la cald cu lățime 105 mm și grosime 2.5 mm din țagă turnată continuu de secțiune □120 mm și lungime 2000 mm

Nr. trecere	Dimensiune B×H [mm]×[mm]	Secțiune S [mm] <sup>2</sup>	Coefficient de alungire I <sub>r</sub>	Lungime laminat L [mm]
0	120×120	14400	–	2000
D1	127×84	10668	1,35	2700
D2	88×88	7764	1,36	3719
D3	105×58	5800	1,33	4729
D4	107×42	4494	1,30	6408
D5	109×31	3380	1,32	8523
D6	110×23	2530	1,33	11383
D7	111×17	1887	1,34	15262
M1	115×10,5	1207	1,56	23850
M2	102×10,5	1071	1,12	26890
M3	103×7	721	1,48	39944
F1	103×5	515	1,40	55922
F2	104×3,5	364	1,40	79120
F3	105×2,5	263	1,40	109714

Observații:

- D – caja degrositoare;
- M – caja mijlocie;
- F – caja finisoare.

Din analiza tehnică a cuptorului de încălzit semifabricate a rezultat că acest utilaj care deține ponderea consumurilor energetice din laminor permite încălzirea semifabricatelor țagle turnate continuu □120 mm în ritmul necesar laminării, dar analiza bilanțului termic caracterizează drept necorespunzătoare comportarea utilajului.

În lucrare sunt prezentate două soluții de îmbunătățire a randamentului termic al cuptorului cu un aport esențial în ameliorarea parametrilor cuptorului:

- prima soluție propusă în lucrare vizează creșterea temperaturii de preîncălzire a aerului de combustie până la valori de circa 450°C – comparabil cu parametrii oferți de firma Danieli (Italia). Prin soluția prezentată în lucrare se estimează o creștere a randamentului cuptorului cu 12 - 13%.

- a doua soluție vizează controlul și reglarea arderii în funcție de analiza gazelor de ardere din cuptor. Prin urmărirea conținutului de oxigen, bioxid de carbon, hidrogen respectiv de hidrocarburi nearse în gazele de ardere și reglarea coeficientului de exces de aer în funcție de aceste conținuturi se obține o utilizare maximă a puterii calorice a combustibilului.

Din datele existente în oferte ale firmelor de specialitate sunt citate creșteri ale randamentelor cuptoarelor materializate prin scăderi ale consumului de combustibil în condiții identice de exploatare, cuprinse între 9% și 11%. Prin aceste măsuri stabilite în cadrul lucrării se conchide că utilajul cuptor de încălzit semifabricate poate fi adus la un nivel de funcționare comparabil cu al oricărei unități performante din alte unități siderurgice.

Cuptorul poate lucra cu țagle  $\square 120 \times 3000$  mm având greutatea de cca. 330 Kg.

Principalele restricții ale soluției sunt:

- limitarea capacității de laminare la 10000 to/lună;
- limitarea greutății colacului la 330 Kg.

Cuptorul este de tipul cu propulsie pe un rând bizonal cu încălzire unilaterală și descărcare laterală. Dimensiunile vetrei sunt de  $18000 \times 3000$  mm. Încărcarea se face pe șine de glisare din oțel refractar cu ajutorul unei mașini de împins. Descărcarea se face pe o ușă laterală printr-un jgheab de oțel refractar cu ajutorul unei mașini de evacuare.

Combustibilul folosit este gazul metan, debitul total instalat fiind de 800 Nm<sup>3</sup>/h repartizat după cum urmează:

- zona de încălzire:  $4 \text{ arzătoare} \times 120 \text{ Nm}^3/\text{h} = 480 \text{ Nm}^3/\text{h}$ ;
- zona de egalizare:  $4 \text{ arzătoare} \times 80 \text{ Nm}^3/\text{h} = 320 \text{ Nm}^3/\text{h}$ .

Construcția metalică urmărește conturul cuptorului și îmbracă zidăria, preia sarcinile din boltă, susține instalația de ardere și recuperare a căldurii precum și tubulatura. În figura 3.4 este prezentată o secțiune prin cuptorul cu încălzire unilaterală de 18 tone/h.

Aparatele de măsură, control și reglare au următoarele funcțiuni:

- măsură - preia informațiile curente din proces;
- control - compară mărimile ce definesc starea procesului cu informația curentă;
- reglare - comandă corecțiile ce se impun ca urmare a comparației mărimilor măsurate cu cele prescrise.

În figura 3.5 este prezentată schema sistemului de recuperare a căldurii gazelor arse în trei trepte propusă în vederea îmbunătățirii randamentului cuptorului cu 12-13%.

În cadrul funcției de măsură se controlează următoarele mărimi:

- temperaturi - zona de încălzire boltă;
  - zona de egalizare boltă;
  - intrare recuperator;
  - ieșire recuperator;
  - ieșire cazan abur;
  - aer combustie;
- presiuni - gaz metan/aer combustie în cele 2 zone;
  - presiune cuptor.
- debite - debit gaz în zona de încălzire;
  - debit gaz în zona de egalizare;
  - debit aer în zona de încălzire;
  - debit aer în zona de egalizare;
  - raport aer/gaz.

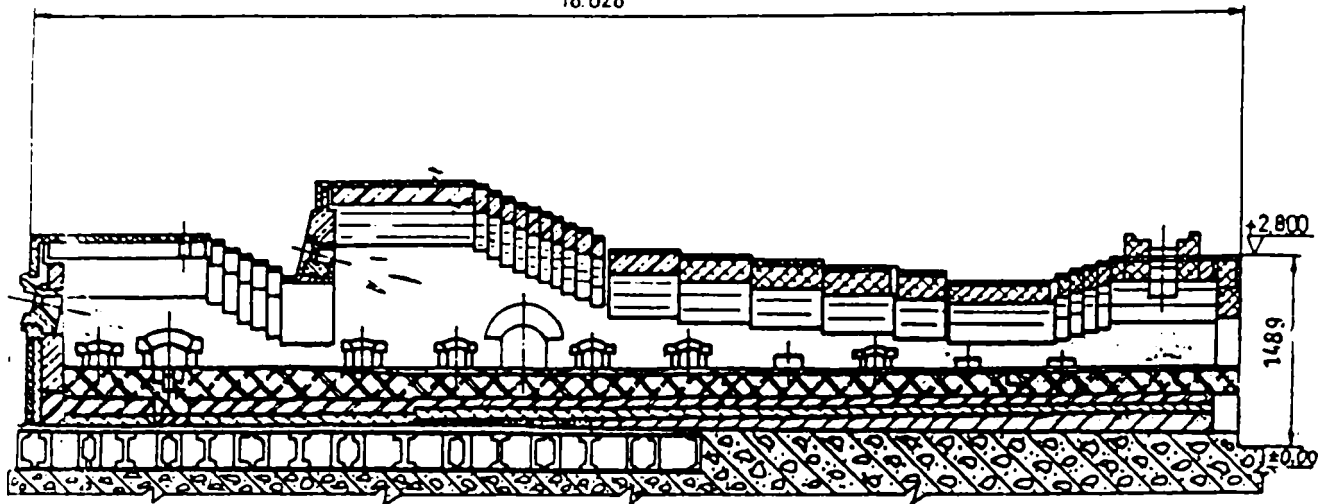


Fig. 3.4 Secțiune prin cuptorul cu încălzire unilaterală de 18 to/h din cadrul secției laminorului de benzi la cald Ø330 mm

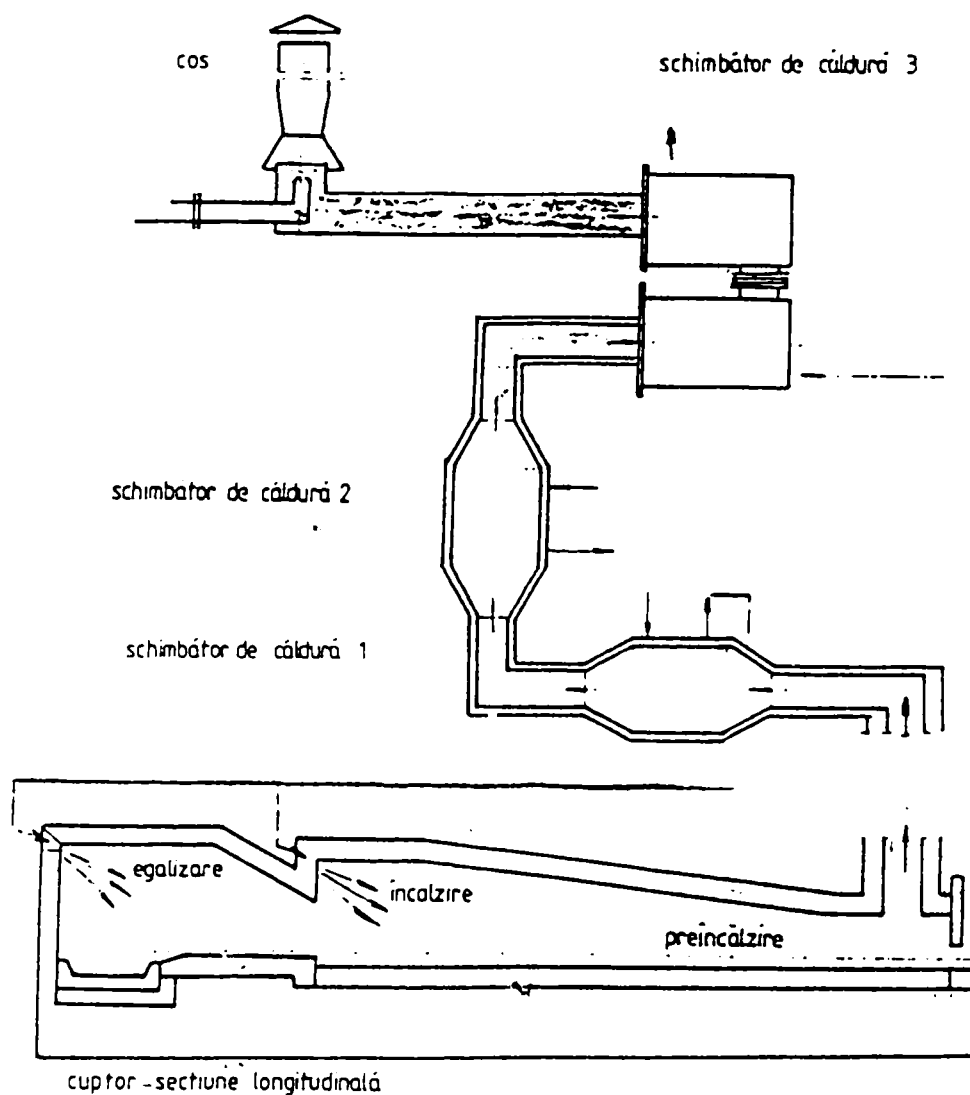


Fig. 3.5 Schema sistemului de recuperare a căldurii gazelor arse în trei trepte

În cadrul prezentei teze de doctorat se propune o abordare graduală a optimizării încălzirii semifabricatelor în vederea laminării în cadrul laminorului de profile ușoare Ø330.

În prima fază se urmăresc:

- reconsiderarea izolațiilor termice pentru diminuarea pierderilor de căldură;
- reconsiderarea acționărilor vizând alimentarea și evacuarea țăgurilor;
- reconsiderarea sistemelor de închidere și etanșare;
- echiparea cuptorului cu sisteme de recuperare avansată a căldurii; dotarea cu sisteme automate de control și reglare a arderii.

În a doua fază de modernizare în prezenta lucrare se prevede dotarea secției cu un cuptor nou având următoarele caracteristici:

- cuptor cu vatră pășitoare ce poate încălzi semifabricate până la secțiuni de 140 mm, 160 mm×6000 mm;
- cuptorul va avea un amplasament optimizat în funcție de noua structură constructivă și funcțională a laminorului după a doua etapă de modernizare;
- cuptorul va avea posibilitatea adaptării regimului de lucru la nivelul optim prin conducerea lui cu ajutorul unui calculator de proces;
- cuptorul va avea posibilitatea de a lucra cu țăguri calde provenite direct de la turnarea continuă cu utilizarea căldurii primare din turnarea țăgurilor

Graficul sintezei bilanțului termic al cuptorului de încălzit semifabricate cu caracteristici tehnice optimizate este prezentat în figura 3.6, unde s-a definit în procente tipul căldurilor ce formează acest bilanț.

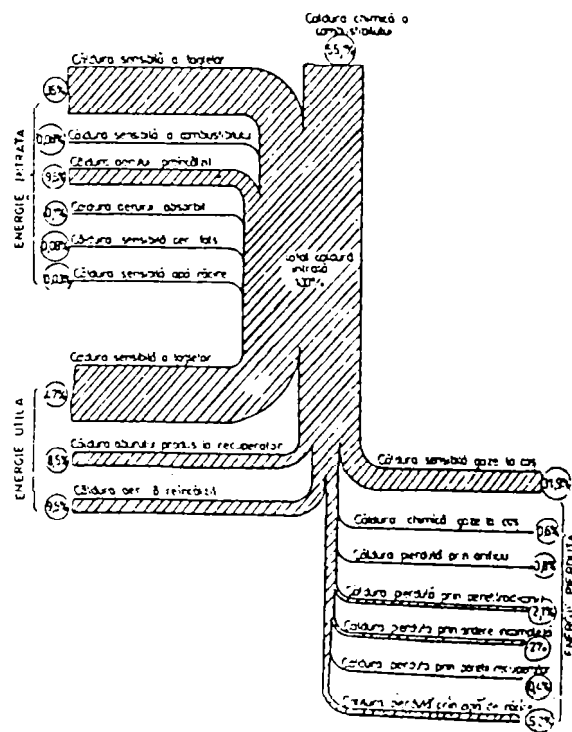


Fig. 3.6 Graficul sintezei bilanțului termic al cuptorului de încălzit semifabricate cu caracteristici optimizate

Concluziile vizând funcționarea cuptorului pentru încălzirea semifabricatelor prin prisma bilanțului termic sunt:

1. Funcționarea cuptorului în regimuri diferite de cel nominal reliefează randamente mici, ceea ce impune:

- definirea riguroasă a valorii nominale a capacității de încălzire;
- alegerea unui utilaj cu elasticitate cât mai mare fără a afecta parametrul procesului;
- controlul automat al funcționării cuptorului în vederea realizării unei funcționări optime la diferite încărcări.

2. Eliminarea sau reducerea elementelor ce cauzează pierderi termice importante:

- eliminarea pe cât posibil a elementelor răcite cu apă și izolarea corespunzătoare a elementelor răcite ce nu pot fi eliminate.
- închiderea sau izolarea ușilor de acces și vizitare;
- minimizarea deschiderilor ușilor de încărcare și evacuare;
- asigurarea unui regim optim de suprapresiuni care să împiedice absorbția aerului fals și ieșirea abundentă a gazelor de ardere.

3. Valorificarea optimă a căldurii prin:

- asigurarea transferului optim al căldurii către semifabricat:
  - realizarea încălzirii uniforme și egalizarea temperaturilor pe întreaga secțiune și lungime a semifabricatului;
  - evitarea unei oxidări puternice a materialului;
  - evitarea unei încălziri prea bruște ce să pericliteze materialul.
- asigurarea recuperării cât mai avansate a căldurii gazelor arse:
  - treapta I – preîncălzirea aerului de combustie la 230°C;
  - treapta a II-a – preîncălzirea aerului de combustie la 350°C;
  - treapta a III-a – încălzirea apei calde utilizabile în diverse scopuri.
- asigurarea valorificării surselor de căldură cu potențial scăzut (ape de răcire).

4. Obținerea unei încălziri corespunzătoare materialului prin:

- asigurarea temperaturii de laminare optime materialului, constantă și la variațiile de ritm de laminare;
- asigurarea unei încălziri graduale ce să nu pericliteze integritatea materialului;
- asigurarea egalizării temperaturii materialului pe secțiune și lungimea barei.
- asigurarea unei oxidări și decarburări a suprafeței materialului minime.



Din analiza datelor ce caracterizează dimensional produsele laminate se concluzionează că precizia benzilor laminate la cald pornind din semifabricat turnat continuu  $\square 120$  mm se încadrează prin mărimea abaterilor față de dimensiunea nominală în aceleași clase de precizie ca și în cazul laminării pornind din semifabricate  $\square 80$  mm. În tabelul 3.6 se prezintă valori experimentale ale măsurătorilor grosimii benzii de lățime nominală 105 mm și grosime nominală 2.5 mm de-a lungul firului laminat din mai multe loturi de fabricație.

Tabelul 3.6: Valori experimentale ale măsurătorilor grosimii benzii de lățime nominală 105 mm și grosime nominală 2,5 mm

LOT 1		LOT 2		LOT 3		LOT 4		LOT 5		LOT 6		NR. COLAC
CAP	COADĂ	CAP	COADĂ	CAP	COADĂ	CAP	COADĂ	CAP	COADĂ	CAP	COADĂ	
2,70	2,80	2,30	2,50	2,40	2,50	2,25	2,60	2,35	2,50	2,35	2,45	1
2,80	3,00	2,40	2,50	2,40	2,50	2,30	2,35	2,30	2,40	2,30	2,50	2
2,30	2,50	2,40	2,60	2,50	2,50	2,85	2,95	2,50	2,55	2,45	2,50	3
2,30	2,40	2,40	2,50	2,30	2,50	2,30	2,50	2,45	2,55	2,45	2,55	4
2,40	2,50	2,40	2,40	2,30	2,40	2,30	2,50	2,50	2,60	2,45	2,55	5
2,10	2,15	2,10	2,30	2,50	2,60	2,35	2,45	2,40	2,50	2,20	2,30	6
2,50	2,50	2,20	2,40	2,40	2,50	2,30	2,40	2,35	2,45	2,30	2,40	7
2,30	2,40	2,20	2,40	2,40	2,60	2,25	2,40	2,40	2,45	2,30	2,50	8
2,10	2,30	2,30	2,30	2,30	2,45	2,35	2,45	2,20	2,50	2,40	2,50	9
2,30	2,40	2,30	2,40	2,50	2,80	2,30	2,40	2,35	2,50	2,35	2,50	10

Observații:

CAP – începutul laminatului;

COADĂ – sfârșitul laminatului.

Valorile medii ale măsurătorilor de grosime a benzilor de lățime 105 mm obținute pe mai multe campanii de laminare în variantele tehnologice a utilizării ca materie primă țagă laminată de secțiune  $\square 80$  mm și respectiv țagă turnată continuu  $\square 120$  mm sunt prezentate în tabelul 3.7.

Tabelul 3.7: Valori medii ale grosimii benzilor la cald de lățime 105 mm obținute pe campanii de laminare

Variantă tehnologică	Grosime cap bandă [mm]	Grosime 1/4 Lc [mm]	Grosime 1/2 Lc [mm]	Grosime 3/4 Lc [mm]	Grosime coadă bandă [mm]
Variantă Tehnologică $\square 80$ mm	2,90	2,95	3,10	3,30	3,60
Variantă Tehnologică $\square 120$ mm	2,20	2,30	2,45	2,5	2,6

Observații: Lc – lungimea laminatului.

În cadrul secției Laminorul de profile mici și benzi înguste laminate la cald au fost concepute și apoi realizate în practică următoarele optimizări ale fabricației benzilor la cald:

- laminarea de benzi cu lățime 105 mm și grosime 1,5 mm;
- laminarea de benzi cu lățime 150 mm și grosime 2,5 mm.

utilizând ca materie primă țagla □120 mm turnată continuu.

Schema de laminare la cald a benzilor de lățime 105mm și grosime 1,5 mm. utilizând ca materie primă țagla turnată continuu □120 mm este prezentată în figura 3.7, iar valorile teoretice ale acestei tehnologii sunt prezentate în tabelul 3.8.

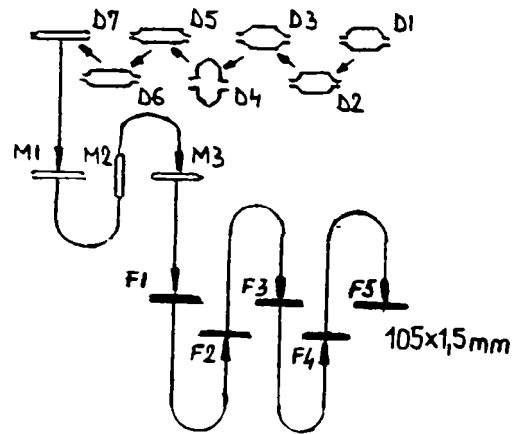


Fig.3.7 Schema de laminare la cald a benzilor de lățime 105 mm și grosime 1,5 m în cadrul unității siderurgice din Oțelu-Roșu

Tabelul 3.8 Tehnologia de laminare la cald a benzilor cu lățimi 105 mm și grosime 1,5 mm aplicată în cadrul unității siderurgice din Oțelu-Roșu

Nr. trecere	Dimensiune B×H [mm]×[mm]	Secțiune S [mm] <sup>2</sup>	Coefficient de alungire I <sub>r</sub>	Lungime laminat L [mm]
0	120×120	14400	-	2000
D1	127×84	10668	1,35	2700
D2	88×88	7764	1,36	3672
D3	105×58	5800	1,33	4884
D4	107×42	4494	1,30	6394
D5	109×31	3380	1,32	8380
D6	110×23	2530	1,33	11146
D7	111×17	1887	1,34	14936
M1	115×10,5	1207	1,56	23300
M2	102×10,5	1071	1,12	26096
M3	103×7	721	1,48	38622
F1	103×5,1	525	1,38	53298
F2	104×3,6	374	1,40	74618
F3	104,5×2,6	272	1,37	102225
F4	105×1,95	205	1,32	134938
F5	105×1,5	158	1,29	174070

Schema de laminare la cald a benzilor de lăţimi 150 mm şi grosimi 2,5 mm, uitlizând ca materie primă ţagla turnată continuu □120 mm este prezentată în figura 3.8 iar valorile teoretice ale acestei tehnologii sunt prezentate în tabelul 3.9.

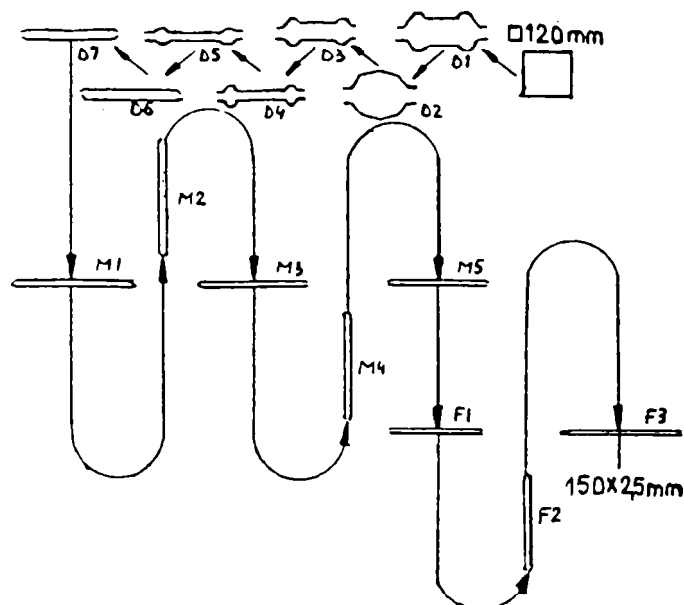


Fig. 3.8 Schema de laminare la cald a benzilor de lăţime 150 mm şi grosime 2.5 mm în cadrul unităţii siderurgice din Oţelu-Roşu.

Tabelul 3.9: Tehnologia de laminare a benzilor cu lăţimi 150 mm din ţagla □120 mm şi grosimi de până la 2,5 mm.

Nr. Trecere	Dimensiune B×H [mm]×[mm]	Secţiune S [mm] <sup>2</sup>	Coefficient de alungire I <sub>r</sub>	Lungime laminat L [mm]
0	120×120	14400	-	3000
D1	127×90	11430	1,26	3780
D2	97×97	9409	1,21	4591
D3	120×58	6960	1,35	6206
D4	128×38	4864	1,43	8880
D5	145×26	3770	1,29	11456
D6	165×21	3465	1,08	12464
D7	172×18	3096	1,11	13949
M1	175×14	2450	1,26	17626
M2	157×14	2198	1,11	19646
M3	160×10	1600	1,37	26988
M4	145×10	1450	1,10	29779
M5	146×7	1022	1,41	42250
F1	148×5	740	1,38	58350
F2	149×3,5	521,5	1,41	82797
F3	150×2,5	375	1,39	115143

Ca urmare a acestor optimizări se estimează o scădere a costurilor aferente procesării acestor laminate la cald de 58 \$/tonă.

În cadrul celei de-a doua soluții tehnice de optimizare a fabricației benzilor laminate la cald, la unitatea siderurgică din Oțelu-Roșu se propune:

- o schimbare completă a calibrului realizat pe cilindrii de laminare ai cajei degrositoare;
- introducerea în fluxul de laminare – linia mijlocie de laminare – a două caje suplimentare în vederea realizării operațiilor de refulare.

Introducerea acestei tehnologii de laminare a benzilor la cald având ca parametru de optimizare valoarea lățimii benzii laminate creează următoarele avantaje tehnice și economice:

- creșterea productivității laminorului de benzi la cald comparativ cu cea a fabricației benzilor de lățime 105 mm cu 50%;
- reducerea consumurilor energetice;
- creșterea productivității laminorului de benzi la rece ce utilizează ca materie primă banda laminată la cald de lățime 200 mm și grosime 2.5 mm.

### 3.4 Concluzii

1. Urmare a analizei tehnice actuale în domeniul realizării benzilor laminate la cald și la rece întreprinse în prezenta lucrare s-a definit modalitatea de a încadra unitatea siderurgică din Oțelu-Roșu în conceptul de Mini-Mill și pe produse plate, conferindu-i prin aceasta o flexibilitate deosebită față de cerințele pieții.

2. Implementarea în fluxul tehnologic a unei instalații continue a benzilor late aduce dotarea tehnică a unității la nivelul actual conferindu-i viabilitate prin parametrii tehnico-economici pe care îi poate realiza.

3. Materializarea unui flux tehnologic eficient este deosebit de atractiv pentru zona geografică în care se află unitatea.

4. Optimizarea fabricației benzilor înguste laminate la rece în cadrul fluxurilor de fabricație existente la Oțelu-Roșu permite acoperirea unor segmente de piață deținute de unitatea din Oțelu-Roșu în exclusivitate, ameliorând esențial eficiența economică a fabricației.

5. Reconsiderarea tehnicii și tehnologiei de laminare la cald a benzilor înguste pornind de la țagle turnate continuu  $\square 120$  mm față de varianta clasică, țagle

relaminate 80 mm aduce fabricația benzilor respective în domeniul eficient economic, viabil.

6. Extinderea dimensiunii, a lățimii benzilor laminate la cald în ecartul dimensional 105 – 200 mm – propusă în prezenta lucrare, reprezintă o sursă esențială de îmbunătățire a eficienței economice a procesului de fabricație.

Ceea ce trebuie remarcat este faptul că unitățile prelucrătoare de benzi laminate la rece din cadrul Complexului Industrial din Oțelu-Roșu își au segmentul de piață extrem de bine definit și care se găsește la tangența segmentelor de piață ale marilor combinate dar care se remarcă prin produse cu o prelucrare extrem de complexă și prin loturi de fabricație relativ mici.

Din analiza datelor tehnice ale ofertelor firmelor constructoare de utilaje metalurgice-cuptoare de încălzit semifabricate se remarcă orientarea spre cuptoarele cu vatră pășitoare pentru deservirea unor unități de laminare de tipul celor aflate în dotarea unității.

O modernizare a Laminorului de benzi la cald Ø 330 într-un viitor va putea include:

- Dotarea laminorului cu un cuptor de încălzit semifabricate cu vatră pășitoare incluzând sistemele de reglare automată a arderii în funcție de compoziția gazelor de ardere și recuperarea avansată a căldurii gazelor de ardere, soluții propuse în prezenta teză pentru optimizare;
- Dotarea Laminorului de profile mici Ø330 cu o a doua caje degrositoare ceea ce îi va extinde mult facilitățile tehnologice de realizare a benzilor late;
- Dotarea Laminorului de profile mici Ø330 cu un tren de finisare format din 5 caje înseriate;
- Reconsiderarea trenului intermediar de laminare vizând în special caracteristicile dinamice - rezistență și rigiditatea cajelor, precum și puterea și momentul de laminare.

### Tehnologia de laminare la rece a benzilor din oțel

În cazul unității siderurgice din Oțelu-Roșu, produsele benzi laminate la rece sunt obținute în două secții productive:

- a) secția de benzi înguste laminate la rece;
- b) secția de benzi late laminate la rece.

Secția de benzi înguste laminate la rece a fost concepută pentru fabricația benzilor cu predestinații speciale în gama dimensională:

- lățime: 15 – 105 mm;
- grosime: 0.2 – 5 mm.

Secția de benzi late laminate la rece a fost concepută pentru fabricația benzilor în gama dimensională:

- lățime: 500 – 720 mm;
- grosime: 0.2 – 4 mm.

Secția benzi înguste laminate la rece a fost concepută la nivelul tehnicii anilor 1950 cu laminoare cuarto acționate în curent continuu (grup Ward–Leonard) respectiv a fost dimensionată pentru o capacitate de producție de 15000 tone/an benzi laminate la rece pe o anumită structură sortimentală. În dotarea secției pe lângă cele două caje cuarto de laminare se mai regăsesc două caje sexto, câteva caje duo, o serie de foarfeci de fâșiere - divizare longitudinală a benzilor.

Un sector de tratamente termice completează dotarea tehnică atât pentru recoacerile de recristalizare – între laminările intermediare – cât și tratamentele termice finale. În figura 4.1 se prezintă schema constructivă a secției benzi înguste laminate la rece din cadrul unității siderurgice de la Oțelu-Roșu.

Secția de benzi late laminate la rece construită în anul 1985 reprezintă nivelul tehnicii perioadei respective. Două caje cuarto cu acționarea cu motoare în curent continuu de putere 370 kW formează utilajul de bază al secției. O linie de decapare semicontinuă asigură pregătirea suprafeței laminatului înainte de laminare iar o linie de degresare – pasivizare asigură calitatea finală a suprafeței laminatului.

Secția de benzi late laminate la rece a fost concepută pentru fabricația unei sortimentării de bază – benzi late subțiri – fiind completată de un program extrem de variat de platbenzi și benzi laminate la rece. Două caje cuarto având tăblia cilindrilor de 400 mm și o cajă duo cu caracteristici asemănătoare formează utilajele de bază aferente acestei fabricații complementare. Pentru prelucrări mai avansate în dotare au fost prevăzute linii de călire – revenire a benzilor, linii de prelucrare a marginilor benzilor precum și linii de tăiere longitudinală sau de tăiere divizare. Un sector de tratamente termice asigură capacitatea de recoacere intermediară și finală a întregii producții laminate. Pentru recoacerea benzilor în colaci secția are în dotare cuptoare tip clopot iar pentru recoacerea platbenzilor un cuptor continuu cu role asigură condițiile tehnice aferente unui proces tehnologic de recoacere complexă a celor mai pretențioase oțeluri. Tot în dotarea secției a fost prevăzut și un laminor policilindric de tip Sendzimir utilizat la laminarea benzilor subțiri cu performanțe deosebite. În figura 4.2 se prezintă schema constructivă a secției de benzi late laminate la rece din cadrul unității siderurgice Oțelu-Roșu.





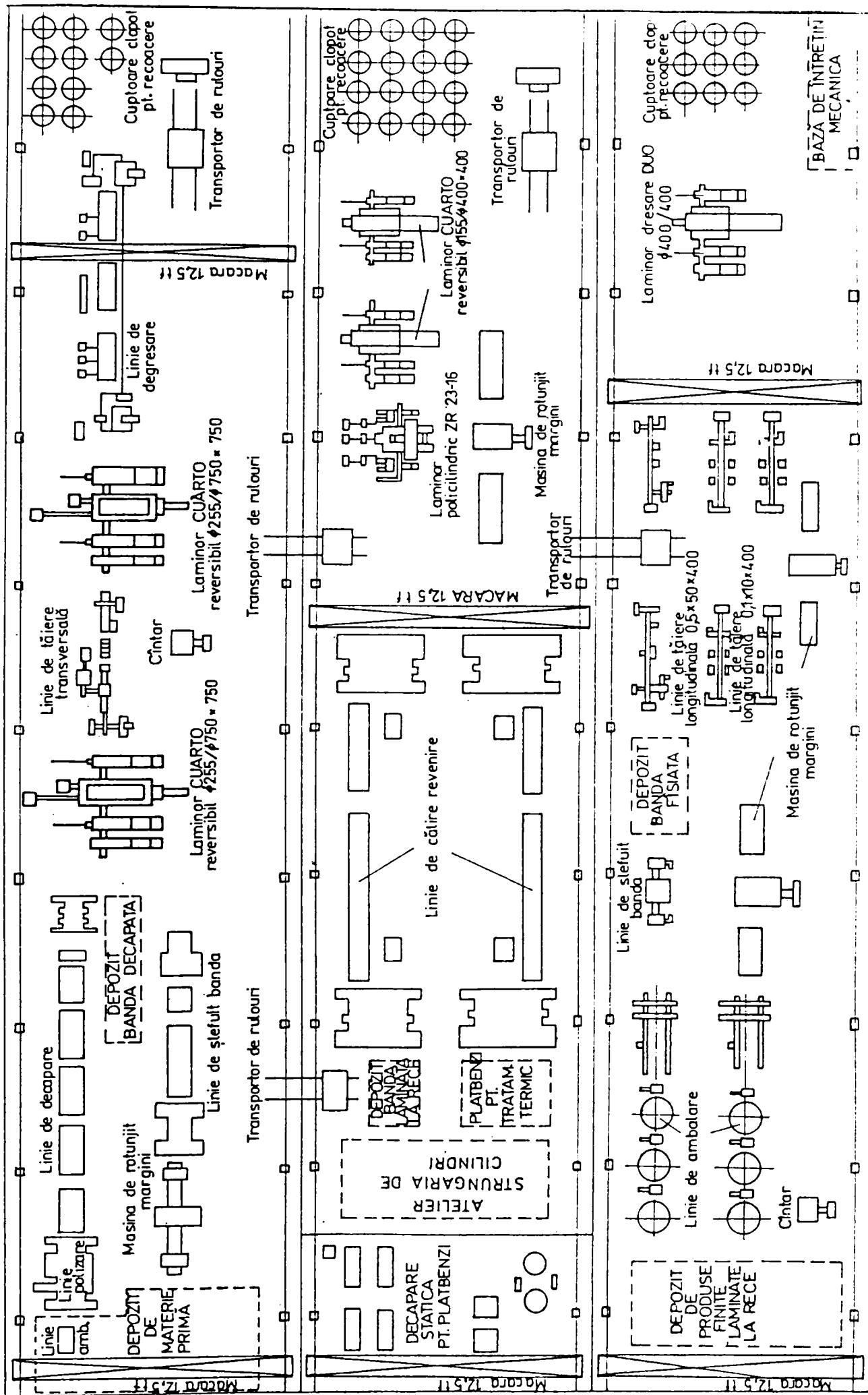


Fig. 4.2 Schema constructivă a Secției Benzi Late laminare la rece din Complexul Industrial OJELU - ROȘU.

Tratamentele termice se execută în atmosferă de protecție de tip mono formată din:

- azot 95%;
- CO și H<sub>2</sub> până la 5%;
- CO<sub>2</sub> mai mic de 0,05%;
- O<sub>2</sub> sub 10 ppm;
- punctul de rouă sub – 60 °C.

Atmosfera de protecție este asigurată de un generator care separă azotul din aer – prin arderea gazului metan și separarea apei și a bioxidului de carbon din gazele arse prin adsorbție în site moleculare de tip zeolit având caracteristica dimensională de 5 Å. Regenerarea sitelor moleculare se face prin expunerea lor la un vid înaintat și spălarea lor cu gaz purificat în sens invers funcționării. Atingerea performanței de oxigen remanent mai mic de 10 ppm se obține prin trecerea gazelor arse printr-un catalizator. Potențialul de carbon al atmosferei de protecție poate fi reglat prin adăugarea a circa 1 – 3% gaz metan.

În actuala conjunctură tehnico-economică când pretențiile de calitate vizând caracteristicile acestor benzi laminate la rece au atins valori deosebit de ridicate, în condițiile în care pe piața oțelului, respectiv a produselor plate subțiri laminate la rece există o concurență acerbă, problema optimizării acestor fluxuri de fabricație se impune de la sine. În acest context încadrându-se tema prezentei teze de doctorat prin rezolvarea ei se ridică nivelul tehnic, tehnologic și de eficiență a întregului ansamblu tehnologic angajat în fabricația acestor produse.

Optimizarea fabricării benzilor subțiri laminate la rece abordată în prezenta lucrare se extinde de la abordarea de nivel macro – la nivelul unităților productive din combinat până la optimizarea proceselor de laminare efective, inclusiv optimizarea constructivă și funcțională a utilajelor aferente operațiilor de laminare.

Dotarea cu echipamente tehnologice performante – cilindrii de laminare de diametru foarte mic și cu caracteristici mecanice deosebite, implementarea unor sisteme automate de reglare în timpul laminării a parametrilor ce definesc procesul de laminare în funcție de desfășurarea lui, desfășurare caracterizată prin informația curentă preluată din proces fac ca produsele laminate realizate să fie caracterizate de:

- toleranțe extrem de restrânse;
- calități ale suprafeței foarte bune;
- caracteristici mecanice și tehnologice foarte bune garantate și atestate;
- caracteristici mecanice, electrice și magnetice orientate și definite după anumite direcții.

În actuala conjunctură tehnică piața solicită benzi subțiri laminate la rece cu un grad și mai avansat de prelucrare:

- benzi laminate la rece zincate la cald având grosimi ale stratului depus definite și garantate;
- benzi laminate la rece electrozincate – pe o față sau pe ambele fețe;
- benzi laminate la rece acoperite cu rășini epoxidice;
- benzi laminate la rece acoperite cu lacuri decorative.

În concluzie segmentul de piață vizând benzile laminate la rece a avut o evoluție spectaculoasă atât cantitativ dar mai ales calitativ și de diversificare.

## 4.1 Optimizări în fabricația benzilor înguste laminate la rece

Prima treaptă a optimizării acestei fabricații se referă la optimizarea la nivel macro – pe întreprindere – și vizează realizarea benzilor laminate la cald – materia primă aferentă laminoarelor de benzi înguste laminate la rece – prin turnarea continuă a benzii prin procedeul DSC – procedeu descris pe larg în subcapitolul 1.5.3 al prezentei lucrări.

Prin această treaptă de optimizare costurile materiei prime aferente prelucrării prin laminare la rece tind spre un minim, ele fiind între 250 \$/tonă și 275 \$/tonă. Prin aceeași măsură se va putea trece la lățimi mari de până la 250 mm lățimea maximă permisă de utilajele de laminare existente – bandă obținută prin procedeul DSC putând fi fâșiată la aceste lățimi – unitatea siderurgică dispunând de utilajele aferente acestei operații. Introducând în fluxul de fabricație al benzilor înguste aceste benzi late, productivitatea procesului de laminare crește de 2-3 ori.

În cadrul aceleiași trepte de optimizare a fabricației însă într-o etapă mai actuală în timp cât nu există în unitate instalația de tip DSC asigurarea cu semifabricate benzi laminate la cald de lățimi mărite din Laminorul de profile mici și benzi Ø330 poate fi realizată după cum urmează:

- adaptarea tehnologiei de laminare a benzilor pornind de la țagla turnată continuu □120 mm:
  - extinderea gamei de benzi laminate până la lățimi de 150 mm:
    - prin organizarea tehnologică a laminorului și în special prin trecerea la laminarea țaglelor □120 mm turnate continuu;
  - extinderea gamei benzilor laminate la cald până la lățimi de 200 mm:
    - mai ales prin reorganizarea tehnologică a laminorului ce constă în punerea în funcțiune a celei de a doua caje degrositoare, reconsiderarea liniei intermediare de laminare și modernizarea liniei finisoare.

Urmare a implementării variantei tehnologice de laminare a benzilor pornind de la țagle turnate continuu □120 mm se pot obține creșteri ale productivității procesului de laminare la rece între (1,2 și 1,5) ori în prima etapă, iar în a doua etapă creșterile pot ajunge la de 2 ori.

În cadrul acestei variante tehnologice prețul materiei prime aferente laminării la rece, banda laminată la cald pe Laminorul de profile mici și benzi Ø330 se poate situa între 300 \$/tonă și 350 \$/tonă.

În varianta considerată clasică – de laminare a oțelului turnat continuu în blum pe Laminorul de profile speciale Ø550 – cu țagle □80 mm iar apoi acestea laminate în bandă pe același Laminor de profile mici și benzi Ø330 prețul benzii laminate la cald se regăsește între valorile 400 \$/tonă și 415 \$/tonă.

În tabelul 4.1 se prezintă tehnologia de laminare la rece a benzilor din oțel pentru variantele clasică și optimizate.

Tabelul 4.1: Tehnologia de laminare la rece a benzilor din oțel pentru variantele clasică și optimizate E1, E2, E3.

Varianta clasică	Varianta optimizată E1	Varianta optimizată E2	Varianta optimizată E3
Bandă laminată la cald 105×(2,5-3,2) mm	Bandă laminată la cald 105×(1,8-2,3) mm	Bandă laminată la cald 150×(1,5-1,7) mm	Bandă laminată la cald 200×(2,5-3,2) mm
Bandă laminată la rece 105×1,9 mm	Bandă laminată la rece	Bandă laminată la rece	Bandă laminată la rece 200×1,9 mm
Recoacere 1 105×1,4 mm	105×1,4 mm		Recoacere 1 200×1,4 mm
Recoacere 2 105×1 mm	Recoacere 1 105×1 mm	Recoacere 1 150×1 mm	Recoacere 2 200×1 mm
Recoacere 3 105×0,75 mm	Recoacere 2 105×0,75 mm	Recoacere 2 150×0,75 mm	Recoacere 3 200×0,75 mm
Recoacere 4 105×0,5 mm	Recoacere 3 105×0,5 mm	Recoacere 3 150×0,5 mm	Recoacere 4 200×0,5 mm
Recoacere 5 105×0,35 mm	Recoacere 4 105×0,35 mm	Recoacere 4 150×0,35 mm	Recoacere 5 200×0,35 mm

Prin utilizarea tehnologiei de laminare propusă și realizată în cadrul lucrării în varianta optimizată E1 față de varianta clasică de laminare s-a reușit scurtarea fluxului tehnologic cu o recoacere și o laminare ceea ce a condus la o reducere a prețului de cost cu 15 \$/tonă. De asemenea un alt avantaj îl constituie creșterea capacității de prelucrare a laminorului pentru anumite grosimi așa cum se prezintă în tabelul 4.2.

Tabelul 4.2: Creșterea capacității de prelucrare în funcție de grosimea benzii

Grosimea benzii [mm]	1,5 ÷ 2	1 ÷ 1,5	0,5 ÷ 1
Creșterea capacității de prelucrare [%]	50	35	20

Utilizarea tehnologiei de laminare propusă și realizată în cadrul lucrării în varianta optimizată E2 față de tehnologia de laminare propusă și realizată în cadrul lucrării în varianta optimizată E1 a condus la eliminarea unei operații tehnologice de laminare. De asemenea s-a obținut o reducere a prețului de cost cu 5 \$/tonă respectiv o creștere a capacității de prelucrare a laminorului pentru anumite grosimi așa cum se prezintă în tabelul 4.3.

Tabelul 4.3 Creșterea capacității de prelucrare în funcție de grosimea benzii

Grosimea benzii [mm]	1 ÷ 1,5	0,5 ÷ 1	0,35 ÷ 0,5
Creșterea capacității de prelucrare [%]	20	10	5

În vederea optimizării tehnologiei de laminare la rece se impune realizarea benzilor laminate pe lățimi mari, ce permit realizarea unor productivități ridicate. Ținând cont de utilajele existente ce permit laminarea benzilor la rece de maxim 200 mm se impune adaptarea tehnologiei de laminare a benzilor la cald în vederea obținerii acestor lățimi. În aceste condiții în cadrul lucrării s-a propus o tehnologie de laminare originală prin care se pot obține benzi laminate la cald cu această lățime, benzi ce se laminează ulterior la rece urmând schema de reduceri prezentată în tabelul 4.1 – varianta optimizată E3. Utilizarea acestei tehnologii de laminare conduce la o reducere a prețului de cost cu 25 \$/tonă respectiv la o dublare a capacității de prelucrare a laminorului pentru toată gama dimensională.

Schema constructivă a reorganizării liniei de laminare la cald în cadrul Laminorului de profile mici și benzi Ø330 din cadrul Complexului Industrial din Oțelu-Roșu în vederea optimizării laminării benzilor cu lățime de maxim 200 mm și grosime de 2,5 mm până la 3,2 mm este prezentată în figura 4.3.

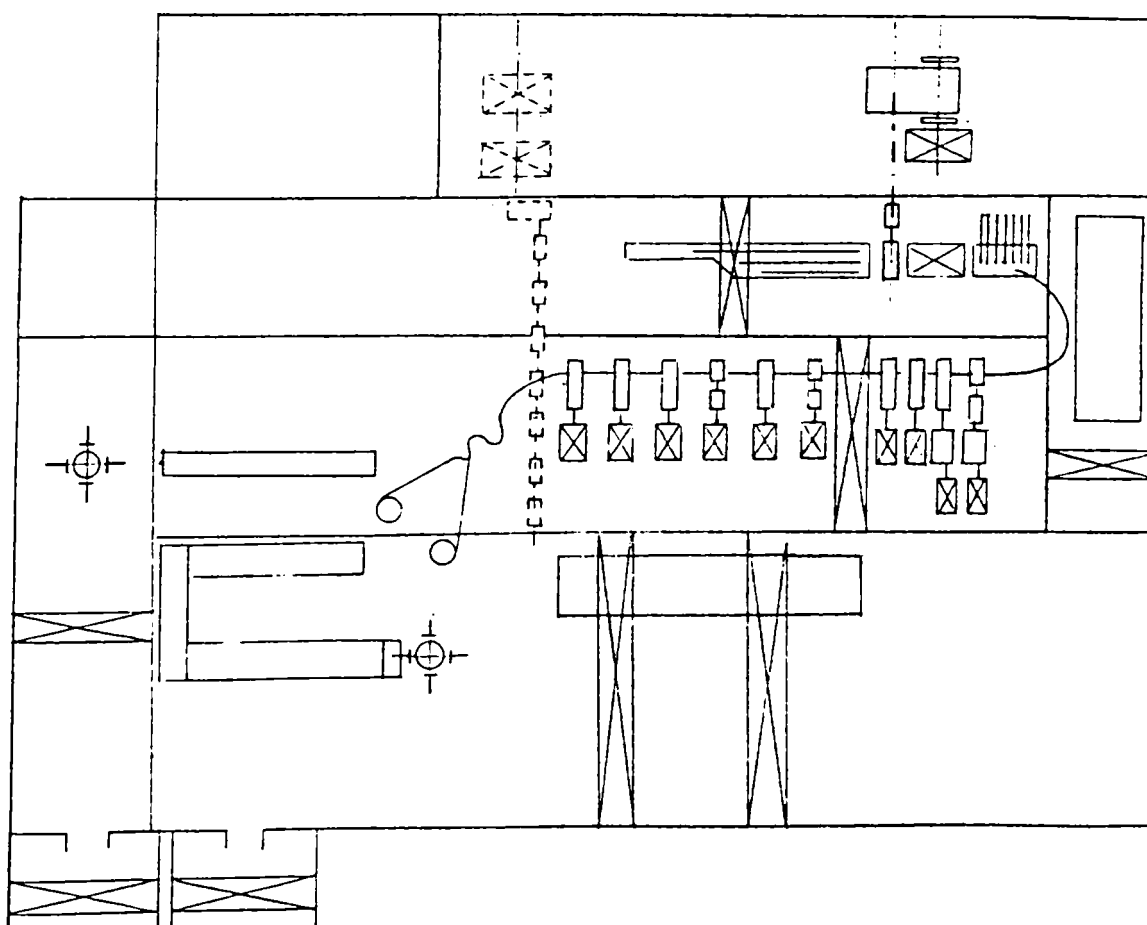


Fig. 4.3 Schema constructivă de optimizare a laminării benzilor la cald de lățime 200 mm și grosime 2,5 mm până la 3,2 mm din cadrul Complexului Industrial Oțelu-Roșu.



## 4.2 Optimizarea procesului de laminare la rece a benzilor din oțel prin introducerea sistemului de măsurare a planeității fără contact

În condițiile actuale când utilizatorii de benzi laminate la rece impun condiții tot mai severe vizând calitatea benzilor:

- prin restrângerea câmpurilor de toleranță a grosimii acesteia;
- prin restrângerea abaterilor de la planeitatea acesteia;
- prin valori tot mai mici ale rugozității acesteia,

este necesar ca în cadrul procesului de laminare la rece a benzilor să fie introduse sistemele de reglare automată a procesului.

În baza relațiilor de dependență dintre întinderea benzii generată de momentul de torsiune dezvoltat de ruloși și valorile măsurate ale planeității, în prezenta lucrare se propune concepția și realizarea unui sistem de măsurare a planeității benzii cu aplicație practică în cadrul Complexului Industrial Oțelului – Roșu – secția Laminorul la Rece având ca scop optimizarea procesului de laminare la rece.

Principiul de măsurare și funcționare a avut ca bază de plecare generarea unei perturbații mecanice și periodice a benzii. Acest lucru este posibil prin generarea unei depresiuni periodice oscilante între suprafața inferioară a benzii și o placă de senzori care se găsește sub nivelul liniei de laminare. În figura 4.4 se prezintă schema conceptuală a sistemului de măsurare a planeității fără contact.

Prin modelarea frecvenței ce controlează depresiunea se obține o oscilație periodică a benzii tensionate de amplitudine constantă 0,15 mm pe toată lățimea benzii. O unitate electronică de prelucrare a datelor transmise de senzori transformă aceste date în semnale digitale care sunt procesate de un calculator electronic ce definește astfel planeitatea benzii laminate. Estimez că prin introducerea noului sistem de măsurare a planeității se vor obține:

- valori măsurate ale planeității benzilor ce au grosimi până la 1,2mm;
- creșteri ale vitezelor de laminare - față de cazul utilizării sistemelor de măsurare a planeității cu contact al benzii - de până la 10%;
- timpi de reglare al abaterilor de la planeitatea impusă mai buni;
- o rugozitate a suprafeței mai bună ca urmare a lipsei de contact dintre bandă și elementul de măsurare – traductor.

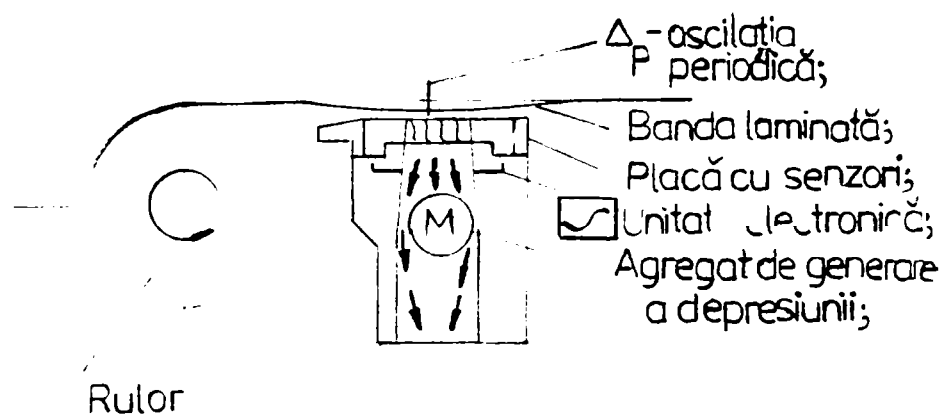


Fig. 4.4 Schema conceptuală a sistemului de măsurare a planeității fără contact

### **4.3 Optimizarea procesului de laminare la rece a benzilor din oțel prin introducerea sistemului mecanic de compensare a excentricității rulorului**

În baza măsurătorilor de diametre exterioare ale ruloarelor de benzi laminate la rece și a determinărilor efectuate pentru stabilirea centrului de rotație al ruloarelor și al ruloarelor realizate în cadrul Complexului Industrial din Oțelu-Roșu – secția Laminorul la Rece s-a remarcat existența următoarelor fenomene:

- prin introducerea capului benzii în sistemul de înclemare a ruloarelor și declanșarea procesului de înfășurare a benzii se introduce o excentricitate între centrul de rotație al ruloarelor de bandă și centrul de rotație al ruloarelor.
- pe măsură ce diametrul ruloarelor de bandă crește, urmare a acestei excentricități – la fiecare rotație a ruloarelor în bandă apar modificări esențiale ale tensionării care generează abateri ale planeității în afara standardelor.

În cadrul prezentei lucrări se definește o modalitate originală de compensare a excentricității ruloarelor. Folosind valorile perturbațiilor locale apărute de-a lungul lățimii benzii ca urmare a utilizării principiului sistemului de măsurare a planeității fără contact se definește valoarea compensării momentane care trebuie să acționeze asupra ruloarelor pentru a-l accelera în așa fel încât modificarea diametrului urmare a excentricității mai sus definite să nu fie resimțită de proces. Estimez că prin introducerea sistemului de compensare al excentricității se vor obține:

- valori mult mai restrânse față de standardele în vigoare ale abaterilor de la planeitatea benzilor laminate la rece;

### **4.4 Optimizarea procesului de laminare la rece a benzilor din oțel prin implementarea strategiilor de reglare automate**

Pe plan mondial, ca urmare a cerințelor tot mai ridicate ce vizează calitatea benzilor laminate la rece sunt în fază de cercetare următoarele sisteme de reglare automată a procesului de laminare care să asigure:

- reglarea procesului de laminare în funcție de o predicție – prezicere a derulării procesului;
- reglarea procesului de laminare în funcție de o predicție optimizată a derulării procesului;
- reglarea procesului în funcție de tipul unui model de proces care să aibe optimizate stările sale, respectiv stările sistemului tehnologic.

Aceste sisteme de reglare automată a procesului de laminare sunt superioare sistemelor clasice care erau definite ca:

- sisteme automate de reglare în funcție de abaterea parametrilor;
- sisteme automate de reglare cu comanda mărimilor prestabilite;
- sisteme automate de reglare cu comanda stării prestabilite a sistemului.

## 4.5 Concluzii

Pornind de la situația dată în care fabricația de benzi-înguste laminate la rece era posibilă în cadrul Complexului Industrial din Oțelu-Roșu doar în varianta utilizării ca materie primă –bandă laminată la cald de lățime 105 mm și grosime 2.5mm obținută din țagla turnată continuu  $\square 80$  în cadrul aceleiași unități productive, caz în care eficiența economică era scăzută este abordată problema optimizării tehnologiei de fabricație a benzilor laminate la rece în următoarele variante:

1. Varianta optimizată E1 care utilizează materie primă –bandă laminată la cald de lățime 105 mm și grosime 1,5 mm și se obține prin laminări la rece și recoaceri intermediare bandă laminată la rece de lățime 105 mm și grosime 0,35 mm.

2. Varianta optimizată E2 care utilizează materie primă –bandă laminată la cald de lățime 150 mm și grosime 1,5 mm și se obține prin laminări la rece și recoaceri intermediare bandă laminată la rece de lățime 150 mm și grosime 0,35 mm.

3. Varianta optimizată E3 care utilizează materie primă –bandă laminată la cald de lățime 200 mm și grosime 2,5 mm și se obține prin laminări la rece și recoaceri intermediare bandă laminată la rece de lățime 200 mm și grosime 0,35 mm.

Rezultatele economice regăsite în bilanțul economic al unității productive demonstrează faptul că prin introducerea optimizărilor enunțate se obțin reduceri ale prețului de cost cuprinse între 15 \$/tonă și 25 \$/tonă, în funcție de varianta de optimizare aplicată.

Prin analizarea continuă a fluxului tehnologic specific secției Laminorul la rece de benzi-înguste sunt enunțate două metode de optimizare a procesului de laminare la rece a benzilor-înguste subțiri cu posibilitatea implementării:

- prin introducerea sistemului de măsurare a planeității fără contact;
- prin introducerea sistemului mecanic de compensare a excentricității rulorului.

### **Sistemul de măsurare a grosimii benzii laminate la rece din cadrul Complexului Industrial Oțelu-Roșu**

Desfășurarea procesului de laminare la rece a benzilor subțiri în parametrii tehnologici ai cajei de laminare definiți de dimensiunile benzii ce urmează a fi laminată asigură și realizarea principalilor parametri calitativi ai benzii: grosime, planeitate, rugozitate.

Grosimea benzii prin mărimea câmpului de toleranță realizat în timpul desfășurării procesului de laminare este considerat cel mai important parametru calitativ ce trebuie realizat.

Menținerea constantă a valorilor grosimii benzilor subțiri pe toată durata desfășurării procesului de laminare la rece reprezintă obiectivul principal ce trebuie atins în vederea realizării de benzi conforme cu standardele în vigoare.

Acest obiectiv este realizabil dacă în timpul desfășurării procesului de laminare a benzii este măsurată în mod continuu grosimea nominală a benzii și există elemente de execuție care reglează în mod continuu procesul dinamic de laminare în vederea menținerii constante a valorilor acestui parametru.

#### **5.1 Metode de măsurare a grosimii benzilor laminate la rece**

1. Metodele micrometrice utilizând palparea mecanică a suprafețelor benzii laminate la rece includ transformarea mărimii mecanice măsurate – grosimea benzii – în mărime electrică – tensiune electrică – prin intermediul unor transductoare inductive sau capacitive, mărime ce este prelucrată și afișată.

2. Metodele utilizând radiații penetrante  $x$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  direcționate asupra suprafeței benzii laminate includ transformarea intensității radiației măsurate în mărime electrică – tensiune electrică – prin intermediul unor blocuri de rezistență, condensatoare, mărime ce este prelucrată și afișată.

3. Metodele utilizând curenții turbionari produși între bobinajul primar și secundar al unui transformator includ transformarea mărimii intensității curenților turbionari măsurati în mărime electrică – tensiune electrică – mărime ce este prelucrată și afișată.

4. Metodele utilizând caracteristicile magnetice ale materialului laminat, includ transformarea mărimii fluxului magnetic măsurat la trecerea benzii în mărime electrică – tensiune electrică – mărime ce este prelucrată și afișată.

5. Metodele utilizând ultrasunetele direcționate și apoi reflectate de a doua față a benzii laminate, receptate în fază și timp și convertite în mărime electrică ce este prelucrată și afișată.

6. Metodele pneumatice de măsurare includ transformarea mărimii măsurate – grosimea benzii laminate într-o mărime fizică – presiunea aerului într-o cavitate închisă și aceasta într-o mărime electrică – tensiune electrică – mărime prelucrată și afișată.

7. Metodele utilizând modificarea capacității unui condensator având drept element constitutiv chiar banda de măsurat transformă această capacitate într-o mărime electrică – tensiune electrică – mărime ce poate fi prelucrată și afișată.

În urma documentării cu privire la performanțele și cerințele tehnice privind precizia măsurătorilor realizate cu instalații corespunzătoare cu una din metodele de măsurare a grosimii mai sus expuse, autorul prezentei lucrări a proiectat și executat în concepție proprie un sistem de măsurare a grosimii benzii laminate implementat în cadrul Complexului Industrial din Oțelu-Roșu.

## 5.2 Instalație de măsurare a grosimii benzii laminate la rece implementată în cadrul Complexului Industrial din Oțelu-Roșu

Sistemul de măsurare a grosimii benzii laminate la rece permite realizarea unor măsurători:

- în puncte de pe toată lățimea benzii;
- în puncte prestabilite pentru controlul intermitent al grosimii benzii;
- continuu pe direcția lățimii benzii;
- continuu pe direcții prestabilite de-a lungul lățimii benzii.

Principiul de măsurare este palparea mecanică prin contact direct a benzii în timpul procesului de laminare, mărimea măsurată fiind transformată în mărime electrică printr-un traductor inductiv. Afișajul mărimii electrice măsurate deci implicit a mărimii mecanice măsurate (grosimea benzii) poate fi afișat analogic sau numeric.

Schema constructivă cu principalele elemente ce alcătuiesc sistemul de măsurare a grosimii este prezentat în figura 5.1:

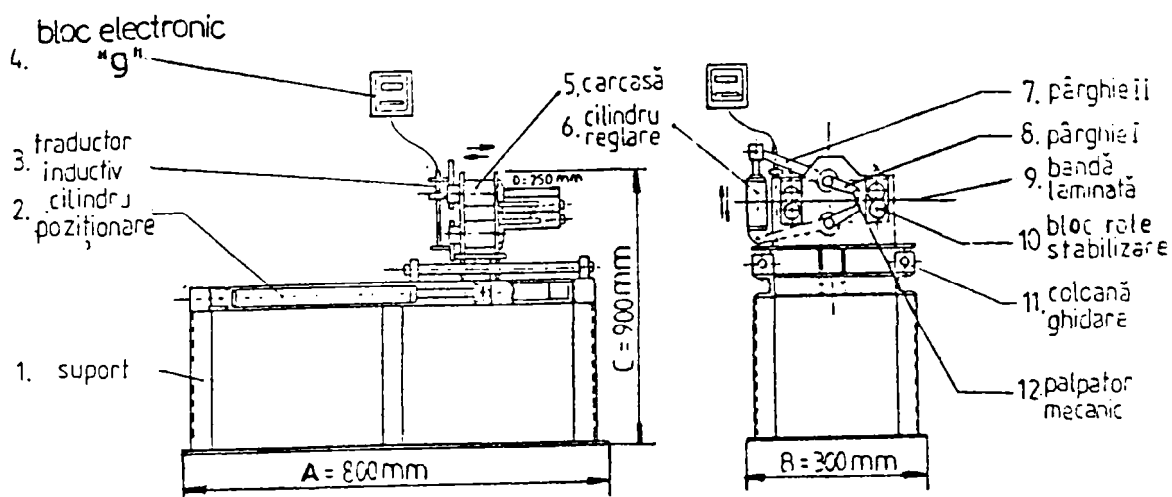


Fig. 5.1 Sistemul de măsurare a grosimii benzii proiectat și realizat în cadrul Complexului Industrial Oțelu -Roșu

### 5.2.1 Funcționarea sistemului de măsurare a grosimii benzii

Pentru a realiza toată paleta de măsurători prezentată mai sus, sistemul de măsurare a fost echipat cu cilindrul de poziționare -2, care permite o deplasare transversală a întregului sistem de măsurare. O unitate electronică de sortare a mărimilor electrice măsurate poate încadra valoarea măsurată în 5 câmpuri de valori, pentru fiecare câmp existând un semnal de comandă care să declanșeze o reacție în sistemul de reglare a grosimii benzii laminate.

Banda laminată trece prin blocul role stabilizare -10 care este compus din 4 role libere (2 superioare și 2 inferioare) și care au rolul de a reduce nivelul de oscilație pe verticală a benzii. În perioada de înfilare a benzii în mașina de laminat și în perioada de reglare, palpatorul mecanic -12 nu este în contact cu banda laminată aflându-se pe poziția închis.

În funcție de grosimea benzii laminate înaintea începerii procesului de măsurare se va face o reglare a traductorului inductiv -3 poziționat pe pârghia II -7 superioară și talerul poziționat pe pârghia II -7 inferioară cu ajutorul etaloanelor de grosime determinând originea sistemului de măsurare.

După stabilirea acestei origini, blocul electronic "g" -4 afișează grosimea benzii etalon. În continuare se acționează cilindrul de reglare -6 și prin sistemul de pârghii I -8, II -7 se aduce palpatorul mecanic -12 pe poziția deschis permițând benzii laminate să treacă printre rolele ce compun blocul role stabilizare -10 și acesta.

În continuare se acționează palpatorul mecanic -12 pe poziția închis, moment în care procesul de laminare a benzii și măsurare a grosimii acesteia se poate desfășura în mod continuu.

Precizia de măsurare a sistemului este realizată prin:

- montarea tuturor articulațiilor sistemului pe rulmenți cu prestrângeri definite (fără jocuri);
- eliminarea oricăror articulații cu joc din lanțul componentelor sistemului de măsurare;
- asigurarea unor forțe de expunere a elementelor constitutive ale sistemului de măsurare a grosimii care să nu permită deformarea lor dar care să evite intrarea lor în vibrații.

Caracteristicile tehnice ale sistemului de măsurare a grosimii benzii laminate realizat în cadrul Complexului Industrial Oțelu-Roșu sunt:

1. Grosimea benzii măsurate 0,2 – 2 mm;
2. Lățimea maximă a benzii măsurate 200 mm;
3. Precizia de măsurare  $\pm 0,002\text{mm}$ ;
4. Menținerea contactului palpatori-bandă laminată prin cilindru pneumatic;
5. Poziționare palpatori în lungul lățimii benzii prin cilindru pneumatic.



### **5.3 Rezultate ale implementării sistemului de măsurare a grosimii benzii laminate la rece în cadrul Complexului Industrial din Oțelu-Roșu**

În prezenta lucrare s-a realizat o bază de date cu rezultatele măsurătorilor de grosime ale unui lot minimal de benzi înguste de calitate OL37 urmărite pe următorul program de fabricație:

1. Laminare bandă la cald 105×2.3 mm – tabelul 5.1.
2. Laminare bandă la rece 105×2 mm – tabelul 5.2.
3. Recoacere bandă laminată la rece 105×2mm.
4. Laminare bandă la rece 105×1,3 mm – tabelul 5.3.
5. Recoacere bandă laminată la rece 105×1,3 mm.
6. Laminare bandă la rece 105×1 mm – tabelul 5.4.
7. Recoacere bandă laminată la rece 105×1 mm.
8. Laminare bandă la rece 105×0,75 mm – tabelul 5.5.
9. Recoacere bandă laminată la rece 105×0,75 mm.
10. Laminare bandă la rece 105×0,5 mm – tabelul 5.6.
11. Recoacere bandă laminată la rece 105×0,5 mm.
12. Laminare bandă la rece 105×0,35 mm – tabelul 5.7.

Cunoscând abaterile limită la grosime ale benzilor conform cu standardele în vigoare s-au ridicat curbele de dispersie ale valorilor grosimii benzii măsurate corespunzător cu fiecare etapă de laminare (figura 5.2, figura 5.3, figura 5.4, figura 5.5, figura 5.6, figura 5.7 figura 5.8).

Menționez că măsurătorile s-au realizat la începutul și sfârșitul laminatului cu micrometrul de către operator. În urma procesării datelor prin metode statistice a rezultat că banda este conformă.

Prin desfășurarea unui colac de bandă laminată la rece din fiecare tipodimensiune a programului de fabricație și efectuarea de măsurători în lungul și în latul benzii pe anumite porțiuni mărimea abaterii la grosime era în afara valorilor impuse de standarde. Pe baza acestui fapt s-au tras următoarele concluzii:

- procesul de laminare la rece nu este stabil pe toată durata desfășurării lui cu toate că parametrii de funcționare reglați inițial au semnalat acest lucru;
- rezolvarea problemei menținerii constante a grosimii de-a lungul și de-a latul benzii necesită un mod de abordare alcătuit dintr-un sistem de măsurare și unul de reglare activă a elementelor de execuție – cilindrii de laminare.

În prezenta lucrare s-a implementat sistemul de măsurare a grosimii benzii cu caracteristicile tehnice prezentate în subcapitolul 5.2 în cadrul secției Laminorul la Rece de benzi-înguste al Complexului Industrial din Oțelu-Roșu și s-au realizat măsurători continui ale grosimii benzilor laminate la rece pe tot programul de fabricație.

Cu toate că sistemul de reglare activă a interstițiului de laminare nu a fost încă implementat s-a reușit în această etapă urmărirea în mod continuu a grosimii benzii laminate și o reglare a interstițiului de laminare realizată manual de către operator.

Tabelul 5.1 Măsurători bandă laminată la cald de lățime nominală 105 mm și grosime nominală 2.3 mm

LOT 1		LOT 2		LOT 3		LOT 4		LOT 5		LOT 6		NR.
CAP	COADĂ	CAP	COADĂ	CAP	COADĂ	CAP	COADĂ	CAP	COADĂ	CAP	COADĂ	COLAC
2,70	2,80	2,30	2,50	2,40	2,50	2,25	2,60	2,35	2,50	2,35	2,45	1
2,80	3,00	2,40	2,50	2,40	2,50	2,30	2,35	2,30	2,40	2,30	2,50	2
2,30	2,50	2,40	2,60	2,50	2,50	2,85	2,95	2,50	2,55	2,45	2,50	3
2,30	2,40	2,40	2,50	2,30	2,50	2,30	2,50	2,45	2,55	2,45	2,55	4
2,40	2,50	2,40	2,40	2,30	2,40	2,30	2,50	2,50	2,60	2,45	2,55	5
2,10	2,15	2,10	2,30	2,50	2,60	2,35	2,45	2,40	2,50	2,20	2,30	6
2,50	2,50	2,20	2,40	2,40	2,50	2,30	2,40	2,35	2,45	2,30	2,40	7
2,30	2,40	2,20	2,40	2,40	2,60	2,25	2,40	2,40	2,45	2,30	2,50	8
2,10	2,30	2,30	2,30	2,30	2,45	2,35	2,45	2,20	2,50	2,40	2,50	9
2,30	2,40	2,30	2,40	2,50	2,80	2,30	2,40	2,35	2,50	2,35	2,50	10

Observații: Abaterea limită la grosime admisă de standarde  $\pm 0,18$  mm.  
 CAP-începutul laminatului.  
 COADĂ-sfârșitul laminatului

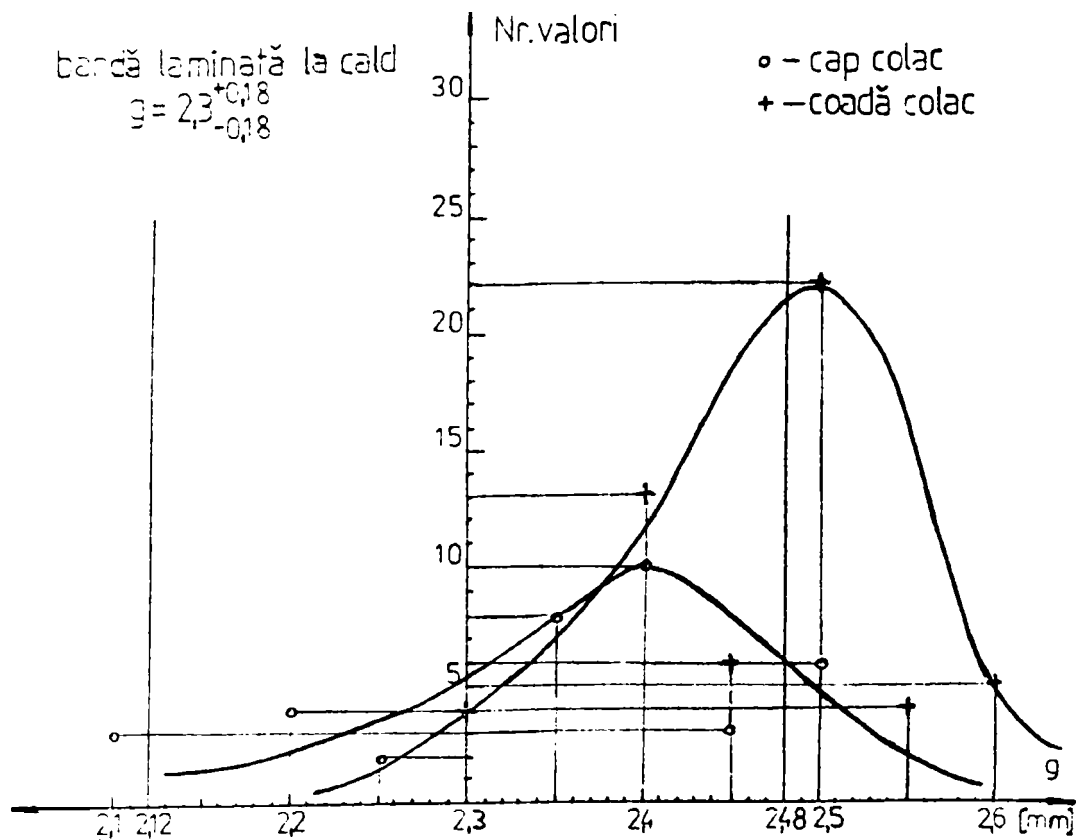


Fig. 5.2 Dispersia valorilor grosimii benzii laminate de lățime nominală 105 mm și grosime nominală 2.3 mm în conformitate cu programul de fabricație

Tabelul 5.2: Măsurători bandă laminată la rece de lățime nominală 105 mm și grosime nominală 2 mm

LOT 1		LOT 2		LOT 3		LOT 4		LOT 5		LOT 6		NR.
CAP	COADA	CAP	COADA	CAP	COADA	CAP	COADA	CAP	COADA	CAP	COADA	
1,95	2,00	1,98	1,94	2,00	1,96	2,00	1,98	1,95	1,92	1,94	2,02	1
1,93	2,00	1,94	2,00	1,93	2,00	1,98	1,96	1,98	1,95	1,95	1,99	2
2,00	1,98	2,00	1,95	2,04	2,00	1,95	2,00	2,00	1,95	2,00	1,96	3
1,95	1,92	1,96	2,00	1,95	1,98	1,93	2,00	1,98	2,00	1,93	2,00	4
1,98	1,96	1,93	2,00	2,00	1,95	2,00	1,95	1,96	2,00	1,96	2,00	5
2,00	1,96	1,98	1,95	1,97	2,03	1,94	1,97	1,94	1,98	1,98	2,04	6
1,95	2,00	1,98	2,00	2,00	1,96	2,00	1,96	1,98	2,00	2,00	1,96	7
1,98	1,95	2,00	1,96	2,00	1,98	2,03	1,97	2,00	1,95	2,00	1,97	8
2,05	1,96	1,95	2,00	1,98	2,02	1,96	2,00	2,00	1,96	1,98	1,95	9
1,96	2,00	1,94	2,00	2,00	1,96	1,94	1,98	1,98	1,97	1,95	1,92	10

Observații: Abateră limită la grosime admisă de standarde  $+0,07$  mm la  $-0,09$  mm.  
 CAP -începutul laminatului.  
 COADĂ -sfârșitul laminatului.

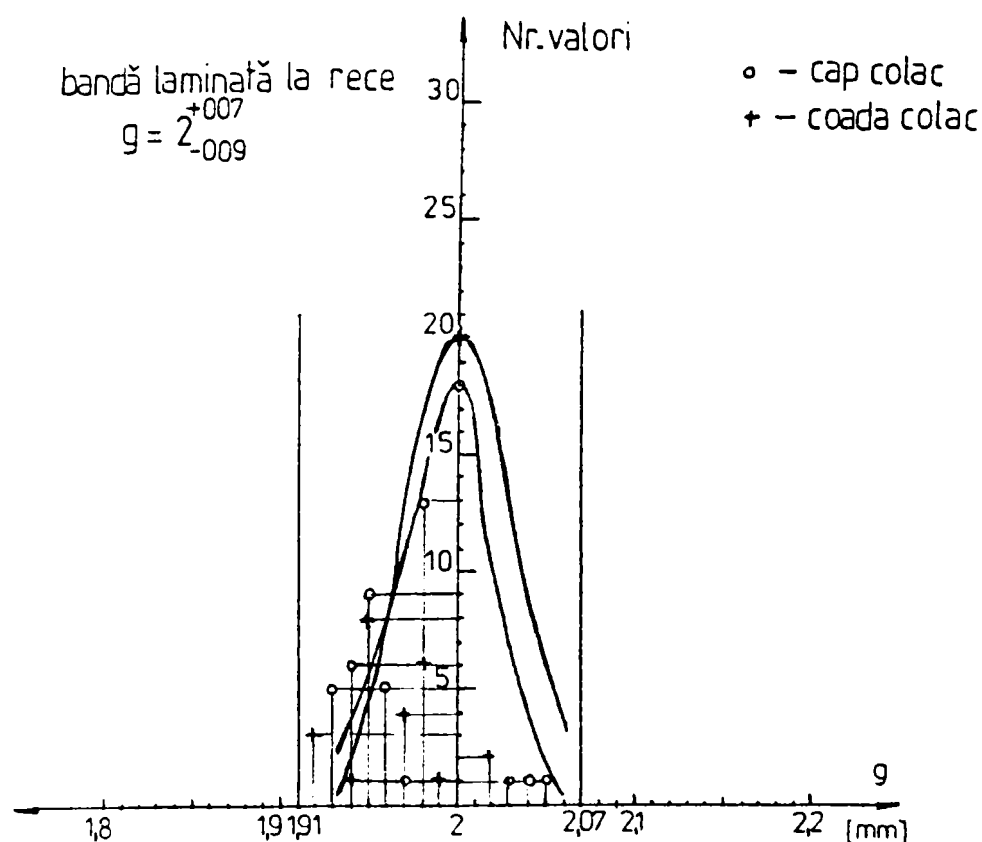


Fig. 5.3 Dispersia valorilor grosimii benzii laminate de lățime nominală 105 mm și grosime nominală 2 mm în conformitate cu programul de fabricație

Tabelul 5.3: Măsurători bandă laminată la rece de lățime nominală 105 mm și grosime nominală 1.3 mm

LOT 1		LOT 2		LOT 3		LOT 4		LOT 5		LOT 6		NR. COLAC
CAP	COADĂ	CAP	COADĂ	CAP	COADĂ	CAP	COADĂ	CAP	COADĂ	CAP	COADĂ	
1,32	1,35	1,26	1,30	1,34	1,30	1,30	1,26	1,30	1,29	1,26	1,30	1
1,25	1,30	1,25	1,33	1,30	1,32	1,28	1,30	1,30	1,26	1,27	1,29	2
1,25	1,33	1,30	1,30	1,25	1,25	1,26	1,30	1,30	1,28	1,30	1,28	3
1,35	1,30	1,24	1,30	1,34	1,30	1,30	1,32	1,28	1,32	1,30	1,30	4
1,30	1,30	1,25	1,32	1,35	1,30	1,27	1,27	1,25	1,33	1,30	1,35	5
1,30	1,30	1,25	1,33	1,28	1,32	1,30	1,30	1,25	1,30	1,25	1,33	6
1,25	1,35	1,30	1,30	1,30	1,28	1,30	1,26	1,27	1,30	1,26	1,30	7
1,25	1,25	1,27	1,30	1,32	1,30	1,32	1,30	1,30	1,27	1,30	1,28	8
1,30	1,30	1,26	1,32	1,26	1,30	1,28	1,30	1,30	1,27	1,26	1,32	9
1,27	1,32	1,27	1,30	1,30	1,28	1,30	1,26	1,28	1,30	1,30	1,28	10

Observații: Abaterea limită la grosime admisă de standarde +0,06 mm la -0,08 mm.  
 CAP -începutul laminatului.  
 COADĂ -sfârșitul laminatului.

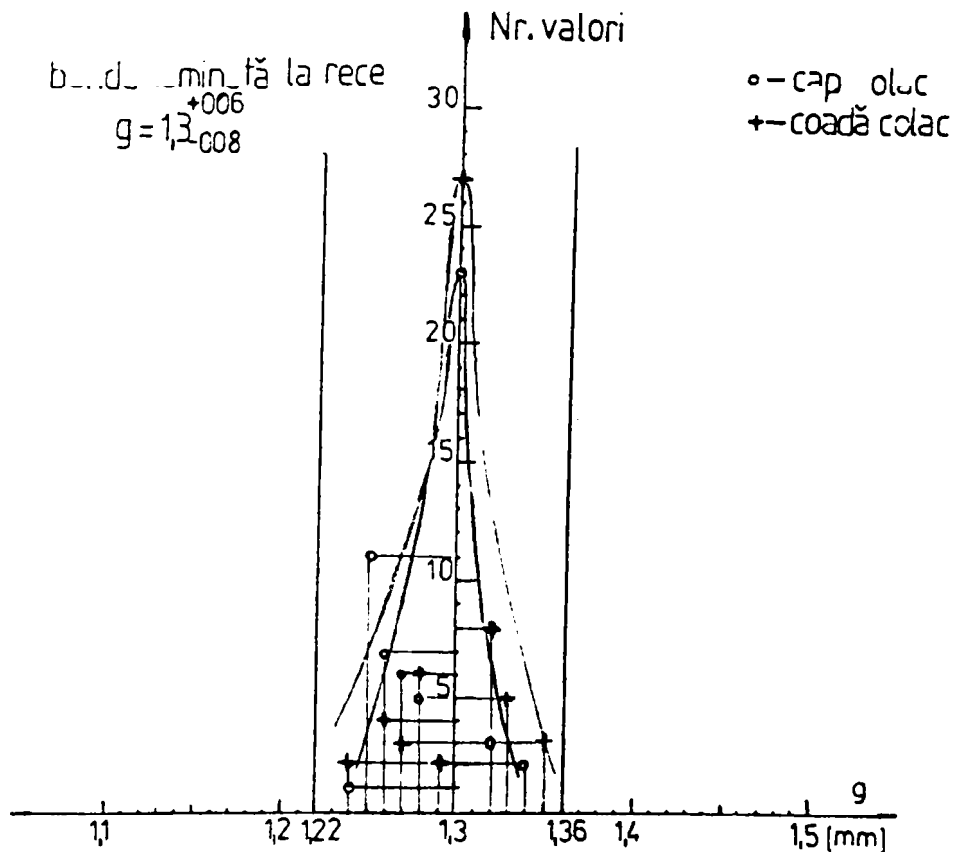


Fig. 5.4 Dispersia valorilor grosimii benzii laminate de lățime nominală 105 mm și grosime nominală 1.3 mm în coformitate cu programul de fabricație

Tabelul 5.4: Măsurători bandă laminată la rece de lățime nominală 105 mm și grosime nominală 1 mm

LOT 1		LOT 2		LOT 3		LOT 4		LOT 5		LOT 6		NR. COLAC
CAP	COADA	CAP	COADA	CAP	COADA	CAP	COADA	CAP	COADA	CAP	COADA	
0,95	1,00	0,93	0,96	0,95	0,98	0,97	1,00	0,94	0,98	0,96	0,93	1
0,97	1,00	0,98	1,02	1,02	1,04	1,00	0,97	1,02	1,00	0,95	0,98	2
0,99	0,98	0,97	1,04	0,96	0,99	0,95	0,98	0,99	0,96	1,02	1,00	3
1,00	0,97	1,00	0,96	1,00	0,95	0,96	1,00	1,00	1,02	1,00	0,97	4
0,95	0,98	0,95	0,98	0,96	0,98	1,04	1,00	1,03	0,95	0,95	0,99	5
0,93	0,95	1,02	1,00	1,00	1,02	1,03	0,96	1,03	0,96	0,96	0,98	6
0,98	1,02	1,03	0,95	0,96	0,98	0,94	0,98	0,94	0,98	0,98	1,02	7
1,03	0,95	1,00	0,97	1,03	0,95	0,96	0,99	0,99	0,96	1,02	0,94	8
1,03	0,95	0,94	0,99	1,03	0,97	1,03	0,97	0,97	1,00	0,99	1,00	9
1,00	0,98	1,00	0,98	1,00	0,94	1,00	0,95	1,00	0,96	1,02	1,00	10

Observații: Abaterea limită la grosime admisă de standarde +0,05 mm la -0,07 mm.

CAP -începutul laminatului.

COADĂ -sfârșitul laminatului.

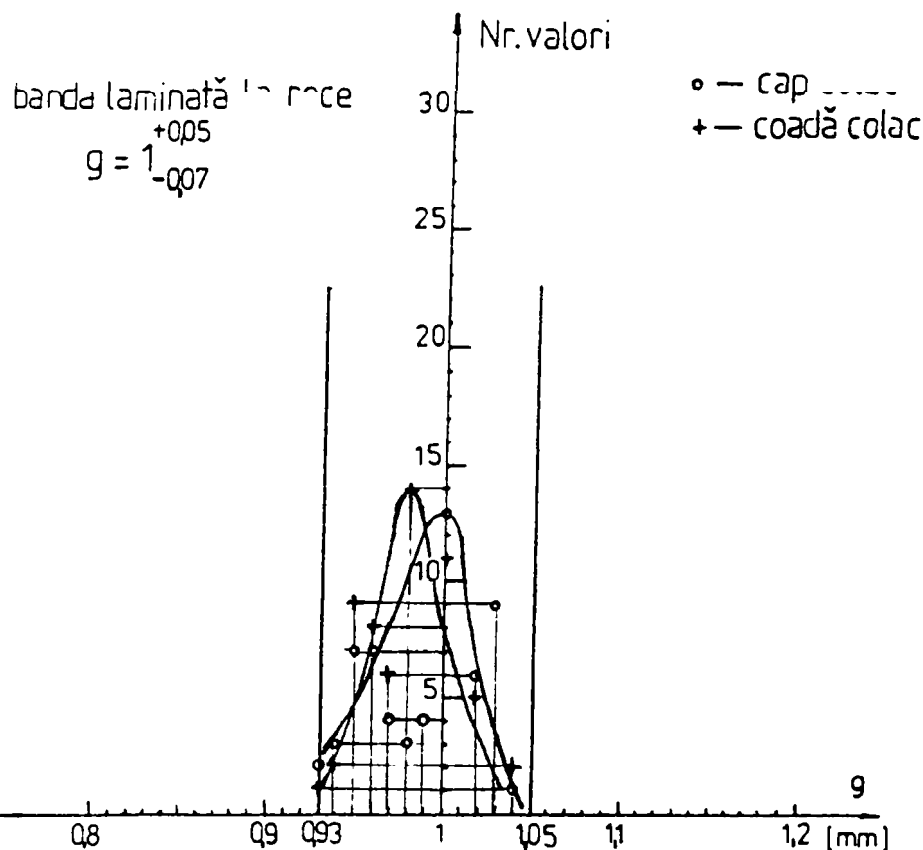


Fig. 5.5 Dispersia valorilor grosimii benzii laminate de lățime nominală 105 mm și grosime nominală 1 mm în conformitate cu programul de fabricație

Tabelul 5.5: Măsurători bandă laminată la rece de lățime nominală 105 mm și grosime nominală 0.75 mm

LOT 1		LOT 2		LOT 3		LOT 4		LOT 5		LOT 6		NR. COLAC
CAP	COADĂ	CAP	COADĂ	CAP	COADĂ	CAP	COADĂ	CAP	COADĂ	CAP	COADĂ	
0,76	0,73	0,78	0,75	0,74	0,76	0,75	0,74	0,74	0,76	0,75	0,73	1
0,77	0,75	0,75	0,73	0,73	0,75	0,77	0,74	0,75	0,72	0,76	0,75	2
0,73	0,76	0,76	0,74	0,76	0,74	0,76	0,73	0,74	0,71	0,77	0,74	3
0,73	0,77	0,73	0,76	0,75	0,72	0,77	0,74	0,75	0,73	0,75	0,70	4
0,74	0,75	0,75	0,72	0,76	0,75	0,73	0,70	0,77	0,74	0,77	0,74	5
0,75	0,76	0,74	0,77	0,78	0,76	0,73	0,71	0,78	0,76	0,75	0,73	6
0,73	0,75	0,78	0,75	0,75	0,74	0,76	0,74	0,75	0,73	0,75	0,72	7
0,76	0,74	0,75	0,74	0,75	0,72	0,75	0,72	0,73	0,75	0,74	0,74	8
0,74	0,76	0,77	0,74	0,73	0,75	0,74	0,71	0,74	0,76	0,74	0,73	9
0,76	0,74	0,73	0,75	0,73	0,76	0,75	0,70	0,78	0,75	0,75	0,76	10

Observații: Abaterea limită la grosime admisă de standarde +0,03 mm la -0,05 mm.

CAP -începutul laminatului.

COADĂ -sfârșitul laminatului.

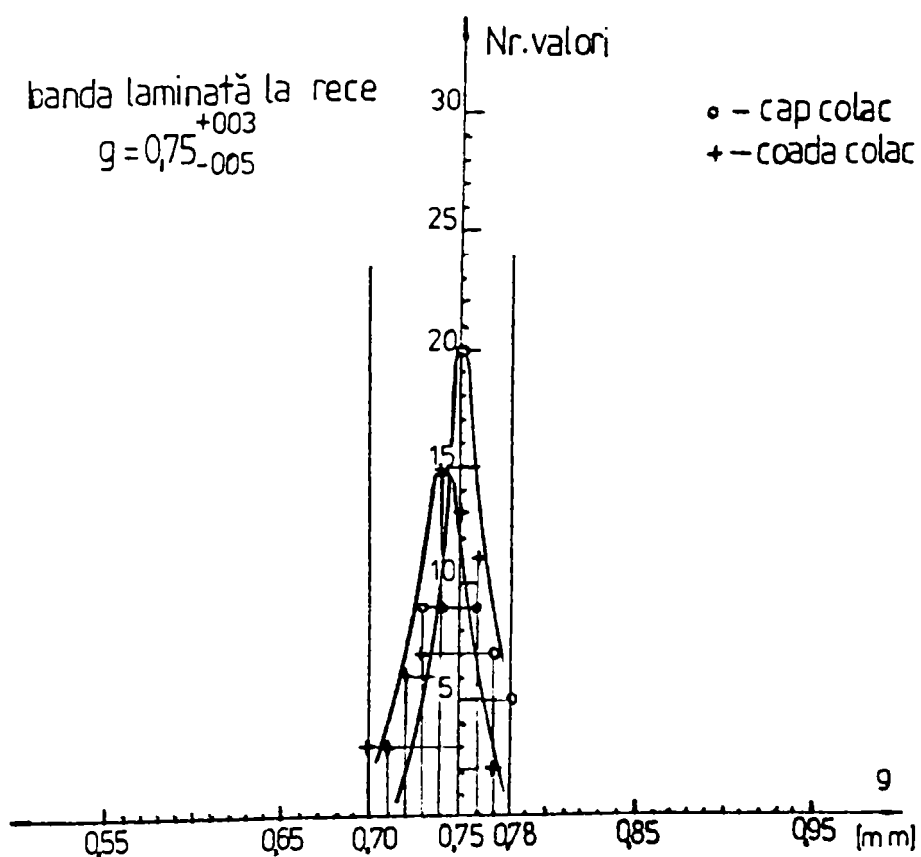


Fig. 5.6 Dispersia valorilor grosimii benzii laminate de lățime nominală 105 mm și grosime nominală 0,75 mm în conformitate cu programul de fabricație



Tabelul 5.6: Măsurători bandă laminată la rece de lățime nominală 105 mm și grosime nominală 0,5 mm

LOT 1		LOT 2		LOT 3		LOT 4		LOT 5		LOT 6		NR. COLAC
CAP	COADA	CAP	COADA	CAP	COADA	CAP	COADA	CAP	COADA	CAP	COADA	
0,51	0,48	0,53	0,50	0,52	0,50	0,51	0,48	0,50	0,48	0,52	0,50	1
0,52	0,50	0,48	0,50	0,48	0,50	0,52	0,50	0,52	0,49	0,50	0,48	2
0,48	0,51	0,47	0,52	0,51	0,50	0,49	0,52	0,50	0,51	0,52	0,47	3
0,50	0,52	0,50	0,53	0,49	0,50	0,50	0,49	0,48	0,50	0,48	0,51	4
0,49	0,50	0,47	0,50	0,53	0,51	0,52	0,50	0,52	0,47	0,50	0,52	5
0,50	0,51	0,49	0,52	0,48	0,51	0,48	0,51	0,53	0,50	0,49	0,50	6
0,48	0,50	0,50	0,51	0,51	0,49	0,47	0,49	0,50	0,52	0,46	0,49	7
0,51	0,49	0,52	0,49	0,52	0,47	0,52	0,50	0,48	0,51	0,50	0,47	8
0,49	0,51	0,50	0,48	0,50	0,52	0,48	0,50	0,47	0,50	0,52	0,49	9
0,51	0,48	0,47	0,50	0,49	0,50	0,51	0,49	0,48	0,51	0,50	0,53	10

Observații: Abaterea limită la grosime admisă de standarde  $+0,03$  mm la  $-0,05$  mm.

CAP -începutul laminatului.

COADĂ -sfârșitul laminatului.

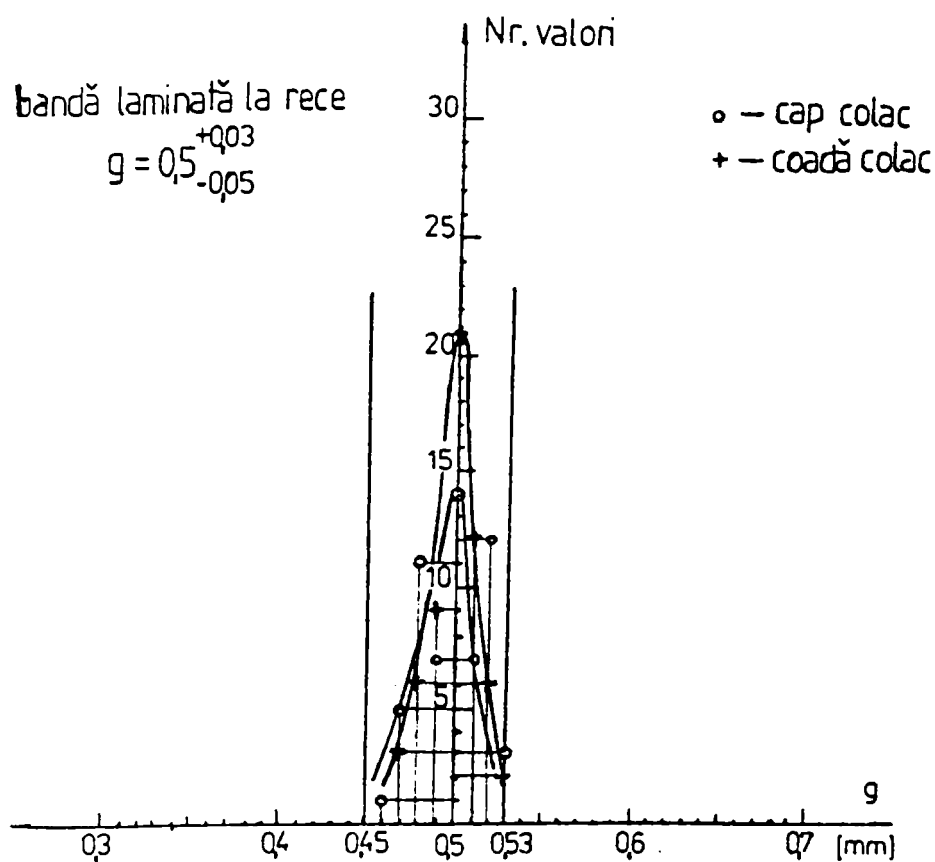


Fig. 5.7 Dispersia valorilor grosimii benzii laminate de lățime nominală 105 mm și grosime nominală 0,5 mm în conformitate cu programul de fabricație

Tabelul 5.7: Măsurători bandă laminată la rece de lățime nominală 105 mm și grosime nominală 0.35 mm

LOT 1		LOT 2		LOT 3		LOT 4		LOT 5		LOT 6		NR. COLAC
CAP	COADĂ	CAP	COADĂ	CAP	COADĂ	CAP	COADĂ	CAP	COADĂ	CAP	COADĂ	
0,34	0,36	0,37	0,34	0,35	0,33	0,38	0,36	0,37	0,36	0,32	0,36	1
0,35	0,37	0,36	0,35	0,32	0,34	0,34	0,35	0,38	0,35	0,37	0,33	2
0,33	0,35	0,35	0,35	0,32	0,36	0,36	0,35	0,36	0,33	0,36	0,35	3
0,32	0,35	0,38	0,33	0,35	0,36	0,34	0,35	0,34	0,32	0,35	0,35	4
0,35	0,35	0,36	0,34	0,33	0,36	0,37	0,36	0,35	0,36	0,37	0,36	5
0,33	0,34	0,37	0,35	0,35	0,33	0,35	0,35	0,33	0,36	0,35	0,36	6
0,34	0,36	0,35	0,36	0,32	0,34	0,36	0,33	0,35	0,34	0,34	0,36	7
0,38	0,36	0,38	0,37	0,36	0,35	0,35	0,37	0,35	0,32	0,36	0,35	8
0,37	0,35	0,33	0,35	0,35	0,35	0,32	0,35	0,34	0,33	0,37	0,36	9
0,36	0,34	0,32	0,34	0,37	0,34	0,33	0,35	0,35	0,33	0,38	0,35	10

Observații: Abaterea limită la grosime admisă de standarde +0,03 mm la -0,03mm.  
 CAP-începutul laminatului.  
 COADĂ-sfârșitul laminatului.

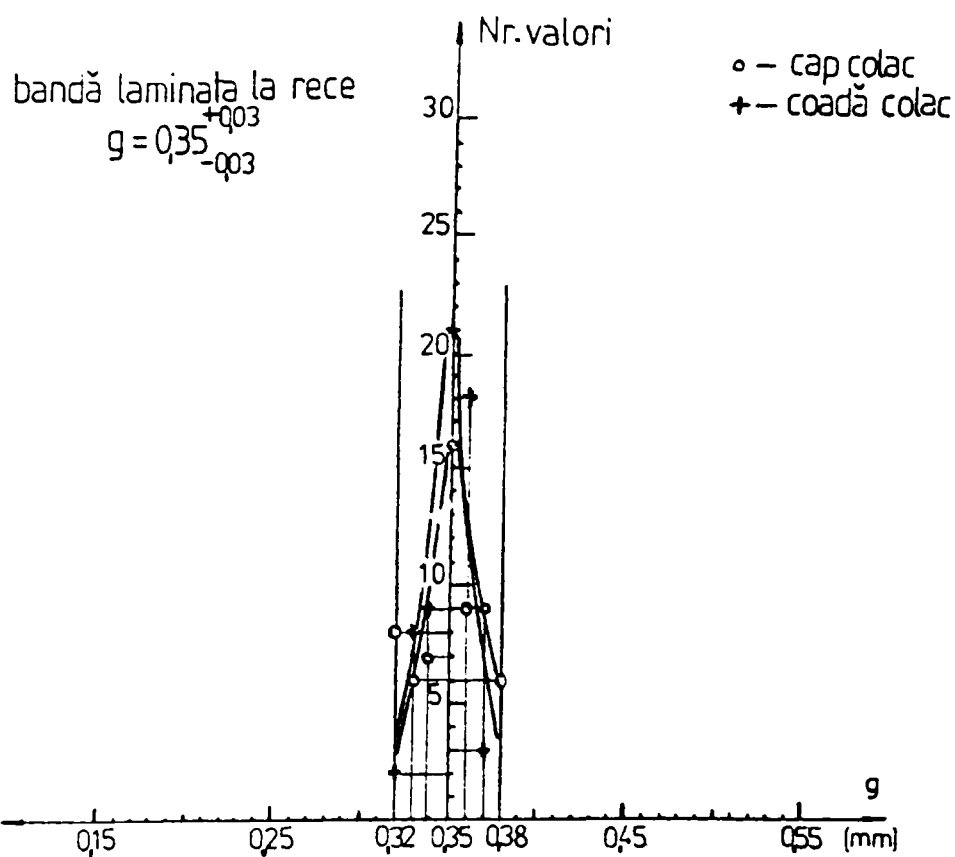


Fig. 5.8 Dispersia valorilor grosimii benzii laminate de lățime nominală 105 mm și grosime nominală 0.35 în conformitate cu programul de fabricație

## 5.4 Concluzii

Urmărirea parametrilor calitativi și încadrarea în valorile impuse de standardele în vigoare ai benzilor subțiri reprezintă obiectivul principal al fiecărei societăți productive.

În cadrul acestui capitol se prezintă în detaliu o soluție originală de realizare a unui sistem de măsurare a grosimii benzii laminate la rece care permite realizarea unor măsurători:

- în puncte pe toată lățimea benzii;
- în puncte prestabilite pentru controlul intermitent al grosimii benzii;
- continuu pe direcția lățimii benzii;
- continuu pe direcții prestabilite de – a lungul lățimii benzii.

De asemenea sunt prezentate ansamblul măsurătorilor de grosime efectuate în cadrul secției “Laminorul la rece de benzi-înguste” în baza unui program complet de fabricație. S-au construit graficele de dispersie ale valorilor grosimii benzii laminate utilizând bandă laminată la cald de lățime nominală 105 mm și grosime nominală 2,3 mm și obținând prin laminări și recoaceri succesive bandă laminată la rece de lățime nominală 105 mm și grosime nominală 0,35 mm.

Implementarea sistemului de măsurare a grosimii benzii laminate la rece în cadrul secției “Laminorul la rece de benzi-înguste” atestă și garantează prin afișarea continuă a valorii măsurate -grosimea benzii că produsul final este conform.

# CAPITOLUL VI

## Evaluarea eficienței economice

Pornind de la cerințele calitative și cantitative ale produselor finite benzi subțiri din oțel, în prezenta lucrare sunt tratate gradual ansamblul optimizărilor privind:

- tehnologia de turnare continuă a benzilor la cald cu posibilitatea aplicării directe a acestei tehnologii în cadrul Complexului Industrial din Oțelu-Roșu;
- tehnologia de laminare a benzilor subțiri înguste și late din oțel utilizând ca materie primă țagla turnată continuu, cu aplicație în cadrul Complexului Industrial din Oțelu-Roșu;
- instalațiile ce compun caja de laminare la rece de tip cuarto, cu aplicație directă în cadrul Complexului Industrial din Oțelu-Roșu;
- sistemul de măsurare a grosimii benzii laminate la rece, cu aplicație directă în cadrul Complexului Industrial din Oțelu -Roșu.

### **6.1 Eficiența economică a implementării tehnologiei de turnare continuă a benzilor în cadrul Complexului Industrial din Oțelu-Roșu**

Considerată ca tehnologie de vârf, implementarea procesului de turnare continuă a benzilor subțiri din oțel și în cadrul Complexului Industrial din Oțelu-Roșu deschide posibilitatea realizării următoarelor performanțe economice:

1 Prețul de vânzare a benzii la cald obținut cu această tehnologie ajunge la nivele cuprinse între 250 - 275 \$/tonă. Prin comparație cu prețul benzilor laminate la cald de aceeași dimensiune se realizează o reducere medie de aproximativ 100 \$/tonă.

2 Costurile de procesare pot atinge valori cuprinse între 50 - 70 \$/tonă. Prin comparație cu costurile de procesare a benzilor laminate la cald de aceeași dimensiuni se realizează o reducere medie de aproximativ 35 \$/tonă.

3 Pentru zona de vest a României se creează un punct strategic de producție și comercializare a benzilor subțiri care prin nivelul de preț și calitate va asigura și viitorul societăților comerciale consumatoare de benzi subțiri din oțel.

### **6.2 Eficiența economică a optimizărilor tehnologiei de laminare a benzilor subțiri-înguste în cadrul Complexului Industrial din Oțelu -Roșu.**

Pornind de la nivelul de preț practicat de combinatul siderurgic Ispat Galați, unitate ce produce, comercializează și benzi subțiri laminate la cald și la rece și cunoscând fluxurile tehnologice utilizate în acest combinat, în cadrul prezentei lucrări este calculată eficiența economică a optimizărilor implementate prin prisma structurii costurilor de procesare.

Pentru a determina efectul economic asupra costului produsului finit se prezintă comparativ următoarele 5 variante de fabricație a benzilor laminate la rece existente pe plan național.

#### Varianta 1 – Ispat Galați

- 1 Elaborare în convertizor a oțelului -OLD;
  - 2 Turnare continuă în sleburi -TC Sleb.;
  - 3 Încălzire în cuptor cu propulsie;
  - 4 Laminare continuă în benzi late la cald -LBC;
  - 5 Laminare în benzi la rece -LBR;
  - 6 Tratament termic de recoacere;
  - 7 Fâșiere.
- Preț 477 \$/tonă

#### Varianta 2 – Oțelu-Roșu

- 1 Elaborare în cuptor electric -OE;
  - 2 Turnare continuă  $\square 180$  mm -TC  $\square 180$ ;
  - 3 Încălzire în cuptor cu propulsie;
  - 4 Laminare țagă  $\square 80$  mm -LPM  $\square 80$ ;
  - 5 Încălzire în cuptor cu propulsie;
  - 6 Laminare în benzi la cald 105×3,2 mm -LBC 105×3,2;
  - 7 Laminare în benzi la rece 105×0,35 mm -LBR 105×0,35;
  - 8 Tratament termic de recoacere;
  - 9 Fâșiere.
- Preț 553 \$/tonă

#### Varianta 3 – Oțelu-Roșu

- 1 Elaborare în cuptor electric -OE;
  - 2 Turnare continuă  $\square 120$  mm -TC  $\square 120$ ;
  - 3 Încălzire în cuptor cu propulsie;
  - 4 Laminare în benzi la cald 105×2,3 mm -LBC 105×2,3;
  - 5 Laminare în benzi la rece 105×0,35 mm -LBR 105×0,35;
  - 6 Tratament termic de recoacere;
  - 7 Fâșiere.
- Preț 480 \$/tonă

#### Varianta 4 – Oțelu-Roșu

- 1 Elaborare în cuptor electric -OE;
  - 2 Turnare continuă  $\square 120$  mm -TC  $\square 120$ ;
  - 3 Încălzire în cuptor cu propulsie;
  - 4 Laminare în benzi la cald 150×1,7 mm -LBC 150×1,7;
  - 5 Laminare în benzi la rece 150×0,35 mm -LBR 150×0,35 ;
  - 6 Tratament termic de recoacere;
  - 7 Fâșiere.
- Preț 463 \$/tonă

#### Varianta 5 – Oțelu-Roșu

- 1 Elaborare în cuptor electric -OE;
  - 2 Turnare continuă  $\square 120$  mm -TC  $\square 120$ ;
  - 3 Încălzire în cuptor cu propulsie;
  - 4 Laminare benzi la cald 200×3,2 mm -LBC 200×3,2;
  - 5 Laminare benzi la rece 200×0,35 mm -LBR 200×0,35;
  - 6 Tratament termic de recoacere;
  - 7 Fâșiere.
- Preț 457 \$/tonă

Pe baza performanțelor tehnice obținute prin optimizările ce țin de tehnologia laminării la cald și la rece a benzilor subțiri din oțel se prezintă în tabelul 6.1 conform cu variantele 2, 3 și 5 structura costurilor de procesare a benzilor laminate la cald în cadrul Laminorului de profile mici și benzi înguste Ø330 iar în tabelul 6.2 conform

cu variantele 2, 3 și 5 se prezintă structura structura costurilor de procesare a benzilor laminate la rece în cadrul Laminorului la Rece de benzi-înguste din cadrul Complexului Industrial Oțelu-Roșu.

Tabelul 6.1: Structura costurilor de procesare benzi laminate la cald

Parametrul	Um	Varianta 2 105×3,2	Varianta 3 105×2,3	Varianta 5 200×3,2
Producție	[to/lună]	2500	2000	2500
Cost mat. Primă	[\$/to]	305	247	247
Încărcare Metalică	[\$/to]	18,50	20,50	19,50
Energie Electrică	[\$/to]	8	9,50	9
Gaz metan	[\$/to]	6	7,30	7
Manoperă	[\$/to]	8	8,20	8
Cilindrii de Laminare	[\$/to]	0,50	0,50	0,50
CCF	[\$/to]	5	5	5
CCI	[\$/to]	2	2	2
Total cost de Procesare	[\$/to]	48	53	51
Total cost Laminat	[\$/to]	353	300	298

Tabelul 6.2 Structura costurilor de procesare benzi laminate la rece

**Varianta 2**

Parametrul	Um	105×1,9	105×1,4	105×1	105×0,75	105×0,5	105×0,35
Producție	[to/lună]	400	400	400	400	400	400
Cost mat. Primă	[\$/to]	353	368	388	415	451	499
Încărcare Metalică	[\$/to]	3	3,15	3,20	3,35	3,40	3,50
Energie Electrică	[\$/to]	4	6,90	10,35	14,75	20,70	23,60
Gaz metan	[\$/to]	3	4,90	8,35	12,75	18,70	21,60
Manoperă	[\$/to]	3	3	3	3	3	3
Cilindrii de Laminare	[\$/to]	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,50
CCF	[\$/to]	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
CCI	[\$/to]	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Total cost de Procesare	[\$/to]	15	20	27	36	48	54
Total cost Laminat	[\$/to]	368	388	415	451	499	553



**Varianta 3**

Parametrul	Um	105×1,4	105×1	105×0,75	105×0,5	105×0,35
Producție	[to/lună]	500	500	500	500	500
Cost mat. Primă	[\$/to]	300	320	347	380	427
Încărcare Metalică	[\$/to]	3,15	3,20	3,35	3,40	3,50
Energie Electrică	[\$/to]	6,90	10,35	13,25	20,20	23,10
Gaz Metan	[\$/to]	4,90	8,35	11,25	18,20	21,10
Manoperă	[\$/to]	3	3	3	3	3
Cilindrii de Laminare	[\$/to]	0,25	0,30	0,35	0,40	0,50
CCF	[\$/to]	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
CCI	[\$/to]	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Total cost de Procesare	[\$/to]	20	27	33	47	53
Total cost Laminat	[\$/to]	320	347	380	427	480

**Varianta 5**

Parametrul	Um	200×1,9	200×1,4	200×1	200×0,75	200×0,5	200×0,35
Producție	[to/lună]	600	600	600	600	600	600
Cost mat. Primă	[\$/to]	298	310	324	342	364	392
Încărcare Metalică	[\$/to]	3,00	3,15	3,20	3,35	3,40	3,50
Energie Electrică	[\$/to]	3,25	3,40	5,35	7,49	10,40	11,82
Gaz metan	[\$/to]	1,75	2,40	4,35	6,49	9,40	10,82
Manoperă	[\$/to]	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Cilindrii de Laminare	[\$/to]	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,50
CCF	[\$/to]	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
CCI	[\$/to]	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Total cost de Procesare	[\$/to]	12	14	18	22	28	31
Total cost Laminat	[\$/to]	310	324	342	364	392	423

Observații: Um –unitate de măsură. CCF –costuri comune de fabricație, CCI –costuri comune de întreprindere, Cost mat. Primă –costul materiei prime.

În tabelul 6.3 se prezintă nivelul costurilor de procesare al benzilor la cald și la rece pentru cele 5 variante tehnologice de fabricație existente la nivel național.

Tabelul 6.3 : Costurile de procesare a benzilor laminate la rece în cele cinci variante tehnologice.

Varianta 1		Varianta 2		Varianta 3		Varianta 4		Varianta 5	
OLD	210 \$/to	OE	210 \$/to	OE	210 \$/to	OE	210 \$/to	OE	210 \$/to
TC	37 \$/to	TC	37 \$/to	TC	37 \$/to	TC	37 \$/to	TC	37 \$/to
Sleb		□180		□120		□120		□120	
		LPM	58 \$/to						
		□ 80							
LBC	75 \$/to	LBC	48 \$/to	LBC	53 \$/to	LBC	51 \$/to	LBC	45 \$/to
1700×1,6		105×3,2		105×2,3		150×2,5		200×3,2	
LBR	163 \$/to	LBR	200 \$/to	LBR	180 \$/to	LBR	165 \$/to	LBR	165 \$/to
200×0,35		105×0,35		105×0,35		150×0,35		200×0,35	
TOTAL	485 \$/to	TOTAL	553 \$/to	TOTAL	480 \$/to	TOTAL	463 \$/to	TOTAL	457 \$/to

Observații: TOTAL=cost de procesare.

Comparând nivelul costurilor de procesare a benzilor subțiri realizate în cadrul Complexului Industrial din Oțelu-Roșu cu cel practicat de cel mai mare combinat siderurgic al țării rezultă că efectele economice favorabile apar doar în cazul utilizării variantelor 3, 4 și 5 când nivelul acestora sunt mai mici cu 5 \$/tonă până la 20 \$/tonă față de cel realizat de Ispat Galați.

Un alt indicator economic prin care este evaluată eficiența optimizărilor realizate în cadrul variantelor 3, 4, 5 este cel dat de durata ciclurilor de fabricație prezentate în tabelul 6.4. Este de remarcat că în cadrul Complexului Industrial Oțelu-Roșu se obțin benzi subțiri laminate la rece cu durate a ciclului de fabricație mai mici cu 5 zile prin aplicarea variantelor tehnologice optimizate.

Tabelul 6.4: Durata ciclurilor de fabricație a benzilor laminate la rece în cele 5 variante tehnologice.

Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4	Varianta 5
35 zile	55 zile	30 zile	30 zile	30 zile

### 6.3 Concluzii

Eficiența economică rezultată din implementarea tehnologiilor optimizate de fabricație a benzilor subțiri-înguste în cadrul unității productive din Oțelu-Roșu demonstrează faptul că prin prețul mediu de vânzare practicat de această unitate fabricația benzilor este rentabilă.

Desigur că o eficiență economică deosebită va fi atinsă atunci când unitatea productivă va avea implementată instalația de tip DSC, caz în care secția Laminorul la rece de benzi-înguste va fi prima beneficiară a materiei prime produse de această instalație.

## Concluzii

Tema abordată și rezolvată în cadrul prezentei teze de doctorat propune să optimizeze și să ridice pe o treaptă superioară din punct de vedere tehnic și economic activitatea unor unități de prelucrare a benzilor subțiri-înguste și late dintr-o unitate siderurgică.

Economia mondială a evoluat pozitiv în ultimii ani și aceeași tendință se prevede și pentru viitor. Siderurgia ca principală ramură a economiei unei țări mai ales a țărilor industrializate a urmat și ea o evoluție pozitivă, producția de oțel depășind 920 mil. tone pe anul 2003.

Oțelul rămâne în continuare materialul numărul 1 al societății noastre.

Deși este marcat de o înnoire accentuată a sortimentăției sub care este la dispoziția consumatorilor, deși caracteristicile cu care se prezintă sunt tot mai ridicate potențialul acestui material este încă departe de a fi explorat în întregime.

Este obiectivul pe care și-l propun tehnicienii din sfera producției, cercetării și realizării mașinilor și instalațiilor actuale ca prin eforturi conjugate să optimizeze fabricația explorând toate resursele acestui material.

De obicei fabricația benzilor subțiri se regăsește în Combinatele Siderurgice Integrate având capacități de prelucrare de ordinul milioanei de tone pe an. Dar aceste unități mari nu pot acoperi segmentele de piață definite prin benzi cu calități tehnice deosebite unde cantitățile sunt relativ mici pe sortiment.

Aceste segmente de piață aflate la tangența celor deținute de marile combinate siderurgice sunt astăzi ocupate de unități de tip Mini -Mill fiind caracterizate ca:

- unități performante de elaborare și tratare a oțelului;
- unități de prelucrare a oțelului cuplate la unitățile de elaborare;
- sisteme de verificare și atestare a calității produselor tendința fiind de trecere înspre sistemul calității totale.

În acest context lucrarea propune re tehnologizarea unității siderurgice din Oțelu-Roșu într-o unitate de tip Mini-Mill dar cu o ramificație pe două grupe de produse: plate și lungi. Este o soluție temerară.

În evoluția tehnică actuală turnarea continuă a oțelului s-a extins foarte mult dar turnarea continuă a benzilor subțiri este o problemă care nu a depășit faza de stații pilot sau unitate experimentală preindustrială.

Implementarea unei mașini de turnat bandă subțire în fluxul de fabricație al Complexului Industrial din Oțelu-Roșu angajând un minim de cheltuieli investiționale – existând toate facilitățile necesare poate asigura integrarea fabricației benzilor în cadrul unității cu avantaje economice deosebite.

În această soluție prețul benzilor laminate la cald se poate situa la sub 50% din prețul aferent benzilor uzinate pe utilaje aferente generației a cincea.

Soluția deosebit de atractivă pentru unitate rămâne un obiectiv pentru cei ce conduc și dirijează activitatea acestui Complex Industrial.

Lucrarea cuprinde și o sinteză a soluțiilor tehnice implementate în tehnica și tehnologia elaborării oțelului în cuptoare electrice cu arc în ultimii 20 de ani evidențiind efectele obținute asupra parametrilor tehnici și economici ai procesului. De asemenea se prezintă și o sinteză a tehnicilor și tehnologiilor aferente metalurgiei secundare.

Această abordare a fost necesară pentru a prezenta modalitățile tehnice prin care se pot obține și asigura caracteristicile genetice ale oțelului impuse de calitatea benzilor laminate la rece.

Se concluzionează măsurile care se impun a fi implementate în cadrul Complexului Industrial din Oțelu-Roșu pentru ai conferi capacitate tehnică și competitivitate pe piața oțelului în primul rând pe piața benzilor subțiri laminate la rece din oțel.

O a doua soluție de optimizare a fabricației benzilor subțiri laminate la cald și apoi la rece – la nivel macro – a întreprinderii o constituie laminarea benzilor din semifabricate turnate continuu direct. În lucrare prin verificările parametrilor dinamici ai procesului de laminare s-a stabilit posibilitatea tehnică de a lamina benzi pe actualul laminor pornind de la țagla □120 turnată continuu direct.

Evitarea unei laminări intermediare cu încălzirea aferentă ei reduce costul laminatului cu minim 65 USD/tonă ceea ce reprezintă cel puțin 20% din totalul coturilor de procesare.

În continuare modificarea parametrilor laminorului pentru a realiza benzi de lățimi până la 150 mm prezentate în lucrare permite o creștere esențială a productivității în Laminorul la Rece de benzi-înguste.

În lucrare se prevede extinderea bazei tehnice a laminorului prin implementarea unei caje degrositoare complementare care creează condițiile tehnice de abordare a laminării benzilor până la lățimi de 200 mm.

În lucrare se prevede reconsiderarea din punct de vedere dinamic a liniei de laminare intermediare și transformarea actualei linii de laminare finisoare într-o linie continuă de laminare. Cu această reorganizare tehnologică a liniilor de laminare la cald a benzilor subțiri se pot atinge parametrii comparabili cu ai oricărei unități competitive pe piața oțelului mai ales prin:

- creșterea productivității laminorului de benzi la cald cu 80 - 120%;
- creșterea productivității laminorului de benzi la rece până la dublarea ei;
- ridicarea calității benzilor laminate:
  - prin restrângerea câmpurilor de toleranță;
  - prin îmbunătățirea rugozității suprafețelor benzilor;
  - prin abateri restrânse de la planeitate.

În condițiile prezentate prețurile actuale ale benzilor subțiri laminate la cald pot scădea în prima etapă până la 350 - 375 USD/tonă iar în cazul utilizării sistemului DSC de turnare continuă a benzilor subțiri până la 250 - 275 USD/tonă față de prețul de 385 - 400 USD/tonă realizat în cadrul variantelor clasice de fabricație.

În lucrare se prezintă soluțiile ce vizează îmbunătățirea constructivă a cajelor de laminare la rece a benzilor și încadrarea lor în sisteme de reglare automată.

În actuala conjunctură tehnică nu se mai poate concepe fabricația unor produse a căror calitate să nu fie verificată și atestată prin probe efective. Toate cele 10 optimizări constructive prezentate în subcapitolul 2.4 al lucrării care vizează modernizarea cajei de laminare sunt cu efecte directe asupra calității benzilor late

lamine la rece, în acest mod produsul putând fi competitiv pe piață. Din performanțele tehnice atinse se pot enumera următoarele:

- reducerea cîmpului de toleranță al produselor la 1/4 din valoarea cîmpului de toleranță a produselor realizate cu tehnologiile clasice;
- îmbunătățirea planeității benzilor prin reducerea abaterilor de la planeitate la jumătate față de valorile obținute prin tehnologiile clasice;
- îmbunătățirea esențială a calității suprafeței prin reducerea rugozității benzilor laminate, valorile ce o caracterizează fiind înjumătățite.

O prezentare deosebit de amplă în lucrare se face în legătură cu cuptorul de încălzire a semifabricatelor turnate continuu în vederea laminării acestora în benzi la cald. Această abordare a fost necesară deoarece cuptorul este cel mai important consumator de energie termică.

În lucrare se propun soluții de ameliorare a randamentului cuptoarelor:

- prin recuperarea gazelor arse în trei trepte randamentul cuptorului crește cu cel puțin 9,5% - 10%;
- prin reglarea automată a arderii pentru explorarea întregii călduri specifice a combustibilului în funcție de compoziția chimică a gazelor de ardere – urmărind conținutul de  $O_2$  și conținutul de  $CO$ ,  $H_2$  și  $CH_4$ . Evaluarea efectului acestei reglări automate a procesului arderii reliefează ameliorarea randamentului cuptorului cu 11%;
- prin îmbunătățirea constructivă a cuptorului, îmbunătățirea etanșeității și eliminarea suprafețelor răcite cu apă din construcția internă a acestuia.

Pentru o treaptă ulterioară de modernizare-rettehnologizare în lucrare se propune abordarea dotării secției cu un cuptor cu vatră pășitoare, efectele acestei dotări fiind resimțite în primul rând de calitatea produselor laminate.

În încheierea capitolului III se prezintă schemele tehnologice aferente optimizării benzilor la cald în următoarele condiții:

- laminarea benzilor de lățime până la 105 mm din țagă turnată continuu □120 mm:
  - a) până la grosimi de 2,2 – 2,5 mm;
  - b) până la grosimi de 1,5 – 1,7 mm;
- laminarea benzilor de lățime până la 150 mm și grosime 2.5 mm din țagă turnată continuu □120 mm.

Eficiența economică a implementării acestor optimizări a fost prezentată, soluțiile fiind verificate în practică. În vederea obținerii de benzi subțiri prin laminare la cald este prezentată schema de reorganizare constructivă, implementarea cajei degrositoare complementare fiind începută.



În Capitolul IV al lucrării sunt prezentate problemele optimizării laminării benzilor subțiri-înguste și late.

În cadrul secției de benzi înguste laminate la rece optimizarea tehnică și tehnologică impune următoarele:

- reconsiderarea tehnică a acționării cajelor cuarto, prin trecerea acționării lor pe motoare de curent continuu alimentate prin convertizoare statice;
- reconsiderarea acționării ruloarelor și deruloarelor prin trecerea acționării lor pe motoare de curent continuu alimentate prin convertizoare statice;
- îmbunătățirea rezistenței și a rigidității componentelor constructive ale cajelor de laminare;
- dotarea cajelor de laminare cu instalații de control activ a dimensiunii benzii laminate și a unui sistem automat de control al planeității benzii;
- dotarea cajelor de laminare cuarto cu instalații de tensionare a benzii în timpul laminării controlate asigurând compensarea abaterilor ce provin de la excentricitatea ruloului de bandă;
- dotarea secției cu un generator de gaz de protecție de tip mono pentru protecția benzilor în timpul tratamentelor termice de recristalizare, respectiv globulizare la care sunt supuse benzile în timpul fabricației.

Secția de benzi înguste laminate la rece este în primul rând beneficiara optimizării la nivelul întreprinderii prin care:

- costul benzilor laminate la cald din țagla turnată continuu  $\leq 120$  mm se reduce până la valori de 300-350 \$/tonă față de variantele 400-415 \$/ tonă;
- urmare a realizării benzilor laminate la cald de grosimi 2,2-2,5 mm se reduce numărul de treceri și recoaceri intermediare având ca rezultat economic o reducere a costurilor de fabricație de cca. 20-25 \$/tonă;
- urmare a realizării benzilor laminate la cald de lățimi mărite până la 150 mm se vor obține sporuri ale productivității în laminorul de benzi la rece de 1,2 până la 1.5 ori.

Extinderea gamei dimensionale a benzilor până la lățimi de 200 mm în urma reconsiderărilor constructive ale laminorului de profile mici și benzi  $\varnothing 330$  poate asigura creșterea productivității până la dublarea ei.

Desigur că secția de benzi înguste-subțiri laminate la rece va fi prima beneficiară a implementării în cadrul tehnologiilor din Complexul Industrial din Oțelu –Roșu a turnării continue a benzilor subțiri.



În capitolul V al lucrării sunt prezentate problemele controlului automat ale dimensiunii benzii laminate.

Din multitudinea de soluții cunoscute în tehnica măsurării mărimilor mecanice a fost aleasă metoda de măsurare a grosimii benzii prin contact direct. Un traductor inductiv simplu într-un cuplaj diferențial preia informația și o transmite spre un bloc de măsurare, afișare a mărimii măsurate care asigură și divizarea câmpului măsurat în 3 (5) domenii transmițând semnale de execuție înspre elementele sistemului automat de reglare a dimensiunii benzii.

Sistemul de măsurare a grosimii benzii poate extinde măsurarea pe întreaga lățime a benzii: în puncte, în segmente sau în mod continuu. De asemenea sistemul de măsurare a grosimii benzii poate fi comandat și retras din poziția de măsurare – în poziția de așteptare – deasupra benzii sau în poziția de repaus – în afara domeniului de derulare a benzii.

În finalul Capitolului V se prezintă graficele de dispersie a valorilor măsurate ale grosimii benzilor în timpul probelor.

Soluția de control automat a grosimii benzii este o soluție extrem de robustă și asigură o mare fidelitate în urmărirea dimensiunii benzii din timpul laminării.

Reținând elementele ce caracterizează eficiența economică a soluțiilor prezentate în lucrare reliefăm următoarele:

- Implementarea în tehnologia de fabricație a benzilor subțiri la Oțelu-Roșu, a tehnicii și tehnologiei turnării continue a benzilor subțiri poate aduce prețul benzilor laminate la 250-275 \$/tonă față de 400-415 \$/tonă în variantele considerate clasice de fabricație;
- Implementarea tehnologiei de laminare a benzilor direct din țagla turnată continuu  $\square 120$  mm poate aduce prețul benzilor laminate la cald la 350-375 \$/tonă.

Reducerea grosimii benzii laminate la cald concomitent cu mărirea lățimii benzii poate aduce creșteri esențiale ale productivității în laminarea la rece a acestora inclusiv în reducerea costurilor de fabricație în această unitate.

Dacă benzile subțiri de lățime 195 mm au fost testate în fabricație și sunt prezentate date din procesul de fabricație pentru benzile subțiri de lățime 150 mm au fost efectuate probe iar pentru extinderea lățimii la 200 mm au fost începute lucrările de implementare a celei de-a doua caje degrositoare.

În general costurile de producție aferente prelucrării benzii în laminorul de benzi la rece se situează între 75 \$/tonă și 150 \$/tonă. Față de un preț mediu de vânzare a benzilor laminate la rece cuprins între 550-610 \$/tonă se poate vedea că prin măsurile de optimizare implementate în cadrul unității fabricația benzilor subțiri este rentabilă având și perspectiva de ai fi mărită substanțial această rentabilitate.

# BIBLIOGRAFIE

## I Cărți și articole publicate :

1. Adrian, M., Badea, S., Bazele proceselor de deformare plastică, Editura Tehnică, București, 1982.
2. Arvedi, G., Latest results from the Arvedi ISP technology and prospects for the new ISP–ECR technology, Stahl und Eissen Nr.3, 2003.
3. Bleck, W., Eigenschaften von Bandern aus einer ISP–Gießwalzanlage, Stahl und Eissen Nr.9, 2003.
4. Boguslawsky, K., Einsatzmöglichkeiten und technische Entwicklungen von Coater–systemen, Stahl und Eissen Nr.7, 2002.
5. Botez, E., Mașini unelte vol. I–II, Editura Tehnică, București, 1978.
6. Ceaușu, I., Tratat de management, Asociația de terotehnică și terotehnologie, România, 1996.
7. Ceracki, P., ș.a., On line–Fehlererkennung bei Warmband durch automatische Oberflacherinspektion, Stahl und Eissen Nr.4, 1999.
8. Colan, H., Studiul metalelor și tratamente termice, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1964.
9. Corts, J., Hochverschleißfeste Präzisionsflachführungen für Walzgerüste, Stahl und Eissen Nr.3, 2000.
10. Degner, M., Europäische Walz–werkskonferenz–Aktuelle Entwicklungen in der Warm–und Kalt–Walztechnologie, Stahl und Eissen Nr.11, 2003.
11. Decrequy, D., Specific technologies on the new fully continuous mill in Sollac Mardyck plant, Stahl und Eissen Nr.8, 2002.
12. Drăgan, I., Tehnologia deformărilor plastice, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1965.
13. Dumitrescu, I., Introducere în management și management general, Editura Eurounion, 1995.
14. Fernandez, A., Hylsa CSP plant Technical Report CC and Rolling, Nr.7, 1995.
15. Gille, G., Teoria și calculul sistemelor de reglare automată, Editura Tehnică, București, 1965.
16. Granzdorfer, G., Managementul calității totale la Thyssen Krupp, Stahl und Eissen Nr.3, 2000.
17. Grave, H., Măsurarea electrică a mărimilor neelectrice, Editura Tehnică, București, 1966.
18. Gubkin, S., Deformarea plastică a metalelor vol. I, II, III, Editura Tehnică, București, 1961.
19. Guleaev, A., Tratatul termic al oțelului, Editura Tehnică, București, 1962.
20. Guțu, M., Turnarea continuă și semicontinuă a materialelor metalice, Editura Tehnică, București, 1977.
21. Hendricks, C., Inbetriebnahme und erste Ergebnisse der Gießwalzanlage der Thyssen Krupp Stahl A.G., Stahl und Eissen Nr.2, 2000.
22. Hormes, P., ș.a., Der Einsatz von CVC–Walzen in Warm und Kaltbandstraßen, Fachbericht Walzerksanlagen Nr.11, 2000.
23. Jelali, M., Einsatz moderner Regel–konzepte zur besseren Nutzung anlagentechnischer Potentiale, Stahl und Eissen Nr.8, 2002.

24. Jepsen, O., ș.a., Systemsimulation von Warm – und Kaltwalzanlage, Fachbericht Walzwerksanlagen Nr.3, 1996.
25. Helmut, K., Modernisierung der 6–gerustigen Tandemstraße der Rasselstein Hoesch GmbH, Stahl und Eisen Nr.2, 2000.
26. Lackinger, C., ș.a., Die neue Tandemstraße von Thyssen Krupp Sthal im Kaltbandwerk Beeckerwerth, Stahl und Eisen Nr.2, 2002.
27. Lehnert, W., Computergestutzte Anwendung von Werkstoff und Prozeßmodellen beim Warmwalzen von Langprodukte, Sthal und Eisen Nr.3, 1998.
28. Lewis, A., Future trends in processing technology, Stahl und Eisen Nr6, 2003.
29. Nanu, A., Tehnologia materialelor, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1977.
30. Natusch, H., Automatische Breitenre–gelung in der Warmband–straße Borlange der SSAB Tunntplat, Stahl und Eisen Nr.11, 2002.
31. Oprescu, I., ș.a., Utilaje specifice sectoarelor de prelucrări metalurgice, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983.
32. Oprescu, I., Utilaje specifice sectoarelor de prelucrări metalurgice, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1977.
33. Ovesea, I., ș.a., Tehnologia laminării profilelor și a tablelor, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1978.
34. Pellegrin, Elemente sistemelor de reglare automată, Editura Tehnică, București, 1965.
35. Prachowsky, R., ș.a., Modernisierung der Kaltwalzanlage bei Krupp VDM, Fachbericht Walzwerksanlagen Nr.9, 1996.
36. Przywara, J., Neuartiges berührungs–loses Planheitsmessv fahren fur Kaltwalz –Reversiergeruste, Stahl und Eisen Nr.8, 2003.
37. Rădulescu C., Utilaje de laminoare, Editura Tehnică, București, 1979.
38. Riess, M., Wiederinbetriebnahme eines Sexto–Reversier–gerustes mit Umwickel–anlage, Stahl und Eisen Nr.12, 2002.
39. Roggo, B., ș.a., Erfolgreiche Modernisierung des Sendzimir–Walzwerks Nr.1 bei Outokumpu, Sthal und Eisen Nr.8, 1999.
40. Rohde, W., ș.a., Rechnergestutzte Auslegung von Kaltwalzanlagen, Fachbericht Walzwerksanlagen Nr.10, 1996.
41. Sauer, L., Angrenaje vol I–II, Editura Tehnică, București, 1970.
42. Schumann, I., Metalurgie fizică, Editura Tehnică, București, 1970.
43. Solomon, R., Utilaje pentru laminarea la rece a benzilor subțiri din oțel, Universitatea "Politehnica" din Timișoara, 1999.
44. Spitzer, K., ș.a., Entwiclungsstand beim DSC-Bandgie verfahren, Sthal und Eisen Nr.5, 2001.
45. Trușculescu, M., Studiul metalelor, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1977.
46. Turicin, A., Măsurarea electrică a mărimilor neelectrice, Editura Tehnică, București, 1957.
48. Telikov, V., Instalații de laminare, Editura Tehnică, București, 1947.
48. Vaida, A., ș.a., Mașini unelte, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1970

49. Zetu, D., Mașini unelte automate, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1976.
50. Zinnocker, H., ș.a., Anforderungen an die Andagentchnik bei der Herstellung von hoherfesten Feiblechen. Sthal und Eissen Nr.8, 1999.
51. Walter, M., Eurostrip–Bandgießen im Werk Krefeld der Krupp Thyssen Nirosta GmbH, Sthal und Eissen Nr.5, 2003.
52. Weber, Grundlagen des Bandwalzens, Leipzig, 1973.
53. Wolff, A., Neues System zur automatischen Regelung von Lakbeschichtungsanlagen, Stahl und Eissen Nr.8, 2003.
54. Wolters, H., ș.a., SMS–Automation in Warmbandsraßen. Fachbericht Walzwerksanlagen Nr.7, 1996.

## **II Studii și sinteze :**

1. Informare, Realizări, Cercetare Științifică, Siderurgie, vol.VIII, nr.4, București, 2001.
2. Informare, Realizări, Cercetare Științifică, Siderurgie, vol.X, nr.1, București, 2002.
3. Laminarea oțelurilor, Biblioteca analelor româno–sovietice, București, 1961.
4. Neues Sendzimir–Walzwerk. Express–Information, Berlin, 1971.
5. Kontinuierliches Walzen von rostfreiem Sthal. Sheet metal Ind., 1958.
6. Automatic flatness control–AFC–System VWD. NE–Metalle, 1970.
7. Studiu de soluție, Laminorul de benzi la rece (LBR), Iprolam București, 1996.

## **III Prospecte și oferte :**

1. Danieli Centro–combustion Reheating system division.
2. Hinkley Group–of associated companies.
3. Mannesmann–Demag, Electric arc furnances. Modern steel mill technology.
4. Man–Ghh, Anlagen fur die secundarmetalurgie. A modern mini mill. Ghh arc furnances tehnologie.
5. SMS Phisikalisches Prozesmodell fur Kuhlstreken. CSP–technology, CSP–compact strip production, Concast.

## **IV Reviste :**

1. Concast, 1998–2003.
2. Sthal und Eisen, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003.
3. Tehnical Bulletin Simac/Schloeman–Siemag/2000, 2001.
4. Tribuna Economică, 2001, 2002, 2003.