

MINISTERUL ÎNVĂȚĂMĂNTULUI
UNIVERSITATEA TEHNICĂ DIN TIMIȘOARA
FACULTATEA DE MECANICĂ

539.054
150 G

ING. DUMITRU TUCU

TEZA DE DOCTORAT

CONTRIBUTII LA OPTIMIZAREA TEHNOLOGIEI
DE FABRICATIE A TUBURILOR FLEXIBILE

CONDUCTOR ȘTIINȚIFIC
PROF.DR.DOC.ST.ING. AUREL NANU

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

TIMIȘOARA, 1995

BUPT

INTRODUCERE

Necesitatea introducerii unor tehnologii performante in fabricatia de serie mare, apare ca o implicare directa a activitatilor de compensare a decalajelor existente intre diferitele firme aflate in procesul concurential al economiei de piata de tip multinational centralizat.

Legat de aceasta, tehnologiile performante nu pot fi introduse, pe de o parte, fara existenta unei cercetari fundamentale aprofundate, iar pe de alta parte, fara o adecvare, intiala si corectata dinamic pe parcurs, a masurilor tehnice unor masuri economice si organizatorice, determinate, la randul lor, pe baza unor studii de specialitate, teoretice dar si experimentale, cu verificarea si adecvarea criteriilor de eficienta unor functii de optimizare complexe, exprimate in variabile vectoriale multidimensionale, dar si ele, la randul lor, de cele mai multe ori, de tip multicriterial.

Fara indoiala ca, abordarea completa, pe aceste baze, presupune un volum mare de munca, peste posibilitatile unei singure persoane. De aceea, prezenta lucrare se vrea un inceput firav pe aceasta cale, in domeniul atat de putin cercetat al tehnologiilor de fabricatie a tuburilor flexibile, organe de masina deosebit de importante pentru satisfacerea rolului functional al multor sisteme tehnice.

Prin studii teoretice si experimentale s-a incercat stabilirea unor modele teoretice si experimentale pentru procesul tehnologic, vazut ca un sistem de productie generalizat, in ansamblu, si apoi, in mod particular, pentru anumite operatii si faze, de fiecare data, considerandu-se faza sau operatia un alt proces, abordat tot in mod sistemic generalizat.

Modelele astfel elaborate, au favorizat modificarea conceptiei de proiectare a unor subansambluri ale masinilor de fabricat tuburi flexibile din sistemele industriale de productie, rezultand produse mai ieftine si mai bune sub aspect calitativ si economic.

Pe de alta parte, cercetarile efectuate au permis introducerea in productie a unor tehnologii noi, deosebite de cele clasice, cu implicatii in utilizarea unor materiale neconventionale, diferite de cele clasice, cu efecte superioare sub aspect tehnic si economic.

Beneficiara acestor rezultate, in cea mai mare parte, a fost

S. C. "ROMFLEX" S.A. -Otelul Rosu, care a sprijinit cu maxima promptitudine si competenta, de fiecare data, eforturile autorului, care aduce pe aceasta cale multumiri deosebite conducerii acestei firme.

In conditiile unei acute absente a unei documentatii referitoare la elementele sistemelor tehnologice de fabricatie, eforturile si rezultatele muncii autorului au fost valorificate in o seama de lucrari stiintifice comunicate sau/si publicate la diverse manifestari stiintifice sau in reviste de specialitate (douazeci de lucrari publicate de autor, singur sau in colaborare).

Teza de doctorat este structurata pe 6 capitole, cuprinzand in cele 158 pagini 107 figuri 18 tabele, 17 fotografii, si 111 referinte bibliografice.

Fara indoiala ca eforturile autorului ar fi ramas in mare parte nevalorificate daca nu ar fi existat sprijinul sustinut si permanent al d-lui prof.dr.doc.st.ing. AUREL NANU, caruia, cu prilejul finalizarii lucrarii, autorul ii aduce profunda recunostiinta alaturi de cele mai calde si sincere multumiri pentru competenta orientarii si indrumarii cercetarilor in calitatea domniei sale de conducator stiintific.

De asemenea, autorul aduce multumiri deosebite d-lui s.l.ing. AUREL RADUTA pentru sprijinul acordat in rezolvarea problemelor de analiza metalografica si a determinarilor de microduritate.

Mulumiri se cuvin a fi aduse si colegilor din catedra, tuturor celor care l-au sprijinit, mai mult sau mai putin dezinteresat, in finalizarea cercetarilor cuprinse in prezenta teza de doctorat.

Autorul,
ing.DUMITRU TUCU

C U P R I N S

1. NECESITATEA OPTIMIZARII TEHNOLOGIEI DE FABRICATIE A TUBURILOR FLEXIBILE.....	1
2. CONSIDRERATII GENERALE PRIVIND TIPURILE DE TUBURI FLEXIBILE FRECVENT UTILIZATE.....	3
2.1 Generalitati	3
2.2 Clasificarea tuburilor flexibile	3
2.3 Avantaje si dezavantaje ce decurg din utilizarea tuburilor flexibile	6
2.4 Indicatori tehnico-functionali principali specifici tuburilor flexibile	6
2.5 Simbolizarea si tipuri principale de tuburi flexibile fabricate in tara si in strainatate	9
2.6 Particularitati privind domeniile de utilizare a tuburilor flexibile	11
2.7 Corelatii intre material-tehnologie de executie si conditii de exploatare a tuburilor flexibile	13
2.8 Tehnologii de fabricatie si tipuri noi de tuburi flexibile.....	16
3. CONTRIBUTII PRIVIND DETERMINAREA UNUI MODEL SISTEMIC GENERALIZAT PENTRU PROCESUL TEHNOLOGIC DE FABRICATIE A TUBURILOR METALICE FLEXIBILE.....	28
3.1 SISTEMUL GENERALIZAT DE ACTIUNE TEHNOLOGICA LA FABRICAREA TUBURILOR FLEXIBILE.....	28
3.2 STRUCTURA SISTEMULUI DE ACTIUNE TEHNOLOGICA DIRECTA....	31
3.3 PROBLEME SPECIFICE DE OPTIMIZARE A TEHNOLOGIEI DE FABRICARE A TUBURILOR METALICE FLEXIBILE.....	34
3.3.1 Probleme de optimizare specifice blocului de pregatire a semifabricatului.....	34
3.3.2 Structura subsistemului de prelucrare principala prin deformare plastica.....	36
3.3.3 Analiza globala a subsistemului de fabricatie a tuburilor flexibile prin deformare plastica.....	38
3.3.4 Stabilirea rolului factorilor esentiali in proces prin metoda corelatiei de rang.....	43
4. CONTRIBUTII TEORETICE SI EXPERIMENTALE PRIVIND STUDIUL PROCESULUI DE DEFORMARE PLASTICA A BENZII METALICE IN VEDEREA OPTIMIZARII PROCESULUI DE FABRICATIE.....	70
4.1 STABILIREA ELEMENTELOR DE CALCUL ALE PROCESULUI DE DEFORMARE PLASTICA A BENZII IN PROCESUL TEHNOLOGIC DE FABRICATIE A TUBURILOR METALICE FLEXIBILE.....	70

4.1.1. Studiul procesului de profilare cu role a benzilor.....	70
4.1.2. studiul procesului de deformare plastica din ghidajul curb.....	92
4.2. CONTRIBUTII EXPERIMENTALE PRIVIND STUDIUL , PROCESULUI DE DEFORMARE PLASTICA LA FABRICAREA TUBURILOR METALICE FLEXIBILE.....	98
4.2.1 Ratiunile si principiile metodei de cercetare utilizata.....	98
4.2.2 Prezentarea aparaturii de cercetare.....	100
4.2.3 Analiza influentei procesului de deformare asupra grosimii benzii.....	111
4.2.4 Studiul starii de deformare a benzii prin variatia microduritatii.....	120
5. CONTRIBUTII EXPERIMENTALE LA OPTIMIZAREA PROCEDEELOR DE ACOPERIRE A BENZII SEMIFABRICAT FOLOSITA LA FABRICAREA TUBURILOR METALICE FLEXIBILE.....	143
5.1 ELEMENTE DEFINITORII.....	143
5.2 VARIANTE TEHNOLOGICE STUDIATE SI REZULTATE OBTINUTE.....	143
5.3 CERCETARI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA UNIFORMITATII DEPUNERILOR PE MATERIALUL BENZII.....	146
6. CONCLUZII FINALE SI CONTRIBUTII ORIGINALE ALE AUTORULUI.....	151
6.1 CONCLUZII FINALE.....	151
6.2 CONTRIBUTII ORIGINALE ALE LUCRARII.....	152
6.2.1 Contributii teoretice.....	152
6.2.2 Contributii in domeniul cercetarii si prelucrarii experimentale.....	153
6.2.3 Contributii in implementarea industriala a rezultatelor cercetarii.....	154
BIBLIOGRFIE.....	155

1. NECESITATEA OPTIMIZARII TEHNOLOGIEI DE FABRICATIE A TUBURILOR FLEXIBILE

Extinderea gamei de materiale si obligatiilor functionale utilizate la realizarea diverselor sisteme tehnice, a determinat necesitatea asimilarii in fabricatie si largirea posibilitatilor tehnologice pentru productia de tuburi flexibile. Dupa o prima faza in dezvoltarea tehnologiilor de fabricatie a tuburilor flexibile, caracterizata de o diversificare a productiei, actualmente se manifesta o tendinta de optimizare a tehnologiilor de fabricatie, de exploatare si de proiectare, respectiv de inter-optimizare in feed-back a acestor verigi esentiale ale sistemului de productie a tuburilor flexibile.

Pornind de la aceasta tendinta, se incearca in continuare sintetizarea printr-o analiza sistematica a catorva probleme esentiale ale acestui sistem de productie.

Stabilirea conditiilor optime, care sa permita analiza influentelor tuturor factorilor asupra aspectelor (ratiunilor) economice care guverneaza conducerea proceselor tehnologice, nu se poate realiza fara utilizarea pe scara tot mai larga a modelelor matematice, cu un grad cat mai ridicat de generalitate. In cazul optimizarii unei tehnologii de fabricatie, se urmareste, de fapt, introducerea unui pachet de criterii de eficienta tehnologica (capacitate de productie maxima, costuri minime, consumuri energetice si/sau de materiale minime etc.), in conditiile impuse de un pachet de restrictii (calitatea minima a suprafetelor interioare si/sau exterioare, abateri de forma si dimensiuni, putere, vibratii etc.), intr-o functie de optimizare care, prin prelucrare matematica, permite determinarea valorilor variabilelor (criteriilor), pentru care se asigura optimul cautat.

Din punct de vedere al tehnologiilor de executie, tuburile flexibile se pot imparti in doua mari categorii: 1.tuburi agrafa, fabricate, de regula, dintr-o banda metalica laminata la rece, profilata si infasurata simultan cu materialul de etansare, in asa fel, incat, functie de profilul format la spira, banda se ajusteaza pe ea insasi intr-o elice; 2.tuburi ondulate, fabricate, de regula, pornind, fie de la tevi (lamine sau sudate), care sunt ondulate prin deformare plastica (ambutisare mecanica sau hidraulica,

profilare etc.), fie de la benzi roluite si curbate, apoi sudate longitudinal sau etansate prin acoperire cu un invelis exterior de protectie. O analiza a acestor tipuri reprezentative de tuburi, conduce la urmatoarele concluzii:

-considerand materialul metalic ca element de baza al tubului flexibil, si neglijand functia materialului de etansare (care poate fi la randul sau metalic), se constata ca, indiferent de tehnologia de fabricatie, functiile acestuia sunt legate de stabilirea formei geometrice, asigurarea rezistentei mecanice, asigurarea celorlalti parametri functionali ai tubului, cu exceptia partiala a etanseitatii;

-avand in vedere ipoteza si functiile prezentate mai sus, se poate considera drept criteriu de separare intre cele doua tehnologii, continuitatea intr-o sectiune (longitudinala si/sau transversala), a materialului metalic de baza;

-in ce priveste functia de etansare, aceasta este realizata, fie de un material suplimentar (in cazul tuburilor agrafa), fapt ce limiteaza intervalul valoric al parametrilor de apreciere a acesteia, fie de insusi materialul metalic de baza (in cazul tuburilor ondulate), in acest caz etansarea fiind mai buna;

-din analiza de pana acum, rezulta insa, ca, in ce priveste tehnologicitatea si, implicit, pretul de cost, primul grup de variante tehnologice este superior celui de-al doilea, conditiile de exploatare putand constitui un ansamblu multicriterial de optimizare.

Din multitudinea problemelor legate de optimizarea procesului tehnologic de fabricatie a tuburilor flexibile, autorul prezentei teze de doctorat si-a propus sa abordeze problematica optimizarii sistemului de fabricatie a tuburilor flexibile, vazut ca un ansamblu, a aspectelor specifice legate de procesul tehnologic de fabricatie a tuburilor metalice flexibile prin deformare plastica si a aspectelor legate de fabricatia tuburilor flexibile compozite, problema abordata pentru prima data in tara noastra.

2. CONSIDRERATII GENERALE PRIVIND TIPURILE DE TUBURI FLEXIBILE FRECVENT UTILIZATE

2.1 Generalitati

Tehnica moderna, cu exigentele sale deosebit de severe din toate domeniile, este de neconceput fara tuburile flexibile. Domeniile de aplicare cele mai frecvente ale acestora sunt in transporturile feroviare, maritime sau aeriene, in constructia de masini, in industria frigului, a incalzirii, in instalatiile de climatizare. In acelasi timp, nu se poate concepe fara tuburi flexibile tot ceea ce este energetica nucleara, chimia, industria gazelor naturale si petrolchimia. Desi, la originea sa, primul tub flexibil a fost conceput si realizat inca in anul 1885 de catre Heinrich Witzenmann, in colaborare cu partenerul sau, francezul Eugene Levavasseur-in cadrul unei uzine care ii poarta astazi numele-trebuie aratat ca, in raport cu cerintele actuale ale procesului de exploatare si corelat cu noile materiale, cu proprietati superioare, tehnologia de fabricare a tuburilor flexibile cunoaste o dinamica permanenta, impusa si de concurenta si exigentele pietelor de desfacere.

Din punct de vedere tehnic, tubul flexibil este un organ de masina compus din spire, executate din benzi metalice flexibile, tevi sau diferite profile care se imbrina corespunzator in procesul de fabricatie (din materiale metalice sau nemetalice), cu rolul de legatura functionala intre alte doua organe de masina (parti componente), care au, de regula, o miscare relativa unul fata de celalalt.

Fie ca indeplinesc functii de legatura ca organe de masina, fie rol de protectie, tuburile flexibile pot urma trasee sinuoase dupa cele trei grade de libertate, executa miscari relative, sau sunt relativ statice.

2.2 Clasificarea tuburilor flexibile

Criteriile de clasificare a tuburilor flexibile sunt diferite si diversificate. Din multitudinea de criterii de clasificare, cele uzuale sunt legate de: presiunea nominala, profilul semifabricatului, spira din care sunt fabricate, calitatea materialului, aspecte legate de particularitatile constructive (numarul de pereti, protectie la

exterior, gradul de determinare a lungimii, specializarea pentru lucru etc.), temperatura de exploatare.

crit.	clasificare											
pres. neetansate	1						2			3		
lucr. (pres.mici)	(pres.medii si joase)						etansate			din tevi		
							(pres.inalte)					
tehn. semifabricat	1			2			3			4		
	semifabricat			etansare			sectiun.			exec.tevii		
										(renurii)		
de	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	1	2
exe-	benz.	sir-	tea-	snur	snur	snur	snur	sir-	ci-	po-	trase	sudat
cutie	pro-	ma	va	cau-	celu-	az-	tub	ma	lin-	li-	1	2
	fil.	prof.		ciuc	loz.	best	PVC	Cu	dric	gon.	ren.	ren.
											para-	spira
											lele	late
ma-	1			2						3		
oteluri	oteluri			neferoase						mat.nemetalic		
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6		
te-	car-	aco-	i-	i-	Al	bro-	tom-	met.	ala-	ar-		
ri-	bon	pe-	nox	nalt	si	nz	bac	Mo-	ma	gint		
al	rit			aliat	aliaje			nel				
numarul	1			2			3			4		
peretilor	simplici			dubli			tripli			multipli		
protectia	1						2					
	protejate						neprotejate					
la	1			2			1			2		
	cu impletitura			cu tub			PVC			celuloza		
exterior	1			2			1			2		
	sirna			textile			PVC			celuloza		
determinarea	1						2					
lungimii	cu lungimea determinata						cu lungimea nedeterminata					
	(cu racorduri la capete)						(metraj, fara racorduri)					
temperatura	1			2			3					
de lucru	joase			medii			inalte					

Fig. 2.1

Deoarece domeniul fabricatiei de tuburi flexibile este foarte diversificat, o clasificare unitara este dificila si in acelasi timp neconcludenta. In continuare, se prezinta o grupare a schemelor de clasificare in tuburi flexibile metalice si tuburi flexibile noi (moderne), avand, de regula, in componenta lor, pe langa materialul metalic (de aceasta data minoritar sub aspect cantitativ), materiale noi (de cele mai multe ori nemetale).

In figura 2.1 se prezinta criteriile principale si sistemele de

critériu	clasificare					
presiunea de lucru	1 mici		2 joase si medii		3 inalte	
material	1 simplu			2 in compozitie		
	1 mat. organice	2 mat.anorg. de sinteza	3 mat. minerale	1 metal+	2 nemetal+	nemetal
	1 de sinteza	2 de extractie				
starea semifabr.	1 granule	2 folie	3 fire	4 fibre	5 tesatura	6 impletitura sa.
tehnolog. de executie	1	1 continua		4	2 discontinua	
	1	2	3		1	2
	pultru- dere	centri- fugare	infasu- rare	preinfa- surare	cu pre- impreg.	fara pre- impregnare
numarul peretilor	1 simpli		2 dubli	3 tripli	4 ... multipli	
protectia la exterior	1			protejate		2 neprotejate
	1 cu impletitura(tesatura)			2* cu tub		
	1	2	3	4(1*)	5(2*)	
	sirna textile minerale			anorg. organice		
determinarea lungimii	1 cu lungimea determinata (cu racorduri la capete)			2 cu lungimea nedeterminata (metraj, fara racorduri)		
destinatia	1			2		
	pt. transp.subst.si/sau eng.			pt. protectie		
	1	2	3	4	5...	1
	aer gaze	prod.petr.	lich.amest.	chim.	term.	2
						3
						4...
						elec.
temperatura de lucru	1 joase		2 medii		3 inalte	

Fig. 2.2

clasificare, corelate cu acestea, ale tuburilor flexibile metalice, iar in figura 2.2 criteriile folosite pentru clasificarea tuburilor flexibile noi.

2.3 Avantaje si dezavantaje ce decurg din utilizarea tuburilor flexibile

Tuburile flexibile sunt construite intr-o gama larga de tipodimensiuni, de regula, asigurand functional transferul fluxului de putere intre doua repere ale unui sistem tehnic aflate in miscare relativa unul fata de celalalt.

Aceasta particularitate functionala esentiala, este cea care recomanda utilizarea intr-un domeniu sau altul, corelata strans si cu avantajele pe care acestea le implica:

- sistemele tehnice care le includ in componenta au o fiabilitate marita datorita eliminarii subsistemelor improvizate, compuse din articulatii cu miscari relative, care au o fiabilitate scazuta, mai ales la imbinarile etansate;

- manevrabilitate ridicata datorita montarii si demontarii cu usurinta;

- mentenanta buna, se intretin usor;

- se monteaza dupa trasee sinuoase fara utilizarea unor elemente intermediare;

- sunt fiabile si relativ ieftine, tehnologia lor de fabricatie fiind relativ simpla si destul de productiva;

- in cazul utilizarii la constructia arborilor flexibili, prezinta avantajul construirii unor dispozitive simple, care transmit cupluri de rotatie de ordinul miilor de daN.cm .

Principalele dezavantaje sunt in principal legate de:

- influenta mare a temperaturii de lucru asupra fiabilitatii;

- necesitatea respectarii stricte a prescriptiilor de montaj, de obicei legate de constiinciozitatea si priceperea muncitorilor;

- posibilitatea alegerii gresite a tipului adecvat unui sistem tehnic, in cazul lipsei unei documentatii necesare;

- imposibilitatea repararii si/sau reconditionarii in cele mai frecvente situatii de defectare.

2.4 Indicatori tehnico-functionali principali specifici tuburilor flexibile

In general, utilizarea in practica a tuburilor flexibile este determinata de indicatorii tehnico-functionali care le caracterizeaza, dar in multe cazuri necesitatea utilizarii acestora intr-un domeniu este cea care influenteaza proiectarea tubului si a tehnologiei de fabricatie. Se prezinta in continuare cativa dintre indicatorii principali care caracterizeaza tuburile flexibile:

A. indicatorii constructivi sunt indicatori care caracterizeaza starea de fabricatie a tuburilor flexibile:

-forma sectiunii transversale a tubului, de regula circulara, dar poate fi si dreptunghiulara sau poligonala;

-sectiunea spirei (sub forma de patrulater (patrat, dreptunghi, trapez), agrafa, ondulatii (in cazul tuburilor inelare fabricate din teava, la care ondulariile pot fi spiralate sau circulare));

-diametrul exterior, D_e , definit ca distanta dintre punctele culminante ale profilului spirei exterioare a tubului;

-diametrul interior, D_i , definit ca dimensiune minima a spatiului interior al tubului;

-diametrul nominal, D_n , este valoarea cotei interioare de trecere prin tubul flexibil sau prin racordurile de la capete, de regula, fiind aproximativ acelasi cu diametrul interior. Este un termen standard, frecvent utilizat in tehnica sistemelor de conducte, definind marimea componentelor;

-lungimea livrabila a tubului, este lungimea de fabricare, tuburile flexibile putand fi fabricate la lungimi fixe, prestabilite sau la lungimi rezultate din fabricatie, asa numite tuburi metraj;

-lungimea de miscare libera a tubului, L_n , este dimensiunea masurata pe lungimea tubului care nu este stransa intre racorduri;

-lungimea propriu-zisa a tubului, L_t , este dimensiunea masurata pe lungime a tubului flexibil;

-lungimea nominala, L_n , a tubului reprezinta lungimea totala a tubului masurata intre capetele racordurilor, cu axa nedeformata fara solicitari de intindere sau compresiune (fig.2.3);

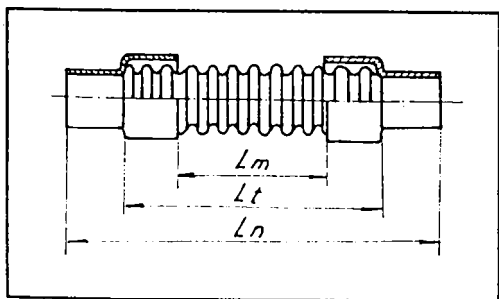


Fig.2.3

-forma si numarul de renuri ale spirei, caracterizeaza tuburile confectionate din benzi, avand implicatii asupra flexibilitatii si/sau rezistentei mecanice;

-pasul spirelor, P_s , reprezinta distanta dintre doua pozitii succesive identice ale unui punct de pe spira

(ondulatie), masurata pe lungime, in starea nedeformata a acesteia;

-numarul peretilor tubului, natura suprafetelor interioare, tipul si materialul de etansare, tipul si numarul de straturi de protectie sau izolatie, tipul racordurilor etc. sunt indicatori specifici,

legati direct de domeniile si functiile cerute de practica utilizarii.

B.Indicatorii functionali, includ ansamblul unor parametri legati direct de procesele de lucru ale tuburilor flexibile cum ar fi:

-presiunea nominala, P_n , reprezinta valoarea presiunii de lucru admisa pentru un tub de o constructie data, in conditii standard de exploatare. Valorile presiunii nominale sunt standardizate;

-presiunea de spargere, P_s , reprezinta valoarea presiunii de lucru admisa in interiorul unui tub, la care tubul isi pierde etanseitatea, in conditii de utilizare. La temperatura de $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ si in conditii de constanta a presiunii, $P_s=P_n$. Pentru conditii diferite de acestea, se introduc coeficienti corespunzatori de corectie;

-flexibilitatea este o caracteristica exprimata prin raza minima de indoire, R_{\min} , fara a determina deformari remanente ale tubului;

-anduranta la indoiri repetate este un indicator exprimat prin numarul de cicluri de indoire alternant simetrice, la raza minima, pana la aparitia unor deteriorari sau deformari remanente ale tubului;

-rezistenta la strivire este data de valoarea maxima a fortei de apasare asupra a doua segmente de tub flexibil egale cu 5 spire succesive, astfel incat, dupa doua minute de apasare statica, sa nu apara deformatii remanente. In conditii aproximativ identice, se defineste rezistenta la solicitari axiale, unghiulare sau laterale, corespunzator fiecarui caz, aplicarea solicitarii facandu-se la capetele, respectiv mijlocul tronsonului de tub supus incercarii;

-rezistenta la coroziune, este un indicator complex, care caracterizeaza stabilitatea la coroziune in puncte, intercrystalina sau in zonele de microfisuri produse de tensiuni, a tubului flexibil, in conditiile actiunii diferitilor agenti corozivi. Este un indicator legat mai ales de calitatea materialului folosit sau de calitatea acoperirilor efectuate in procesul de fabricare.

Intregul ansamblu de indicatori tehnico-functionali ai tuburilor flexibile face obiectul unor garantii de fabricatie impuse prin norme interne de fabricatie specifice fiecarui tip.

Verificarea indeplinirii cerintelor valorice pentru fiecare dintre acestea se face utilizand dispozitive sau standuri specifice, iar verificarea se aplica unei parti sau intregii productii, in mod specific fiecarui indicator.

2.5 Simbolizarea si tipuri principale de tuburi flexibile

fabricate in tara si in strainatate

Simbolizarea tuburilor flexibile este justificata de diversitatea mare de tipodimensiuni in care acestea se fabrica si de necesitatea utilizarii unui limbaj comun intre fabricanti si utilizatori.

In cazul tuburilor flexibile simbolizarea este alfanumerica si exprima in sinteza cantitativ si/sau calitativ caracteristicile principale ale tuburilor flexibile ca: sectiunea spirei, natura materialului de etansare, sectiunea tubului, tipul de fabricatie, rigiditatea, diametrul nominal, lungimea nominala, protectia exterioara etc.

In continuare se prezinta cateva tipuri de tuburi flexibile, fabricate in tara sau importate.

2.5.1 Tuburi metalice flexibile de protectie, simbol SP, a caror sectiune transversala este rotunda, iar spirele sunt formate din doua renuri regulate, sub forma de patrulater, executate la lungimi arbitrare, fara racorduri la capete (numite metraj) sau fabricate la lungimi fixe cu racorduri la capete.

Schematic codificarea acestor tuburi este prezentata in fig. 2.4. Pentru tipul renurii simbolurile utilizate sunt P, D, T, P1, dupa cum patrulaterul este patrat, dreptunghi, trapez sau paralelogram.

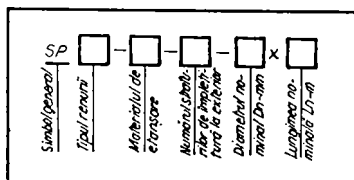


Fig. 2.4

Pentru materialul de etansare se utilizeaza simbolurile B, C, C1, A sau P, dupa cum etansarea se face cu bumbac, cauciuc, canepa, azbest sau snur din material plastic.

2.5.2 Tuburi metalice flexibile pentru presiuni medii, simbol general SR, au constructiv, spirele din doua, patru sau cinci renuri, interiorul tubului fiind neted sau profilat, cu sau fara tesatura la exterior si se fabrica in exclusivitate cu racorduri la ambele capete. Codificarea acestor tuburi se prezinta in fig. 2.5.

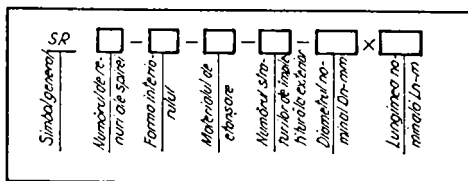


Fig. 2.5

Pentru forma interiorului se utilizeaza literele N sau P dupa cum interiorul este neted sau profilat.

1.5.3 Tuburi metalice flexibile de tip agrafa, simbol general SSA, se fabrica in variante etansate sau neetansate, cu sau fara tesatura metalica la

exterior, cu renurile din semiagrafe dreptunghiulare (simbol D), sau rotunjite (simbol R). Clasificarea acestor tuburi se prezinta schematic in fig.2.6.

2.5.4 Tuburi metalice flexibile cu pereti dubli, simbol general FD, care se obtin din combinatia a doua tuburi, functie de proprietatile impuse tubului rezultat. Schematic, codificarea acestor tuburi se prezinta in fig.2.7.

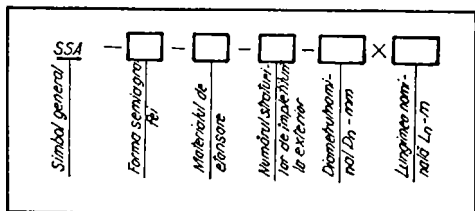


Fig. 2.6

De remarcat utilizarea pentru interior a tuburilor din benzi late, simbol BL.

2.5.5 Tuburi metalice cu sectiunea poligonala, simbol general FP, si antitorsionale, se obtin prin

infasurarea pe un profil poligonal in forma de elice, din tuburile prezentate anterior. Codificarea acestor tuburi, cu semnificatia fiecarui simbol este prezentata in fig.2.8.

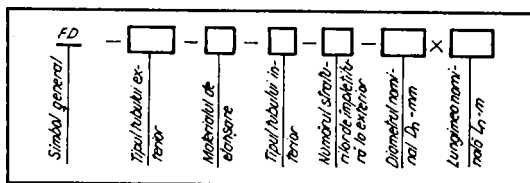


Fig. 2.7

2.5.6 Tuburi metalice flexibile din benzi late pentru protectie, simbol general PF, numite si Kopex, sunt tuburi fabricate din unul sau mai multe straturi

metalice, avand la interior, sau nu, un strat izolant (simbol I), si avand sau nu capacitatea de a prelua sollicitari mecanice (cu rezistenta mecanica, simbol R).

Codificarea este prezentata in fig.2.9.

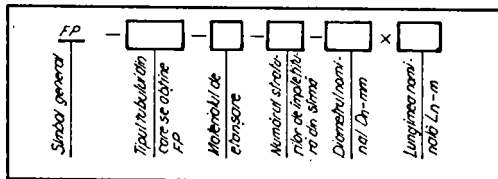


Fig. 2.8

2.5.7 Tuburi flexibile din tevi ondulate sau benzi sudate, simbol general O, destinate, de regula, unor regimuri de lucru cu valori ridicate ale presiunii

nominale, putand fi fabricate si cu pereti dubli, intotdeauna avand unul pana la trei straturi de impletitura din sarma la exterior. Codificarea este prezentata in fig.2.10.

Pentru diferitele variante constructive simbolizarile sunt dependente de traiectoria undulatiilor (OS-ondulatii spiralate, OC-ondulatii paralele si concentrice, OC-MT-ondulatii paralele si concentrice pentru membrane termostate, OSS-ondulatii in spirala din

benzi sudate).

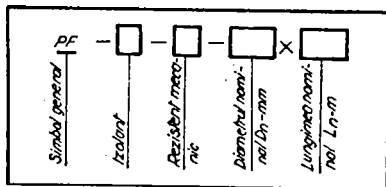


Fig. 2.9

2.5.8 Tuburi flexibile din sarma profilata, simbol general SSP, fabricate in variante cu pereti simpli si/sau dubli, cu sau fara impletitura textila sau metalica la exterior. Sectiunea sarmei poate fi patrata (simbol P), rotunda (simbol R), semicirculara (simbol SC), sau sub forma de pana (simbol P_n). In cazul peretilor dubli se foloseste simbolul D. Schema de codificare se prezinta in fig.2.11.

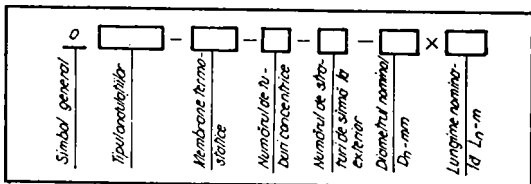


Fig. 2.10

2.5.9 Tuburi flexibile cu remanenta, pentru sustinerea lampilor de iluminat local si a microfoanelor, simbol general FR, a caror codificare se prezinta in fig 2.12, fabricate din sarma

profilata, cu pereti dubli si remanenta, pot sustine in pozitie prestabilita o greutate mai mare.

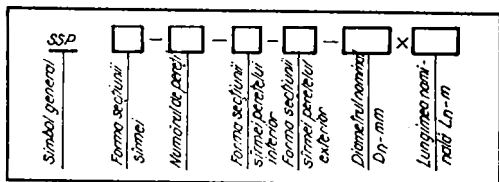


Fig. 2.11

2.5.10 Tuburi flexibile pentru conditiile de lucru la sculele masinilor unelte, simbol general RA, se executa in variante, functie de lungime. Schema de codificare este prezentata in

figura 2.13.

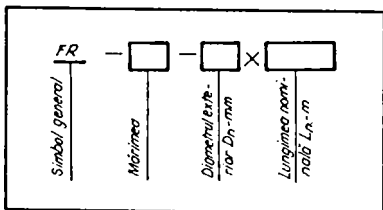


Fig. 2.12

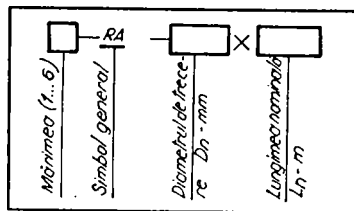


Fig. 2.13

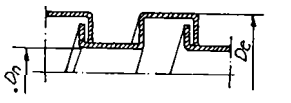
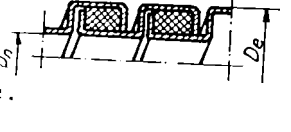

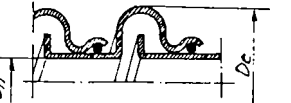


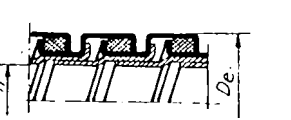
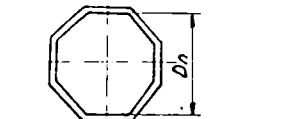
2.6 Particularitati privind domeniile de utilizare a tuburilor flexibile

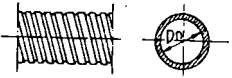
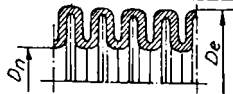
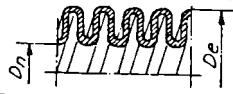
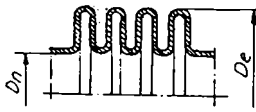
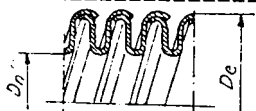

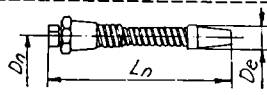
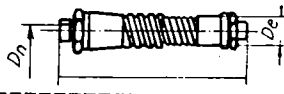
Diversitatea domeniilor de utilizare pentru tuburile flexibile si, implicit, de conditii de lucru, precum si diversitatea de proprietati constructive si functionale, au determinat, cu tot gradul ridicat de generalitate, o serie de particularitati constructive si

functionale pentru fiecare tip de tub flexibil, fapt ce implica o oarecare specializare a fabricatiei tuburilor, corelata cu domeniul si scopul utilizarii.

In tabelul 2.1 se prezinta principalele tipuri constructive de tuburi metalice flexibile, potrivit simbolizarii prezentate in paragraful 2.5, cu reprezentarea schematica a sectiunii si principalelor domenii de utilizare recomandate pentru fiecare tip.

Tabelul 2.1

Nr. crt.	Simbol	Recomandari pentru utilizare	Sectiune prin spira
1	2	3	4
1	SPD	Protecția mecanică și la temperatura a cablurilor și conductorilor electrici și furtunelor parcurse de lichide ($T_{max.}=600\text{ }^{\circ}\text{C}$)	
2	SPD-A(B,C)	Idem. Conducerea și scurgerea liberă a lichidelor. Transportul pneumatic al prafului, tălajului etc. Evacuarea gazelor arse, vaporilor etc. ($T_{max.}=600\text{ }^{\circ}\text{C}$)	
3	SR2N-A(B,C)	Idem. Construcția arborilor flexibili ($T_{max.}=600\text{ }^{\circ}\text{C}$)	
	SR4N-A(B,C)	Conducerea lichidelor și gazelor sub presiune ($T_{max.}=600\text{ }^{\circ}\text{C}$)	
5	SR5P-A(B,C)	Idem 4 ($T_{max.}=600\text{ }^{\circ}\text{C}$)	
6	SSA-A	Transportul materialelor lichide ca: asfalt cald, produse petroliere, produse chimice, lichide inflamabile ($T_{max.}=600\text{ }^{\circ}\text{C}$)	
7	FD-SPD-A-BP FD-SSA-A-BL	Transportul pneumatic al legumelor, cerealelor, prafulor, materialelor granulare, ciment, nisip etc. Construcția arborilor flexibili și traps ortoarelor cu ($T_{max.}=400\text{ }^{\circ}\text{C}$)	
8	FP	Eșaparea gazelor arse. Realizarea instalațiilor de încălzire la autovehicule. Transportul vaporilor, spanului, prafului etc. ($T_{max.}=400\text{ }^{\circ}\text{C}$)	

1	2	3	4
9	PF	Izo'area s' pro'ejarea cablurilor electrice in spatii uscate (Tmax.=80 °C)	
10	OC	Transportul lichidelor si gazelor la presiuni si temperaturi ridicate (-196 °C < T < 600 °C)	
11	OS	Idem 10	
12	OC-MT	Compensatoare de dilatatie. Elemente in compunerea traductoarelor de presiune sau temperatura (-196 °C < T < 600 °C)	
13	OSS	Transportul lichidelor si gazelor la presiuni si temperaturi ridicate (-196 °C < T < 600 °C)	
14	SSP	Constructia arborilor flexibili de actionare si comanda (Tmax.=100 °C)	
15	RA	Conducerea lichidelor de racire la sculele masinilor de prelucrare prin aschiere	
16	FR	Sustinerea lampilor de iluminat local, a microfoanelor etc.	

O analiza a celor prezentate sintetic in acest tabel conduce la concluzia existentei in multimea tipurilor constructive de tuburi flexibile, atat de tipuri cu arie raspandita de utilizare, dar, in acelasi timp si a unor tipuri specializate strict pe anumite domenii de utilizare.

2.7 Corelatii intre material-tehnologie de executie si conditii de exploatare a tuburilor flexibile

Fara a patrunde de fiecare data in intimitatea tuturor detaliilor privind interdependentele existente intre material, tehnologie de executie si conditiile de exploatare a tuburilor flexibile, in continuare se prezinta doar cateva idei legate de elemente esentiale ale acestora.

La o privire generala, s-ar putea imparti tuburile flexibile in doua mari familii, care se deosebesc prin conceptie si utilizari:

-tuburi agrafa (care folosesc frecvent pentru etansare materiale nemetalice, intr-o sectiune longitudinala printr-un segment de tub putandu-se observa discontinuitati ale materialului metalic), si tuburi flexibile ondulate. Tuburile agrafa se fabrica, de regula, dintr-o banda metalica profilata, laminata la rece, infasurata in asa fel, incat, in functie de profilul format de spira, banda se ajusteaza pe ea insasi intr-o elice. Aceasta este esenta principiului de fabricatie care da tuburilor metalice flexibile si capacitatea de curbare. Etanseitatea acestui tub este asigurata printr-un snur (fir), linear fixat simultan cu fabricatia in spatiul liber dintre spire.

Materiile prime utilizate pentru fabricatia tuburilor metalice flexibile sunt diferite si includ atat otelurile (poli-, galvanizate, nichelate, cadmate, cromate, etc.), dar si alte aliaje ale fierului (crom-nichel, tungsten, alte feroaliaje), sau alama, bronzul, tombacul, aluminiul si aliajele sale, argintul, etc.).

Materialele de etansare frecvent utilizate sunt: canepa, bumbacul, azbestul, materiale plastice.

Este evident ca prima influenta asupra indicatorilor de calitate a tuburilor flexibile cum ar fi: flexibilitatea, rezistenta (soliditatea), interna si externa, rezistenta chimica si termica, o au materiile prime (modul de alegere), adaptarea profilului spirei si a etansarii functie de necesitati. Nu este insa de neglijat influenta pe care o are si fabricatia asupra unui ansamblu de indicatori cum ar fi: sfera de utilizare, ansamblul de rezistente exterioare, rezistenta la strivire, la deformare a diametrului, mobilitatea, tinuta la temperatura etc.

Sub forma neetansata tuburile sunt folosite ca elemente de protectie. In cazul protejarii cablurilor electrice, de regula, sunt imbracate cu un invelis plastic, aplicat la cald, care asigura o protectie completa la umiditate si agenti corozivi de orice tip. De asemeni, mai sunt utilizate pentru protectia conductelor suplute de orice tip, ca elemente decorative, tuburi semirigide etc.

Tuburile usor etansate sunt frecvent utilizate pentru aspiratie (gaze de esapament, fum, praf), in zonele solicitate la vibratii, ventilatie, ca organe de transport (in acest caz avand prevazuta in interior o banda infasurata elicoidal cu rol de protectie la uzura). In acest din urma caz, mai ales pentru materiale in stare lichida sau gazoasa, trebuie asigurata constructiv o suprafata lisa, pentru a evita, in cazul razelor de curbura mici, marirea turbulentei curgerii (cazul curgerilor cu viteze ridicate).

Tot in familia tuburilor agrafa sunt incluse tuburile semirigide si rigide obtinute prin adaugarea unei benzi (sarme) metalice suplimentare, tubul putand lua diferite forme pe care apoi le pastreaza. Sunt folosite ca suportii pentru lampi, microfoane, sisteme optice sau pentru conducerea lichidelor de racire la sculele masinilor unelte.

Tuburile ondulate sunt concepute si executate pentru a raspunde exigentelor actuale ale tehnicii legate de conditii foarte stricte cum ar fi: rezistenta la presiune, etanseitate la vid, tinuta la temperatura, rezistenta sporita la coroziune. In principiu, fabricarea se realizeaza pornind, fie de la tevi (lamine sau sudate), care sunt ondulate prin deformare plastica (ambutisare hidraulica sau mecanica, profilare etc.), fie de la benzi rulate si curbate, apoi sudate longitudinal sau etansate prin acoperire cu un invelis exterior de protectie.

Acest principiu de fabricatie le confera rezistenta la presiune si suplete. Tuburile ondulate inelare, fata de cele spiralate, prezinta avantajul atenuarii efectului loviturilor de berbec in cazul tuburilor de lungimi mari.

Flexibilitatea tuburilor, apartinand acestei categorii, se poate mari, fie prin marirea densitatii de ondulatii pe unitatea de lungime, fie prin marirea inaltimii undulatiilor. Diminuarea rigiditatii materialului permite, de asemeni, o crestere a flexibilitatii, dar in detrimentul rezistentei la presiune. Tot pentru a mari rezistenta la presiune, dar mai cu seama, pentru a realiza protectia mecanica la soc sau alte sollicitari exterioare, tuburile se pot consolida cu ajutorul unei sau mai multor trese exterioare, de regula, din acelasi material ca si tubul, dar sunt si cazuri de materiale diferite.

Tuburile ondulate au, din constructie, tendinta de a reveni elastic la pozitia de repaus, tendinta ce poate fi favorizata de presiunea interna din tub.

In cazul in care amplitudinea maxima este cunoscuta pentru miscarea de compensare, se poate alege tubul flexibil care sa permita cea mai mica raza de curbura compatibila cu aceasta miscare.

Prin comparatie cu tuburile agrafa, tuburile ondulate prezinta avantajul unei etanseitati perfecte si al unei rezistente ridicate la presiune, iar faptul ca flexibilitatea este inferioara limitei de elasticitate, permite utilizarea lor pentru amortizarea oscilatiilor de frecventa ridicata si amplitudine scazuta (tuburile

antivibratorii).

Singure sau in combinatie, tuburile ondulate pot fi utilizate ca elemente compensatoare intre conducte rigide. In unele cazuri se poate scade sub curbura minima autorizata, dar cu afectarea corespunzatoare a duratei de viata si o uzura prematura a materialului.

Tuburile din otel inox pot fi utilizate pana la temperaturi de 600 °C (depasita in cazul unor materiale speciale), sau la valori scazute, specifice tehnologiilor criogenice.

2.8 Tehnologii de fabricatie si tipuri noi de tuburi flexibile

O abordare a problematicii optimizarii tehnologiei de fabricatie a tuburilor flexibile nu poate fi completa fara tratarea aspectelor cele mai noi ale perfectionarii tehnologiilor de fabricare si a tipurilor de productie din acest domeniu.

Fara indoiala ca, perfectionarea continua a tehnologiilor de fabricatie a tuburilor flexibile a fost determinata, pe de o parte de cerintele crescande fata de parametrii de utilizare a tuburilor flexibile, iar pe de alta parte, de conditiile cresterii eficientei (sub multiple aspecte economice, ergonomice, ecologice etc.,), printr-o marire simultana a flexibilitatii si disponibilitatii sub toate aspectele pe care acestea le implica.

O investigare in aceasta directie conduce la concluzii partiale legate de folosirea in prezent a unor materiale noi, cu precadere nemetalice (materiale plastice organice in diverse forme (folie, injectate, fibre etc.), materiale anorganice de sinteza, la randul lor in diferite forme, materiale minerale etc.), utilizate singure sau in compozitii (omogene, dar mai frecvent eterogene), cu materialele metalice considerate de acum clasice, astfel incat, sa se asigure produsului rezultat, proprietati deosebite, in stransa corelare cu cerintele procesului de lucru.

Pe de alta parte, perfectionarea tehnologiilor de fabricare a tuburilor flexibile este indreptata si in directia utilizarii pe scara larga a unor metode si procedee noi, care sa permita o valorificare superioara a materiilor prime si materialelor, concomitent cu perfectionarea acestora, atat in ce priveste parametrii tehnologici, cat si materialele auxiliare utilizate in proces.

In privinta tipurilor constructive, s-a trecut la adoptarea unor

profile ale spirei cu repartitii superioare ale starii de tensiuni si deformatii, astfel incat, la acelasi material folosit, caracteristicile de rezistenta mecanica sunt mai bune.

De asemenea, tot in aceasta directie, s-au perfectionat sistemele de asamblare, precum si conceptia globala a tuburilor, un loc aparte revenind de acum tuburilor compozite, reprezentante a ceea ce s-ar putea numi neconventional in fabricarea tuburilor flexibile.

Iata asadar, doar cateva din ratiunile prezentului capitol, care isi propune o incursiune prin aspectele cele mai noi legate de posibilitatile si tendintele actuale in directia perfectionarii productiei de tuburi flexibile.

Pe baza celor investigate pana acum, se prezinta in continuare cateva tipuri reprezentative de tuburi flexibile fabricate prin utilizarea unor tehnologii noi pentru prelucrarea materialelor nemetalice. Intrucat exista, inca, un numar mare de firme specializate numai in producerea straturilor de protectie exterioara utilizate apoi ca semifabricat la fabricarea unor tuburi flexibile cu proprietati deosebite, se prezinta intr-o prima parte cateva materiale de protectie livrate sub forma de tesatura sau imbracatura la anumite diametre, utilizate cu precadere pentru protectia la temperaturi ridicate sau impotriva focului si/sau a agentilor chimici de orice tip (tabelul 2.2).

Tabelul 2.2 prezinta, in mod selectiv, cateva din tipurile de materiale semifabricate utilizate in ultima vreme in protectia exterioara a tuburilor flexibile, dupa cum urmeaza:

-SLEEVING este un semifabricat sub forma de imbracaminte cilindrica destinat cu precadere protectiei tuburilor rigide sau flexibile si cablurilor, realizat din fibra de siliciu, tesuta, cu un continut minim de 96 % dioxid de siliciu, fapt ce ii confera atat rezistenta la temperaturi ridicate, dar si scazute, rezistenta la flacari si la actiunea agentilor chimici. Pentru usurinta montarii este prevazut cu un strat interior, care usureaza lunecarea, degradabil la temperaturi ridicate. Utilizarea acestor tipuri de protectie in situatii de uzura abraziva, reclama masuri suplimentare de protectie de alta natura.

-WOWEN TAPE, este un produs sub forma de banda tesuta din fire de siliciu amorf, utilizata la protectia exterioara a tuburilor flexibile prin infasurare pe acestea. Pentru usurarea manevrarii la montaj si in acest caz, pe partea dinspre tub, este aplicat un strat special, care se descompune la temperaturi ridicate.

Tabelul nr.2.2

Denumirea produs	Cod de productie	Firma produsat.	Grosimea [Inch]	Latimea [Inch]	Diametrul [Inch]	Lungim. [picr.]
SLEEVING	S-H-1/2	AMETEK	0,06	-	1/4-1/2	50*
	S-H-1	AMETEK	0,06	-	3/4-1	50*
	S-H-1 1/2	AMETEK	0,06	-	1 1/4-1 5/8	50*
	S-H-2	AMETEK	0,06	-	1 3/4- 2	50*
	S-H-3	AMETEK	0,06	-	2 1/2-3 1/2	50*
	S-H-4	AMETEK	0,06	-	3 1/2-4 1/2	50*
WOWEN TAPE	WT36CH-1	AMETEK	0,05	1 +/- 1/8	-	100*
	WT36CH-6	AMETEK	0,05	6+0_1/2	-	100*
	WT65CH-1	AMETEK	0,09	1	-	50*
	WT65CH-6	AMETEK	0,09	6+0_1/2	-	50*
ADHESIVE BACKED TAPE	ST84CHAB-1	AMETEK	0,03	1	-	150*
	ST84CHAB-4	AMETEK	0,03	4	-	150*
	ST188CHAB-1	AMETEK	0,054	1	-	75*
	ST188CHAB-4	AMETEK	0,054	4	-	75*
SILICA YARN	Y-40	AMETEK	-	-	0,04	1050*
	Y-50	AMETEK	-	-	0,05	500*

*-la cerere firma poate livra si la alte dimensiuni.

-ADHESIVE BACKED TAPE este tot un produs sub forma de banda, care are aplicat pe o parte un sistem adeziv, care faciliteaza protectia prin infasurare a tubului, stratul adeziv descompunandu-se la temperaturi ridicate, la cerere firma producatoare putand livra si adezivi care nu sunt termodegradabili.

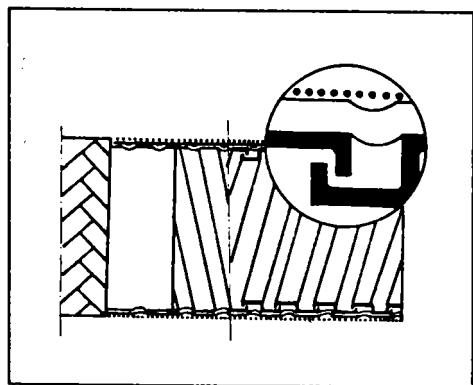
-SILICA YARN este un produs sub forma unui fir tesut din filamente subtiri de sticla amorfa, recomandat mai ales pentru tuburile de diametre mici, care trebuie sa reziste la temperaturi inalte, tensiuni electrice si efecte combinate ale diferitelor substante corozive simultan. La cerere, firul poate fi acoperit cu un strat de politetrafluoroetilena (PTFE), pentru imbunatatirea proprietatilor de utilizare si montaj.

In continuare se vor analiza cateva tipuri constructive repre-

zervative de tuburi flexibile din materiale nemetalice sau compozite, specificandu-se, de fiecare data, elementele constructive caracteristice, parametrii functionali garantati de firma producatoare, precum si domeniile de utilizare pentru care au fost concepute.

2.8.1. Tuburi flexibile compozite reprezinta un domeniu de tranzitie de la tuburile metalice la cele nemetalice, reunind avantajele materialelor metalice (stabilitate termica mai buna la temperaturi ridicate, simplitatea tehnologiei de executie, caracteristici globale de rezistenta mecanica mai bune, etc.), cu cele ale materialelor nemetalice (pret de cost scazut pentru aceleasi proprietati, rezistenta mai buna la actiunea unor agenti corozivi, a apei si a altor substante chimice, rezistenta si rigiditatea dielectrica etc.).

Corelat cu tehnologia de executie, sunt alcatuite, de regula, din unul sau mai multi pereti metalici, intre care se intercaleaza cate un (sau mai multi) perete nemetalic, dispunerea straturilor fiind corelata cu domeniul de utilizare al tuburilor. Cel mai simplu model de tub compozit este prezentat in fig.2.14, fiind alcatuit dintr-un perete interior de tip SPD, din otel galvanizat, un strat de protectie gros de (0,5...1,5) mm din PVC continand VINNYLAN pentru imbunatatirea stabilitatii termice si un strat de protectie exterioara din tesatura de fire de otel acoperite galvanic.



F g. 2.14

Un astfel de tub este folosit pentru protectia cablurilor electice in medii umede, asigurand, in acelasi timp, protectia la alti agenti chimici si la temperaturi cuprinse intre (-25...+100) °C (in impulsuri pana la +160 °C).

Denumirile comerciale sunt diverse, ca si proprietatile de utilizare, firmele producatoare uzand fie de sisteme de simbolizare care se refera la materialele folosite in straturi (tip MS-PVC-DU (Schlemmer), adica metal-PVC-imbracatura metalica de protectie etc.), fie un simplu numar de ordine (LA typ-5 EFE, urmat de o litera care indica tipul materialului de etansare folosit eventual la peretele metalic (Lagra Electrotehnic), tip Sii , unde

ii reprezinta doua cifre (Richard Adams), Parflex (Parker-Ermeto) etc.). Presiunile de lucru la astfel de tuburi pot ajunge pana la 350 bar, dimensiunile geometrice sunt diferite, conform standardelor europene sau americane, functie de producator.

2.8.2. Tuburi flexibile armate, sunt actulmente cele mai folosite tipuri de tuburi flexibile din materiale nemetalice, avand aplicatii in toate domeniile de utilizare semnificative ale tuburilor flexibile. Functie de materialul sau materialele si de tehnologia de executie a armarii, se prezinta cateva tipuri reprezentative din fabricatia mondiala actuala:

2.8.2.1. tuburi flexibile armate cu forma exterioara de filet, si forma interioara neteda, sunt tuburi la care armatura, interioara sau exterioara, poate fi dintr-o spira metalica (sau nemetalica), acoperita (galvanic sau placata cu o masa plastica), sau nu, iar stratul (straturile) de baza (dispus interior, exterior, sau de ambele parti, cu sau fara alte acoperiri de protectie suplimentar aplicate) aplicat in asa fel, incat forma interioara a tubului sa fie neteda, iar cea exterioara sa poata fi incadrata in conditiile unui filet normalizat. Pentru situatii deosebite, tubul poate fi protejat la exterior cu o tesatura textila sau metalica. Iata cateva tipuri reprezentative:

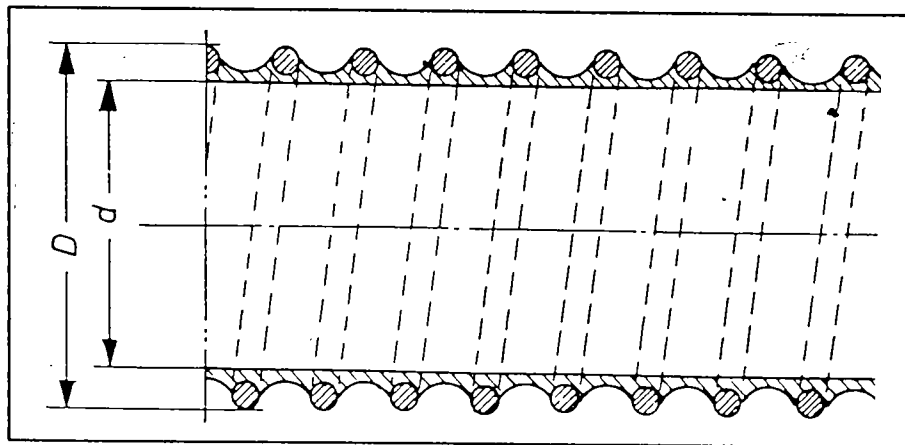


Fig. 2.15

-tuburi de secțiune rotunda, cu o armatura sub forma unei spire din plastic tare cu diametrul între (0,5...1,3) mm (fig.2.15), folosite pentru protecția cablurilor electrice (denumite și KABELDUC), la temperaturi de lucru cuprinse între (-20...+80) °C, intermitent pînă la 120 °C, cu diametrul interior între (7...48) mm livrate sub forma

de metraj, in culori si nuante diferite, pe marimi ale filetelor intre PG7 si PG48.

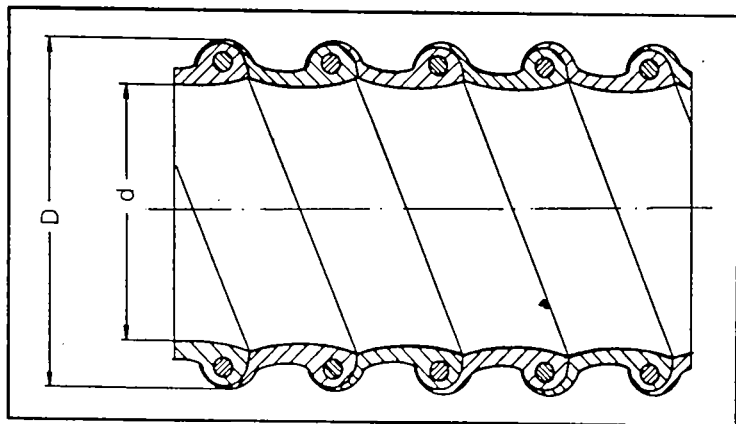


Fig. 2.16

-tuburi flexibile din plastic cu exteriorul ondulat in forma de filet si interiorul neted, de sectiune rotunda, armat cu o spira din oțel galvanizat sau nu),

diametrul sarmei fiind cuprins intre (1,3...2,5) mm, iar grosimea stratului de baza intre (0,8...3) mm, diametrul tubului fiind cuprins intre (20...500) mm, raza minima de indoire, corelat cu diametrul, fiind cuprinsa intre (37...810) mm (la 20 °C), temperatura de utilizare fiind cuprinsa intre (-20...+70) °C, tuburile de acest tip, denumite uneori AIRDUC, fiind folosite cu precadere pentru transportul materialelor mono- sau multifazice ca: gaze de orice tip la presiuni joase sau medii, lichide, evacuarea spanului la deservirea masinilor unelte, transportul materialelor granulare in industriile de proces si in agricultura (fig. 2.16;

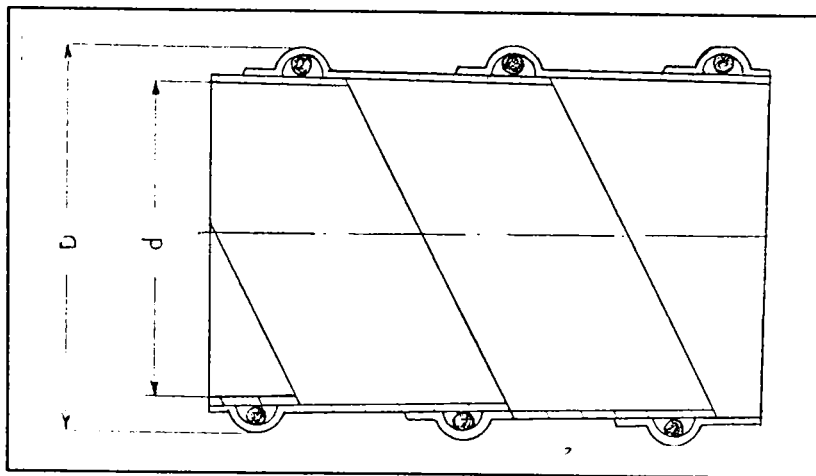


Fig. 2.17

-tuburi flexibile cu exteriorul ondulat in forma de filet si interiorul neted, cu armatura dintr-o spira de oțel inoxidabil sectiunea

tubului fiind rotunda. La exterior tubul este acoperit cu un strat subtire de PVC antistatizat, iar in interior tubul este acoperit cu un strat tot subtire, din plastic rezistent la coroziune.

Temperatura de lucru este cuprinsa intre $(-40...+80) ^\circ\text{C}$, gama de diametre cuprinsa intre $(20...500)$ mm, folosite, cu precadere la transportul lichidelor inflamabile si, in acelasi timp, cu activitate coroziva intensa. In fig.2.17 se prezinta un exemplu din fabricatia firmei RICHARD ADAM (Germania), tipul HL-602;

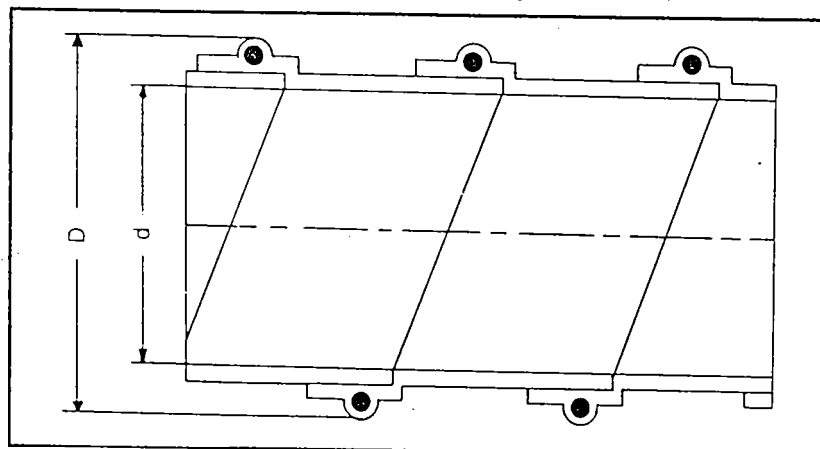


Fig. 2.18

-tuburi flexibile din plastic cu exteriorul ondulat sub forma de filet, de sectiune rotunda, cu interior neted,

protejat special la coroziune, armat cu o spira din sarma de otel inoxidabil de diametre cuprinse intre $(1,6...3)$ mm, antistatizat, grosimea stratului de baza din plastic moale fiind de $(1,7...2)$ mm, temperaturi de lucru intre $(0...+70) ^\circ\text{C}$, gama de diametre intre $(30...400)$ mm, raza minima de indoire respectiv intre $(75...1000)$ mm la $20 ^\circ\text{C}$, utilizate cu precadere la transportul gazelor si lichidelor inflamabile sau al mediilor explozive, rezistenta electrica < 1 Mohm, prezentat sub forma unui exemplu in fig. 2.18 pentru tubul CCAI-603 (RICHARD ADAM);

-tuburi flexibile din doua straturi, cu stratul din interior neted din banda de neopren armat cu tesatura din fibra de sticla, iar stratul exterior ondulat sub forma de filet tot din neopren armat cu tesatura din fibra de sticla, armatura de rigidizare a tubului fiind o spira din otel galvanizat, stratul exterior fiind asigurat cu un fir din material ignifug, infasurat peste acesta.

Tuburile de acest tip sunt folosite la transportul lichidelor si al gazelor inflamabile si/sau toxice, inclusiv la temperaturi foarte scazute sau ridicate (domeniu termic $(-55...+150) ^\circ\text{C}$, cu posibilitati

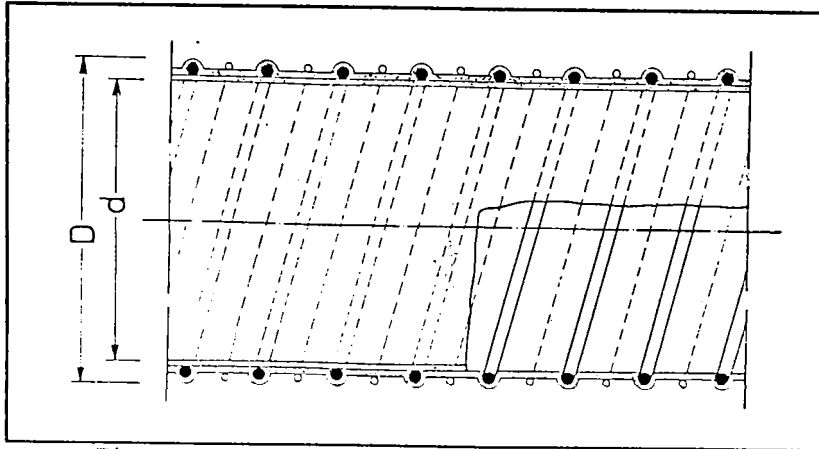


Fig. 2.19

d e
 majorare a
 temperatu-
 rilor cu
 50 %
 pentru
 solicitari
 intermi-
 tente). Un
 exemplu
 e s e
 prezentat
 i n
 fig.2.19

prin tubul flexibil N2-621 fabricat de RICHARD ADAM;

2.8.2.2. tuburi flexibile armate cu interiorul si exteriorul netede, alcatuite dintr-o armatura de forma unei spire din otel inoxidabil, iar stratul de baza din PVC moale, sectiune rotunda, temperaturi de lucru intre $(-20...+70) ^\circ\text{C}$, diametre nominale intre $(4...30)$ mm, raze minime de indoire intre $(20...100)$ mm, presiuni de lucru pina la 15 bar, transparente, de regula. Un exemplu este tubul K-ND 15 al firmei RICHARD ADAM prezentat in fig.2.20.

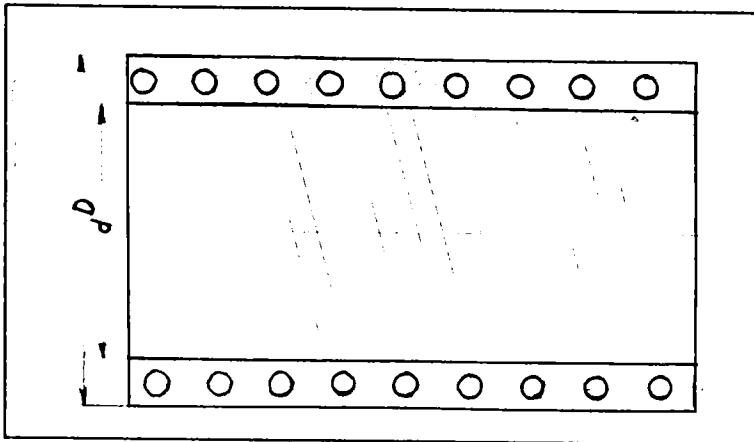


Fig. 2.20

Tot in
 a c e a s t a
 categorie pot
 fi incluse
 tuburile
 flexibile de
 tip ISODUC, la
 care stratul
 de baza este
 din PVC moale
 iar armatura
 dintr-o spira
 de plastic
 t a r e ,

sectiunea este rotunda, temperaturile de lucru sunt cuprinse intre $(-5...+70) ^\circ\text{C}$, diametrele nominale intre $(10...49)$ mm, razele minime de indoire intre $(56...224)$ mm, tuburi folosite pentru protectia cablurilor electrice. Un exemplu este prezentat in fig.2.21.

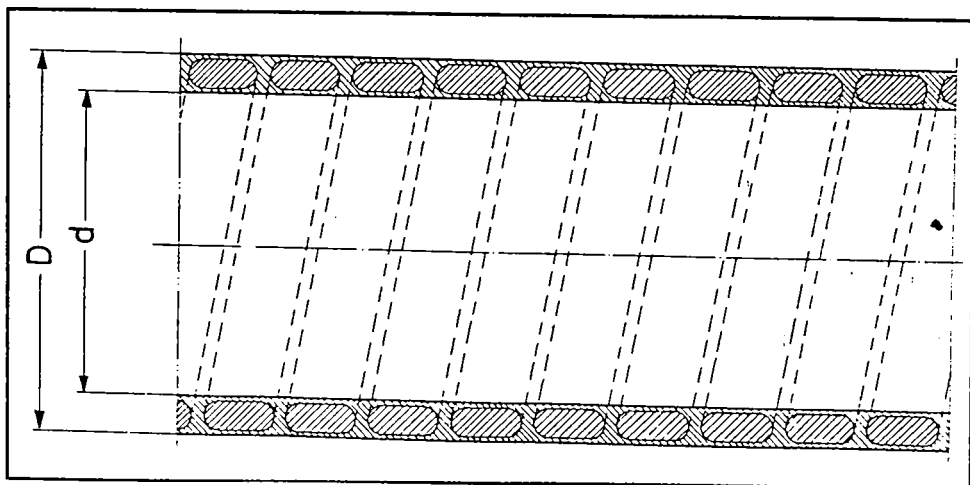


Fig. 2.21

2.8.2.3. tuburi flexibile din mase plastice armate, avand interiorul si exteriorul ondulat, care la randul lor pot fi de mai multe tipuri:

-tuburi flexibile cu exteriorul ondulat sub forma de filet si interiorul ondulat, cu armatura sub forma unei spire din otel galvanizat acoperit de materialul plastic, diametrul sarmei fiind cuprins intre (1,2...1,8) mm, de sectiune rotunda, grosimea peretelui din material plastic (poliester-elastomer, poliuretan, PVC dur etc.), intre (0,8...1,5) mm, folosite, de regula, pentru transportul gazelor agresive la temperaturi intre (-40...+125) °C, un exemplu fiind tubul AIRDUC PEM SL-351, prezentat in fig. 2.22;

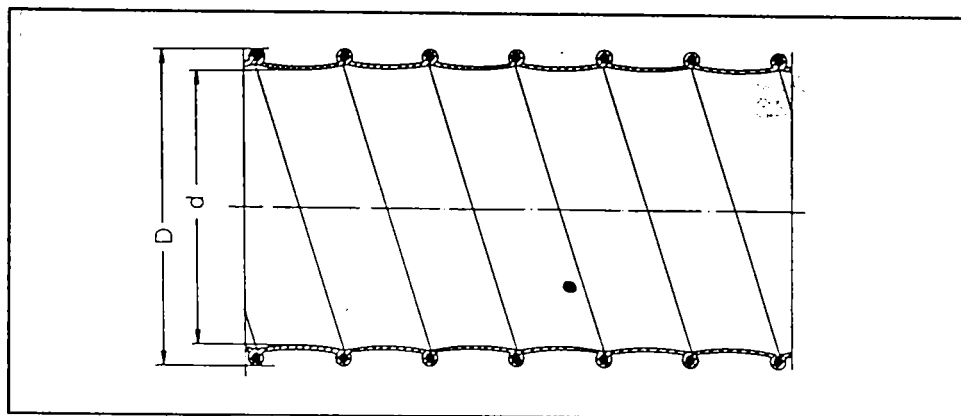


Fig. 2.22

-tuburi flexibile ondulate la exterior sub forma de filet si cu

ondulatii interioare oarecare, de sectiune rotunda, la care armarea se face cu o spira din sarma de otel de diametru (0,8...2,5) mm, acoperita cu un plastic dur, acoperirea cu materialul de baza (plastic moale de cele mai multe ori), facandu-se din exterior, fara a imbraca complet armatura.

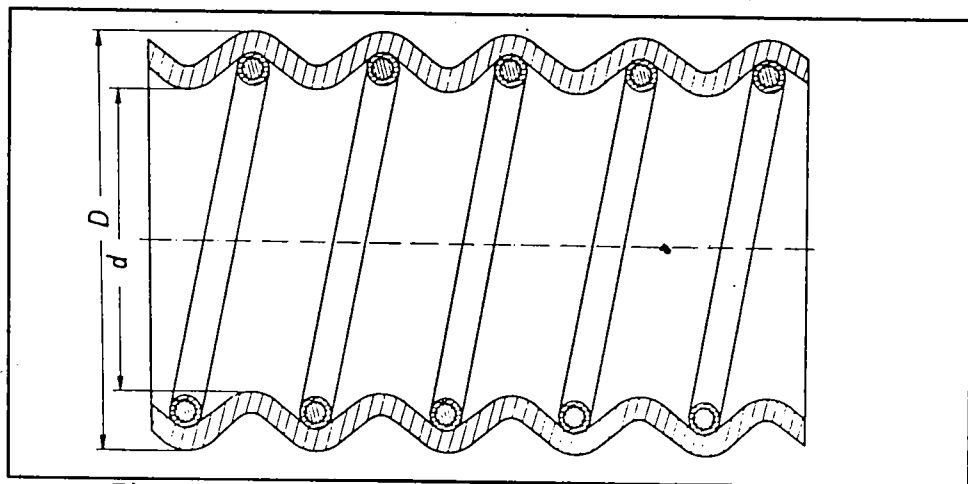


Fig. 2.23

Grosimea stratului de baza este de (0,4...1,1) mm, gama de diametre cuprinsa intre (7...55) mm, pentru tuburile cu ondulatii rare, respectiv intre (13...54) mm, pentru tuburile cu ondulatii dese, razele minime de indoire intre (15...95) mm, respectiv (19...64) mm, egale cu diametrele exterioare in cazul ondulationilor dese.

Ambele tipuri sunt folosite pentru protectia cablurilor electrice, in fig.2.23 fiind prezentat un exemplu de tub cu ondulationi rare (WELLFLEX), iar in fig. 2.24 un exemplu de tub cu ondulationi dese (WELLFLEX-STRETCH);

-tuburi flexibile ondulate exterior sub forma de filet si interior oarecare, cu armarea de rezistenta sub forma unei spire din otel galvanizat, materialul de baza fiind dintr-o banda infasurata din plastic siliconic armat cu tesatura din fibra de sticla, cu domeniul temperaturilor de lucru intre (-70...+250) °C, gama de diametre intre (13...305) mm, raza minima de indoire intre (15...310) mm, fiind recomandate cu precadere in industria alimentara, frigotehnica, automobile, industriei de proces pentru transportul gazelor la temperaturi ridicate si/sau coborate. Un exemplu este tubul S1-641, prezentat in fig.2.25.

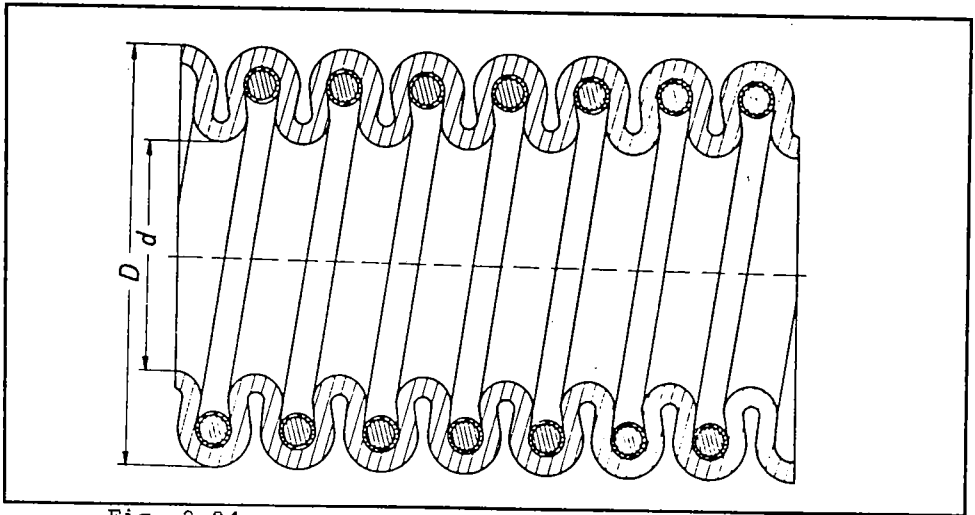


Fig. 2.24

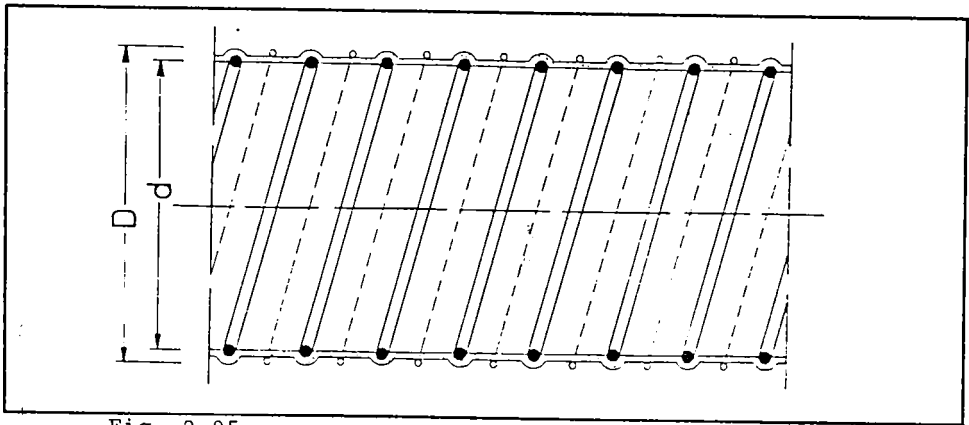


Fig. 2.25

2.8.3. Tuburile flexibile din mase plastice narmate, sunt realizate, de regula, dintr-un material plastic tare, ondulat sub forma spiralata sau paralela, sectiunea spirelor fiind rotunda, trapezoidala sau oarecare, tuburile de acest tip fiind folosite pentru transportul gazelor sau pentru protectie, in unele cazuri aplicandu-se in interior sau in exterior straturi suplimentare de protectie chimica speciala. In fig. 2.26 se prezinta de exemplu tubul PMAFLEX-PIS, din poliamida, cu ondulatii paralele, sectiune trapezoidala a spirei, temperaturi de lucru intre $(-50...+150)^{\circ}\text{C}$, diametre intre $(6,5...46,5)$ mm, raze de indoire intre $(15...70)$ mm pentru sollicitari statice, respectiv $(40...200)$ mm, pentru sollicitari dinamice.

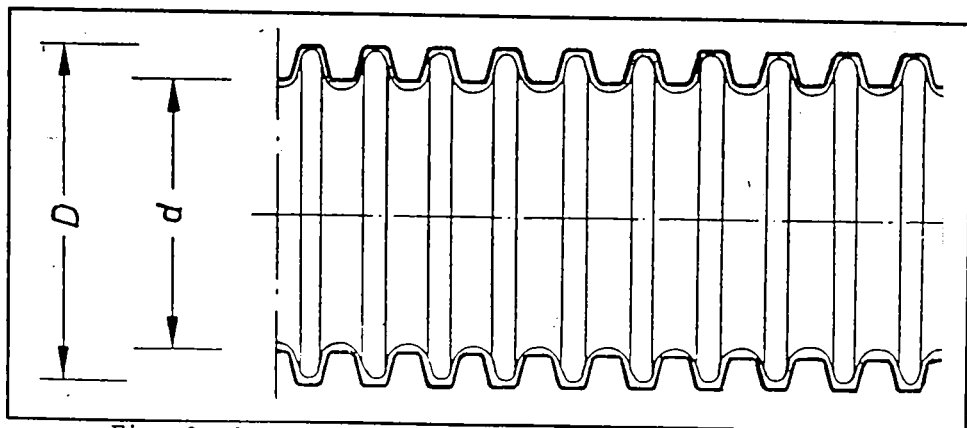


Fig. 2.26

Fara indoiala ca, aceste tipuri reprezentative nu au reusit sa acopere decat o parte din domeniul tuburilor flexibile din material plastic fara a aborda si alte domenii ale materialelor nemetalice cum ar fi: tuburile flexibile din hirtie, din caciuc, din materiale minerale etc., care nu fac obiectul prezentului studiu. Presentarea de fata si-a propus in primul rand un studiu care sa permita asimilarea cat mai curand in tara a fabricarii tuburilor flexibile din materiale plastice sau combinatii ale acestora cu materialele metalice.

3. CONTRIBUTII PRIVIND DETERMINAREA UNUI MODEL SISTEMIC GENERALIZAT PENTRU PROCESUL TEHNOLOGIC DE FABRICATIE A TUBURILOR METALICE FLEXIBILE

3.1 SISTEMUL GENERALIZAT DE ACTIUNE TEHNOLOGICA LA FABRICAREA TUBURILOR FLEXIBILE

Avand ca baza observatiile prezentate in capitolul precedent si bibliografia [43] [44], se poate intocmi o schema logica pentru sistemul generalizat de actiune tehnologica la fabricarea tuburilor flexibile, prezentata in figura 3.1.

Schema prezentata tine cont de faptul ca, in procesul de fabricare a tuburilor flexibile, veriga de baza este axata pe metoda tehnologica de deformare plastica, fiind insotita de o metoda din categoria celor de asamblare (de regula prin sudare sau speciala), cu grade diferite de demontabilitate.

Analiza schemei prezentate in figura 3.1 conduce, pentru modelul intrari-iesiri, la urmatoarele concluzii:

-A. INTRARILE, sunt reprezentate de urmatoarele componente:

1. Intrarea substantiala, reprezentata de materialele semifabricate Mk, care servesc atat pentru constructia peretilor tubului, Mk1, metalice si/sau nemetalice, sau pentru etansare, Mk2. Pentru materialul folosit la confectionarea peretilor tubului proprietatile (caracteristicile) esentiale sunt: plasticitatea, rezistenta la deformare si uneori sudabilitatea (cazul tuburilor sudate), iar pentru materialul de etansare (textil, azbest, cauciuc, PVC, Cu moale etc.), rezistenta la rupere, elasticitatea, rezistenta la deformare.

Aceste proprietati tehnologice sunt proprietati extrinseci, care depind de conditiile de lucru (temperatura, grad de deformare, stare locala de tensiuni si deformatii data de sectiunea spirei si in final de tipul tubului flexibil).

Cu statut dublu, intrarea substantiala include si ansamblul proprietatilor care se vor regasi si in iesire (identice sau modificate intr-o masura mai mare sau mai mica), sub forma proprietatilor de utilizare, cum ar fi: rezistenta mecanica

rigiditatea (apreciata prin raza minima de indoire, numarul de indoiri pana la spargere), rezistenta la uzura, refractaritatea, stabilitatea termica, rezistenta la coroziune, capacitatea de etansare (presiunea de spargere, presiunea de lucru (nominala)) etc.

2. Intraerea energetica, este definita prin energia primara, in acest caz, energie electromagnetica. Energia de efect (secundara), este, intotdeauna, cel putin mecanica si, uneori, termica (cazul asamblarii prin sudare cand energia termica este convertita din energie electrica direct sau intermediata de fascicule radiante).

Transmiterea energiei de efect se poate face catre semifabricat in mai multe moduri:

a) prin generarea unei stari de tensiuni in zona de lucru in doua moduri distincte:

-prin interactiune dinamica a sculelor (agentilor de deformare) cu semifabricatul;

-prin interactiunea agentilor de deformare cu parti nedeformabile ale semifabricatului si generarea starii de tensiune prin inductie.

In transmiterea energiei de efect este in acest caz caracteristica miscarea relativa intre agentul deformant si semifabricat, miscare care poate fi de doua feluri: liniara si/sau de rotatie, desfasurata dupa unul sau mai multe grade de mobilitate;

b) prin marirea nivelului energiei termice in zona de lucru in mai multe moduri:

-prin contact direct sau mijlocit de arcul electric;

-fara contact direct, prin intermedierea unui fascicol radiant (plasma, laser, fascicul de electroni).

3. Intraerea informationala, reprezentata de informatiile stocate fie in sistemele deformante, de infasurare sau de prelucrare termica, in care informatia este stocata sub forma unor parametri generali si/sau specifici, fie in sculele deformante (agentii finali), in acest caz, esentiala fiind constructia acestora (material si forma geometrica), pentru suprafetele active si miscarea relativa intre scula si semifabricat (definita de complexul de parametri cinematici si dinamici).

B. IESIRILE, sunt reprezentate de produsul rezultat (tubul flexibil), definit la randul lui de un ansamblu de parametri esentiali ca:

1. Tehnologicitatea constructiei, caracteristica, mai ales, etapei de proiectare si determinata, in principal, de consumuri materiale

si de munca vie reduse, cheltuieli reduse legate de utilajul tehnologic (dotarea tehnica), adica simplitatea si siguranta prelucrarii, asamblarii si controlului.

2.Economicitatea produsului, exprimata de o optimizare a raportului intre cheltuielile directe si cele indirecte.

3.Precizia executiei, exprimata, de asemeni, ca o optimizare a raportului intre calitatea necesara si cea realizata prin fabricatie, in conditii impuse de preturile concurentei de pe piata.

4.Siguranta in functionare, exprimata in aceleasi conditii.

5.Parametrii de specificare, care permit corelarea intre destinatia produsului, tehnologia de executie si materialele folosite.

3.2 STRUCTURA SISTEMULUI DE ACTIUNE TEHNOLOGICA DIRECTA

Din cele prezentate pana acum rezulta concluzia importantei decisive pentru optimizarea procesului, a sistemului de actiune tehnologica directa.

Sistemul de actiune tehnologica directa reprezinta ansamblul actiunilor tehnologice care determina transformarea semifabricatului pregatit in produs finit, considerand concomitent, intrarile, iesirile si mecanismul de legatura interioara ca parti active, in permanenta interactiune.

Acesta se considera, la randul sau, ca o succesiune de elemente operatorii, cu caracteristici bine individualizate, corelate si determinate intr-o interdependenta cu tipul de tub flexibil fabricat, cu materialul folosit si cu conditiile de exploatare (fig.3.2).

Caracteristica esentiala a procesului functional in cadrul sistemului de actiune tehnologica directa este continuitatea asigurata din punct de vedere tehnologic de blocurile de corelare (existente nu numai intre blocurile operatorii, cum s-a prezentat sintetic in fig.3.2, ci si intre elementele operatorii din interiorul blocului). De aici si concluzia ca in orice problema de optimizare a parametrilor tehnologici conditia de continuitate a procesului genereaza principalul pachet de restrictii.

O analiza a sistemului in raport cu blocurile prezentate in figura 3.2 conduce, intr-o prima faza, la concluzia existentei a cinci grupe de parametri principali generalizati, majoritatea exprimatii in forma vectoriala sau tensoriala, multidimensionala:

I.Parametrii constructivi, definiti de elementele dimensionale

reprezinta numarul sculelor de asamblare (de regula, de cele mai multe ori $j=1$);

III. Parametrii dinamici reflecta starea dinamica a sistemului prin urmatoarele variabile:

- fortele de deformare, F_{di} , $i=1,n$;
- reactiunile din sculele deformante, R_{di} , $i=1,n$;
- fortele de frecare, F_{fi} , $i=1,n$;

-starile de tensiuni din materialele semifabricate exprimate de tensorii tensiunilor, T_{ik} , unde $i=1,n$ reprezinta indicele sculei deformante iar $k=1,k$ reprezinta indicele de material.

IV. Parametrii energetici caracterizeaza din punct de vedere energetic starea procesului, cu referire in principal la:

- energia de deformare, E_{di} , $i=1,n$;
- energia disipata prin frecare, E_{fi} , $i=1,n$;
- energia cinetica, E_{ci} , $i=1,n$;
- alte forme de energie, E_{ai} , $i=1,n$;

(se face precizarea ca fiecare din aceste forme de energii apar nu numai la cele $i=1,n$ scule deformante, ci si la elementele operatorii nedeformante $j=1,m$ luand valori diferite functie de natura fiecarui material $k=1,k$).

V. Parametrii de finalitate, utilizati in exprimarea modelului de fata, pentru a lega caracteristicile procesului de cele ale produsului, dupa cum urmeaza:

- productivitatea prelucrarii, Q_t ;
- costurile indirecte specifice pe produs, I_t ;
- costurile directe pe produs, D_t ;
- proprietatile de utilizare ale produsului, P_{ut} ;

In aceste exprimari de parametrii $u=1,u$ este indicele proprietatii produsului, iar $t=1,t$ este indicele tipului tubului fabricat.

Parametrii generalizati enumerati pana acum sunt exprimati intr-o forma implicita, ansamblul lor constituind in parte, in mod direct, criteriile de optimizare a procesului de fabricatie.

Avand insa in vedere caracterul complex al problematicii supuse optimizarii, o exprimare mai completa este data de asocierea in comun, pe baza unor criterii sortate, a mai multor parametri in forme implicite specifice, care pot constitui tot atatea criterii (functii) complexe de optimizare.

Pentru o stabilire cat mai riguroasa a functiilor implicite de optimizare se impune in continuare o analiza a dependentelor pentru

fiecare bloc operator, abia dupa aceea putandu-se trece la o grupare fundamentata a acestor functionale, pentru sistem.

Simultan cu aceasta analiza se vor inventaria si problemele specifice care pot constitui restrictii pentru un program complex de optimizare a procesului de fabricatie.

3.3. PROBLEME SPECIFICE DE OPTIMIZARE A TEHNOLOGIEI DE FABRICARE A TUBURILOR METALICE FLEXIBILE

3.3.1 PROBLEME DE OPTIMIZARE SPECIFICE BLOCULUI DE PREGATIRE A SEMIFABRICATULUI

Analiza blocului de pregatire a semifabricatului trebuie structurata pe trei grupe de dimensiuni:

1.pregatirea semifabricatului propriu-zis, care poate fi sub forma de benzi metalice (cazul tuburilor agrafa), sau tevi metalice (cazul tuburilor ondulate). In primul caz, se pot utiliza benzi laminate la rece din otel moale cu un continut redus de carbon ((0,05...0,07) %C), numite si benzi de ambutisare, protejate sau neprotejate la exterior. In cazul celor protejate, benzile pot fi zincate, nichelate, cromate sau cadmiate, cea mai larga utilizare avand-o benzile zincate galvanic, in care caz, zincarea se face pe banda laminata, debitarea efectuandu-se ulterior, muchiile rezultate dupa debitare ramanand neprotejate. Pentru zincare, restrictiile de lucru sunt cele prevazute in caietul de sarcini CS-101/89.

Natura si grosimea stratului de acoperire sunt in functie de conditiile de coroziune, obisnuit grosimea fiind de (5...20) μm .

Benzile din otel inoxidabil, feritic sau austenitic, se folosesc pentru tuburile ce lucreaza in conditii de mediu puternic coroziv. Benzile din alama, tombac si bronz au calitatea moale si pot fi obisnuite, lustruite, nichelate sau cromate. Se mai utilizeaza benzi din metale tehnic pure ca: aluminiu, cupru, nichel, titan, argint, in general, mai rar si numai acolo unde nu exista posibilitatea de inlocuire. Tevile utilizate la fabricarea tuburilor flexibile au pereti subtiri, cu grosimea cuprinsa in mod obisnuit intre (0,08...0,69 mm, si pot fi trase sau sudate (confectionate la randul lor, fie din benzi sudate dupa axa longitudinala, fie infasurate si sudate dupa o elicoida).

Materialul tevilor, la randul lui, poate fi otel inoxidabil, feritic sau austenitic, metale neferoase sau metale tehnic pure, utilizare determinata de gradul de stabilitate termica si chimica

impus de domeniul de utilizare a tubului flexibil.

Otelurile inoxidabile din care se fabrica teville pot fi din marcile ST35, 15M03, 1.4016, 1.4057, 1.4510, 1.4511 -feritice si 1.4501, 1.4306, 1.4541, 1.4550, 1.4404, 1.4449, 1.4571, 1.4573 - austenitice (conform normelor DIN);

Metalele neferoase pentru fabricarea tevilor cu pereti subtiri sunt din marcile: 2.4819, 2.4363 -Monel; 2.4816, 2.4858 - pe baza de nichel; 2.0250, 2.1020 -bronz; 2.1247 -cupru (conform normelor DIN);

Metale tehnic pure mai frecvent folosite sunt: 2.0090 -cupru, 2.4066 -nichel, 3.7024 -titan, 3.0205 -aluminu (conform normelor DIN);

2.pregatirea materialului de etansare, presupune rasucirea snurului, in cazul utilizarii semifabricatelor sub forma de snur, si tratamente speciale specifice pentru celelalte tipuri de materiale (snur metalic moale (Cu, Al etc.) sau PVC).

Alegerea materialului de etansare se face, de regula, functie de temperatura mediului in care lucreaza tuburile, dupa cum urmeaza:

-snur din fire de bumbac, in sau canepa (textil), pentru temperaturi de exploatare, $T < +120^{\circ}\text{C}$;

-snur din fire de azbest obisnuit, pentru temperaturi ce nu depasesc $+250^{\circ}\text{C}$, sau azbest pur pentru $T < +600^{\circ}\text{C}$;

-snur de cauciuc sau PVC, pentru $T < +60^{\circ}\text{C}$;

-sarme metalice din cupru moale, pentru temperaturi cuprinse intre limitele $+400^{\circ}\text{C}$ si $+1000^{\circ}\text{C}$.

Stabilirea dimensiunilor sectiunilor transversale ale acestor materiale se face experimental.

3.pregatirea materialului de protectie exterioara, care, alaturi de materialul de etansare, este facultativ, nu presupune operatii de pregatire deosebite, conditiile de optimizare fiind, in principal, legate de alegerea tipului de material, a modului de realizare efectiva a protectiei (tipului constructiv) si de utilizarea, sau nu, a acesteia, dupa cum urmeaza:

-tesaturile metalice executate din sarma trasa de otel arc sau otel moale, zincata galvanic, sarma de alama sau sarma de cupru.

Diametrele acestor sarme variaza in functie de diametrul nominal al tubului, fiind cuprinse intre limitele (0,2...0,5) mm;

-tesaturile nemetalice confectionate din materiale textile in mod obisnuit (bumbac, in, canepa), sau din fire de fibra anorganica (azbest sau fibra siliconica), superrezistente la temperaturi ridicate (produse recente ale firmei AMETEK din S.U.A.);

-acoperire exterioara in scop de protectie sau de etansare cu un invelis din material plastic aplicat, fie prin infasurare fie prin injectie.

3.3.2 STRUCTURA SUBSISTEMULUI DE PRELUCRARE PRINCIPALA PRIN DEFORMARE PLASTICA

Blocul de prelucrare principala se va analiza ca un sistem avand la baza procese de deformare plastica, vazut in generalitate si integralitate, cu extensie de referinte si la blocurile de corelare, care isi efectueaza fuctiile de lucru si prin procese de deformare plastica (este cazul ghidajului curb, pentru care procesul de lucru este un proces de deformare plastica, prin care se realizeaza corelarea benzii intre blocul de deformare plastica si blocul de infasurare pe dorn (asamblare). Pe baza acestor considerente se prezinta in figura 3.3 un model desfasurat intrari-iesiri pentru procesul generalizat de fabricatie a tuburilor metalice flexibile prin deformare plastica, aplicandu-se unele simplificari legate de problemele de protectie exterioara si de fazele de pregatire a semifabricatului.

Pentru a se usura operarea ulterioara cu variabilele din sistem, acestea au fost simbolizate cu cate o litera legata de denumirea acestora si cate o cifra, care indica grupa de variabile careia ii apartine variabila respectiva, variabilele fiind structurate pe urmatoarele grupe (conform figurii 3.3):

A.Grupa variabilelor de intrare (factori ai procesului), include variabilele care joaca rolul de cauze, fiind, din punct de vedere tehnic, considerate ipotetic drept controlate si comandate.

Aceste variabile sunt, la randul lor, structurate in trei grupe:

1.variabile de intrare legate de calitatea materiilor prime si materialelor metalice de baza, care includ:

-rezistenta la rupere, R1;

-rezistenta la oboseala, O1;

-rezistenta la coroziune, C1;

-stabilitatea termica, T1;

-deformabilitatea, D1;

-sudabilitatea, S1, (numai pentru cazul tuburilor confectionate prin sudare);

2.variabile de intrare legate de calitatea materiilor prime si materialelor de etansare si protectie exterioara, care includ:

-rezistenta la rupere, R2;

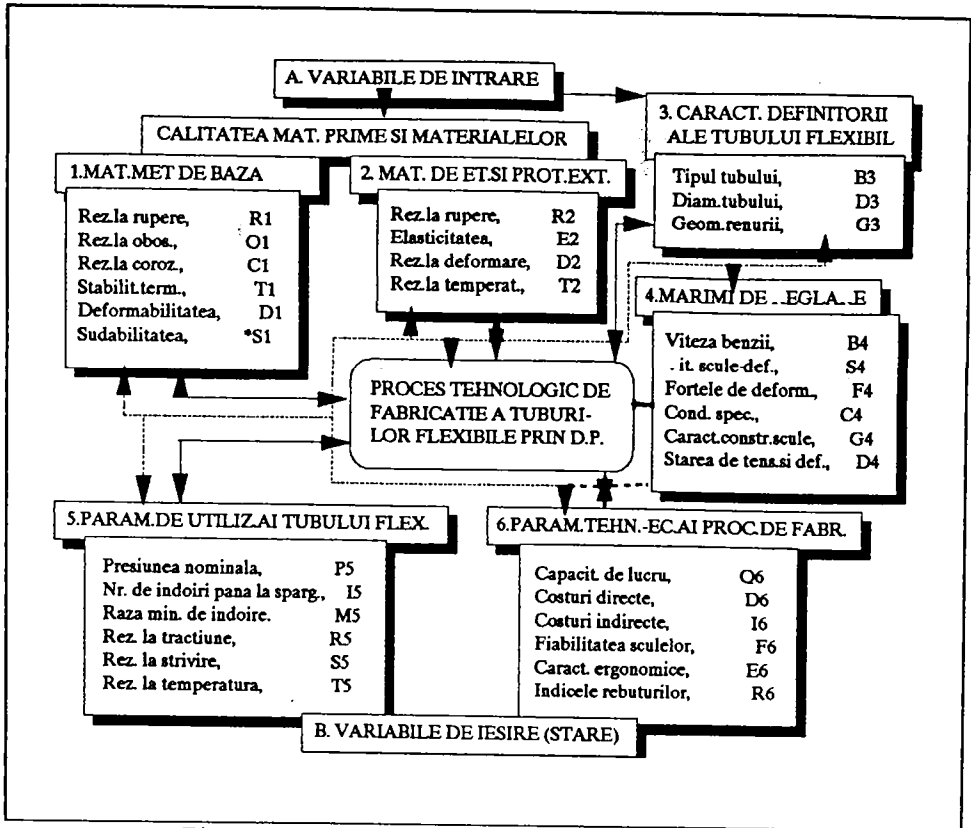


Fig. 3.3

- elasticitatea, E2;
- rezistenta la deformare, D2;
- rezistenta la temperatura, T2;

3. variabile de intrare legate de caracteristicile esentiale de definire a tipului si variantei constructive a tubului flexibil, grupate si prezentate sub forma informationala:

- tipul tubului, B3;
- diametrul nominal al tubului, D3;
- geometria renurii, G3;

B. Grupa variabilelor de iesire, care caracterizeaza starea obiectului tehnologic (proces de fabricatie), functie de modificarile variabilelor de intrare, din acest motiv numite si variabile de stare, structurate, la randul, lor pe doua grupe:

5. Variabile de stare legate de parametrii de utilizare a tubului flexibil:

- presiunea nominala, P5;

- numarul de indoiri pana la spargere (rupere), I5;
- raza minima de indoire, M5;
- rezistenta la tractiune, R5;
- rezistenta la strivire, S5;
- rezistenta la temperatura, T5;

6. Variabile de stare legate de performantele tehnico- economice ale procesului tehnologic de fabricatie:

- capacitatea de lucru (productivitatea), Q6;
- costurile directe, D6;
- costurile indirecte, I6;
- fiabilitatea sculelor deformante, F6;
- caracteristici ergonomice, E6;
- indicele rebuturilor, R6.

Se face precizarea ca si variabilele de stare sunt considerate, din punct de vedere tehnic, in mod ipotetic, controlate si comandate.

Controlul si comanda ansamblului de variabile intrare-iesire se realizeaza printr-un pachet de 4.marimi (variabile) de reglare, dupa cum urmeaza:

- viteza benzii, B4;
- vitezele sculelor deformante, S4;
- fortele de deformare, F4;
- conditii speciale de racire, ungere etc. C4;
- caracteristicile constructive ale sculelor, G4;
- starea de tensiuni si deformatii din material, D4.

Aceste marimi sunt considerate, in cazul de fata, independente, dar, exista si cazuri cand se admite din considerente practice, existenta unor relatii de inter-determinare intre aceste variabile.

Criteriul principal de grupare a variabilelor din figura 3.3 a fost dat de ordinea determinarii si implicarii variabilelor in proces, admitandu-se, asa cum s-a mai precizat, in unele cazuri si posibilitatea existentei unor relatii de interdependenta intre diferite variabile in raport cu unele circumstante.

3.3.3 ANALIZA GLOBALA A SUBSISTEMULUI DE FABRICATIE A TUBURILOR FLEXIBILE PRIN DEFORMARE PLASTICA

O analiza complexa a oricarui sistem incepe cu incadrarea acestuia intr-un sistem de clasificare. Din categoria sistemelor de clasificare cea mai utilizata este clasificarea propusa de S.Bir, conform careia, sistemele se impart in raport cu doua variabile, astfel: dupa gradul de nedeterminare, in sisteme deterministe si

sisteme probabiliste, iar dupa gradul de complexitate, in sisteme simple, complexe si foarte complexe.

Sistemul determinist este acela in cadrul caruia, partile componente interactioneaza intr-un mod perfect stabilit, iar sistemul probabilist este sistemul a carui stare poate fi prognozata doar cu o anumita probabilitate.

In raport cu acest criteriu, sistemul poate fi atribuit in mod evident sistemelor probabiliste dar, cu anumite simplificari, in scopul usurarii analizei, modelarii si ulterior a optimizarii, sistemul poate fi adus la o conditie de sistem determinist.

In ce priveste gabaritul, sistemul poate fi incadrat in categoria sistemelor mari, complexe, caracterizate de: dimensiuni mari, numar mare de functii, comportare complexa, structura complexa a subsistemelor, existenta unor variate legaturi directe si inverse (acestea din urma actionand fie negativ-cand se micsoreaza discordanta, fie pozitiv-cand se mareste discordanta).

Pe baza schemei prezentate in figura 3.3 se trece in continuare la determinarea legaturilor si a relatiilor de determinare dintre variabile.

-numarul variabilelor de intrare propuse:

$$N_i = 6 + 4 + 3 = 13;$$

-numarul variabilelor de stare (iesire):

$$N_e = 6 + 6 = 12;$$

-numarul variabilelor de corectie (reglare):

$$N_r = 6(\text{propuse});$$

-numarul total de variabile propuse:

$$N_t = N_i + N_e + N_r = 13 + 12 + 6 = 31;$$

Cu titlul de observatie se face precizarea ca, in cazul variabilelor prezentate, este admisa natura vectoriala sau tensoriala a acestora (cu una (mai rar), sau mai multe dimensiuni). De asemenea, in cadrul sistemului, exista legaturi intre variabile prin sistem (determinate de evolutia procesului), dar si legaturi directe intre variabile, determinate de ele, fara influenta procesului propriu-zis, multe variabile fiind insa intr-o pozitie intermediara fata de aceste doua situatii extreme.

Numarul practic de legaturi se stabileste prin cumulare.

Astfel, initial, din punct de vedere teoretic, sunt posibile legaturi intre toate variabilele, dar aplicand unele ipoteze de simplificare, se pot considera pentru studiu, modelare si optimizare, legaturile prezentate in tabelul 3.1, considerate ca

legaturi directe intre variabilele de iesire si cele de intrare, considerand variabilele de intrare in sistem independente in sens matematic.

Tabelul 3.1

variab.iesire	P5	I5	M5	R5	S5	T5	Q6	D6	I6	F6	E6	R6	TOT
var.intrare													
R1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
O1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
C1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	5
T1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	7
D1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	11
S1*	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
R2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
E2	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	8
D2	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	7
T2	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	5
B3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
D3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
G3	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	11
TOTAL V	10	10	10	7	8	9	11	13	11	11	12	13	126

Rezulta, pentru subsistemul analizat in acest tabel, urmatoarele concluzii:

- numar posibil de legaturi=156;
- legaturi realizate=126;
- ponderea lagaturilor realizate= $(126/156)*100=80,77\%$.

Relatiile (legaturile), prezentate in tabelul 3.1 sunt simbolizate cu 1, pentru cazul presupus al existentei si cu 0, pentru inexistenta. Simbolurile pentru variabile sunt cele prezentate in figura 3.3.

Considerand acum si cele sase marimi de reglare, intervin suplimentar legaturile prezentate in tabelul 3.2 si 3.3, corespunzatoare legaturilor intre marimile de reglare si cele de

Tabelul 3.2														
INTRARI	R1	O1	C1	T1	D1	S1*	R2	E2	D2	T2	B3	D3	G3	TOT H
Marimi de reglare														
B4	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	11
S4	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	11
F4	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	7
C4	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	8
G4	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	7
D4	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	10
TOTAL V.	6	3	1	5	6	6	3	3	4	0	6	5	6	54

intrare (tabelul 3.2), respectiv legaturilor intre marimile de reglare si cele de iesire (tabelul 3.3).

Tabelul 3.3														
IESIRI	P5	I5	M5	R5	S5	T5	Q6	D6	I6	F6	E6	R6	TOT H	
Mar.de regl.														
B4	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	11	
S4	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	8	
F4	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	10	
C4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	
G4	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	11	
D4	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	6	
TOTAL V	6	6	6	5	5	4	6	4	2	6	6	6	52	

Pentru acest caz, analiza globala conduce la urmatoarele concluzii sumare (tab. 3.2):

-numar posibil de legaturi= 78;

-legaturi realizate= 54;

-ponderea legaturilor realizate= $(54/78)*100= 69,23 \%$.

Din analiza datelor prezentate in tabelul 3.3, rezulta in mod

analog urmatoarele concluzii:

-numarul legaturilor posibile= 72;

-legaturi realizate= 52;

-ponderea legaturilor realizate= $(52/72)*100= 72,22 \%$.

Rezultatele de pana acum, raportate la sistemul global, determina, intr-o prima aproximare, urmatoarele concluzii:

1. Cea mai mare pondere o au legaturile realizate intre marimile de intrare si cele de iesire prin intermediul procesului, considerat pentru inceput ca o cutie neagra;

2. Marimile de reglare alese pentru proces sunt mai legate de iesiri (72,22%), decat de intrari (69,23%), ponderile fiind insa destul de apropiate, ceea ce indica o alegere relativ reprezentativa si echilibrata a acestora;

3. Tabelele 3.1, 3.2, 3.3 constituie baze de pornire pentru ierarhizari ulterioare in vederea stabilirii prioritatilor si a optimizarii globale a modelului experimental, iar in final a modelului tehnologic elaborat in conditii si pe baza unor criterii de optimizare diferite (specific particularizate).

4. Analiza prezentata este afectata intr-o prima prezentare de o doza de subiectivism, dar poate servi ca prima etapa de preselectie, care sa preceada metode subiective mai precise cum ar fi metoda corelatiei de rang.

Analiza efectuata pana acum, permite determinarea catorva parametri care caracterizeaza global sistemul dupa cum urmeaza:

-numarul total de legaturi posibile= $156+78+72= 306$;

-numarul total de legaturi existente= $126+54+52=232$;

-ponderea legaturilor existente= $(232/306)*100= 75,82 \%$.

Se introduce notiunea de entropie a sistemului ca o marime care caracterizeaza nedeterminarea acestuia, data de relatia:

$$H_s = \sum_{i=1}^l p(S_i) * \log_2 p(S_i), \text{ unde:} \quad (3.1)$$

l- numarul legaturilor sistemului;

S_1, \dots, S_l - probabilitatile estimate de aparitie a starii structurale S_i a sistemului.

Presupunand in sistemul considerat toate starile echiprobabile rezulta entropia maxima a sistemului:

$$H_{S_{\max}} = -232/232 * \log (1/232) = 7,858$$

Considerand acum toate legaturile posibile drept echiprobabile,

rezulta entropia minima a sistemului:

$$H_{\text{min}} = -306/306 * \log(1/306) = 8,257$$

In continuare se introduce notiunea de organizare absoluta a sistemului I, definita ca diferenta dintre entropia maxima si cea minima:

$I = H_{\text{max}} - H_{\text{min}}$, rezultand pentru cazul de fata:

$$I = 8,257 - 7,858 = 0,399$$

Aceasta analiza impune, ca o concluzie pentru cazul analizat, necesitatea trecerii la o noua etapa a premodelarii, prin metoda corelatiei de rang, care sa permita prelucrarea volumului de informatii apriorice orientative in sensul stabilirii numarului si rolului factorilor in proces.

3.3.4 STABILIREA ROLULUI FACTORILOR ESENTIALI IN PROCES PRIN METODA CORELATIEI DE RANG

Metoda presupune o prelucrare statistica a parerilor de la "m" specialisti din domeniu pentru ordonarea factorilor procesului functie de influenta pe care acestia o exercita asupra factorilor de stare. Aceasta ordonare se realizeaza pe baza numerelor de ordine (ranguri), (1,2,...,k; k-numarul factorilor), atribuite de fiecare specialist factorilor analizati, factorilor importanti atribuindu-li-se primele numere.

Intr-o prima faza, se distribuie la m=8 specialisti cate trei formulare de ancheta, fiecare specialist apreciind cu numere de la 1 la 6 rangul factorilor de influenta .

Rezultatele de pe formulare se centralizeaza pe fise separate pentru fiecare grupa de variabile de stare si factor de influenta.

Tabelele care prezinta sinteza opiniilor specialistilor se mai numesc si matrici de ordonare a factorilor.

In matricea ordonarii factorilor, fiecare rand contine numere din sirul natural dispuse diferit; x_{ij} reprezinta rangul atribuit de specialistul "i" factorului "j". Se face precizarea ca in cazul maririi rezolutiei determinarii se pot utiliza si numere fractionare respectandu-se conditia:

$$\sum_{j=1}^k x_{ij} = \frac{1}{2} * k * (k+1) \quad (3.2)$$

Deoarece media aritmetica a numerelor dintr-un rind este:

$$M_a = 1/2 * (k+1),$$

media generala pe randuri va fi:

$$a = (1/2) * m * (k+1), \text{ unde:}$$

m-numarul specialistilor=8;

k-numarul factorilor=6.

Rezulta pentru toate cazurile analizate valorile pentru:

$$Ma = 3.5$$

$$a = 28$$

Abaterile de la aceasta medie, d_j , sunt date de relatia:

$$d_j = \sum_{i=1}^m x_{ij} - a, \quad (3.3)$$

iar suma patratelor abaterilor va fi:

$$\sum_{j=1}^k d_j^2 = \sum_{j=1}^k \left(\sum_{i=1}^m x_{ij} - a \right)^2. \quad (3.4)$$

Daca parerile specialistilor sunt complet divergente (contradictorii), $d_j = 0$ (pentru m par (cazul de fata $m=8$)), sau foarte mic (apropiat de a), (pentru m impar).

In schimb, o concordanta perfecta intre parerile specialistilor va conduce la o valoare maxima a sumei:

$$\left(\sum_{j=1}^k d_j^2 \right)_{\max} = \frac{1}{12} * m^2 * (k^3 - k) = 1120 \quad (3.5)$$

Pentru a aprecia gradul de concordanta a parerilor specialistilor se utilizeaza raportul:

$$W = \frac{\sum_{j=1}^k d_j^2}{\left(\sum_{j=1}^k d_j^2 \right)_{\max}} = \frac{\sum_{j=1}^k d_j^2}{1120}, \quad (3.6)$$

care ia valori in intervalul $[0,1]$ si care poarta denumirea de **coeficient de concordanta**.

In acest caz s-a stabilit ca marimea Fisher calculat, \mathcal{F}_c , cu relatia (3.7), are o distributie Fischer, in care valorile

$$\mathcal{F}_c = \frac{1}{2} * \ln \frac{(m-1) * W}{1-W}, \quad (3.7)$$

numarului gradelor de libertate sunt:

$$v_1 = k - 1 - 2/m \text{ si}$$

$$v_2 = (m-1) * v_1.$$

Daca numarul factorilor analizati, $k > 7$ se poate utiliza marimea calculata $\chi^2 = m * (k-1) * W$, care are o distributie χ^2 cu $v = k-1 = 5$ grade de libertate. De obicei, se utilizeaza aceasta distributie deoarece calculele se simplifica. Valoarea calculata χ^2 se compara cu valoarea tabelata, considerand parerile specialistilor concordante daca $\alpha < 0,05$. In aceasta situatie rezultatele ordonarii factorilor sunt prezentate sub forma unor histograme, care pot prezenta distributii neliniare ale sumei rangurilor sau liniare.

Funcție de fiecare caz in parte se pot separa factori a caror influenta este semnificativa sau nu.

Astfel analizand rezultatele in cazul influentei rezistentei la rupere, R1, asupra marimilor de reglare (D4, F4, G4, S4, C4, B4), (fig.3.4), se constata o grupare a parerilor specialistilor in sensul importantei apropiate de valoarea medie pentru toti factorii, doar o usoara ierarhizare, in ordinea din paranteza, putandu-se face.

O situatie asemanatoare este in cazul analizei influentei rezistentei la oboseala a materialului metalic semifabricat asupra marimilor de reglare (fig. 3.5), ierarhizarea fiind, desi destul de confuza, in ordinea: D4, B4, S4, G4, F4, C4.

Totusi, din cele doua analize, rezulta in ambele cazuri o influenta principala a caracteristicilor de rezistenta mecanica ale materialului semifabricat asupra starii de tensiuni si deformatii.

In ce priveste influenta rezistentei la coroziune asupra marimilor de reglare, parerile specialistilor concorda in ce priveste primordialitatea conditiilor speciale de lucru, C4 (racire, ungere, masuri speciale de protectie, tratare etc.), urmate de geometria sculelor deformante, G4 si fortele din sculele deformante, F4, ca factori esentiali, respectiv starea de tensiuni si deformatii, D4, vitezele relative ale sculelor deformante, S4 si viteza benzii, B4, ca factori neesentiali (fig. 3.6).

In cazul stabilirii ordinei de influenta a sudabilitatii asupra marimilor de reglare, ierarhizarea factorilor devine iarasi dificila pentru specialisti, conditiile speciale, C4, viteza benzii, B4, geometria sculelor deformante, G4, starea de tensiuni si deformatii, D4 si vitezele sculelor deformante, S4, neesentiala fiind considerata influenta sudabilitatii asupra fortelor din sculele deformante, F4 (fig. 3.7). Facem precizarea ca, sudabilitatea, ca variabila a procesului, nu intervine in toate cazurile fabricatiei de tuburi flexibile metalice, ci numai in cazul tuburilor sudate, din tevi sau

REZISTENTA LA RUPERE, R1

mar. reg. spec	D4	F4	G4	S4	C4	B4	TOT
1	6	3	5	2	4	1	21
2	5	6	4	3	1	2	21
3	6	3	5	2	4	1	21
4	2	4	3	4	4	4	21
5	2	4	2	5	4	4	21
6	6	2	3	5	3	2	21
7	5	5	4	3	1	3	21
8	6	5	3	2	3	2	21
SUMA	38	32	29	26	24	19	105
dj	10	4	1	-2	-4	-9	
dj ²	100	16	1	4	16	81	218
W=	0.194643	FISCHER=	0.262895	niul=	4.75	nie2=	33.25

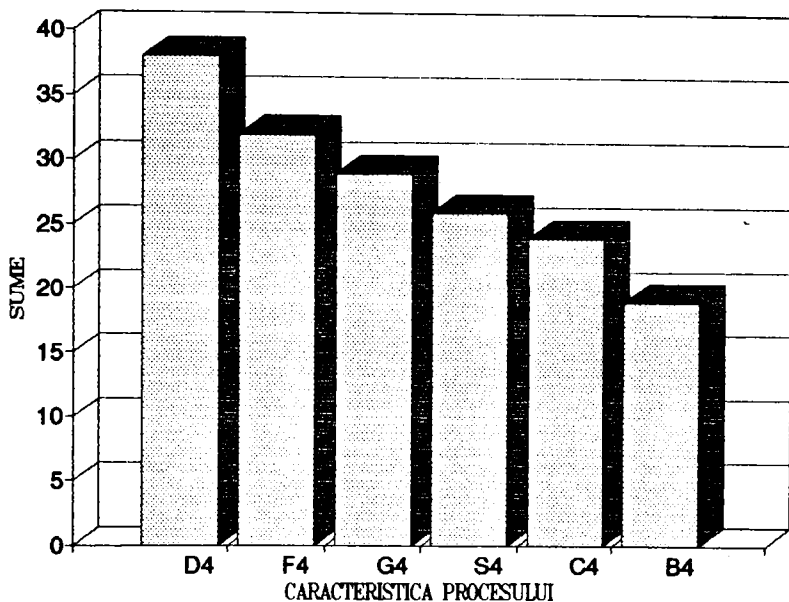


Fig. 3.4

din benzi deformate longitudinal si apoi asamblate nedemontabil prin sudare, de cele mai multe ori, cu energii in impulsuri controlate (plasma, fascicul de electroni sau laser), tehnologii puse la punct si disponibile actualmente in cadrul "ROMFLEX-S.Ă."

Analiza influentei deformabilitatii materialului semifabricat, D1, asupra marimilor de reglare a permis ierarhizarea acestora, desi

REZISTENTA LA OBOSEALA, 01

mar. reg. spec	D4	B4	S4	G4	F4	C4	TOT
1	6	1	2	5	3	4	21
2	5	6	5	0	1	4	21
3	5	6	5	0	1	4	21
4	2	4	4	4	4	3	21
5	2	4	4	4	4	3	21
6	5	4	4	6	2	0	21
7	6	4	4	5	2	0	21
8	6	2	2	3	5	3	21
SUMA	37	31	30	27	22	21	105
dj	9	3	2	-1	-6	-7	
dj ²	81	9	4	1	36	49	180
W=	0.160714	FISCHER=	0.146494	niu1=	4.75	niu2=	33.25

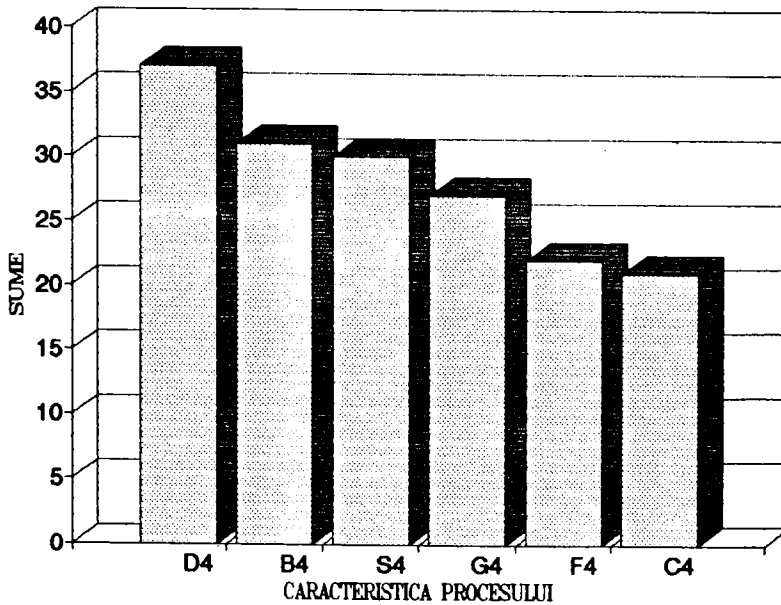


Fig. 3.5

greoaie, apreciere facuta pe baza testului Fischer cu valori destul de mici, apropiate de minimul care determina nivelul de incredere, in doua grupe distincte, bine conturate (fig. 3.8): pe de o parte factorii considerati esentiali (viteza benzii, B4, geometria sculelor deformante, G4, starea de tensiuni si deformatii, D4 si vitezele sculelor deformante, S4. exprimate evident ca marimi vectoriale,

REZISTENTA LA COROZIUNE, C1

mar. reg. spec	C4	G4	F4	D4	S4	B4	TOT
1	6	5	3	4	2	1	21
2	6	3	3	3	3	3	21
3	6	5	3	4	2	1	21
4	6	5	4	5	0	1	21
5	5	5	5	4	2	0	21
6	6	3	6	0	3	3	21
7	6	5	1	4	2	3	21
8	3	6	6	0	3	3	21
SUMA	44	37	31	24	17	15	105
dj	16	9	3	-4	-11	-13	
dj ²	256	81	9	16	121	169	652
W=	0.582143	FISCHER=	1.138743	niu1=	4.75	niu2=	33.25

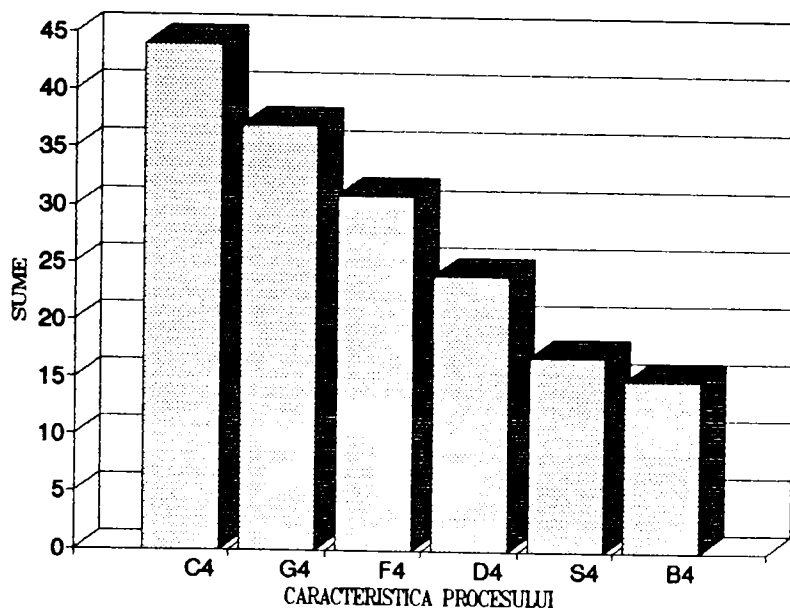


Fig. 3.6

independente, iar pe de alta parte conditiile speciale de lucru (racire, ungere etc.), C4 si fortele deformante din scule, F4, ca factori neesentiali de influenta in pachetul marimilor de reglare ale procesului tehnologic de fabricare a tuburilor metalice flexibile.

Analiza influentei factorilor din grupa marimilor de intrare legate de starea materialului semifabricat se incheie cu ierarhizarea

SUDABILITATEA, S1

mar. reg. spec	C4	B4	G4	D4	S4	F4	TOT
1	2	5	5	6	0	3	21
2	6	3	3	3	3	3	21
3	6	3	3	3	3	3	21
4	4	5	6	1	5	0	21
5	4	5	5	2	5	0	21
6	4	4	3	3	3	4	21
7	4	3	3	4	4	3	21
8	6	3	2	4	3	3	21
SUMA	36	31	30	26	26	19	105
dj	8	3	2	-2	-2	-9	
dj ²	64	9	4	4	4	81	166
W=	0.148214 FISCHER=		0.098617		niu1=4.75		niu2=33.25

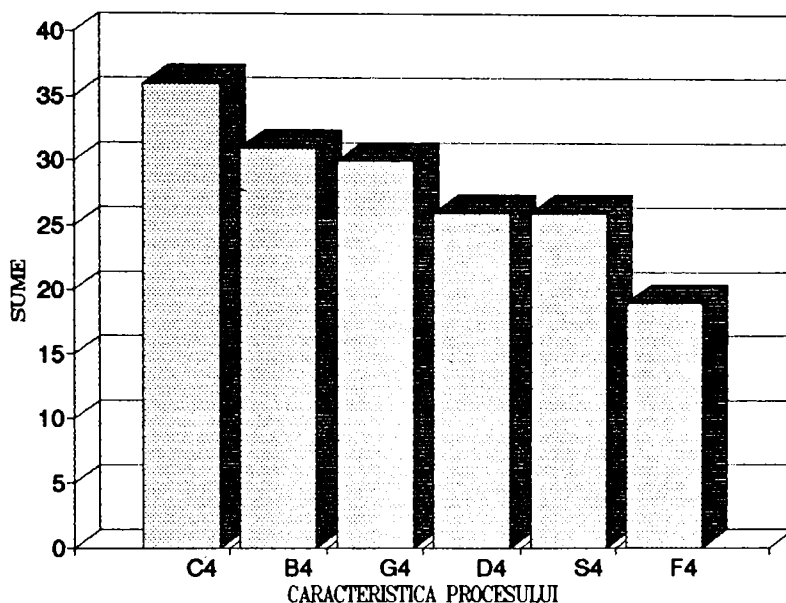


Fig. 3.7

factorilor de influenta in cazul influentei stabilitatii termice, T1, asupra marimilor de reglare.

De aceasta data s-a inregistrat o concordanta foarte buna a parerilor specialistilor, influenta semnificativa atribuindu-se asupra vitezei benzii, B4, vitezelor sculelor deformante, S4 si conditiilor speciale de lucru, C4, iar influentele nesemnificative

DEFORMABILITATEA, D1

mar. reg. spec	B4	G4	D4	S4	C4	F4	TOT
1	5	5	6	0	2	3	21
2	2	6	5	3	1	4	21
3	5	5	6	0	2	3	21
4	4	4	5	4	2	2	21
5	4	4	4	4	3	2	21
6	6	5	0	6	4	0	21
7	4	1	4	4	2	6	21
8	6	4	0	6	5	0	21
SUMA	36	34	30	27	21	20	105
dj	8	6	2	-1	-7	-8	
dj ²	64	36	4	1	49	64	218
W=	0.194643 FISCHER= 0.262895				niu1=4.75	niu2=33.25	

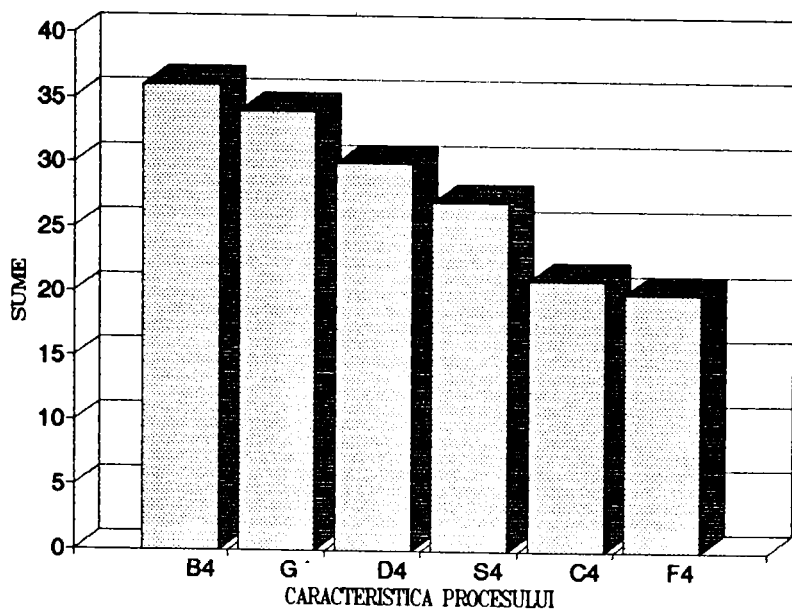


Fig. 3.8

atribuindu-se asupra fortelor din sculele deformante, F4 si asupra geometriei sculelor deformante, G4 (figura 3.9).

La o privire de ansamblu asupra rezultatelor analizei influentelor marimilor de intrare, blocul marimilor legate de proprietatile semifabricatului, rezulta necesitatea extinderii cercetarilor experimentale in directia precizarii si argumentarii cu rezultate

STABILITATEA TERMICA, T1

mar. reg. spec	B4	S4	C4	F4	D4	G4 TOT	
1	3	4	5	5	4	0	21
2	6	5	3	4	2	1	21
3	6	5	3	4	2	1	21
4	6		6	1	1	1	21
5	6		6	1	1	1	21
6	4		5	4	3	2	21
7	4		5	3	3	2	21
8	4		4	5	0	4	21
SUMA	34			27	16	12	105
03	11			-1	-12	-16	
002	121	81	81	1	144	256	684
w=	0.610714	Scheff=	1.198113	niu1=4.75		niu2=33.25	

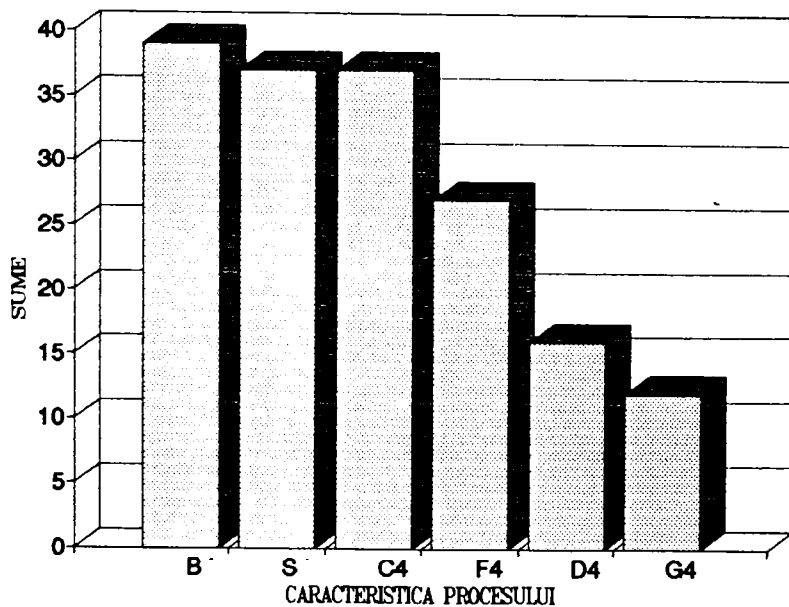


Fig. 3.9

practice a influentelor pe care, le au asupra caracteristicilor procesului si produselor aceste marimi, mai ales caracteristicile mecanice, definite odata cu tipul materialului semifabricat si starea acestuia, in legatura implicita cu starea de tensiuni si deformatii, vitezele sculelor deformante si a benzii semifabricat.

Odata cu fig. 3.10 se trece la prezentarea rezultatelor analizei

TIPUL TUBULUI, B3

mar. reg. spec	G4	S4	B4	F4	D4	C4	TOT
1	6	5	5	0	4	1	21
2	6	3	4	5	1	2	21
3	6	5	5	0	4	1	21
4	4	6	6	2	1	2	21
5	4	5	5	3	2	2	21
6	6	6	0	6	0	3	21
7	6	3	3	4	5	0	21
8	6	6	6	0	0	3	21
SUMA	44	39	34	20	17	14	105
dj	16	11	6	-8	-11	-14	
dj ²	256	121	36	64	121	196	794
W=	0.708929	FISCHER=	1.418048	niu1=	4.75	niu2=	33.25

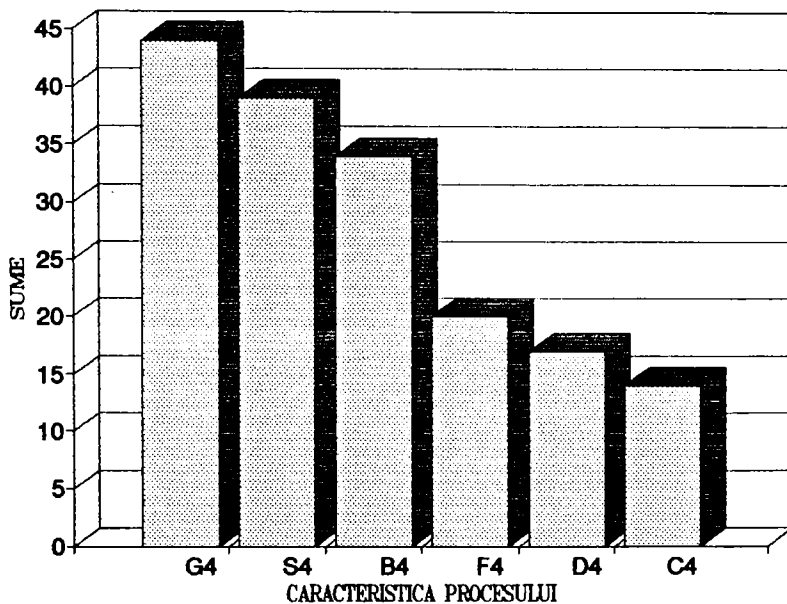


Fig. 3.10

influentelor caracteristicilor tubului asupra marimilor de reglare, incepand cu influenta tipului tubului, notata conform fig. 3.3 cu B3. Si de aceasta data s-a obtinut o concordanta foarte buna a parerilor specialistilor, influentate esential fiind G4, S4 si B4, iar neesential sunt influentate F4, D4 si C4.

Influenta diametrului tubului asupra marimilor de reglare este analizata in matricea de ordonare a factorilor si histograma din fig.

DIAMETRUL TUBULUI, D3

mar. reg. spec	B4	S4	F4	G4	D4	C4	TOT
1	5	5	5	0	4	2	21
2	6	5	4	1	2	3	21
3	6	5	4	1	2	3	21
4	3	3	4	5	4	2	21
5	3	3	4	5	3	3	21
6	5	3	5	4	3	1	21
7	5	5	3	4	3	1	21
8	6	6	0	6	0	3	21
SUMA	39	35	29	26	21	18	105
dj	11	7	1	-2	-7	-10	
dj ²	121	49	1	4	49	100	324
W=	0.289286	FISCHER=	0.523527	niu1=4.75		niu2=33.25	

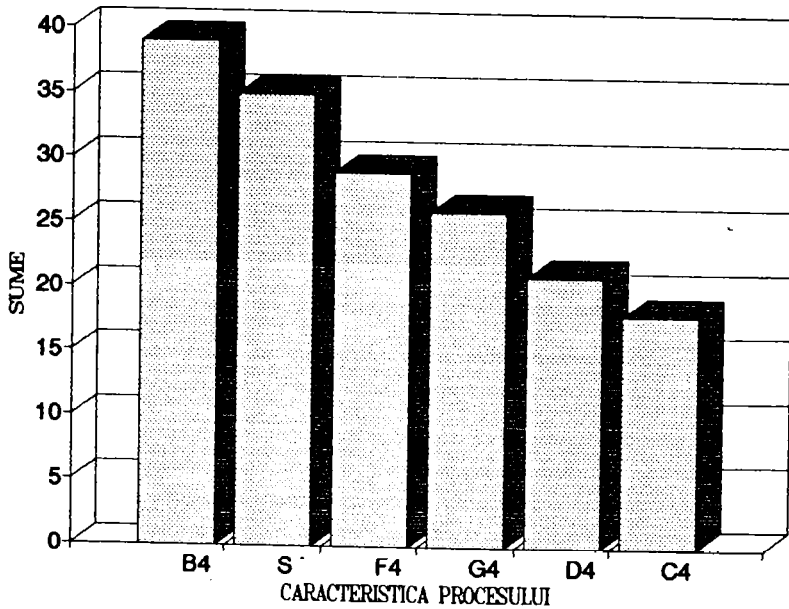


Fig. 3.11

3.11, observandu-se o concordanta acceptabila a parerilor specialistilor cu o grupare a factorilor esentiali in ordinea B4, S4 si F4, iar a celor neesentiali in G4, D4 si C4.

O concordanta foarte buna a parerilor specialistilor s-a inregistrat la stabilirea influentelor pe care geometria renurii, G3, o are asupra marimilor de reglare. Parerile specialistilor au aratat

GEOMETRIA RENURII, G3

mar. reg. spec	G4	B4	D4	F4	S4	C4 TOT	
1	4	5	5	3	4	0	21
2	6	3	5	4	2	1	21
3	4	5	5	3	4	0	21
4	6	3	3	3	3	3	21
5	6	4	3	3	3	2	21
6	6	6	0	6	0	3	21
7	6	2	5	4	2	2	21
8	6	6	0	0	6	3	21
SUMA	44	34	26	26	24	14	105
dj	16	6	-2	-2	-4	-14	
dj ²	256	36	4	4	16	196	512
W=	0.457143	FISCHER=	0.88703	niu1=4.75		niu2=33.25	

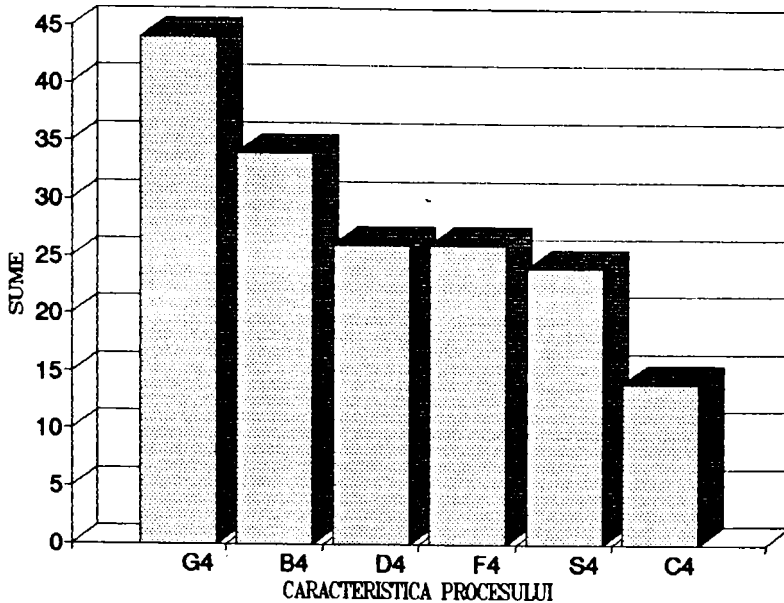


Fig. 3.12

o influenta semnificativa asupra geometriei sculelor deformante, G4 si asupra vitezei benzii, B4 si influente nesemnificative asupra starii de tensiuni si deformatii, D4, fortelor din sculele deformante, F4, vitezei sculelor deformante, S4 si conditiilor speciale de lucru, C4 (figura 3.12).

In continuare sunt prezentate rezultatele analizei influentei

VITEZA BENZII, B4

mar. reg. spec	R5	S5	T5	I5	M5	P5	TOT
1	6	5	3	3	4	0	21
2	6	5	3	4	1	2	21
3	6	5	3	3	4	0	21
4	6	6	1	3	2	3	21
5	6	6	1	3	2	3	21
6	4	4	4	1	4	4	21
7	4	4	4	4	4	1	21
8	6	3	6	2	2	2	21
SUMA	44	38	25	23	23	15	105
dj	16	10	-3	-5	-5	-13	
dj ²	256	100	9	25	25	169	584
W=	0.521429	FISCHER=	1.015838	niu1=4.75		niu2=33.25	

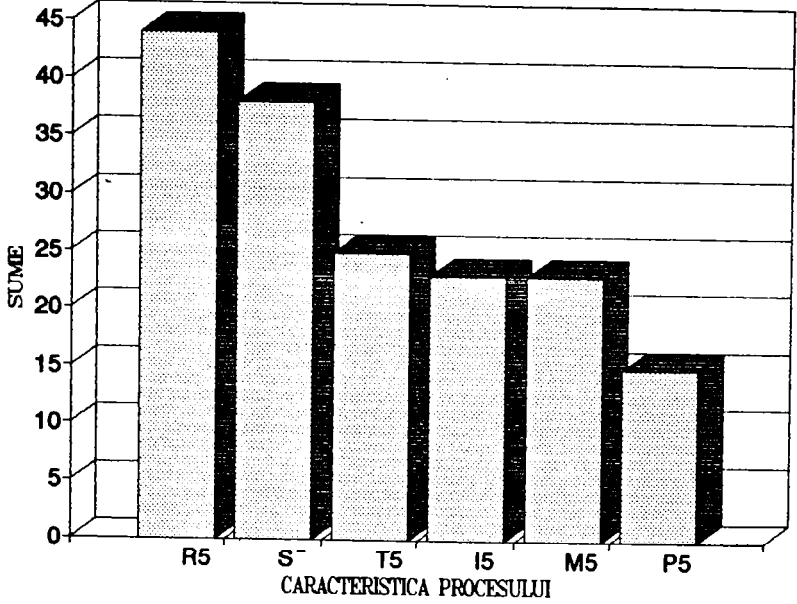


Fig. 3.13

marimilor de reglare propuse pentru proces (B4, S4, F4, C4, G4 si D4), asupra caracteristicilor procesului (marimi de iesire grupate in doua blocuri: caracteristici care determina calitatea tubului, marcate cu cifra 5, si caracteristici care determina parametri tehnico-economici ai procesului, marcate cu cifra 6, conform figurii 3.3).

VITEZELE SCUDELOR DEFORMANTE, S4

măr. reg. spec	R5	S5	I5	T5	M5	P5 TOT	
1	6	5	3	3	4	0	21
2	5	6	3	4	2	1	21
3	5	6	3	4	2	1	21
4	6	6	4	0	1	4	21
5	6	6	4	1	1	3	21
6	2	3	6	6	2	2	21
7	4	4	4	4	4	1	21
8	6	3	2	6	2	2	21
SUMA	40	39	29	28	18	14	105
dj	12	11	1	0	-10	-14	
dj ²	144	121	1	0	100	196	562
W=	0.501786	FISCHER=	0.976527	niu1=4.75		niu2=33.25	

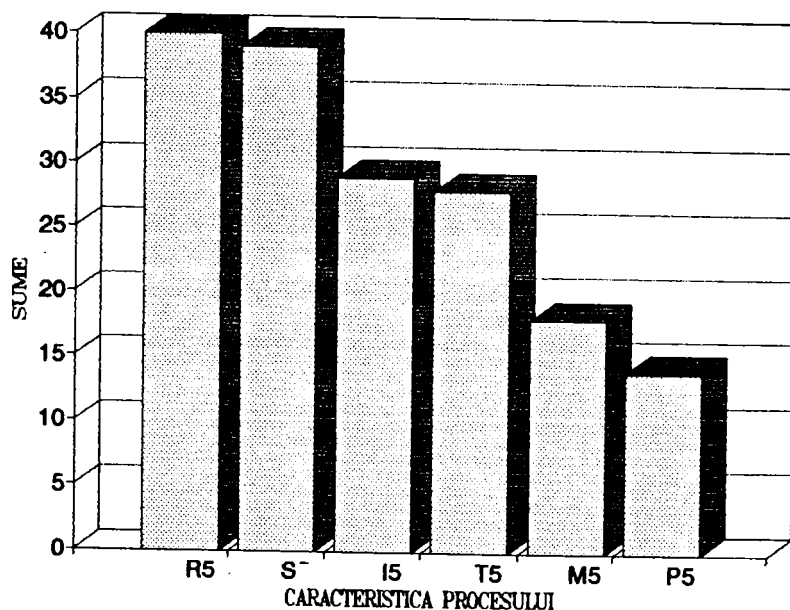


Fig. 3.14

Astfel, in ce priveste influenta vitezei benzii, B4, asupra parametrilor de utilizare ai tubului flexibil, (figura 3.13), opiniile specialistilor au o buna concordanta, indicand o influenta semnificativa asupra rezistentei la tractiune, R5 si asupra rezistentei la strivire, S5, si influente nesemnificative asupra rezistentei la temperatura, T5, numarului de indoiri pana la

spargere, I5, razei minime de indoire, M5 si presiunii nominale, P5.

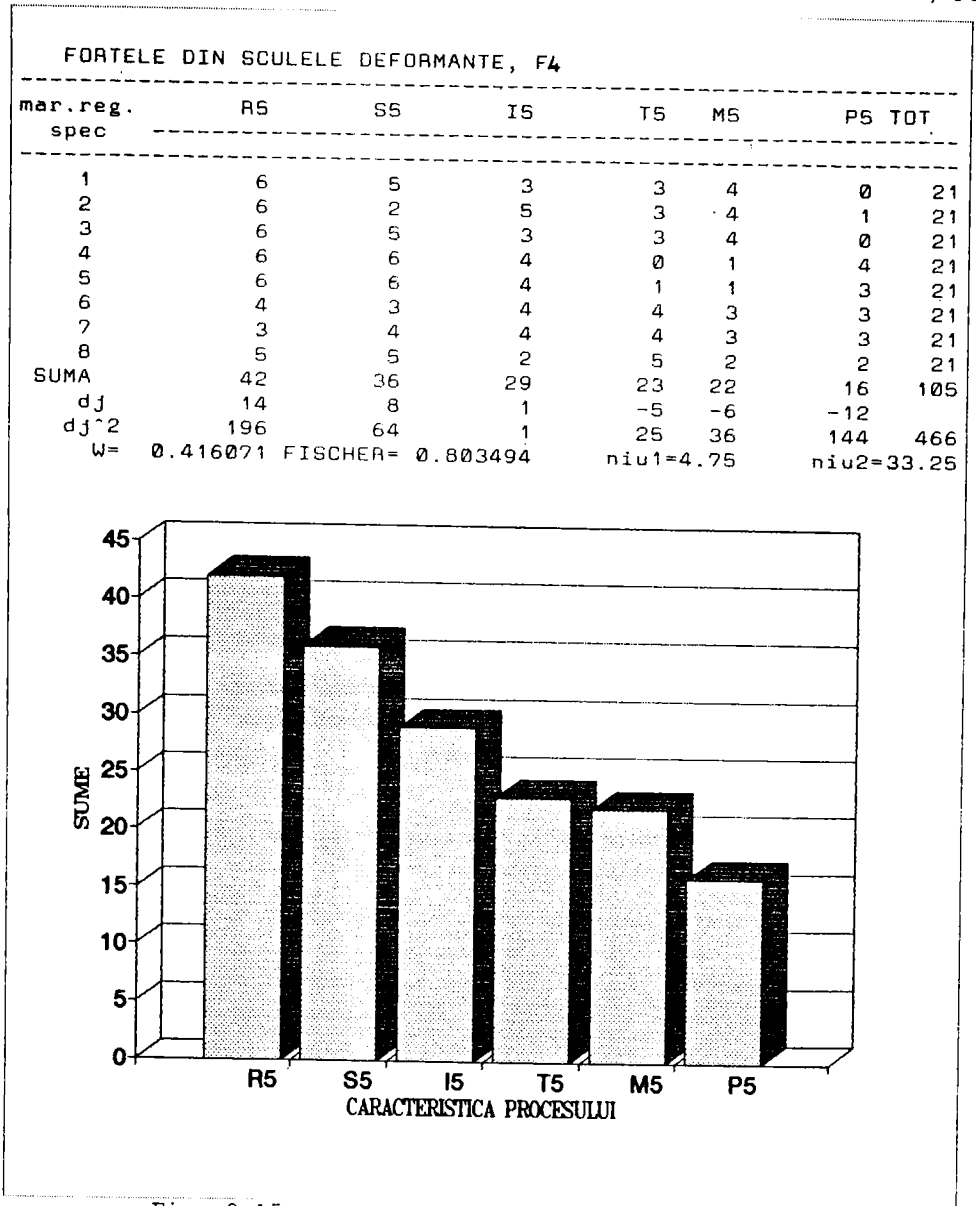


Fig. 3.15

In figura 3.14 se prezinta opiniile concordante ale specialistilor in ce priveste influenta vitezelor sculelor deformante, S4, asupra parametrilor de utilizare ai tubului flexibil, rezultand influentă semnificative principale asupra rezistentei la tractiune, R5 si la strivire, S5, si influente semnificative secundare asupra numarului

de indoiri pana la spargere, I5 si rezistentei la temperatura, T5.

O ierarhizare mai clara se poate observa in cazul analizei influentei fortelor din sculele deformante, F4, asupra parametrilor de utilizare (fig. 3.15): rezistenta la tractiune R5, la strivire, S5 si numarul de indoiri pana la spargere, I5.

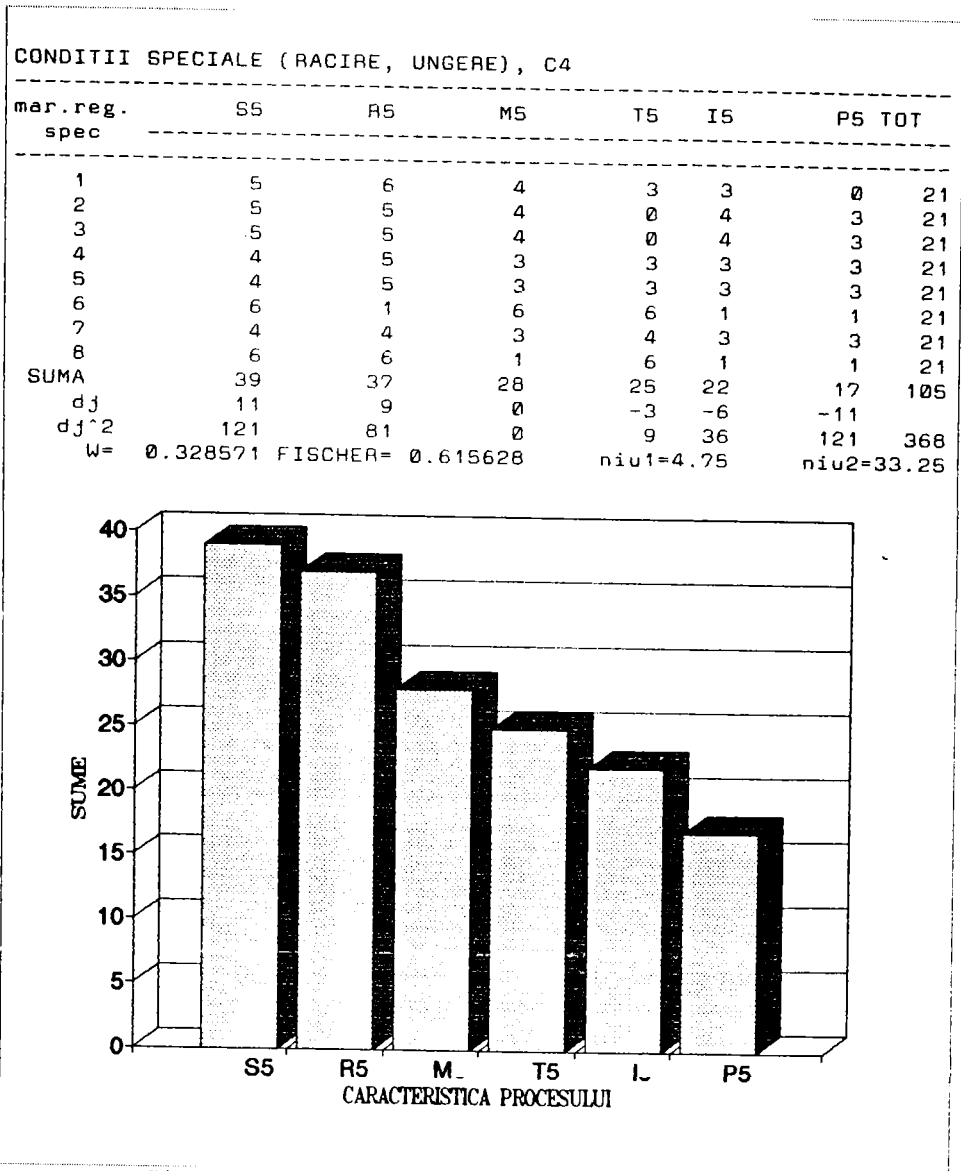


Fig. 3.16

La limita concordantei acceptate se situeaza parerile

specialistilor in privinta influentei conditiilor speciale, C4, asupra parametrilor de utilizare ai tubului, esentiale fiind cele asupra rezistentei la strivire, S5, tractiune, R5 si razei minime de indoire, M5 (figura 3.16).

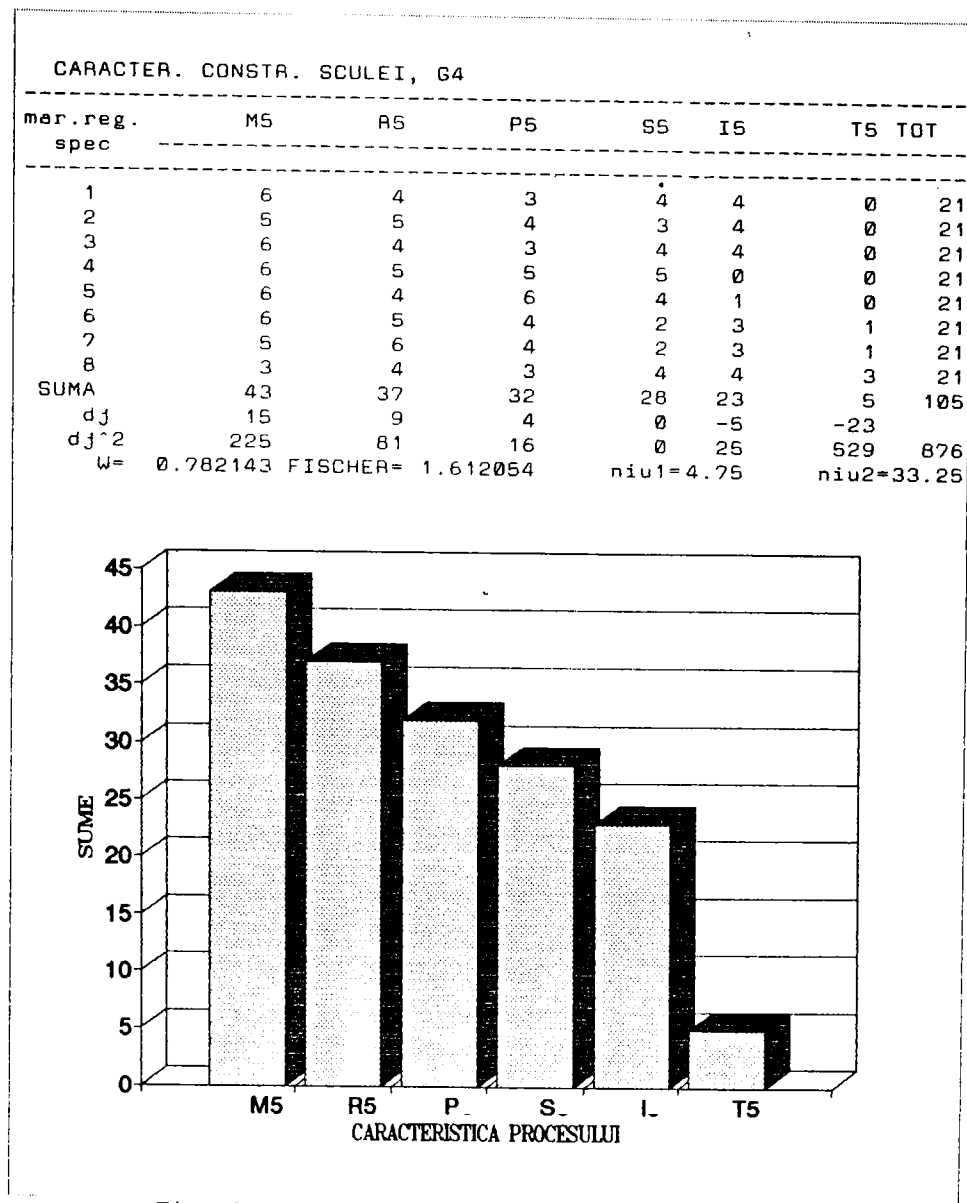


Fig. 3.17

In privinta influentelor caracteristicilor constructive ale geometriei sculelor, G4, asupra parametrilor tubului (figura 3.17),

cu o buna concordanta, parerile specialistilor indica urmatoarea ordine a caracteristicilor influentate semnificativ: raza minima de indoire, M5, rezistenta la tractiune, R5, presiunea nominala, P5 si rezistenta la strivire, S5.

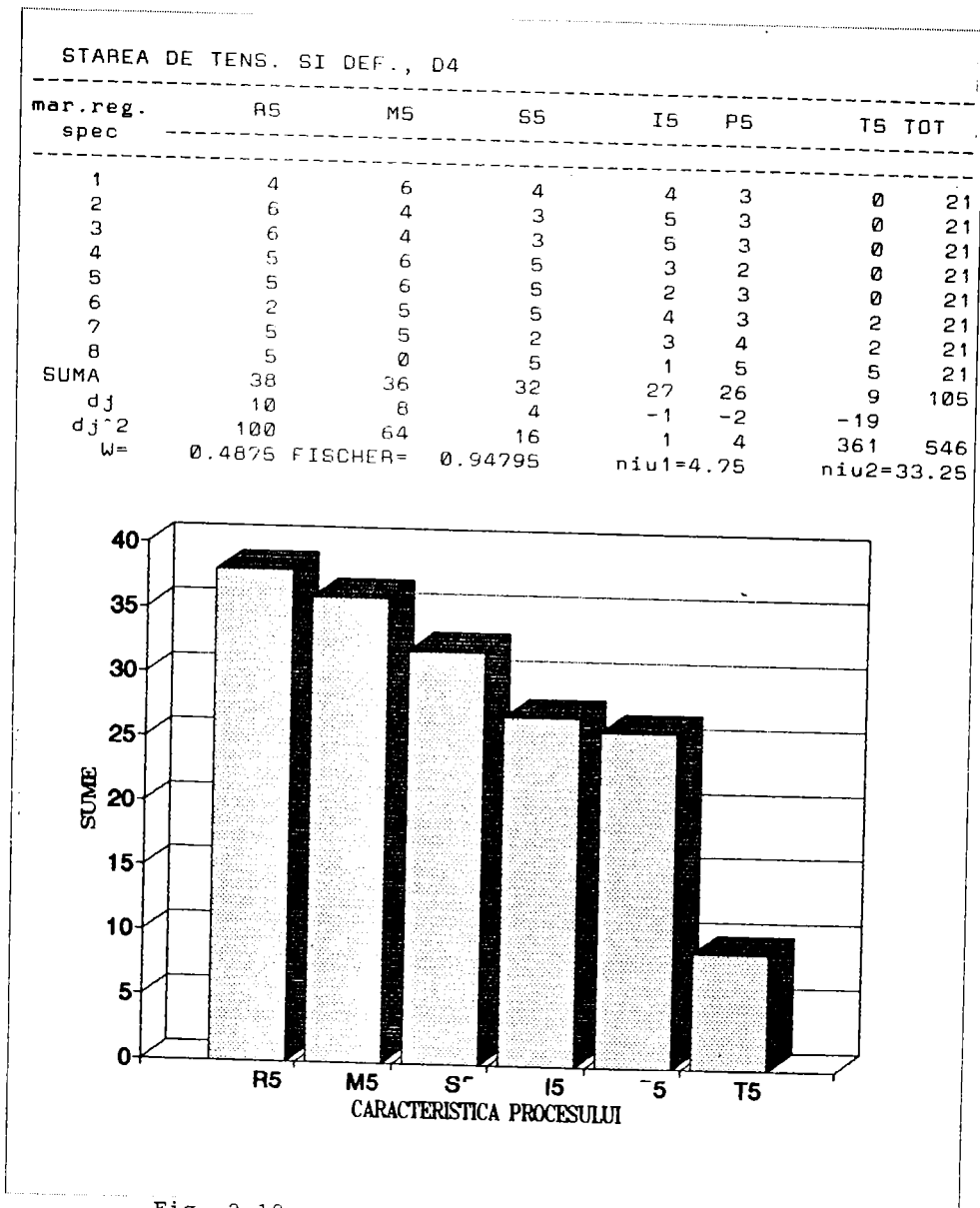


Fig. 3.18

In ce priveste starea de tensiuni si deformatii, D4, parerile acceptabil concordante ale specialistilor opineaza pentru urmatoarea

ierarhizare a influentelor semnificative asupra parametrilor de utilizare ai tubului: rezistenta la tractiune a tubului, R5, raza minima de indoire, M5, rezistenta la strivire, S5, numarul de indoiri pana la spargere, I5 si chiar presiunea nominala, P5 (figura 3.18).

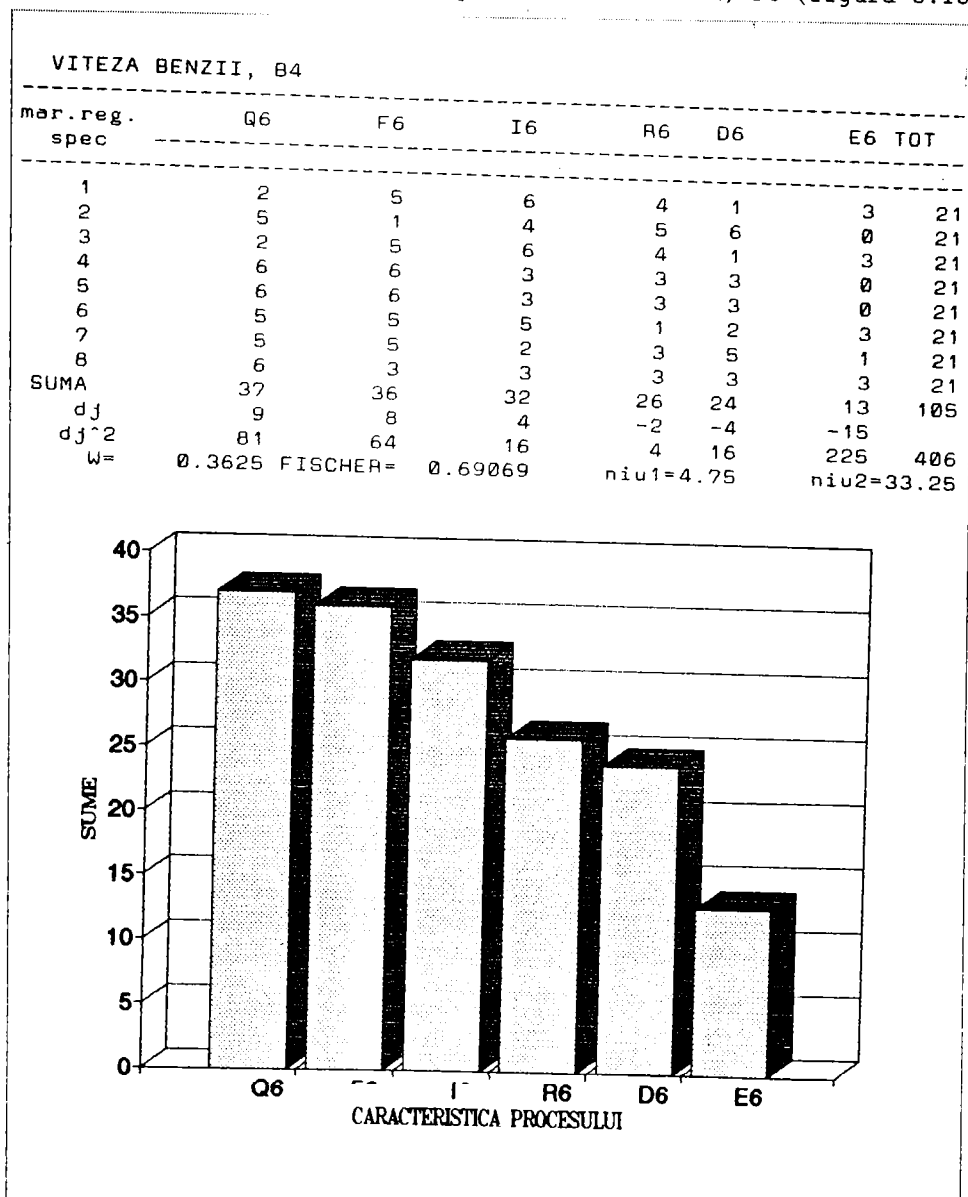


Fig. 3.19

Odata cu figura 3.19 se trece la stabilirea ierarhiei influentelor marimilor de reglare (in speta, a vitezei benzii, B4),

asupra parametrilor tehnico-economici ai procesului de fabricatie a tuburilor flexibile, specialistii stabilind influente semnificative asupra (in ordine): capacitatii de lucru, Q6, fiabilitatii sculelor deformante, F6 si costurilor indirecte, I6, apreciindu-se ca nesemnificative influentele asupra indicelui rebuturilor, R6, costurilor directe, D6 si caracteristicilor ergonomice, E6.

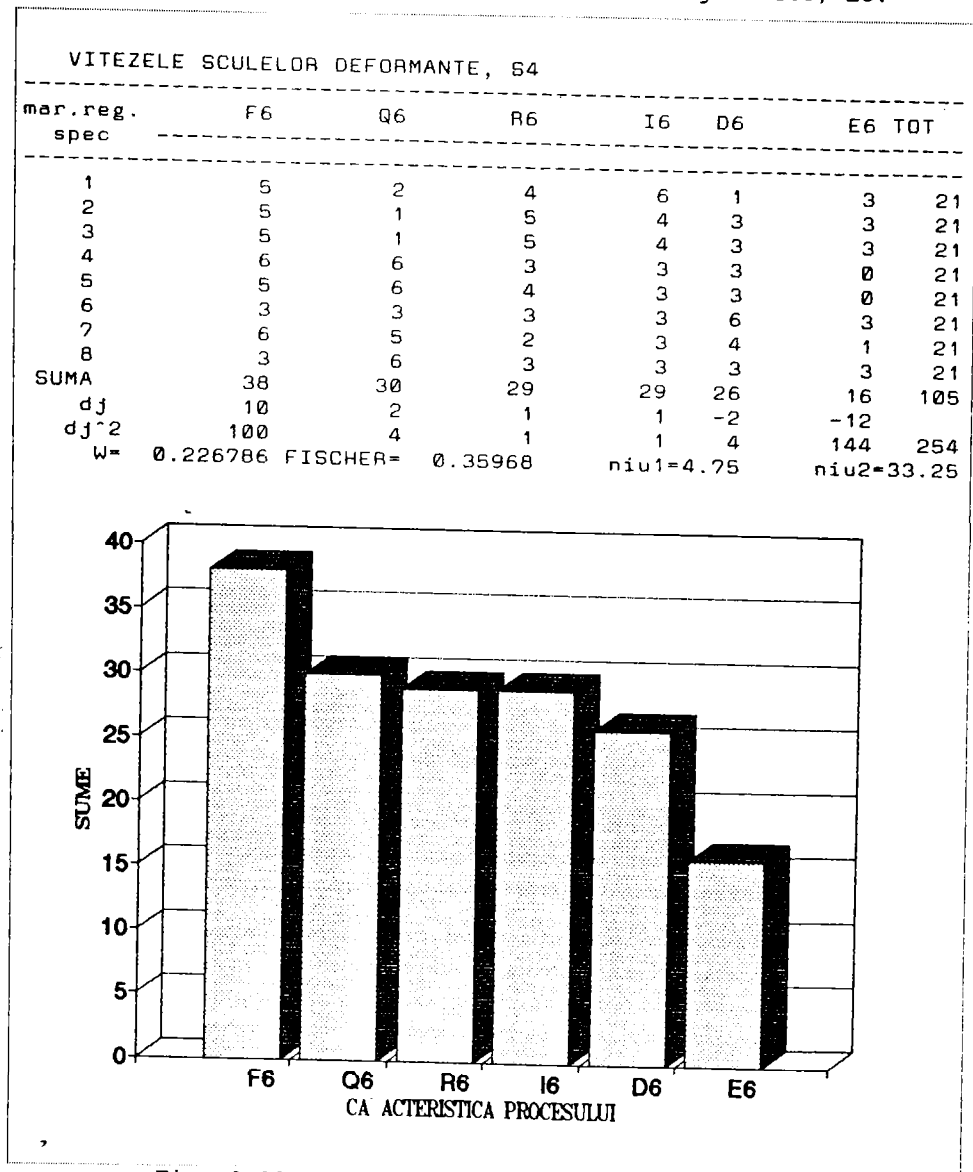


Fig. 3.20

Desi, la prima prelucrare, parerile specialistilor au un nivel

scazut de concordanta, prin operatiuni de recuperare a datelor, se gaseste, in cazul analizei influentei vitezelor sculelor deformante, S4, o influenta puternica asupra fiabilitatii sculelor deformante, F6, respectiv , influente semnificative asupra capacitatii de lucru, Q6, indicelui rebuturilor, R6, costurilor indirecte, I6 si directe, D6 (figura 3.20).

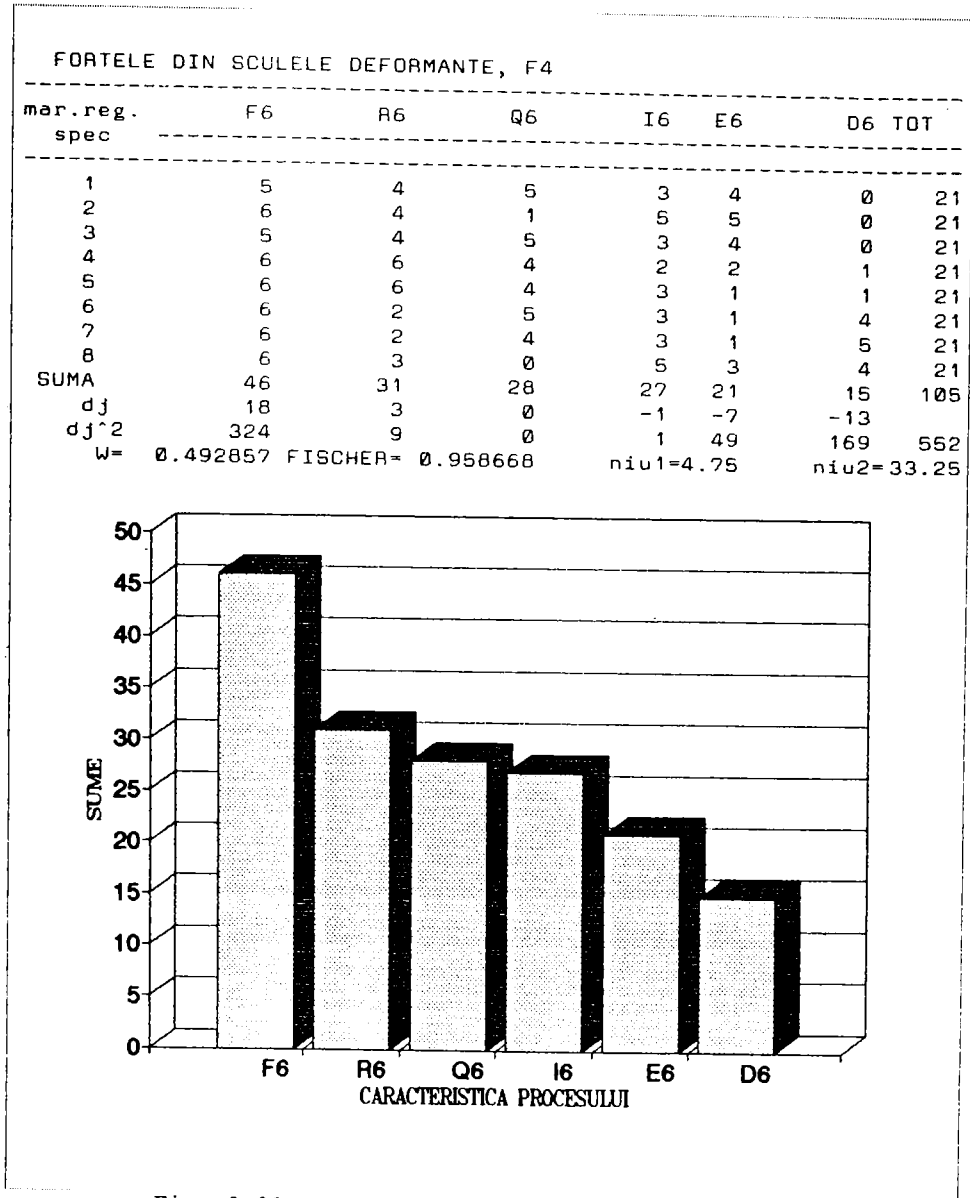


Fig. 3.21

Fortele din sculele deformante, F4, influenteaza puternic, dupa

parerile concordante ale specialistilor, fiabilitatea sculelor, F6 si semnificativ indicele rebuturilor, R6, capacitatea de lucru, Q6 si costurile indirecte, I6 (figura 3.21).

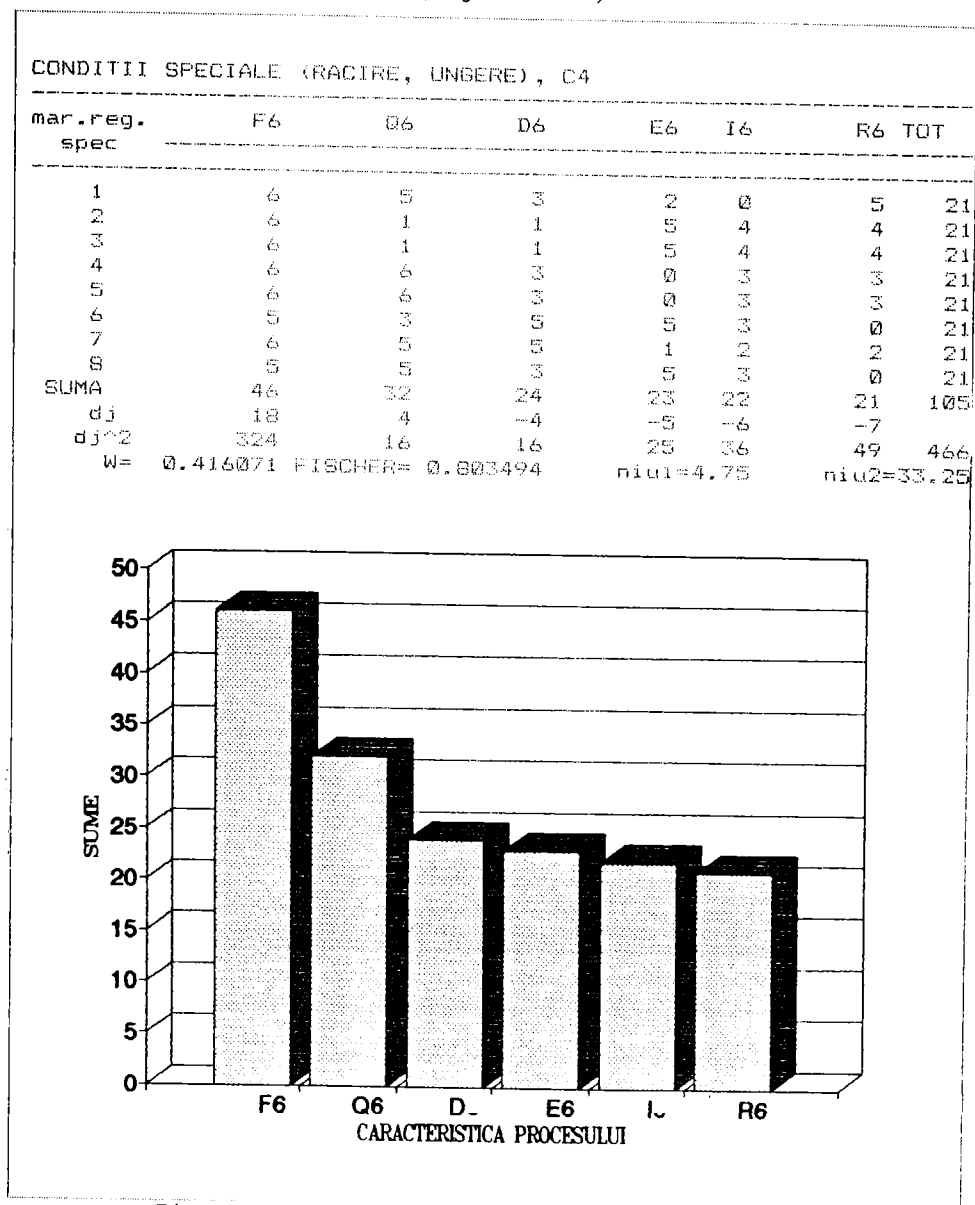


Fig. 3.22

In mod similar, conditiile speciale de lucru (racire, ungere), C4, influenteaza puternic fiabilitatea sculelor, F6 si semnificativ capacitatea de lucru, Q6, ceilalti parametri fiind influentati nesemnificativ (figura 3.22).

CARACTER. CONSTR. SCULEI, G4

nr. reg. spec	F6	Q6	E6	D6	R6	I6	TOT
1	5	5	6	3	2	0	21
2	5	1	4	2	3	6	21
3	5	5	6	3	2	0	21
4	6	6	0	1	6	2	21
5	6	6	0	2	6	1	21
6	5	6	2	5	2	1	21
7	5	5	2	6	2	1	21
8	6	6	5	2	0	2	21
SUMA	43	40	25	24	23	13	105
dj	15	12	-3	-4	-5	-15	
dj ²	225	144	9	16	25	225	644
W=	0.575	FISCHER=	1.124096	niu1=4.75		niu2=33.25	

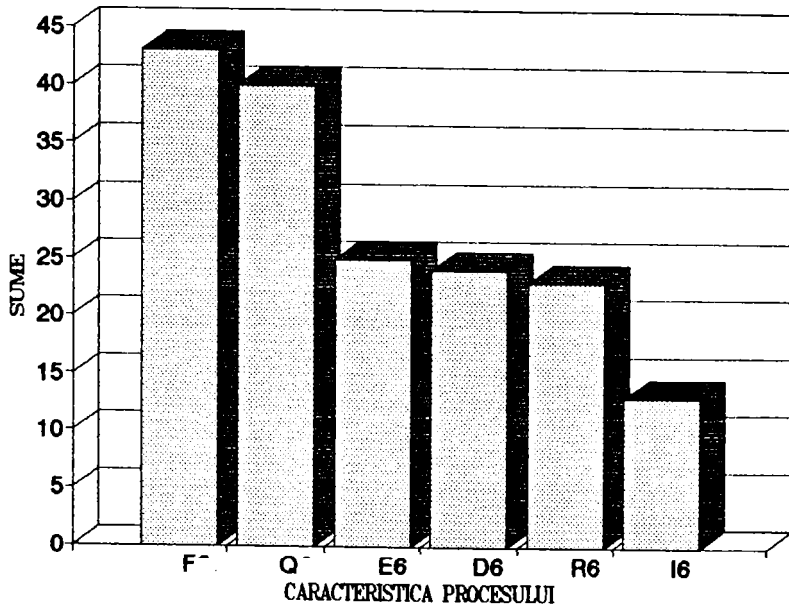


Fig. 3.23

In mod analog, in conditii de concordanta buna, specialistii atribuie influente puternic semnificative ale caracteristicilor constructive ale sculelor deformante, G4, asupra fiabilitatii sculelor si a procesului de fabricatie, F6, precum si a capacitatii de lucru Q6 (figura 3.23).

In fine, parerile specialistilor, in cel mai ridicat grad de concordanta din aceasta ancheta, considera ca starea de tensiuni si

deformatii, D4, influenteaza puternic semnificativ fiabilitatea sculelor si a procesului, F6, indicele rebuturilor, R6 si capacitatea de lucru, Q6, ceilalti parametri fiind influentati nesemnificativ (figura 3.24).

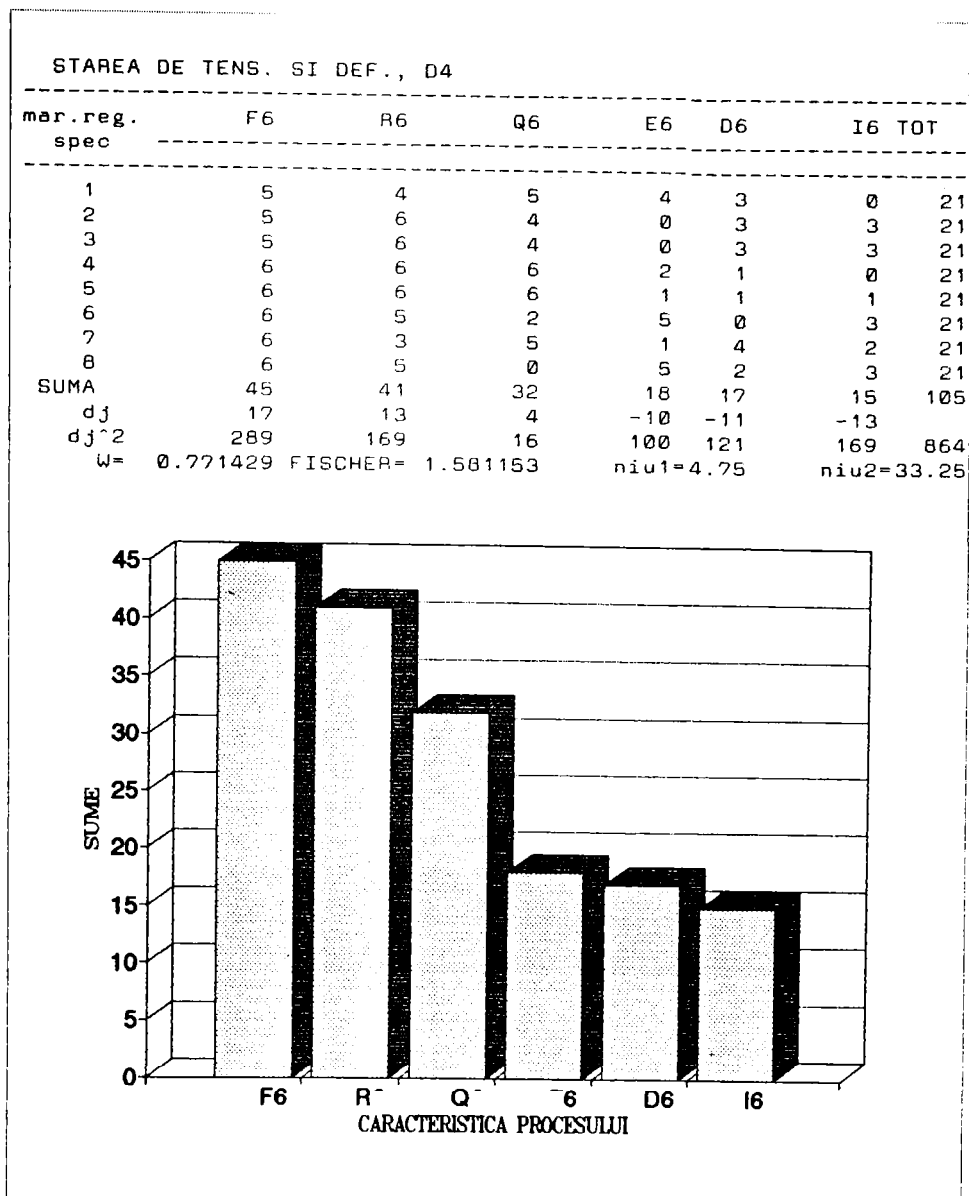


Fig. 3.24

La finalizarea acestei analize se pot trage mai multe concluzii, utile la desemnarea unor criterii de optimizare pentru procesul tehnologic de fabricare a tuburilor flexibile, dar si a principalelor

directii (functii) si restrictii pentru programul de optimizare, dupa cum urmeaza:

1. Estimarea unor influente mai mici ale marimilor de intrare legate de proprietatile materialului semifabricat asupra marimilor de reglare de catre specialisti, coroborata cu valorile mai scazute ale gradelor de concordanta din aceste cazuri, conduce la concluzia existentei unor lacune si confuzii determinate de insuficienta cercetare experimentală actuala asupra relatiilor de dependenta dintre proprietatile materialelor metalice si reglajele impuse sistemelor de fabricatie, multe dintre reglaje avand un caracter aleator sau empiric;

2. O dimensiune importanta, cu un grad mai bun de concordanta a parerilor specialistilor, este relatia multipla intre rezistenta la coroziune a materialului - marimile de reglare (mai ales conditiile de lucru, dar si geometria sculelor si fortele din sculele deformante) - caracteristicile de stabilitate ale tubului flexibil, relatie care trebuie dezvoltata prin cercetari experimentale;

3. Marirea vitezei benzii, ca unul dintre dezideratele tendintelor actuale in fabricatia moderna a tuburilor flexibile, presupune cercetari experimentale pentru determinarea functiilor de influenta asupra vitezei benzii, a caracteristicilor mecanice (R_1 , O_1 , D_1 , T_1 si C_1 (in acest caz considerandu-se si imbunatatirile ce se pot aduce prin protectie exterioara sau tratamente structurale sau de suprafatare)), a geometriei sculelor deformante si a conditiilor de lucru, simultan cu analiza procesului de deformare plastica (starea de tensiuni si deformatii);

4. Aceasta cercetare experimentală trebuie sa fie precedata de un studiu teoretic asupra determinarii starii de tensiuni si deformatii de catre tipul tubului, diametrul acestuia si geometria renurii, in concordanta cu geometria sculelor si regimul cinematic (daca este posibil si dinamic), al acestora;

5. Rezultatele studiului teoretic trebuie sa fie apoi comparate cu relatiile care se obtin in urma cercetarii experimentale, necesitatea efectuării experimentelor fiind argumentata de concordanta foarte buna a parerilor specialistilor la analiza influentelor acestor grupe de factori sau marimi de stare;

6. O influenta mare o are regimul cinematic al procesului de lucru (reprezentat de viteza benzii, B_4 si vitezele sculelor deformante, S_4), mai ales asupra caracteristicilor mecanice ale tuburilor rezultate (rezistenta la tractiune, R_5 si la strivire, S_5), influenta completata, poate in aceeasi masura, si de starea de tensiuni si

deformatii, D4;

7. Caracteristicile de flexibilitate ale tubului (raza minima de indoire, M5 si numarul de indoiri pana la spargere, I5) sunt influentate semnificativ de constructia (G4) si regimul dinamic (F4) al sculelor deformante, marimi de reglare, care, dupa cum s-a vazut, influenteaza semnificativ si caracteristicile de rezistenta mecanica ale tubului flexibil;

8. Printr-o exploatare adecvata, conditiile speciale de lucru pot afecta semnificativ, pe langa caracteristicile de rezistenta mecanica (R5, S5 si T5) si caracteristicile de flexibilitate ale tuburilor flexibile (M5 si I5);

9. Parametrul tehnico-economic al procesului tehnologic de fabricatie a tuburilor flexibile care este cel mai afectat de marimile de reglare este fiabilitatea sculelor, F6, influentata primordial de cinci din cele sase marimi de reglare si esential de viteza benzii;

10. De asemenea, capacitatea de lucru este al doilea parametru tehnico-economic al procesului de fabricatie influentat esential de toate cele sase marimi de reglare, din care, primordial, de viteza benzii (prin influentare primordiala se intelege ocuparea primului loc de catre parametrul respectiv in cadrul analizei influentei marimii de reglare supuse anchetei);

11. Din analiza influentelor asupra capacitatii de productie rezulta ca aceasta poate fi marita prin marirea vitezei benzii (caracteristici de rezistenta mecanica mai bune ale materialului semifabricat), constructie adecvata a sculelor, marirea fortelor de apasare a sculelor, conditii speciale de ungere, racire etc., corelarea acestor conditii cu vitezele sculelor deformante si dirijarea si controlarea starii de tensiuni si deformatii din materialul metalic semifabricat, cautandu-se totodata o corelare optima intre toate aceste marimi, deoarece, influentele lor nu sunt independente, ci interdependente;

12. Ca o consecinta a acestor concluzii, se pot justifica influentele pe care le au asupra costurilor indirecte, in mod esential, viteza benzii, vitezele sculelor si fortel din sculele deformante;

13. Influenta esentiale sufera si indicele rebuturilor din partea vitezelor sculelor deformante, fortelor din sculele deformante si mai ales a starii de tensiuni si deformatii;

14. In fine costurile directe sunt influentate esential doar de catre vitezele sculelor deformante, specialistii opiniind ca,

influențele marimilor de reglare asupra caracteristicilor ergonomice ale procesului tehnologic de fabricație, sunt neesențiale.

După selectarea factorilor, se poate trece la modelarea procesului tehnologic utilizând experimentul și metodele statisticii matematice, punând accentul, în primul rând, pe concordanța dintre model și datele experimentale, care se realizează prin analiză de regresie.

Simultan cu această analiză se vor inventaria și problemele specifice care pot constitui restricții pentru un program complex de optimizare a procesului de fabricație.

Revenind la sistemul generalizat propus pentru a fi utilizat la optimizarea procesului tehnologic de fabricație (figura 3.3), se fac următoarele propuneri pentru funcțiile (criteriile) de optimizare generalizate:

$$\sum F_{di} \Rightarrow \max. \quad (1)$$

$$\sum R_{di} \Rightarrow \min. \quad (2)$$

$$\sum F_{fi} \Rightarrow \max. \quad (3)$$

$$\sum S_{ik} \Rightarrow \min. \quad (4)$$

$$\sum E_{di} \Rightarrow \max. \quad (5)$$

$$\sum E_{fi} \Rightarrow \min. \quad (6)$$

$$\sum E_{ci} \Rightarrow \min. \quad (7)$$

$$\sum E_{ai} \Rightarrow \min. \quad (8)$$

$$Q_t \Rightarrow \max. \quad (9)$$

$$I_t \Rightarrow \min. \quad (10)$$

$$D_t \Rightarrow \min. \quad (11)$$

$$P_{ut} \Rightarrow \max. \quad (12)$$

$$G_{ut} \Rightarrow \min. \quad (13)$$

Restricțiile procesului de optimizare sunt date de legile fizicii binecunoscute:

- legea conservării energiei:

$$\sum E_{di} + \sum E_{fi} + \sum E_{ci} + \sum E_{ai} = 0 \quad (14)$$

- principiul acțiunii și reacțiunii:

$$\sum F_{di} + \sum F_{fi} + \sum R_{di} + \sum S_{ik} = 0 \quad (15)$$

- alte restricții date de condițiile particulare de execuție din domeniul tehnic, tehnologic sau economic.

Pe baza celor prezentate până acum, se prezintă, în continuare, rezultatele obținute în câteva direcții de optimizare, la rândul lor, mono- sau multidimensionale, în multe cazuri, cercetările pentru găsirea unui model teoretic fiind verificate prin experimente, de cele mai multe ori, desfășurate în condiții efective de producție, cu sprijinul agenților economici menționați de fiecare dată.

4. CONTRIBUTII TEORETICE SI EXPERIMENTALE PRIVIND STUDIUL PROCESULUI DE DEFORMARE PLASTICA A BENZII METALICE IN VEDEREA OPTIMIZARII PROCESULUI DE FABRICATIE

4.1 STABILIREA ELEMENTELOR DE CALCUL ALE PROCESULUI DE DEFORMARE PLASTICA A BENZII IN PROCESUL TEHNOLOGIC DE FABRICATIE A TUBURILOR METALICE FLEXIBILE

Asa cum s-a vazut in capitolul 3, procesul de fabricare a tuburilor flexibile include trei procese conexe: o profilare cu role a benzii, o ghidare curba si o infasurare a acesteia. Pe baza acestei grupari, in continuare, se va face analiza modelelelor matematice propuse.

4.1.1. Studiul procesului de profilare cu role a benzilor

Aceasta problema a constituit initial obiectul activitatii cercetatorilor din diferite tari industrializate (S.U.A., Marea Britanie, Germania, Franta, Japonia si C.S.I.), in ultimii ani problematica fiind abordata si de specialisti din multe alte tari printre care si tara noastra. Aplicate initial la realizarea tevilor sudate (folosite si la fabricarea tuburilor flexibile ondulate), cercetarile in domeniul profilarii cu role au fost extinse si la obtinerea profilurilor complexe deschise si mai apoi inchise, in prezent, semnalizandu-se tot mai mult, extinderea cercetarilor privind aplicarea procedeului [46][48][61][63][64][66] la realizarea unor piese indoite finite, chiar si de lungimi reduse (de exemplu elemente compensatoare de dilatatie, izolare vibratorie etc.), de aceasta data, in asociere cu alte metode si procedee tehnologice (stantare-matritare, sudare etc.).

Marea diversitate a profilurilor ce se pot obtine prin profilare a rezultat si din prezentarea principalelor tipuri de tuburi metalice flexibile efectuata in capitolul 2, prin formele diferite ale

renurilor benzilor ce se infasoara in procesul de fabricatie.

Intr-un studiu asupra procesului de profilare, Oehler [51] considera ca deformarea semifabricatului are loc prin indoirea continua a benzii intre perechile de role, dupa directia longitudinala, criteriul de apreciere asupra procesului de deformare fiind cresterea adancimii profilului in raport cu lungimea liniei de indoire. Valoarea optima a acestui raport este de 1:40 dupa Anghel [4] si de 1:36, dupa Sachs [62].

In practica, suprafata profilului rezultat practic nu este riguros identica cu suprafata teoretica, intre alte cauze aflandu-se, primordial, starea de tensiuni si, implicit, de deformatii.

Acceptandu-se ipoteza ca muchia profilului ramane rectilinie, respectiv, suprafata de fund a profilului ramane coplanara cu suprafata semifabricatului banda (figura 4.1), alungirea maxima din muchie este:

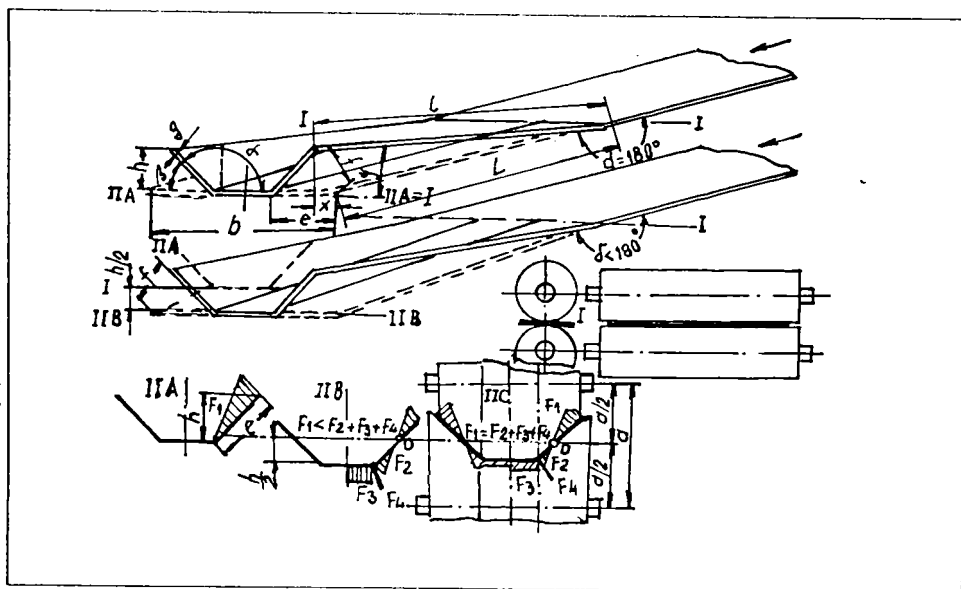


Fig. 4.1

$$\epsilon = \frac{(l-L)}{L}, \text{ unde:} \quad (4.1)$$

L - distanta dintre cajele de profilare;

$$l = (L^2 + f^2)^{1/2}, \text{ unde:} \quad (4.2)$$

$$f^2 = x^2 + y^2. \quad (4.3)$$

Tot din schema prezentata in figura 4.1 rezulta ca, urmare a

alungirii muchiei profilului in raport cu lungimea liniei de indoire corespunzatoare suprafetei de baza, in aripa indoita apar, dupa directie longitudinala, tensiuni de intindere cu o distributie liniara dupa inaltimea profilului, tensiuni ce tind sa provoace o curbare in jos a profilului, la iesirea acestuia din perechea respectiva de role.

Daca pozitia profilului la fiecare pereche de role active se alege astfel incat, fundul sau sa fie coborat cu $h/2$ in raport cu planul benzii din rolele de antrenare, se obtine o distributie a tensiunilor conform epurei II B din aceeasi figura, respectiv, acestea se anuleaza in axa neutra si sunt maxime si de sens opus in muchia marginala si cea corespunzatoare epurei de indoire. Valoarea maxima a tensiunii din muchia indoita este dupa Schulze [65]:

$$\sigma = \frac{e^2 E (1 - \cos \beta)}{L^2}, \text{ unde:} \quad (4.4)$$

$E = 2,16 \times 10^4 \text{ daN/mm}^2$, este modulul de elasticitate longitudinala.

In realitate procesul de deformare nu are loc pe lungimea l de semifabricat cuprinsa intre doua perechi succesive de role, ci pe o portiune L_1 , numita "portiune de trecere".

Mäkelt [35], [36], defineste lungimea portiunii de trecere pornind de la expresia lungimii muchiei marginale:

$$l^2 = L^2 + 2e^2 (1 - \cos \beta); \quad (4.5)$$

respectiv de la expresia alungirii absolute din aceasta muchie:

$$\Delta l = \frac{e^2 (1 - \cos \beta)}{L}, \quad (4.6)$$

unde, punand conditia ca deformatia relativa din muchia marginala sa nu depaseasca $\epsilon = 0,002$, corespunzator domeniului deformatiilor elastice, rezultand, pentru cazul $L = L_1$:

$$L_1 = 22,36 e \sqrt{1 - \cos \beta}. \quad (4.7)$$

Pentru fazele urmatoare de deformare, lungimea portiunii de trecere are expresia:

$$L_1 = 15,8 [(y - y_0)^2 + 0,25 (W_0 - W)]^{0,5}, \text{ unde:} \quad (4.8)$$

$y = e (1 - \cos^2 \beta)^{0,5}$, este inaltimea profilului, iar,

$W = 2 * e * \cos \beta$, este dublul proiectiei aripii indoite in planul suprafetei de baza.

Cercetand procesul profilarii benzilor pe masini cu role, Davidov

si Maksakov [19], au constatat o asemanare intre modul de deformare a materialului in sectiunea transversala si cel realizat in procesul indoirii pe matrite de indoire. Exista si deosebiri in ce priveste starea de tensionare si deformare dupa directia longitudinala a profilului, determinate de alungirea muchiilor marginale, alungire dependenta, la randul ei, de unghiul de indoire si limitata la o lungime momentana l_{mom} , corespunzatoare unei stari de tensionare in domeniul elastic. Cercetatorii propun o relatie de calcul al unghiului limita de indoire, pe o faza de profilare, de forma:

$$\beta_{max} \leq 2 \arcsin \frac{L_1}{2b} \sqrt{I_{mom} (2 + I_{mom})}, \text{ unde:} \quad (4.9)$$

L_1 - proiectia lungimii portiunii de trecere in planul de baza;
 b - inaltimea aripii indoite.

Aceasta relatie teoretica este dificil de aplicat in practica, deoarece nu se cunoaste lungimea portiunii de trecere, in majoritatea cazurilor. Alegerea unui unghi de indoire nepotrivit pe o pereche de role (in sensul unei valori prea mari), conduce la defecte de fabricatie manifestate sub forma incovoierii longitudinale sau prin variatia aripilor indoite sau a fundului piesei [84].

Intr-o lucrare, Anghel [3] recomanda ca modificarea inaltimii profilului intre perechile de role din doua caje de profilare succesive sa fie facuta sub un unghi constant, $\Delta = 1^{\circ}25'$, unghi format de muchia marginala a profilului si proiectia acestuia pe suprafata de baza.

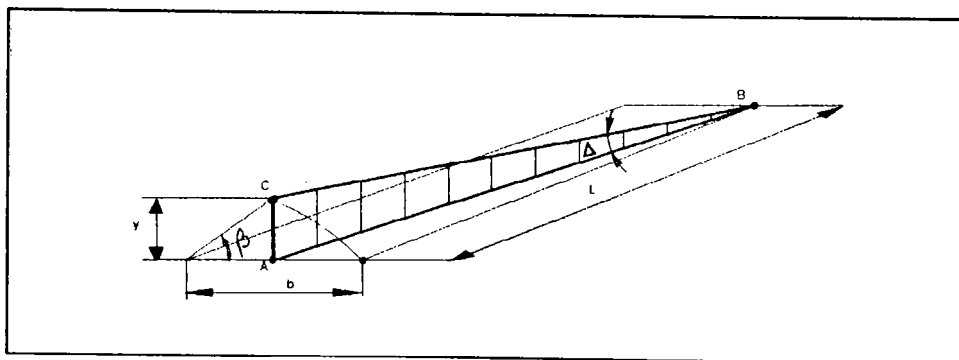


Fig. 4.2

Considerand elementele din figura 4.2, valoarea unghiului limita pe fiecare faza de profilare va fi:

$$\sin \beta_{\max} \leq \frac{y}{b}. \quad (4.10)$$

Din ΔABC , facand aproximarea $AB = L$, se poate calcula:

$$y = L \cdot \operatorname{tg} \Delta = \frac{l}{\operatorname{ctg} \Delta} = \frac{L}{\operatorname{ctg} \Delta}, \quad (4.11)$$

si deci:

$$\beta_{\max} \leq \arcsin \frac{L}{b \cdot \operatorname{ctg} \Delta} = \arcsin \frac{L}{40,4b}. \quad (4.12)$$

Pentru determinarea lungimii L_1 a portiunii de trecere, Mäkelt propune o metoda grafo-analitica, a carei schema de calcul este prezentata in figura 4.3, relatia de calcul fiind:

$$L_1 = m + r$$

in care parametrul m rezulta pe o cale grafica, fiind determinat de punctul K de intersectie a profilului rolor pentru diametrele lor exterioare.

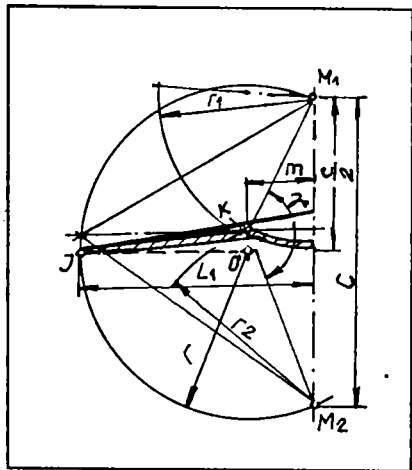


Fig. 4.3

Parametrul r rezulta pe o cale grafica, fiind determinat prin proiectarea in planul suprafetei de baza a profilului, a punctului K in punctul O , respectiv reprezinta raza cercului avand centrul in O si care trece prin centrele $M1, M2$ ale rolor de profilare. Parametrul m poate fi aproximat si prin relatiile (4.13) (pentru prima faza de profilare), respectiv (4.14) (pentru fazele urmatoare), metoda fiind comoda pentru prima faza de rofilare, dar devine greoaie pentru fazele urmatoare ale procesului.

$$m = \left(r + h - \frac{h^2}{4} \right)^{0,5} \quad (4.13)$$

$$\dot{m} = \left[r * (h - h_0) - \frac{1}{4} (h - h_0) \right]^{0,5} \quad (4.14)$$

Un exemplu de constructie grafica pentru fazele 5 si 6 ale unui proces de profilare sunt prezentate in figura 4.4.

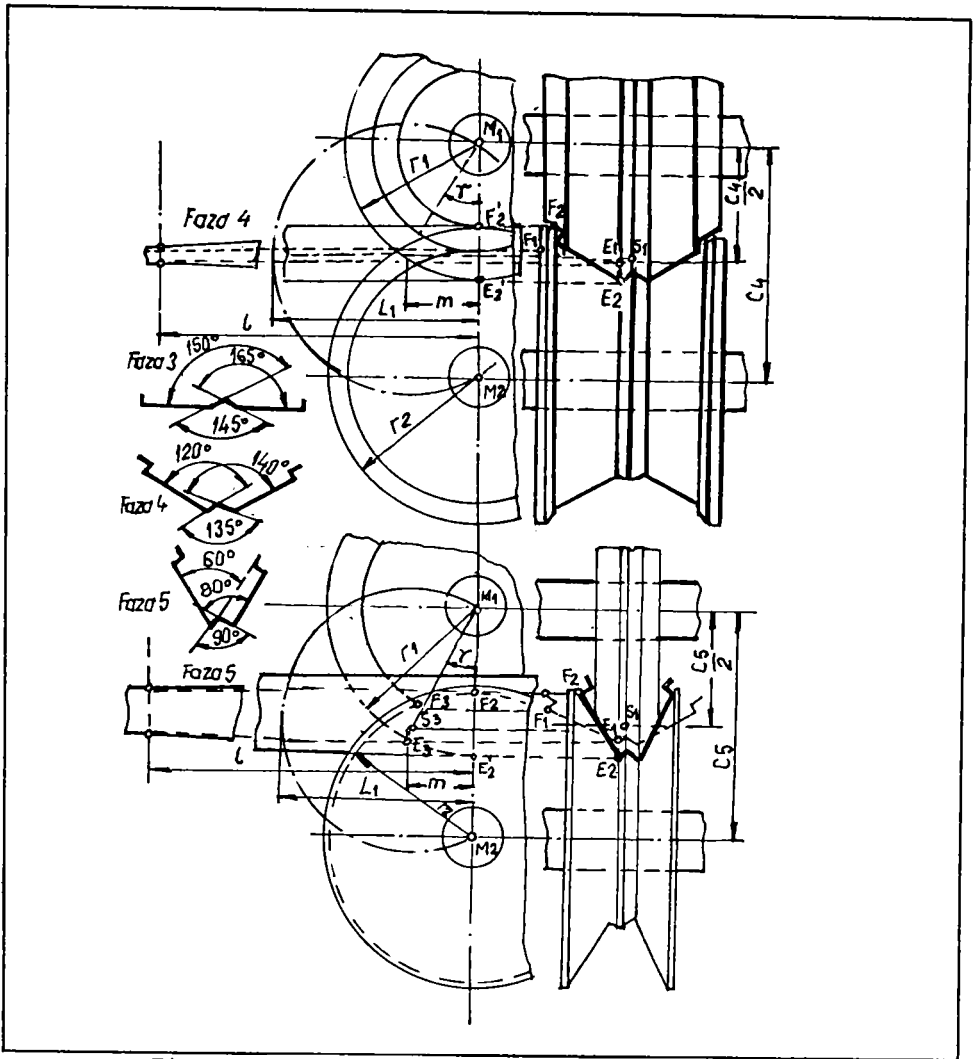


Fig. 4.5

In cazul profilarii fara modificarea pozitiei fundului profilului (cazul procesului profilarii tevilor circulare), Matveev s.a. [38][39][40] stabilesc conditiile formarii profilului. Astfel, conform figurii 4.5, traiectoria punctului caracteristic de pe muchia marginala, descrisa in coordonate rectangulare, este definita de ecuatiile:

$$x = R \cdot \sin \phi, \quad (4.15)$$

$$y = R \cdot (1 - \cos \phi), \quad (4.16)$$

respectiv, explicitand $R = B / \phi$, rezulta:

$$x=B*\frac{\sin\phi}{\phi}, \text{ si } y=B*\frac{1-\cos\phi}{\phi}. \quad (4.17)$$

Scriind pozitia punctului caracteristic in coordonate polare, expresia razei de curbura, δ , este:

$$\rho=\frac{B}{2*\psi}\sqrt{2*(1-\cos^2\psi)}, \text{ sau:} \quad (4.18)$$

$$\rho=B*\frac{\sqrt{2}}{2}*\frac{\sin\psi}{\psi}. \quad (4.19)$$

Tot in coordonate polare, legatura intre raza curenta, cresterea infinit mica a acesteia si arcul elementar descris de punctul curent, poate fi aproximata de relatia:

$$\left(\frac{dS}{d\psi}\right)^2=\left(\frac{d\rho}{d\psi}\right)^2+\rho^2, \quad (4.20)$$

de unde, integrand expresia, se obtine valoarea arcului elementar:

$$d_s=\int_{\psi_0}^{\psi} B*\sqrt{\frac{(\psi*\cos\psi-\sin\psi)^2-\psi^2*\sin^2\psi}{\psi^4}}. \quad (4.21)$$

Expresia este integrabila numai pentru $\psi \in (0, \pi/2)$, caz in care se obtine:

$$S=1,44*B. \quad (4.22)$$

Dezvoltand functiile $\sin\psi$ si $\cos\psi$ in serie si aproximandu-le prin primii trei termeni ai seriilor:

$$\sin\psi=\psi-\frac{\psi^3}{6}+\frac{\psi^5}{120}-\frac{\psi^7}{5040}+\dots \quad (4.23)$$

$$\cos\psi=1-\frac{\psi^2}{2}+\frac{\psi^4}{24}-\frac{\psi^6}{120}+\dots \quad (4.24)$$

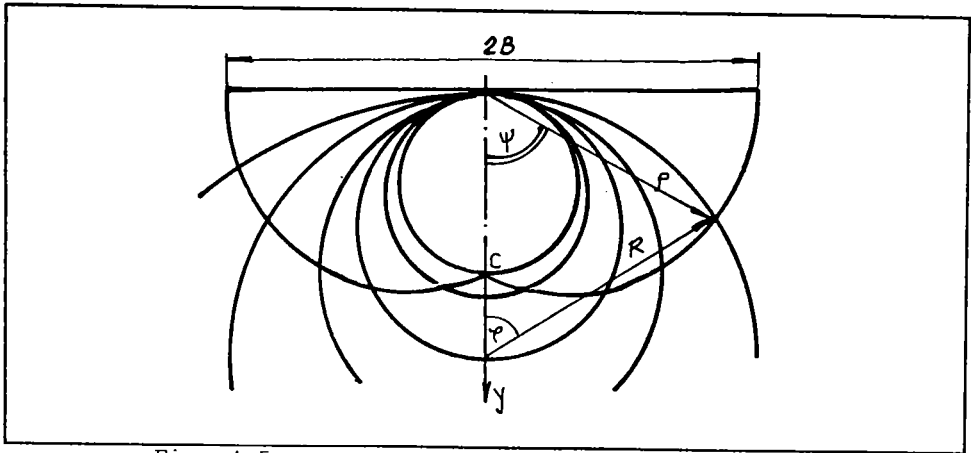
se poate exprima lungimea arcului descris de punctul caracteristic, cu o eroare sub 1%, din relatia:

$$S=B\sqrt{(\psi-\psi_0)[(\psi-\psi_0)-0,074(\psi^3-\psi_0^3)+0,004(\psi^5-\psi_0^5)]}, \quad (4.25)$$

relatie care, particularizata pentru $\psi_0=0$ si $\psi=\pi/2$, conduce la rezultatul:

$$S = 1,45*B.$$

Practica a dovedit ca, in conditii industriale, este satisfacatoare aproximarea dezvoltarii in serie prin primii doi



Fi. 4.5

termeni, caz in care, expresia traiectoriei punctului caracteristic este mai simpla:

$$S = B \cdot \frac{\phi - \phi_0}{2} \cdot \sqrt{1 - 0,0185 (\phi^2 + \phi \cdot \phi_0 + \phi_0^2)^2} \quad (4.26)$$

Pentru $\phi = 0$, se obtine:

$$S = \frac{B \cdot \phi}{2} \cdot \sqrt{1 - 0,0185 \cdot \phi^2}. \quad (4.27)$$

In cazul profilarii tevilor cu modificarea pozitiei suprafetei de baza in fiecare pereche de role, astfel incat, sa ramana nemodificata pozitia centrului de racordare a sectiunii finale cu suprafata semifabricatului plan (conform schemei din figura 4.6), se introduc si definesc urmatoarele marimi:

- ordonatele centrelor sectiunilor, pentru fazele intermediare de profilare:

$$e = \frac{R \cdot \sin \phi}{\phi}; \quad (4.28)$$

- lungimea arcului descris de punctul caracteristic:

$$S = B \int_{\phi_0}^{\phi} \sqrt{\frac{\phi + \phi^2}{\phi^4} + \frac{\sin \phi \cdot \cos \phi}{\phi^3} \left(2 - \frac{8}{\phi^3} \right) + \frac{\sin^2 \phi}{\phi^4} \left(\frac{4}{\phi^2} - 7 \right)} d\phi. \quad (4.29)$$

Dezvoltand in serie functiile trigonometrice, expresia devine:

$$S = B \sqrt{(\phi - \phi_0) [0,111 (\phi - \phi_0) + 0,0148 (\phi^3 - \phi_0^3) - 0,0162 (\phi^5 - \phi_0^5)]}, \quad (4.30)$$

pentru aproximarea dezvoltarilor prin primii trei termeni, respectiv,

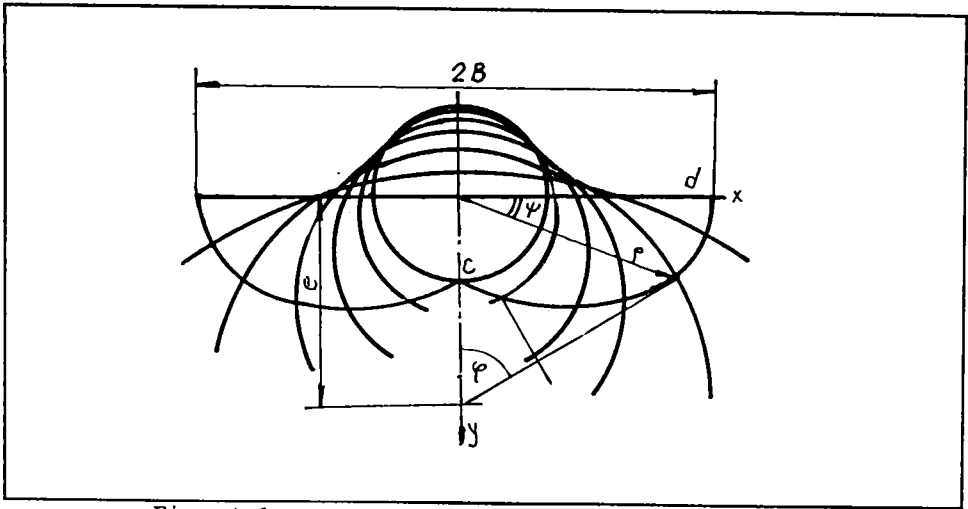


Fig. 4.7

admitand $\phi=0$ si doar primii doi termeni ai dezvoltarii:

$$S=B*\phi*\sqrt{0,111+0,0148*\phi^2}. \quad (4.31)$$

In ce priveste alungirea materialului in muchia marginala a profilului, ϵ , se calculeaza cu relatia propusa de Emelianenko si Jukovski:

$$\epsilon=[\left(\frac{S_i}{L_i}\right)^2+1]^{0,5}-1, \text{ unde:} \quad (4.32)$$

L_i - sunt lungimile focarelor de deformare pentru fazele de profilare.

Pentru prima faza de preprofilare, spre exemplu:

$$L_1=[m(m+2)]^{0,5}*\frac{B^2}{T}*0,065*\phi_k*(1-0,282*\phi_k^2), \text{ unde } m=0,2. \quad (4.33)$$

Asa cum rezulta din lucrarea cercetatorului Grebeni [27], lungimea portiunii de trecere nu se extinde pe intreaga distanta dintre doua perechi succesive de role, ci, pornind de la faptul ca dupa angajarea semifabricatului pe toate perechile de role, deformatia longitudinala din muchia indoita se realizeaza pe intreaga grosime, si in ipoteza mentinerii sectiunii transversale plane, lungimea portiunii de trecere se defineste astfel (conform notatiilor din figura 4.7):

$$L=b\sqrt{\frac{2*(1-\cos\alpha)}{2*1+l^2}}, \quad (4.34)$$

in care:

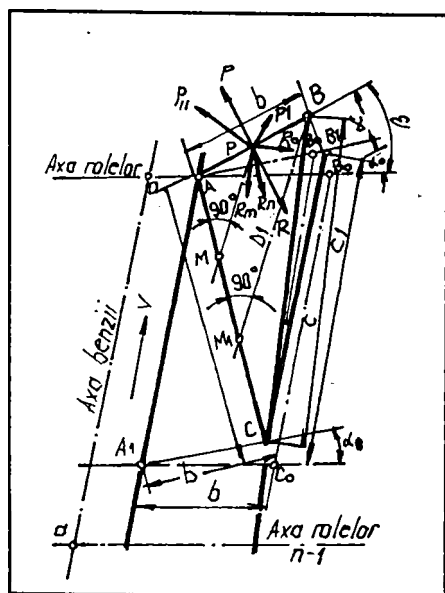


Fig. 4.7

- b - latimea aripii indoite;
- α - unghiul total de indoire;
- l - lungimea liniei de indoire.

In baza schemei de formare a profilului banda, autorul analizeaza componentele fortei de profilare, facand afirmatia ca valorile analitice obtinute necesita verificarea lor experimentală.

Intr-o alta lucrare Smirnov-Aliaev si Gun [70], dupa un studiu al procesului de profilare, stabilesc metodele de definire a stadii de deformare, lucrul mecanic necesar prelucrării, valoarea medie a fortei de deformatie, modelele matematice propuse avand la baza doua principii: primul, al indoirii

pure si al doilea, al tensionării liniare a muchiei semifabricatului.

Ipotezele simplificatoare pentru definirea parametrilor procesului de profilare sunt:

- sectiunea transversala a semifabricatului in cursul profilării ramane plana si perpendiculara pe axa principala a profilului;
- lungimea stratului neutru din fiecare sectiune transversala este constanta si egala cu latimea initiala a benzii.

Pe aceste baze, in lucrare se stabilesc urmatoarele relatii de definitie pentru:

- a) Lungimea portiunii de trecere, l:

$$l = 2 * b * (m + 1) \left[\frac{m + 2}{2 * m + 3} * \frac{b}{g} * \left(\frac{R}{g} \right)^m \right]^{\frac{1}{2 * m + 2}} * \left(\frac{\Delta \beta}{2 * m + 1} \right)^{\frac{2 * m + 1}{2 * m + 2}}, \quad (4.35)$$

in care:

- b - latimea aripii indoite;
 - m - coeficientul de ecrusare a materialului;
 - g - grosimea semifabricatului banda;
 - R - raza de curbura in stratul neutru;
 - Δβ - unghiul de indoire, la fiecare faza de profilare;
- b) Alungirea longitudinală din profil, ε:

$$\epsilon = \frac{1}{2} * \left[\frac{2*m+2}{2*m+1} * \frac{b}{l} * \Delta\beta * \frac{u}{b} * \left(\frac{V-V_0}{l} \right)^{\frac{1}{2*m+1}} \right]^2, \quad (4.36)$$

unde:

u, v - coordonatele punctului curent, considerat pe aripa indoita;
 v_0 - abscisa punctului care defineste inceputul portiunii
 trecere;

c) Alungirea maxima, ϵ_{\max} , corespunzatoare muchiei marginale a profilului, va fi:

$$\epsilon_{\max} = \frac{1}{2} \left(\frac{2*m+2}{2*m+1} * \frac{b}{l} * \Delta\beta \right)^2. \quad (4.37)$$

Determinarile experimentale au aratat ca rezultatele practice au valori foarte apropiate de cele obtinute pe cale analitica, in cazul benzilor de grosimi medii, impunandu-se incercari suplimentare pentru profilurile complexe, din benzi cu grosime foarte mica.

De asemenea, s-a pus in evidenta faptul ca, in lungul portiunii de trecere, materialul din muchia aripii indoite sufera, atat deformatii de intindere, cat si de compresiune, si, de asemenea, ca deformatia are loc dupa scheme mai complexe decat cele corespunzatoare indoirii pure.

Pentru definirea rapida a lungimii portiunii de trecere, in vederea stabilirii gradelor de deformare limita si a parametrilor energetici, cercetatorii Bogoiavlenski si Grigoriev propun ca solutie mai comoda utilizarea unor formule experimentale, aplicabile prin stabilirea unor corectii pentru diferite cazuri de profilare.

Astfel, pentru deformarea benzilor subtiri, cu $g < 2,5$ mm, lungimea portiunii de trecere este data de relatia [8]:

$$l = b(a-n)g, \quad (4.38)$$

unde a si n sunt coeficienti ce depind de conditiile initiale, care se determina din nomograme.

Aceeasi cercetatori, arata intr-o alta lucrare [9], ca deformarea materialului se termina inaintea intrarii acestuia in perechea de role si ca se pot delimita, in semifabricat, zonele unde materialul este deformat in domeniul plastic (curba amb, figura 4.8), respectiv in domeniul elastic (curba a^m/b^l , aceeasi figura).

De asemenea, sectiunea transversala, considerata plana, isi modifica pozitia unghiulara in raport cu axa Ox, inclinandu-se usor inapoi, conform dreptei KK' din figura 4.9.

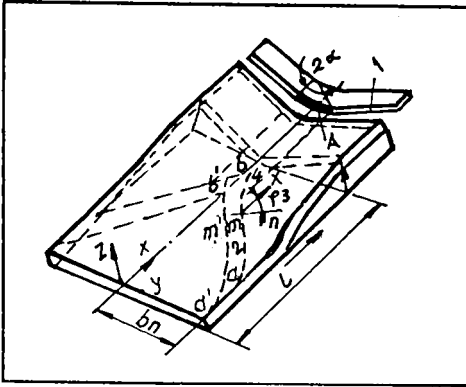


Fig. 4.8

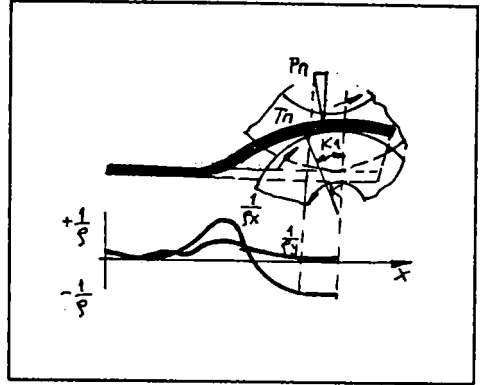


Fig. 4.9

Pentru descrierea geometriei și stării de deformare a semifabricatului, autorii propun relația:

$$dW = \frac{\partial W}{\partial x} dx + \frac{\partial W}{\partial y} dy, \quad (4.39)$$

unde:

dW - creșterea săgeții stratului neutru al fasiei;

$\partial W/\partial x$, $\partial W/\partial y$ - gradientele modificării săgeții stratului neutru după direcția axelor sistemului de referință.

$$\frac{1}{\rho_x} = \frac{\partial^2 W}{\partial x^2}; \quad \frac{1}{\rho_y} = \frac{\partial^2 W}{\partial y^2}; \quad \frac{1}{\rho_n} = \frac{\partial^2 W}{\partial n^2}; \quad (4.40)$$

unde n , este direcția cu orientare arbitrară sub un unghi ϕ față de axa Ox .

Starea de deformare în orice punct al fasiei se definește prin expresiile:

$$e_x = \frac{\tau}{\rho_x}; \quad e_y = \frac{\tau}{\rho_y}; \quad v_{xy} = \frac{\tau}{\rho_{xy}}. \quad (4.41)$$

Determinările experimentale efectuate în acest caz demonstrează că, în lungul axei Ox , modificarea de curbura este permanentă, iar după axa Oy , este monotona.

În cazul în care, la baza studiului procesului de profilare, se iau în considerare modificările caracteristicilor mecanice ale materialului (rezistența la rupere, limita de curgere, duritatea, alungirea și gâtuirea la rupere), funcție de unghiul de îndoire, grosimea benzii și regimul de profilare se pot aplica rezultatele cercetărilor lui Leicenko [34].

Astfel, pentru definirea presiunii metalului pe rolele de profilare, se considera că, în focarul de deformare în metal,

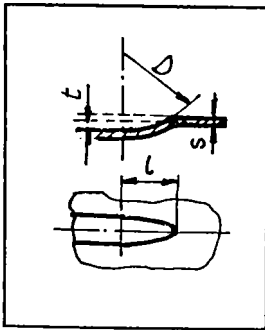


Fig. 4.10

tensiunea atinge limita de curgere. Lungimea focarului de deformare este definita functie de diametrul de baza al roletelor, D si inaltimea, t a profilului, printr-o relatie experimentală, exprimata conform notatiilor din figura 4.10, in urmatoarea forma:

$$l = \sqrt{t(D-t)}. \quad (4.42)$$

Forma si lungimea focarului de defo obtinute dupa schema din figura 4.10 nu corespund conditiilor experimentale, in realitate focarul de deformare incepand, inaintea roletelor si terminandu-se in axa.

Analizand procesul profilarii benzilor pe utilaje cu role, Trisevski s.a. [82][84], stabilesc ca deformarea materialului semifabricatului are loc pe asa-numita portiune de trecere, conform schemei din figura 4.11.

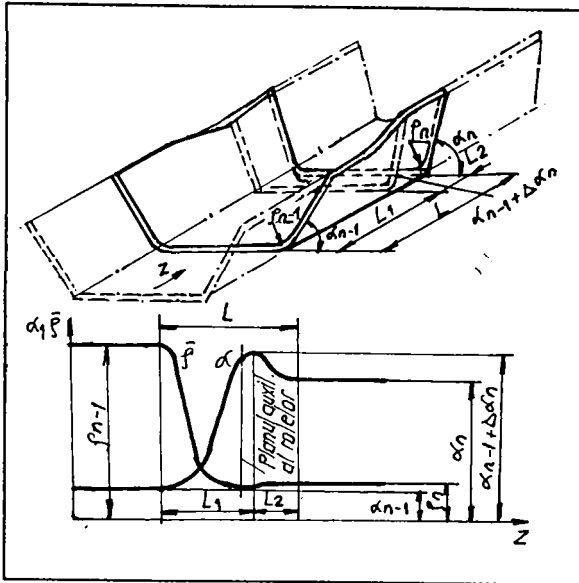


Fig. 4.11

Lungimea portiunii trecere L , cuprinde doua zone, una de lungime L_1 , pe care are loc deformarea si se inregistreaza marirea continua a unghiului de indoire $\alpha(z)$, respectiv o microrare a razei de indoire $\rho(z)$ si zona de descarcare a tensiunilor de lungime L_2 , pe care se inregistreaza o microrare $\Delta\alpha(z)$ a unghiului de indoire si o marire a razei de indoire, ca urmare a arcurii elastice a materialului.

Limita celor doua zone corespunde unui plan situat dupa planul axial al roletelor de profilare.

Unghiul total de indoire, considerand axa Oz paralela cu axa principala a profilului, poate fi definit prin relatia:

$$\alpha_t(z) = \alpha_p + \alpha(z), \quad (4.43)$$

unde:

α_p - unghiul profilului la inceputul portiunii de trecere;

$\alpha(z)$ - unghiul de indoire pe portiunea de trecere.

Legea de variatie a unghiului de indoire pe portiunea de trecere este stabilita de Trisevski, prin relatia:

$$\alpha(z) = \Delta\alpha_n * \sin^k \frac{\pi * z}{2 * L}, \quad (4.44)$$

unde:

z - abscisa punctului curent, originea O a sistemului de axe fiind punctul de incepere al zonei L_1 din portiunea de trecere;

$\Delta\alpha_n$ - variatia unghiului de indoire intre doua perechi de role;

$k=2...4$ - coeficient ce depinde de intensitatea modificarilor unghiului profilului.

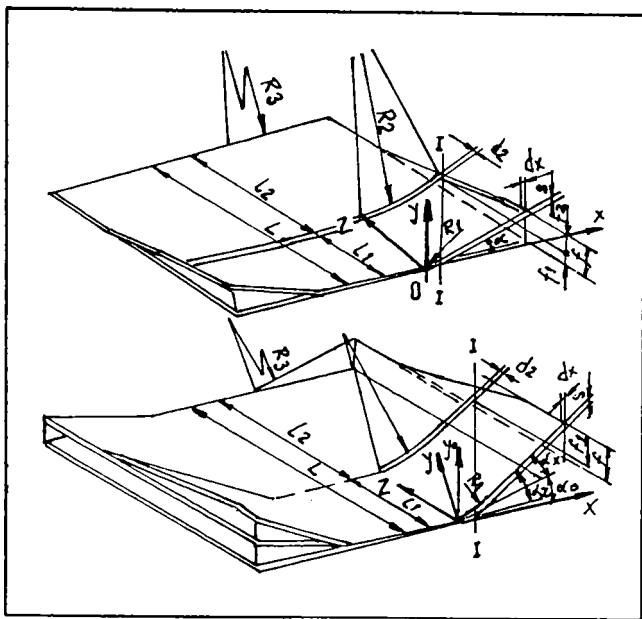


Fig. 4.12

In vederea definirii starii de tensiuni si a conditiilor limita privind unghiurile de indoire, presiunea dezvoltata de semifabricat pe role etc., Trisevski adopta, pe baza unor constatari experimentale, scheme pentru portiunea de trecere, differentiate pentru prima faza de profilare, respectiv pentru faza ulterioare, scheme

prezentate in figura 4.12.

Lungimea L , a portiunii de trecere, cuprinde doua zone de lungimi l_1 si l_2 , corespunzatoare unor stari de tensiuni in domeniul elastic si respectiv, plastic, putand fi calculata din relatia:

$$L = l_1 + l_2 = b * [0,63 * (\frac{\pi\alpha}{360})^2 * \frac{b^7}{g^2}]^{\frac{1}{5}}, \quad (4.45)$$

unde:

α - unghiul de indoire pe o faza de profilare;

b - lungimea aripii indoite;

g - grosimea semifabricatului.

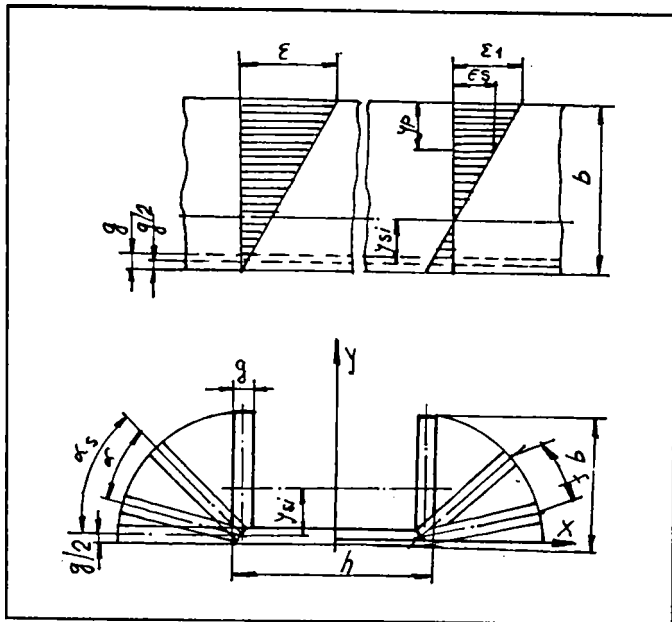


Fig. 4.13

Defectele profilurilor formate pe masini cu role se manifesta, in general, sub forma incovoierii longitudinale, a torsionarii sectiunii, respectiv prin pierderea stabilitatii (aparitia cutelor) pe suprafata aripii indoite sau chiar pe suprafata de baza.

Trisevski considera ca principala cauza care provoaca aparitia defectelor

amintite, este, alegerea unui unghi de deformare pe o faza de profilare, de valoare prea mare. Pentru definirea unghiului limita de indoire pe o faza de profilare, Trisevski echivaleaza cazul real de distributie a deformatiei longitudinale din aripa unui profil "U" pentru care, distributia este liniara cu valoarea nula corespunzatoare liniei de indoire, respectiv, maxima in muchia marginala, avand cazul real pentru care deformatia longitudinala este nula in planul corespunzator axei principale de inertie, si care are valori extreme de sens opus in linia de indoire, si, respectiv muchia profilului.

Rezulta deci, din figura 4.13:

$$\frac{\epsilon}{b \cdot \sin \alpha_{s1}} = \frac{\epsilon_1}{b \cdot \sin \alpha_{s1} - y_{s1}} \quad (4.46)$$

unde:

y_{s1} - ordonata centrului de greutate al sectiunii transversale a profilului;

ϵ - deformatia longitudinala maxima pentru cazul ideal;

ϵ_1 - deformatia longitudinala maxima pentru cazul real;

α_{s1} - unghiul total de indoire pentru faza "i" de profilare.

Definind alungirea reala ϵ_1 din muchia profilului si explicitand

lungimile l_1 si l_2 ale portiunii de trecere, pentru conditia ca alungirea ϵ_1 sa nu depaseasca valoarea corespunzatoare unei tensiuni proportionale cu limita de curgere, se poate formula urmatoarea conditie pentru calculul limitei conventionale de curgere cu ecrusarea materialului, $R'_{p0,2}$:

$$\sqrt{\frac{b^2 + (1 - \frac{y_p}{b})^2 (\frac{\pi * b * \alpha_i}{360^\circ})^2}{b + [0,63 * (\frac{\pi \alpha_i}{360^\circ})^2 * \frac{b^7}{g^2}]^{0,2}}} + \frac{2}{3} * \frac{(1 - \frac{y_p}{b}) (\frac{\pi b \beta_n}{360^\circ})^2}{[0,63 (\frac{\pi \alpha_i}{360^\circ})^2 \frac{b^7}{g^2}]^{0,2} [b + [0,63 (\frac{\pi \alpha_i}{360^\circ})^2 \frac{b^7}{g^2}]^{0,2}]} \leq \frac{\dot{R}_{p0,2}}{E} * \frac{1}{1 - \frac{b}{h + 2b - g^2}}, \quad (4.47)$$

unde:

y_p - lungimea din muchia indoita corespunzatoare deformatiilor plastice;

E - modulul de elasticitate longitudinala, ($E = 2,16 * 10^4$ N/mm²);

α_i - unghiul de indoire pe fiecare faza de profilare.

Valoarea limitei de curgere cu ecrusare este data de relatia:

$$\dot{R}_{p0,2} = R_{p0,2} + \frac{R_m - R_{p0,2}}{\alpha_f} * \alpha_{\Sigma_i}, \quad (4.48)$$

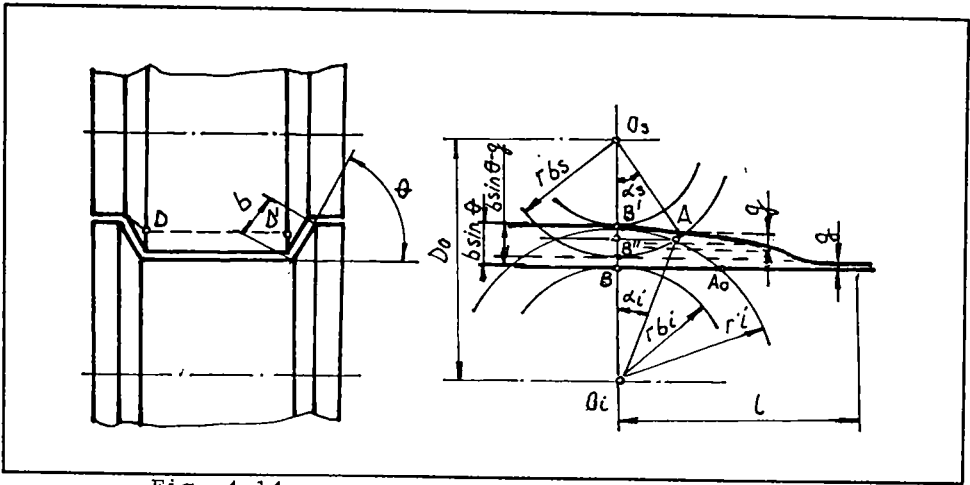
in care:

α_f - unghiul final de indoire al aripii profilului.

Autorul arata ca pentru practica proiectarii proceselor de profilare, atunci cand inaltimea relativa, h/g , a profilului are valori medii (10...30), portiunea aripii tensionata in domeniul plastic este $y_p = (0,1...0,2) * b$. Daca unghiul de deformare aplicat pe o faza de profilare este mic si nu se inregistreaza alungiri longitudinale remanente, atunci valoarea y_p este nula.

Intr-o alta lucrare, Adrian [1], arata ca procesul de indoire in instalatiile de profilare cu role are loc fara deformare pe lungime, si deci, presiunea roletelor nu trebuie sa produca reducerea grosimii peretilor semifabricatului banda. Deformarea intr-o singura caja se determina din conditiile prinderii intre role a benzii si din valorile admisibile ale tensiunii care apare in materialul deformat.

Autorul stabileste conditiile de antrenare ale benzii de catre rolele de profilare, pornind de la observarea procesului de angajare a semifabricatului intre role, conform schemei din figura 4.14.



Fi-. 4.14

Initial, semifabricatul banda intalneste rola inferioara in punctul A₀ de raza r_i['], iar dupa ridicarea capatului benzii si realizarea contactului cu generatoarea DD', pe rola superioara, incepe deformarea propriu-zisa.

Valorile unghiurilor de contact α_i si α_s a semifabricatului, cu cele doua role, depind de marimea b a aripii profilului si de unghiul de indoire, θ. Dupa realizarea indoirii sub unghiul θ, raza de contact cu rola inferioara este:

$$r_i' = r_{bi} + b \cdot \sin \theta. \tag{4.49}$$

Segmentele axiale BB' si B'B'' rezultate prin intersectia diametrelor exterioare ale rotelor inferioara si superioara cu axa verticala O_sO_i a rotelor sunt calculate din relatiile:

$$BB' = b \cdot \sin \theta, \tag{4.50}$$

$$B'B'' = b \cdot \sin \theta - g. \tag{4.51}$$

Proiectia in planul axial al rotelor, a punctului A de intersectie a diametrelor exterioare ale rotelor determina segmentele:

$$A'B' = r_{bs} (1 - \cos \alpha_s) = 2 \cdot r_{bs} \cdot \sin^2 \frac{\alpha_s}{2}, \tag{4.52}$$

$$A'B = r_i' (1 - \cos \alpha_i) = 2 \cdot r_i' \cdot \sin^2 \frac{\alpha_i}{2}. \tag{4.53}$$

Data fiind valoarea unica a unghiurilor de prindere α_s, α_i, se poata face aproximatia:

$$\sin \frac{\alpha_i}{2} = \sin \frac{\alpha_s}{2} = \frac{\alpha_c}{2}, \text{ unde } \alpha_c = \frac{\alpha_i + \alpha_s}{2}. \quad (4.54)$$

Rezulta ca:

$$A'/B' + A'/B = b \cdot \sin \theta, \quad (4.55)$$

sau:

$$0,5\alpha_c^2(D_0 - g + b \cdot \sin \theta) = b \cdot \sin \theta, \quad (4.56)$$

de unde, neglijand termenii g in raport cu D_0 si $0,5\alpha_c^2$ rezulta:

$$b \cdot \sin \theta = 0,5 \cdot D_0 \cdot \alpha_c^2. \quad (4.57)$$

Punand conditia de antrenare:

$$\alpha_c \leq \beta_{\text{prindere}} = \phi_{fr},$$

unde $\phi_{fr} = (10 \dots 12)^\circ$, este unghiul de frecare, rezulta conditia de antrenare:

$$\theta \leq \arcsin \frac{0,5 \cdot D_0 \cdot \phi_{fr}^2}{b} = \arcsin \frac{(50 \dots 70) D_0}{b}. \quad (4.58)$$

Relatia (4.58) arata ca nu pentru orice situatie conditia de antrenare este satisfacuta si deci, este necesara actiunea unei forte axiale Q asupra semifabricatului. Astfel, pentru cajele medii (cazul profilarii in productia de tuburi flexibile), se poate adopta un unghi mai mare θ de indoire, acesta micșorandu-se spre ultimele caje pentru finisarea profilului.

Lungimea portiunii de trecere l , se poate determina din relatia:

$$l = 0,5 \cdot D_0 \cdot ctg \frac{\pi - 2\alpha_c}{4} + b. \quad (4.59)$$

Ca si in cazul altor procese de prelucrare prin deformare plastica a semifabricatelor subtiri, la care starea de tensiuni si deformatii este de tip monoaxiala de compresiune, apare, pentru cazurile limita pericolul pierderii stabilitatii si, implicit, al voalarii zonei deformate.

Astfel, in cazul ambutisarii, criteriul de apreciere a pericolului de aparitie a cutelor este grosimea relativa $g/100 \cdot D$, considerandu-se ca, pentru valori $g/100 \cdot D < 1,5$, este necesara retinerea zonei de flansa prin inelul de retinere al matritei.

In cazul indoirii profilurilor laminate (cornier, profil "T" etc.), prevenirea aparitiei cutelor se realizeaza folosind

dispozitive speciale de indoire cu rezemarea semifabricatului sau respectand valori limita pentru parametri indoirii.

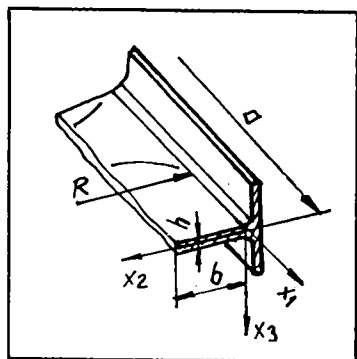


Fig.4.15

Rasmihin, [54] considerand indoirea profilelor "T" laminate (figura 4.15), stabileste criteriile de stabilitate a aripiei supuse la compresiune, in ipoteza starii liniare de tensionare:

$$\sigma_y = \sigma_z = \tau_{xy} = \tau_{yz} = \tau_{zx} = 0. \quad (4.60)$$

Tensiunea normala principala este, in acest caz, cea de incovoiere:

$$\sigma_i = \sigma_x, \quad (4.61)$$

si in ipoteza lui Bernoulli, rezulta deformatia maxima:

$$\epsilon_i = |\epsilon_x| = \left| \frac{y}{R} \right|, \quad (4.62)$$

Considerand intarirea materialului, tensiunea normala reala va fi:

$$\sigma_i = k * \epsilon_i^m. \quad (4.63)$$

Din considerente experimentale, autorul propune relatia care determina conditiile de stabilitate:

$$u = C * y^{\frac{3}{2}} \left(1 - \cos \frac{2\pi n}{a} * x \right), \quad (4.64)$$

unde:

C - constanta;

n - numarul cutelor;

a - lungimea portiunii critice din profil.

Scriind conditia limita de echilibru a momentului interior de incovoiere, pentru scoatere din starea de echilibru si momentul exterior de incovoiere, rezulta:

$$\int_0^a \int_0^b \left[W + \frac{h}{2} * \sigma_x \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 \right] dx dy = 0, \quad (4.65)$$

de unde, prin integrare se obtine valoarea momentului potential:

$$W = -\frac{h^3}{18} * \frac{\sigma_i}{\epsilon_i} * \left(\left[1 - \frac{3}{4} (1-m) \right] \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right)^2 + \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} \right)^2 \right) \quad (4.66)$$

Din conditiile initiale si explicitand $\epsilon_i = \sigma_i$, rezulta relatia pentru calculul razei critice de indoire:

$$R_{cr} = \frac{1}{\psi} \frac{b^3}{h^2}, \quad (4.67)$$

unde:

$$\psi = (m+1) \left[\frac{1+3m}{3+m} \frac{\pi^2}{36} + \frac{1}{6(m+1)} - \frac{1}{16\pi^2} \frac{3}{1-m} \right]. \quad (4.68)$$

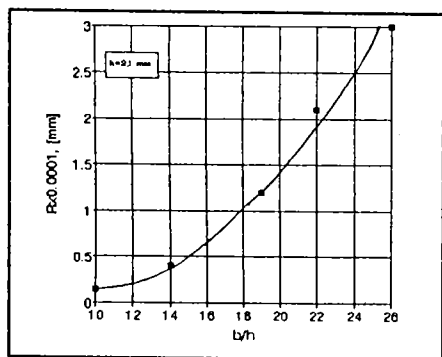


Fig. 4.16

Pentru conditii de aplicare practica a criteriului de stabilitate, autorul recomanda construirea diagramelor $R_{cr} = f(b/h)$, pentru fiecare valoare h uzuala, in figura 4.16 fiind oferit un astfel de exemplu.

Considerand conditiile de stabilitate a aripii indoite in procesul de profilare, in conditii de tensionare a acesteia prin compresiune longitudinala, asimiland cazul cu cel al flambajului placilor dreptunghiulare, comprimate uniform pe doua laturi opuse, si alegand convenabil numarul de semiunde care se formeaza transversal si longitudinal prin deformatie, efortul unitar critic poate fi exprimat prin relatia:

$$\sigma_{crit} = k_1 \frac{E}{\left(\frac{b}{g} \right)^2} \quad (4.69)$$

unde:

E - modulul de elasticitate longitudinala;

k_1 - coeficient de proportionalitate ce depinde de lungimea relativa, L/b , conform graficului de dependenta din figura 4.17;

b - latimea initiala a aripii indoite.

Pentru cazul profilarii, conditiile de rezemare pentru aripile marginale se pot aproxima cu acelea ale placii incastrate la capete, la lungimea L a distantei dintre cajele de deformare si avand o muchie marginala libera, respectiv, cealalta articulata plastic cu

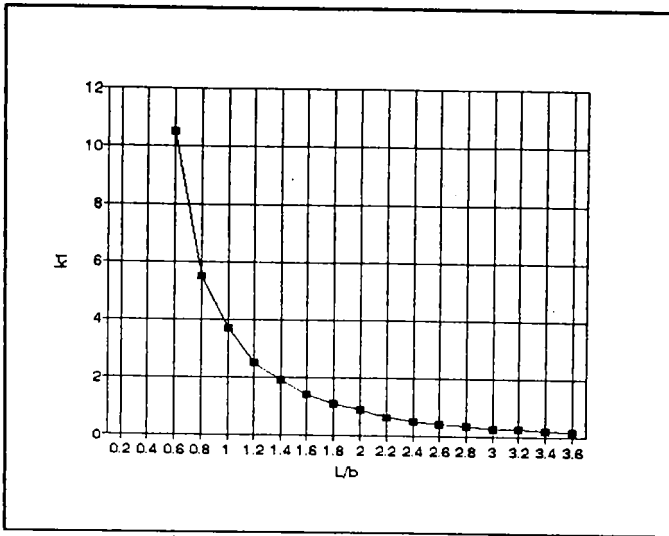


Fig. 4.7

aripa vecina de profil.

Conditia evitarii flambajului longitudinal este:

$$\sigma_1 \leq \sigma_{crfl} \quad (4.70)$$

unde:

σ_1 - tensiunea normala principala dupa directia longitudinala a profilului.

Intrucat datele experimentale si practice confirma pentru

valori extreme ale parametrilor de profilare ($R=10$; $T/L < 0,4$), deformari in domeniul plastic, in baza relatiilor cunoscute intre tensiuni si deformatii, in domeniul deformatiilor plastice, se poate scrie:

$$\epsilon_i = \frac{\psi}{2G} (\sigma_i - \sigma), \quad i=1,2,3,\dots, \quad (4.71)$$

unde:

σ - tensiunea normala medie, data de relatia:

$$\sigma = \frac{1}{3} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) \quad (4.72)$$

Tensiunea normala, σ_1 se poate explicita prin relatia:

$$\sigma_1 = \frac{2G}{\psi} \epsilon_1 + \sigma, \quad (4.73)$$

unde:

ψ - coeficient de proportionalitate, calculat din relatia:

$$\psi = 2 * G * \beta. \quad (4.74)$$

Admitand starea plana de tensiune ($\sigma_2 = 0$) si considerand conditia de plasticitate Hüber-Misses:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \beta * R_{p0,2}, \quad (4.75)$$

rezulta pentru tensiunea normala principala σ_1 , expresia:

$$\sigma_1 = 6 * G * \frac{\epsilon_1}{\psi} - \beta * R_{p0,2}. \quad (4.76)$$

In continuare, luand in considerare cresterea limitei de curgere datorita fenomenelor de intarire, si considerand forma curbelor de ecrusare pentru benzile din otel moale generata de graficul urmatoarei functii [52]:

$$\sigma_{\#} = \frac{R_m}{1 - \psi_g} * \left(\frac{\psi}{\psi_g} \right)^{\frac{\psi_g}{1 - \psi_g}} \quad (4.77)$$

Inlocuind si relatiile ce exprima gatuirea functie de alungire:

$$\psi_g = \frac{\epsilon_g}{1 + \epsilon_g}; \quad \psi = \frac{\epsilon}{1 + \epsilon}, \quad (4.78)$$

relatia de calcul a tensiunii principale σ_1 , devine:

$$\sigma_1 = 6 * G * \frac{\epsilon_1}{\psi} - 92,3 * \left(\frac{\epsilon}{1 + \epsilon} \right)^{0,298}. \quad (4.79)$$

Considerand situatia limita, pentru indeplinirea conditiei de stabilitate la flambaj, rezulta ecuatia din care se calculeaza valoarea limita a latimii relative critice:

$$\left(\frac{b}{g} \right)_{cr} \leq \sqrt{\frac{k_1 * E}{6 * G * \frac{\epsilon_1}{\psi} - 92,3 * \left(\frac{\epsilon}{1 + \epsilon} \right)^{0,298}}}. \quad (4.80)$$

Considerand valori particulare pentru cazul profilarii otelului (avand constantele de material $E = 2.16 * 10^4$ daN/mm², $G = 8,1 * 10^3$ daN/mm² si $\beta = 1,155$) si valorile extreme teoretice pentru parametri profilarii, in tabelul 4.1 se prezinta rezultatele calculelor pentru domeniile optime ale criteriului de stabilitate.

Pentru usurarea aplicarii practice a criteriului, s-a trasat diagrama caracteristicii de stabilitate la flambaj, $(b/g)_{cr} = f(F(I))$, dependenta ilustrata in figura 4.18.

Verificarea practica pentru profilul tubului SPD, in cazul tubului cu diametrul $\Phi 12$, pentru care rezulta latimea relativa $b/g = 12 > (b/g)_{cr}$, pentru deformatia maxima longitudinala, pune in evidenta acoperirea conditiei de stabilitate la flambaj, numai in conditiile ghidarii benzii profilate intre cajele de deformare si dispozitivul de infasurare pe dorn, confirmand, cu aceasta, valabilitatea criteriului de stabilitate elaborat in prezentul model matematic.

Tabelul 4.1

Inaltimea relativa a profilului	T/L	0,025	0,500	0,100	0,200	0,300	0,400
Latimea aripei indoite	$b=\pi R/L+T$	19,7	23,7	47,4	63,4	79,4	95,4
Lungimea relativa	L/b	3,4	2,8	1,38	1,04	0,84	0,67
Coefficient de flambaj	k_1	0,15	0,2	0,3	0,5	1,0	1,5
Def.de compres. longit.determ.teoretic	F(I)	0,005	0,009	0,037	0,079	0,122	0,166
Latimea relativa critica	$(b/g)^{cr}$	10,7	12,9	13,9	16,1	21,5	25,3

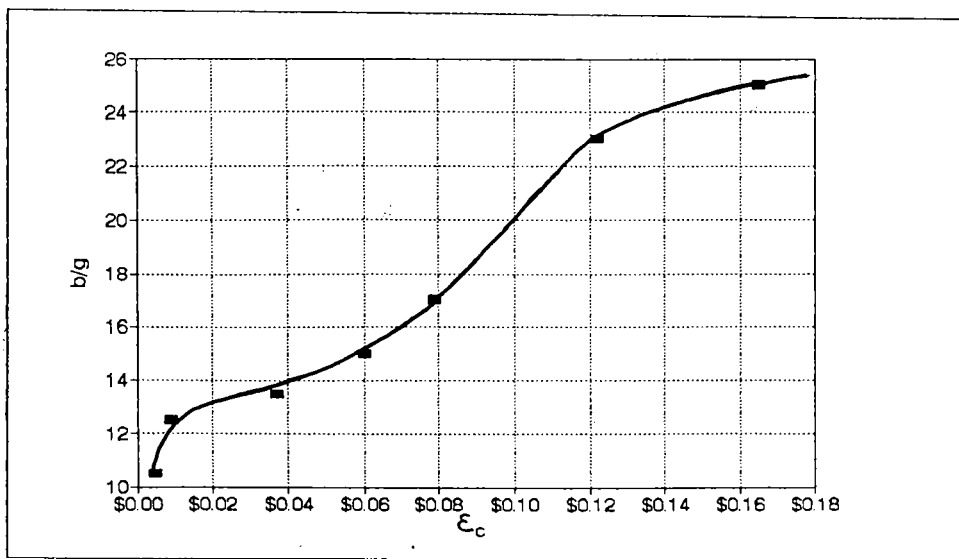


Fig. 8

4.1.2. Studiul procesului de deformare plastica din ghidajul curb

Alaturi de celelalte conditii de viteze, turatii etc. asa cum a rezultat din analiza efectuata la capitoul precedent, ghidajul curb indeplineste un rol esential in procesul tehnologic de fabricatie a tuburilor flexibile metalice de tip agrafa prin deformare plastica.

In timpul deformarii plastice a benzii, in ghidajul curb tensorul starii de tensiuni si deformatii se modifica [56], [57], atat in ce

priveste modulele cat si directiile si sensurile vectorilor componentii, intr-o stare spatiala specifica.

Din punct de vedere tehnologic, esentiale sunt deformatiile care apar pe banda deformata in fibrele extreme, care pot afecta serios parametrii de infasurare pe ax si, implicit, calitatile de exploatare a tubului (capacitatea de etansare, rezistenta mecanica, indicatorii tehnico-economici ai procesului de fabricatie etc.), (conform figurii 4.19).

Deocamdata, nu exista relatii precise de calcul pentru aceasta raza, fiind formulata doar parerea existentei unui raport constant intre raza de curbura a ghidajului curb, R_c , si diametrul dornului de infasurare, D_n , pe grupe de diametre.

Pe baza unor analize experimentale [57], s-a ajuns la concluzia ca exista o relatie grafica intre raza de curbura a canalului ghidajului curb, R_c , si diametrul nominal al tubului, D_n , de forma prezentata in figura 4.20.

Din aceasta diagrama se pot extrage punctele corespunzatoare dependentei experimentale, conform tabelului nr. 4.2.

R_c [mm]	7	10	13	16,5	25	34	46	56	82
D_n [mm]	21	27	30	36	54	76	100	125	190

Pornind de la datele din tabel se incearca determinarea unei relatii functionale optime intre cei doi parametri de tipul:

$$R_c = f(D_n),$$

pe baza a N date prezentate sub forma unor cupluri de valori $(D_{ni}; R_{ci})$, reprezentand coordonatele unor puncte ale curbei de regresie in planul xOy .

Deoarece R_c este o marime aleatoare, probabilitatea ca prin toate punctele experimentale sa se poata trasa o curba continua, de forma prescrisa, este mica si, in orice caz, cel putin unele din aceste puncte vor fi departate de curba care reprezinta datele (curba de regresie).

Estimarea dispersiei punctelor fata de curba de regresie este data de relatia:

$$S_{con}^2 = \frac{1}{N-2} \sum_{i=1}^N (\overline{R_{gi}} - R_{gi}), \text{ unde?} \quad (4.81)$$

$\overline{R_{gi}}$ - valoarea functiei in punctul i ;

R_{gi} - valoarea experimentală in punctul i ;

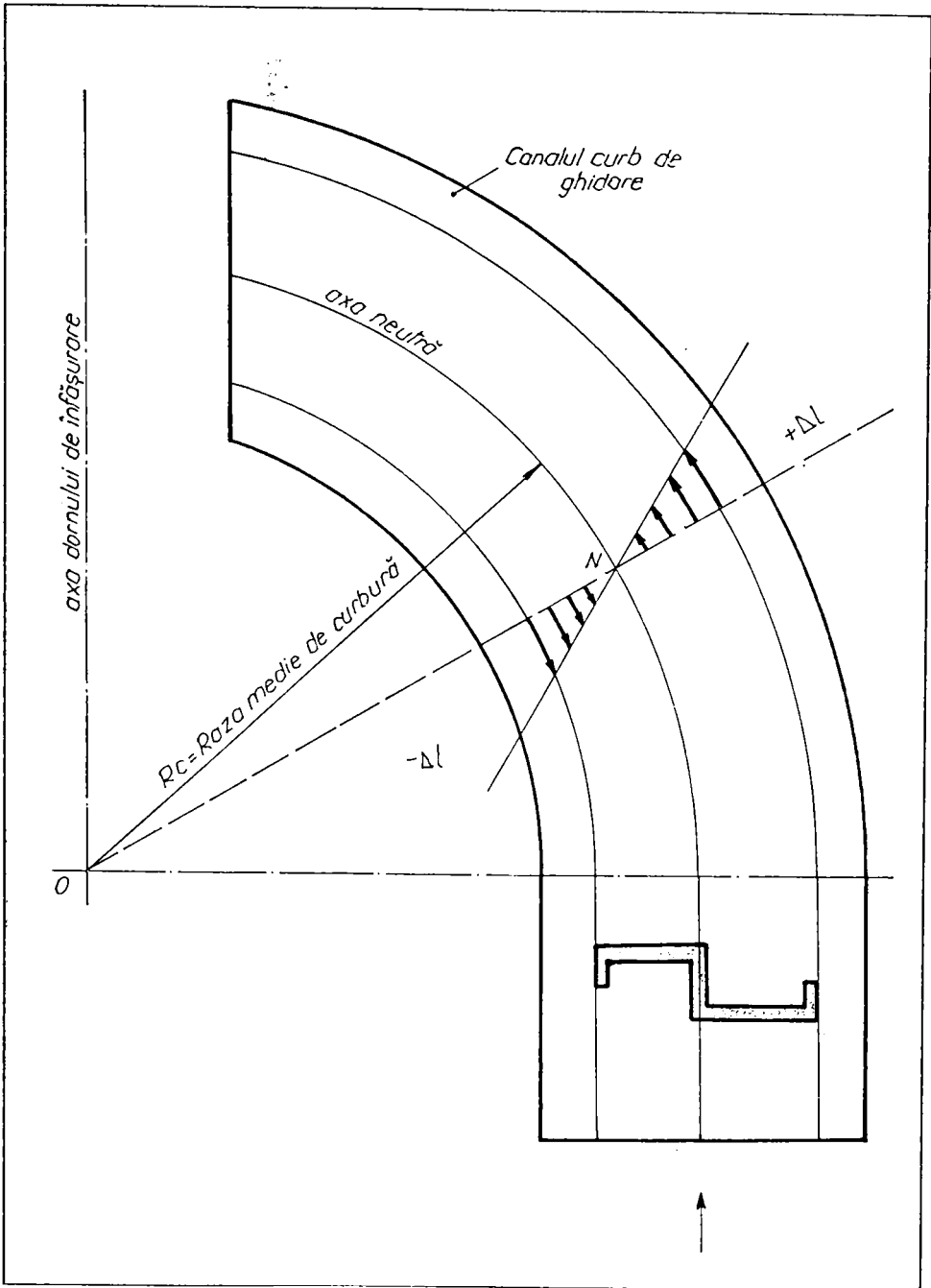


Fig. 1.1

S_{con}^2 - dispersia de concordanta dintre valorile calculate si cele experimentale.

Dintre curbele de acest fel, cea care va reprezenta cel mai bine

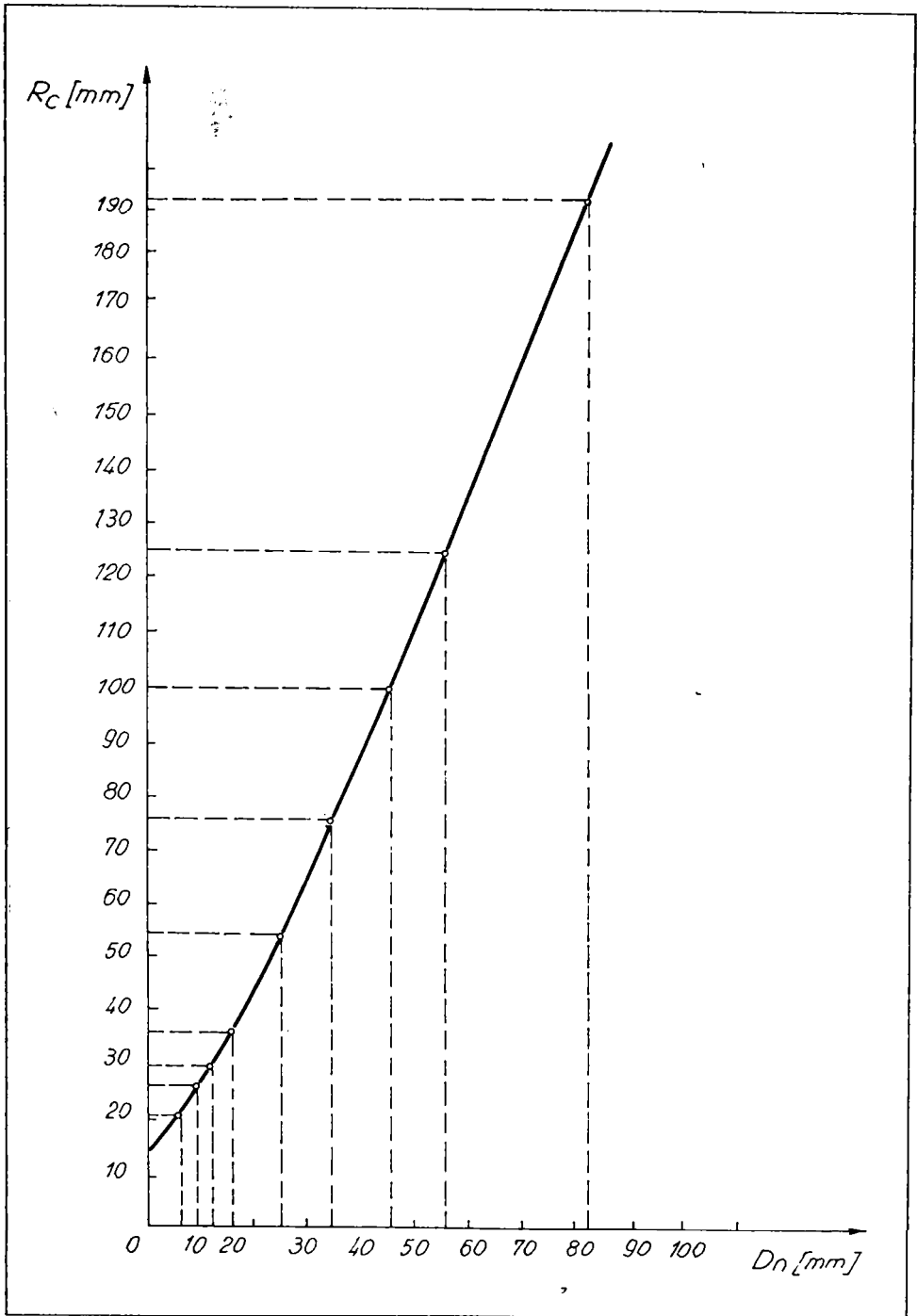


Fig. 4.20

datele experimentale va fi cea pentru care dispersia va fi minima.

In acest scop se poate apela la metoda celor mai mici patrate, care presupune determinarea valorilor coeficientilor b_j ai functiei $R_c=f(D_n)$, pentru care dispersia devine minima.

Pentru cazul considerat (functie de o singura variabila), in scopul simplificarii calculelor si al facilitatii muncii s-a ales programul utilitar "GRAPHER", destinat utilizarii pe familia de calculatoare IBM-PC, care a permis determinarea functiilor de exprimare optima a dependentei in mai multe variante:

1. functie putere optima:

$$R_c = 3.158826 * D_n^{0.907442}$$

2. functie exponentiala optima:

$$R_c = 21.906971 * e^{0.029513 * D_n}$$

3. functie logaritmica optima:

$$R_c = -126.572944 + 62.822624 \ln(D_n)$$

4. functie lineara optima:

$$R_c = 2.247699 * D_n + 0.921224.$$

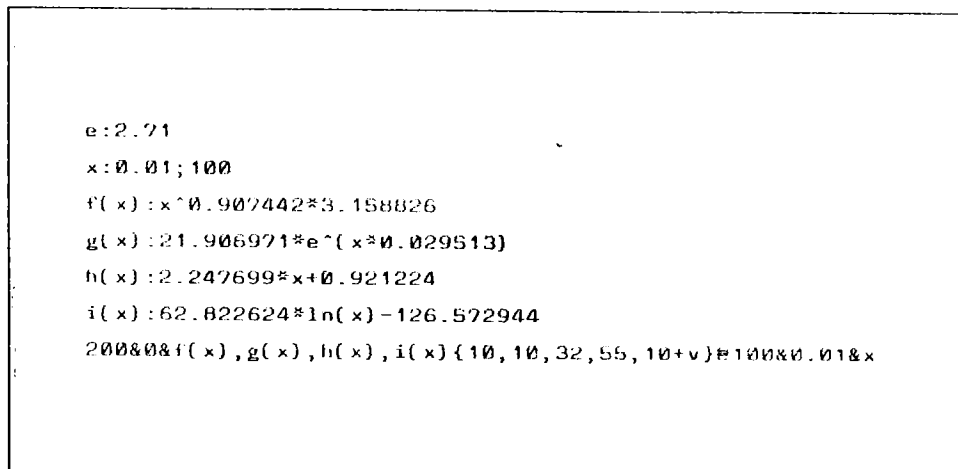


Fig. 4.21

Pentru reprezentarea grafica a functiilor optime determinate anterior, datorita facilitatilor pe care le permite, s-a utilizat pachetul de programe MCAD realizandu-se in cadrul acestuia un program special care sa permita analiza simultana a tuturor graficelor pe acelasi sistem de axe.

Programul este prezentat in figura 4.21, iar graficul rezultat in figura 4.22, in care g(x) reprezinta functia exponentiala, h(x) - functia liniara, f(x)-functia putere iar i(x)-functia logaritmica.

Din analiza figurii 4.22 se observa ca functia cea mai apropiata de valorile dependentei determinate experimental este functia putere,

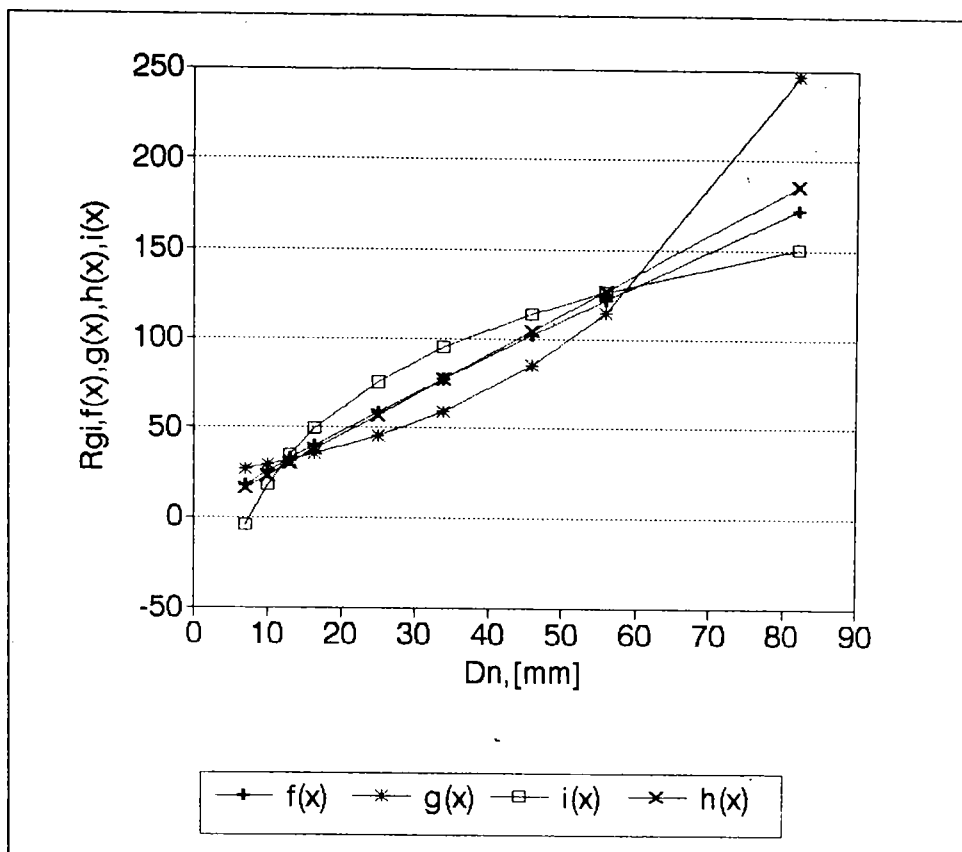


Fig. 4.22

urmata de functia lineara, cele doua functii exprimand cel mai bine interdependenta analizata.

Se mai observa din grafic ca la valori mai mici ale diametrului tubului, D_n , functia putere aproximeaza mai bine, iar la valori mai mari functia lineara.

De asemenea, se constata ca punerea problemei are sens numai pentru valori ale diametrului tubului cuprinse in intervalul (8;60) mm, in rest putandu-se lucra (chiar preferabil!), fara ghidaj curb.

Aceasta ultima concluzie, constituie, de fapt, o verificare a conditiilor de stabilitate la flambaj, exprimate prin relatia 4.70.

Asa cum s-a spus, pentru acest interval de diametre, profilurile corespunzatoare ale tuburilor nu verifica relatia de stabilitate la flambaj, fiind necesara o sprijinire suplimentara a benzii inaintea operatiei de infasurare, simultan cu ghidarea si curbarea benzii.

Din pacate, pe langa parametrii care sunt luati in considerare prin conditia de stabilitate la flambaj, exista in practica si alti

parametri care trebuie luati in considerare si care, se datoreaza fenomenelor de frecare neuniforma ce apar in ghidajul curb datorita abaterilor de la dimensiunile proiectate, a calitatii suprafetei si a jocurilor incorect dimensionate dintre banda si ghidaj, in acest din urma caz, putand fi si situatia aparitiei unor diferente de uzura intre rolele de profilare (care se uzeaza mai greu) si canalul profilat din ghidajul curb (care se uzeaza mai repede) impunandu-se in aceasta situatie efectuarea unor studii experimentale pentru modelarea pe baze experimentale a procesului de deformare din ghidajul curb si aplicarea rezultatelor la elaborarea unui ansamblu de masuri, de la proiectarea sculelor, adaptarea parametrilor dinamici si cinematici, pana la prevederea unor masuri de mentenanta (adoptarea unui sistem de ungere diferentiat, folosirea unor materiale cu rezistenta mai mare la uzura pentru ghidajul curb (materiale sinterizate prin agregare de pulberi) etc.).

4.2. CONTRIBUTII EXPERIMENTALE PRIVIND STUDIUL PROCESULUI DE DEFORMARE PLASTICA LA FABRICAREA TUBURILOR METALICE FLEXIBILE

4.2.1 Ratiunile si principiile metodei de cercetare utilizata

Marirea capacitatii de lucru a utilajelor folosite in procesul tehnologic de fabricare a tuburilor metalice flexibile este determinata, in mare masura, de marirea vitezei benzii. Acest fapt este legat, in primul rand, de desfasurarea procesului de deformare plastica, proces a carui complexitate, in relatiile de interdependenta cu celelalte procese si fenomene ce pot apare, in functie de blocul operator in care se desfasoara operatia, ridica probleme deosebite la stabilirea evolutiei in conditii practice.

Din aceasta cauza, in continuare, se propune o noua metoda si aplicatiile practice ale acesteia, in ipoteza ca deformarea plastica este procesul determinant, iar celelalte fenomene sunt conexe, influenta acestora, desi nu este primordiala, trebuind luata in considerare.

In principiu, metoda propusa presupune prelevarea unor esantioane din procesul tehnologic de fabricatie, din fiecare bloc operator, pregatirea acestora pentru- si analiza experimentală de precizie a variatiei duritatii si grosimii dupa doua dimensiuni, in diferite plane de separatie si apoi interpretarea grafica, matematica si practica a rezultatelor obtinute.

Acest lucru este posibil, deoarece s-a presupus ca exista o proportionalitate directa intre variatia duritatii si variatia gradului de deformare plastica, justificata prin existenta fenomenului de intarire, cu preponderenta la rece.

In prezenta lucrare se prezinta desfasurarea experimentului si rezultatele pentru o banda din OL 37 laminat la rece, utilizata pentru fabricarea unor tuburi metalice flexibile cu diametrele nominale de 10; 16 si 37 mm, in ultimele doua cazuri fiind vorba de o banda care suplimentar a fost pregatita la suprafata prin acoperire prin zincare mecanica, respectiv pentru o banda laminata la rece din 10NiCr170E, pentru cazul tubului flexibil cu diametrul nominal de 12 mm (tubul folosit la dusuri). Pentru o interpretare cat mai riguroasa in fiecare caz, fiind vorba de situatii diferite, s-au masurat vitezele benzilor la care s-a facut determinarea, cautandu-se respectarea unor conditii tehnologice similare (acordarea intre raza de curbura a ghidajului curb si diametrul nominal al tubului).

De asemenea, in fiecare caz, s-au verificat duritatile initiale ale materialului pentru banda semifabricat, in vederea indepartarii eventualelor distorsiuni care pot fi generate de acestea.

Probele pentru cercetare au fost prelevate dintr-un tub extras cu grija, dupa demontarea organelor active de deformare ale masini de fabricat tuburi prin debitarea zonelor de lucru si apoi a esantioanelor pentru probe metalografice prin eroziune complexa, electrica si electrochimica, avand urmatoarele valori ale parameltrilor de lucru:

- tensiunea pe spatiul de lucru: 20,5 V;
- curentul masurat in lucru: 10,2 A;
- viteza periferica calculata a discului: 21,2 m/s;
- lichidul semidielectric folosit: silicatat de sodiu ($\text{Na}_2\text{O} \cdot X \text{nSiO}_2$), in solutie apoasa cu densitatea 1,2 g/cm³, de modul (raport $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$) = 2,7.

Esantioanele au fost apoi inglobate grupat, potrivit etapelor din procesul de deformare din care proveneau, pregatirea probelor metalografice facandu-se prin slefuire succesiva cu hartie abraziva cu urmatoarele granulatii: 150, 280, 600, 800 si 1000, iar slefuirea s-a facut cu pasta de alumina (Al_2O_3), de granulație 3,2 μm.

Masurarea duritatilor s-a facut cu un microdurimetru Vickers tip PMT-3, folosindu-se pentru tubul $\phi 37$ o greutate de 200 g, iar pentru tuburile $\phi 10$, 12, 16 o greutate de 50 g.

Punctele de masurare au fost astfel alese intr-o sectiune,

incat, pe grosimea benzii, sa se determine cinci valori uniform distribuite, iar pe latime, douazeci si trei de valori, determinandu-se obligatoriu valorile in zonele de curbura maxima si pe presupusa fibra medie, masurandu-se si grosimea benzii.

Pentru corectitudinea tendintelor analizate practic s-au facut in fiecare punct cate zece masuratori operandu-se in tabele cu media aritmetica a acestora, mai ales ca, in conditiile de lucru specifice, asa cum rezulta si din datele prezentate, modalitatea de lucru mareste riscul unor greseli de masurare si ulterior, de interpretare a rezultatelor.

Pentru aprofundarea interpretarilor fenomenelor observate, in situatiile deosebite, s-au facut, dupa atacul cu reactivul corespunzator, observatii asupra microstructurilor metalografice, retinandu-se in fotografii cele mai interesante dintre microstructurile observate la microscopul optic, la diferite mariri, considerate optime.

In scopul optimizarii programului experimental s-a intocmit un graf, care prezinta sintetic ansamblul tuturor experimentelor, incercarilor si masuratorilor efectuate, atat in conditii de productie, in cadrul S.C. ROMFLEX-S.A., cat si in diferite laboratoare din cadrul Universitatii Tehnice din Timisoara, a carui structura este prezentata in schema din figura 4.23.

Deoarece analiza microstructurii metalografice nu s-a facut in toate punctele, ci numai in zonele considerate mai interesante, acest bloc nu este legat, ca si celelalte, de portiunea anterioara a grafului, prin linie continua (folosita in cazul legaturilor complete), ci printr-o linie intrerupta, corespunzatoare unor legaturi selective, selectia fiind efectuata de autor in urma examinarii microscopice a tuturor zonelor in care s-au efectuat determinarile de microduritate, acordandu-se suplimentar atentie si modului de pastrare a aderenței stratului de material de acoperire prin zincare mecanica (unde a fost cazul).

4.2.2 Prezentarea aparaturii de cercetare

Pentru efectuarea procesului de deformare plastica s-a utilizat o masina de fabricat tuburi flexibile, experimentul desfasurandu-se in conditii autentice de productie.

Schema procesului de deformare a benzii este prezentata in figura 4.24, in care, sunt prezentate si formele sectiunilor benzii dupa fiecare faza de deformare, semnificatiile notatiilor fiind urmatoarele:

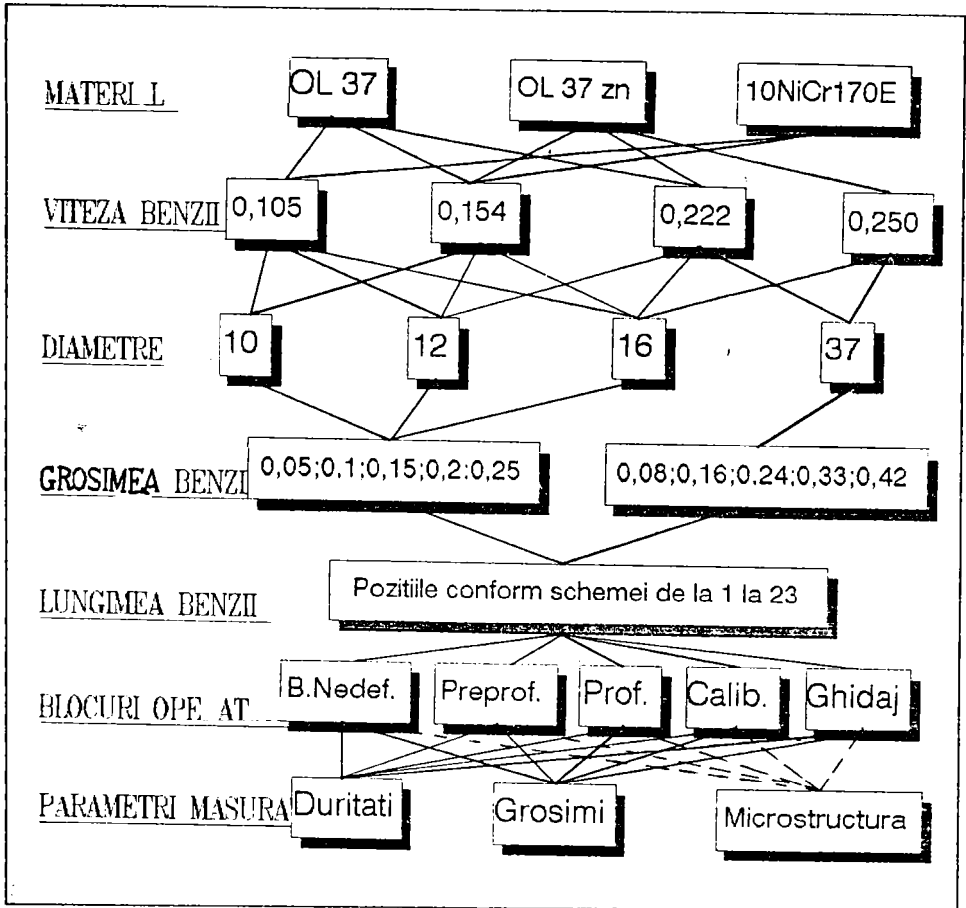


Figura 4.23

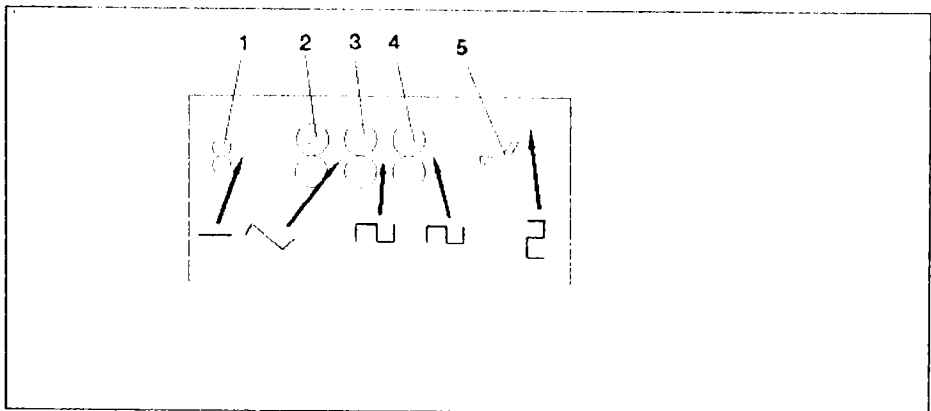
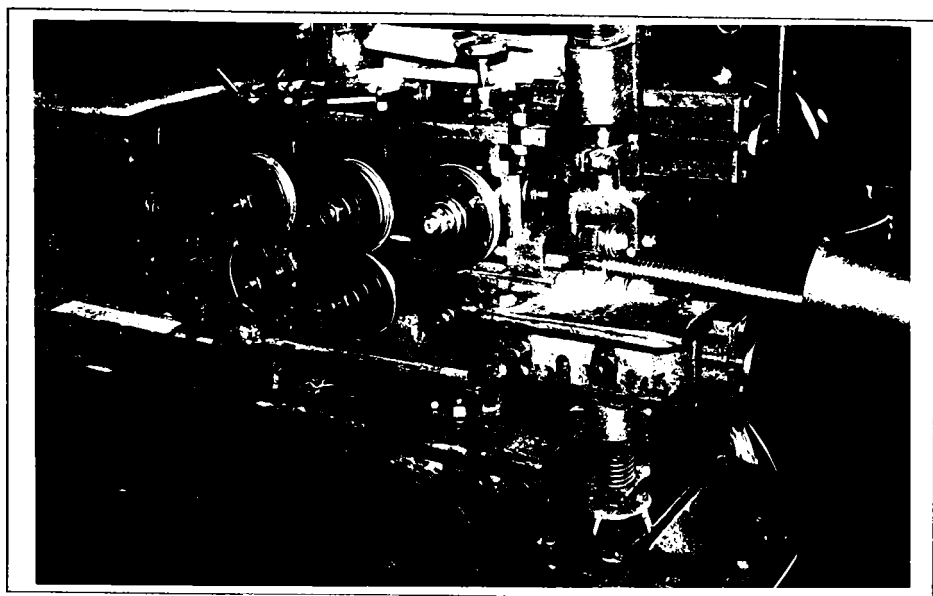


Fig. 4.24

1-role conducatoare; 2-role de preprofilare; 3-role de profilare; 4-role de calibrare; 5-ghidaj curb.

Pastrand notatiile, in foto 1 este prezentata zona de lucru de la



Foto

masina de fabricat tuburi metalice flexibile, aspect din timpul efectuării încercărilor și măsurătorilor.

Modificarea vitezei benzii s-a făcut prin utilizarea unor roți dinate de schimb diferite, în cutia de viteze a mașinii, respectiv a unui variator de turatie, interpus între motor și sistemul de acționare a mașinii.

În figura 4.25 sunt prezentate pozițiile corespunzătoare pe lungimea secțiunii transversale a benzii în care s-a făcut măsurarea microdurităților în cele cinci puncte echidistante.

Această secțiune, din punct de vedere al formei geometrice este aceeași pentru toate determinările, întrucât, în prezenta lucrare, nu s-a luat în considerare influența tipului tubului, încercările efectuându-se numai pentru tuburi metalice flexibile de tip SPD.

Pentru măsurarea grosimii benzii s-a folosit echipamentul optic și mecanic aflat în componenta microdurimetrului.

Întrucât pentru măsurarea microdurităților, pregătirea probelor și studiul microstructurilor metalografice aparatura a fost descrisă în paragraful 4.2.1, nu se mai prezintă în continuările aceste aspecte, elementele de detaliu urmând a fi prezentate la paragrafele de interpretare a rezultatelor.

4.2.3 Prezentarea rezultatelor studiului proceselor de deformare la profilarea benzilor

În sinteza, după trierea tuturor rezultatelor măsurătorilor,

Tabelul nr.4.3

Duritati, [μ HV] pentru pozitiile fata de capat, [mm]

Date Grosimi
meter. [μ m]

OL37 50 118 114 120 118 123 118 118 118 118
 Φ 10 100 118 114 118 118 118 114 118 118 118
 Φ , 154 150 114 112 116 116 120 116 118 118 118
 [m/s] 200 110 118 118 120 118 118 118 118 120
 250 101 118 114 118 118 118 118 118 120

Gros. [μ m] 272 291 284 291 287,5 294 291 284

Pozitie[mm] 0,10 0,70 1,7 2,55 3,15 4,13 4,97 5,81

OL37 50 188 172 172 172 141 167
 Φ 16 100 172 172 172 172 128 128
 Φ , 222 150 172 163 163 141 131 131
 [m/s] 200 167 172 172 145 135 135
 znmec.250 172 172 172 172 148 148

Gros. [μ m] 284 306 319 312,5 306 306 303 303 303 284

Pozitie[mm] 0,1 0,95 1,35 2,35 3,35 4,4 5,4 6,4 7,4 8,4 8,6

OL37 80 115 107 107 105 107 105 108
 Φ 37 160 113 107 107 107 107 106 107
 Φ , 250 240 107 105 104 106 106 105 107
 [m/s] 330 115 107 107.105 105 103 107
 znmec.420 105 109 108 107 107 104 107

Gros. [μ m] 408 432 432 432 432 432 420

Pozitie[mm] 0,1 2,1 4,1 7,4 9 12,3 14,8

Legenda:

znmec - zincat mecanic;

Gros. - grosimea benzii masurata in pozitie precizata

 Tabelul nr.4.4

Date Grosimi Duritati, [μ HV] pentru pozitiile fata de capet, [mm]
 meter. [μ m]

 OL37 50 126 123 128 123 126 120 120 116 123
 ϕ 10 100 118 114 116 118 118 114 110 110 126
 0,154 150 112 103 101 103 103 101 105 107 116
 [m/s] 200 118 105 120 114 120 107 103 110 116
 250 123 114 126 126 118 120 103 118 118

Gros. [μ m] 272 272 262,5 266 272 269 266 272 272 272

Pozitie[mm]0,10 0,50 1,200 2,50 3,13 4,13 4,63CE4,97 5,81

OL37 50 138 141 152 148 128 135 135 135 131
 ϕ 16 100 126 128 131 141 126 123 128 120 118
 0,222 150 126 114 126 128 120 123 128 120 116
 [m/s] 200 126 123 126 141 126 126 141 135 135
 zmec.250 138 148 148 141 135 135 143 143 141

Gros. [μ m] 259 253 237,5 244 269 253 250 259 262,5

Pozitie[mm]0,1 0,95 1,05CC1,15 4,65 8,15 8,25CE8,35 8,8

OL37 80 111 96,8 94,8 91,2 93 129 131 142 120 117
 ϕ 37 160 113 92,2 112 122 117 120 128 129 114 114
 0,250 240 107 89,4 115 129 125 120 122 121 113 113
 [m/s] 330 115 94,8 117 131 129 120 122 115 112 113
 zmec.420 105 98,7 133 133 131 114 117 115 113 115

Gros. [μ m] 420 449 385 373 391 397 368 397 438 443

Pozitie[mm]0,15 3,65 7,15 7,25CC7,55 8,65 9,05CE9,25 12,15 15,2

 Legenda:

zmec - zincat mecanic;
 Gros. - grosimea benzii masurata in pozitia precizata

 Tabelul nr.4.5

Date	Grosimi meter.[μ m]	Duritati, [μ HV] pentru pozitiile fata de capat, [mm]														
OL37	50	131	123	141	138	123	126	126	138	126	131	126	128	141	131	135
ϕ 10	100	126	120	131	131	123	123	120	138	120	128	118	123	128	128	128
ϕ ,154	150	120	120	126	126	120	123	120	138	120	131	114	123	128	120	123
[m/s]	200	126	126	128	138	123	126	131	141	123	131	120	126	131	123	123
	250	128	135	135	138	128	128	128	145	128	131	126	128	138	131	135
Gros.[μ m]	266	269	256	272	256	259	262	228	228	250	219	275	275	269	278	266
Pozitie[mm]	0,10	0,50	0,7100,92	1,32	1,72	2,13	2,5502,97	3,13E3,71	4,55	4,97E5,39	5,81					
OL37	50	177	177	188	182	182	177	167	167	182	182	177	172	182	188	182
ϕ 16	100	177	172	182	182	177	167	167	167	177	177	172	172	167	177	182
ϕ ,222	150	177	163	182	182	172	182	163	163	167	182	172	158	167	167	182
[m/s]	200	177	182	177	182	182	167	172	172	188	177	167	177	177	182	188
znmec.	250	188	182	177	192	188	177	172	172	182	188	188	182	188	188	192
Gros.[μ m]	284	290	300	290	294	294	294	294	269	250	294	240	291	284	281	284
Pozitie[mm]	0,1	0,65	1,15	1,3501,45	1,95	2,45	3,35	3,5503,75	4,9E	5,5	6,5	7	7,15	7,3	8,25E	
OL37	80	117	107	118	120	117	118	120	121	126	121	136	137	136	113	111
ϕ 37	160	113	117	115	112	113	115	117	126	125	120	136	139	131	112	107
ϕ ,250	240	111	113	117	112	111	115	121	131	128	120	136	134	125	109	105
[m/s]	330	114	115	117	117	114	114	122	134	128	124	133	125	125	117	107
znmec.	420	120	120	120	120	115	118	134	137	129	124	134	121	118	114	108
Gros.[μ m]	432	443	438	432	438	443	408	373	420	432	420	397	432	443	432	443
Pozitie[mm]	0,1	0,6	2,1	2,40	2,7	4,7	6,3	6,60	6,9	7,4	7,9	8,2E	8,5	10,5	12,3	12,6E

 Legenda:

znmec - zincat mecanic;

Gros. - grosimea benzii masurata in pozitia precizata in raport cu
 capatul acesteia.

 Tabelul nr.4.6

Date Grosimi Duritati, [μ HV] pentru pozitiile fata de capat, [mm]
 mater. [μ m]

OL37 50 131 126 128 120 123 128 131 145 135 123 131
 ϕ 10 100 126 118 126 118 110 128 128 135 126 118 128
 ϕ ,154 150 120 118 114 116 120 120 123 128 123 128
 [m/s] 200 126 123 123 118 126 128 128 131 131 128 128
 250 128 123 128 123 128 135 135 148 131 128 128

Gros. [μ m] 234 256 262 253 219 247 222 253 252 262

Pozitia[mm] ϕ ,10 ϕ ,50 1,10C 1,7 2,13 2,75C 3,0 3,25E 3,5 4,5 5,5

OL37 50 156 135 158 152 148 131 141 148 135 163 163 145 138 138 158 152 148
 ϕ 16 100 141 131 148 152 148 131 135 138 148 141 148 135 131 128 145 135 138
 ϕ ,222 150 138 128 138 148 141 131 131 138 148 141 141 131 126 128 138 135 123
 [m/s] 200 145 135 145 152 148 135 141 148 152 141 148 148 135 135 148 148 131
 znmec.250 163 141 145 152 152 138 145 152 158 152 158 152 141 135 148 148 148 145

Gros. [μ m] 250 266 259 256 266 244 250 266 269 225 262 262 262 253 259 262

Pozitia[mm] ϕ ,1 ϕ ,6 1,10 1,25C 1,4 2,9 3,9 4,2C 4,5 5,0 5,4E 5,8 6,8 7,8 8,1E 8,4 9,0

OL37 80 122 118 118 120 120 122 122 122 122 134 142 142 118 124 120 107 112 117
 ϕ 37 160 122 117 122 118 122 124 124 131 126 137 142 134 115 120 113 114 107 114
 ϕ ,250 240 120 125 125 122 124 126 134 134 129 137 137 129 114 113 111 108 103 113
 [m/s] 330 120 126 125 126 124 128 137 136 128 139 131 126 113 114 118 112 106 113
 znmec.420 121 129 126 128 126 129 137 140 126 139 126 122 115 113 108 117 107 114

Gros. [μ m] 443 432 443 443 438 420 397 403 432 385 385 397 443 432 420 443 443 432

Pozitia[mm] ϕ ,1 1,5 1,9C 2,3 4,3 5,8 6,15C 6,5 7,0 7,5 7,8E 8,1 10,1 11,9 12,2E 12,5 13,0 13,7

 Legenda:

znmec - zincat mecanic;

Gros. - grosimea benzii masurate in pozitia precizata in raport cu capatul acesteia.

Tabelul nr.4.7

Duritatea, [μ HV] pentru pozitiile fata de cepet, [mm]

ate Grosimi ater.[μ m]																									
L37	50	123	156	117	126	141	131	128	128	123	123	123	135	135	141	165	131	135							
10	100	123	131	131	126	152	131	135	131	152	131	131	135	141	141	148	141	141							
,154	150	131	131	148	135	138	148	152	156	161	156	148	135	148	135	138	145	148							
m/s)	200	131	141	141	141	156	135	135	135	156	148	148	135	131	138	148	148	148							
250	123	135	148	141	156	135	128	131	128	135	126	141	141	141	161	131	131	131							
ros.[μ m]	303	312	275	262	259	278	256	284	250	281	281	269	266	262	297	131									
ozitia[mm]	0,10	0,50	0,71C	0,92	1,32	1,72	2,13	2,55C	2,97	3,13E	3,29	3,71	4,13	4,55	4,97E	5,39	5,81								
L37	50	131	126	148	169	156	118	152	128	128	138	169	156	161	148	126	131	131	148	152	148				
16	100	128	118	135	161	141	118	128	123	148	126	152	148	152	131	123	123	135	131	145	138				
,222	150	114	123	118	118	120	123	118	123	120	118	126	148	138	123	114	123	118	138	123	123				
m/s)	200	126	131	131	156	135	118	128	123	128	126	145	156	161	131	126	118	128	128	131	135				
nmeC.	250	123	126	135	165	141	131	135	123	123	123	141	131	169	141	135	135	123	138	126	126				
ros.[μ m]	263	275	540	209	248	263	266	257	210	183	254	241	260	263	260	254	248	245	248						
ozitia[mm]	0,1	0,6	1,1	1,35C	1,6	2,1	2,6	3,1	3,6	4,1	4,4C	4,7	5,1E	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0E	8,5					
L37	80	114	115	151	151	142	128	131	134	134	134	133	120	126	131	144	145	144	125	144					
37	160	113	107	131	145	126	122	120	133	131	131	126	120	122	122	134	139	131	120	133					
,250	240	120	106	131	139	120	117	114	126	114	126	124	111	118	114	124	136	122	117	125					
m/s)	330	111	105	133	134	125	137	131	134	121	131	134	126	125	128	131	139	133	122	125					
nmeC.	420	109	131	151	145	142	144	137	137	131	133	134	144	126	137	137	151	140	134	137					
ros.[μ m]	467	467	443	455	455	432	420	408	420	408	443	420	455	455	420	443	443	443	443						
ozitia[mm]	0,1	0,6	1,6	2,1C	2,6	3,6	4,6	5,6	6,6	7,4C	8,2	9E	9,8	10,8	11,8	12,3E	12,8	13,8	14,9						

Legenda:

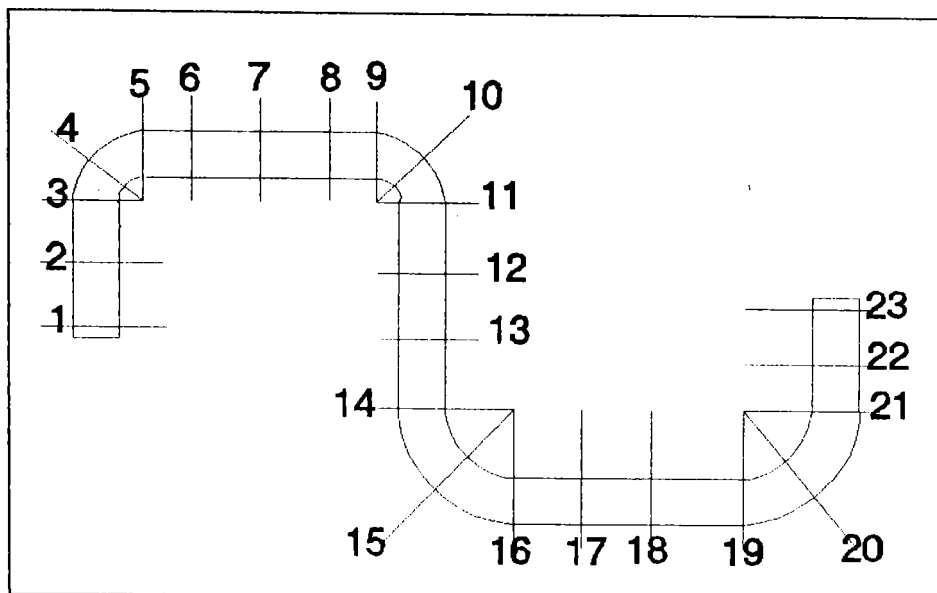
znmeC - zincat mecanic;

Gros. - grosimea benzii masurata in pozitia precizata in raport cu capatul acesteia.

Tabelul nr.4.8

Date Grosimi meter.[μ m]	Duritati, [μ HV] pentru pozitiiile fata de capat, [mm]									
Banda 50	182	156	167	167	156	163	163	177	197	
Nedef. 100	172	148	152	156	148	148	148	163	197	
0,105 150	177	148	163	145	141	145	145	152	192	
[m/s] 200	188	167	172	148	148	167	163	156	192	
250	197	182	177	156	148	172	177	163	197	
Gros.[μ m]	225	297	300	306	312	312	297	306	275	
Pozitia[mm]	0,10	0,60	1,1	2,1	3,1	4,1	6,1	7,1	7,6	
Banda 50	215	182	192	197	197	192	188	215	215	197
Pre- 100	188	177	177	188	188	182	177	192	203	182
profi-150	177	167	172	172	182	167	172	172	192	182
leta 200	192	172	172	192	182	197	211	188	197	182
250	192	188	182	211	203	211	192	223	211	197
Gros.[μ m]	250	306	300	294	303	306	297	306	300	297
Pozitia[mm]	0,1	0,5	0,9	1,20	1,5	3,75	6,0	6,3E	6,6	7,05
Banda 50	197	182	192	203	215	188	203	223	211	197
Pro- 100	182	182	188	188	192	182	197	197	211	188
fi- 150	177	167	177	182	188	172	192	197	192	177
leta 200	177	177	197	192	197	182	211	203	211	197
250	197	188	203	192	211	197	223	229	223	203
Gros.[μ m]	287	312	297	303	303	312	275	247	259	297
Pozitia[mm]	0,1	0,52	0,95	1,1	1,250	2,25	3,25	3,40	3,55	3,85
Banda 50	203	188	211	197	197	192	197	215	197	211
in 100	188	182	203	188	182	182	188	197	188	188
ghidaj150	177	172	188	182	177	172	177	188	177	182
curb 200	197	177	203	192	192	182	182	211	197	192
250	197	192	215	211	197	192	192	229	223	197
Gros.[μ m]	300	328	287	319	300	319	250	266	303	344
Pozitia[mm]	0,1	0,55	1,0	1,30	1,6	2,6	3,6	3,90	4,2	4,55

Legenda:
Gros. - grosimea benzii masurate in pozitia precizata in raport cu capatul acesteia.



F'g. 4.25

pentru o facilitare a operatiilor ulterioare, acestea sunt prezentate sub forma de tabele care grupeaza rezultatele masuratorilor de duritate, si de grosime, in linia corespunzatoare coordonatei pe lungime fiind marcate coloanele corespunzatoare curburilor maxime cu fibra intinsa in exterior, notatia C, respectiv cu fibra comprimata in exterior, notatie E. Tot in aceste tabele, sunt date coordonatele masuratorilor pe grosime, incepand de la exterior, in coloana "grosimi", respectiv pe lungime in linia "pozitia", toate dimensiunile liniare fiind exprimate in μm .

Asfel, in tabelul 4.3 sunt prezentate rezultatele masuratorilor de duritate si grosime ale benzii, pentru tuburile din banda de OL37, $\phi 10$, 16 si 37, ultimile doua fiind acoperite prin zincare necanica, la viteze de deplasare a bezii, respectiv, de 0,154; 0,222 si 0,25 m/s, pentru cazul benzii nedeformate.

In aceleasi conditii de materiale, tratamente de suprafata si parametri tehnologici, tabelele 4.4 ... 4.7 prezinta rezultatele corespunzatoare fazelor de preprofilare (tabelul 4.4), profilare (tabelul 4.5), calibrare (tabelul 4.6), respectiv ghidare in ghidajul curb (tabelul 4.7).

Tabelul 4.8 prezinta sintetic rezultatele masuratorilor pentru variatia duritatii si grosimii in cazul tubului $\phi 12$, fabricat din otel inoxidabil 10 NiCr 170 E, la o viteza a benzii de 0,105 m/s, pentru banda nedeformata si blocurile de preprofilare, profilare si conducerea benzii in ghidajul curb.

Pornind de la aceste rezultate, se va face in continuare o analiza separata a acestora, dupa mai multe dimensiuni de dependenta.

4.2.3 Analiza influentei procesului de deformare asupra grosimii benzii

Pentru aprecierea starii de deformatie (si, implicit, a starii de tensiuni), mai intai s-a facut o analiza a variatiei grosimii [μm], functie de pozitia zonei de masurare pe lungimea sectiunii transversale a benzii [mm], (considerand acelasi profil de banda, diametru de tub flexibil, viteza a benzii, material si tratamente de suprafatare) in fiecare din blocurile operatorii (fazele de prelucrare).

Masurarea grosimilor s-a facut cu ajutorul unui microscop prevazut cu o masa micrometrica cu precizie 0,0001 mm.

Astfel, in figura 4.26 sunt prezentate curbele de variatie a grosimii functie de pozitia de masurare in sectiunea transversala, masurata pe fibra medie, iar in figura 4.27 histogramele spatiale corespunzatoare aceleiasi dependente, pentru tubul $\phi 37$, din OL37.

Din analiza curbelor si histogramele pentru acest caz se desprind urmatoarele concluzii parțiale:

- In cazul benzii nedeformate, datorita unor abateri de la conditiile tehnologice sau uzurii avansate a cutitelor role pentru debitarea benzilor semifabricat, apare o subtiere a benzii la capete, cauzata efectiv de incorecta reglare a jocului dintre muchiile taietoare sau de geometria necorespunzatoare a acestora (uzura avansata, proiectare sau executie necorespunzatoare a formei geometrice etc.);

- In cazul blocului tehnologic de preprofilare, in urma caruia banda rezulta in forma prezentata in foto 2, se produce o ingrosare a benzii spre capete si o subtiere in sectorul dintre cele doua curburi, ceea ce denota, in planul sectiunii transversale, suprapunerea peste tensiunea longitudinala de intindere σ_{il} (datorata diferentei de viteza Δv cu care se deplaseaza banda prin fiecare bloc operator, adica $v_{nedef} < v_{preprofilare} < v_{profilare} < v_{calibrare} < v_{ghidaj\ curb}$ diferenta recomandata pentru a mentine permanent o intindere a benzii), o tensiune de intindere transversala Δ_{it} , intre curburi, respectiv de compresiune Δ_{ct} , la capetele benzii;

- Tensiunea de intindere transversala Δ_{it} , determina deplasari de material spre capete, care la suprafata de contact intre scula si semifabricatul banda sunt supuse unei tendinte de franare, datorata aderenței reciproce, ceea ce determina o tendinta de crestere a

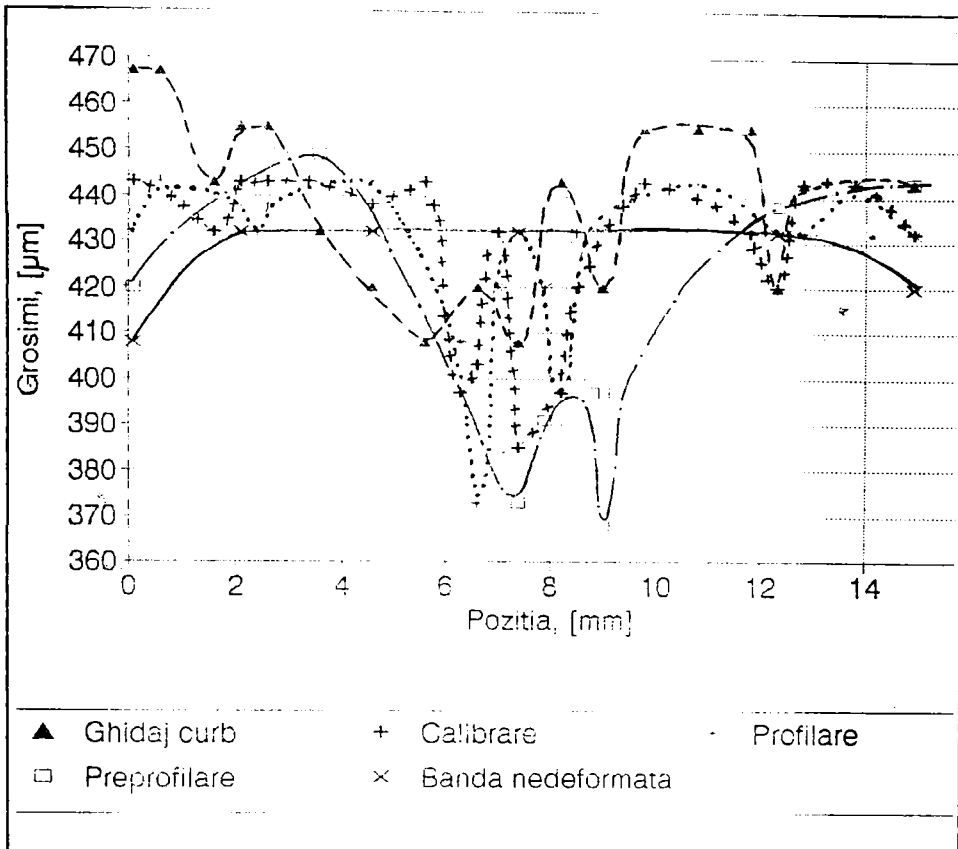


Fig. 4.36

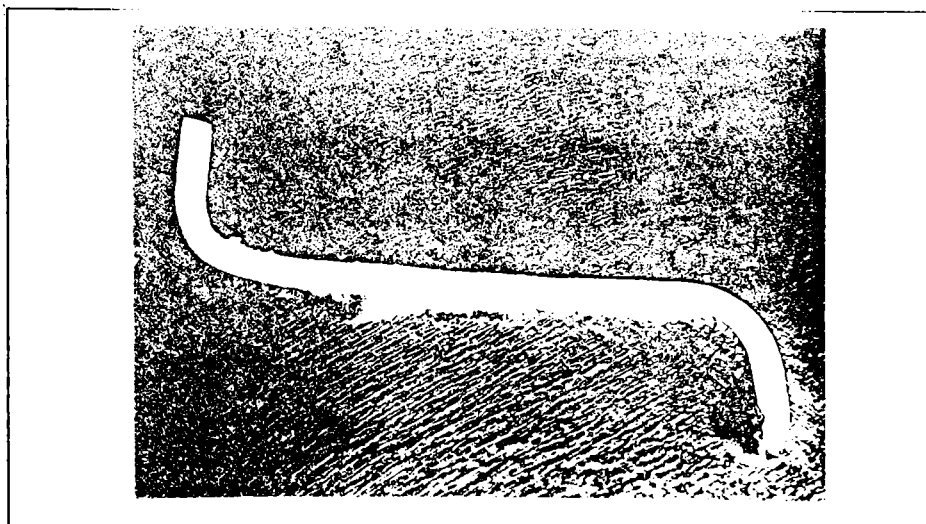


Foto 2

grosimii benzii. La mijlocul porțiunii dintre conturi (de fapt

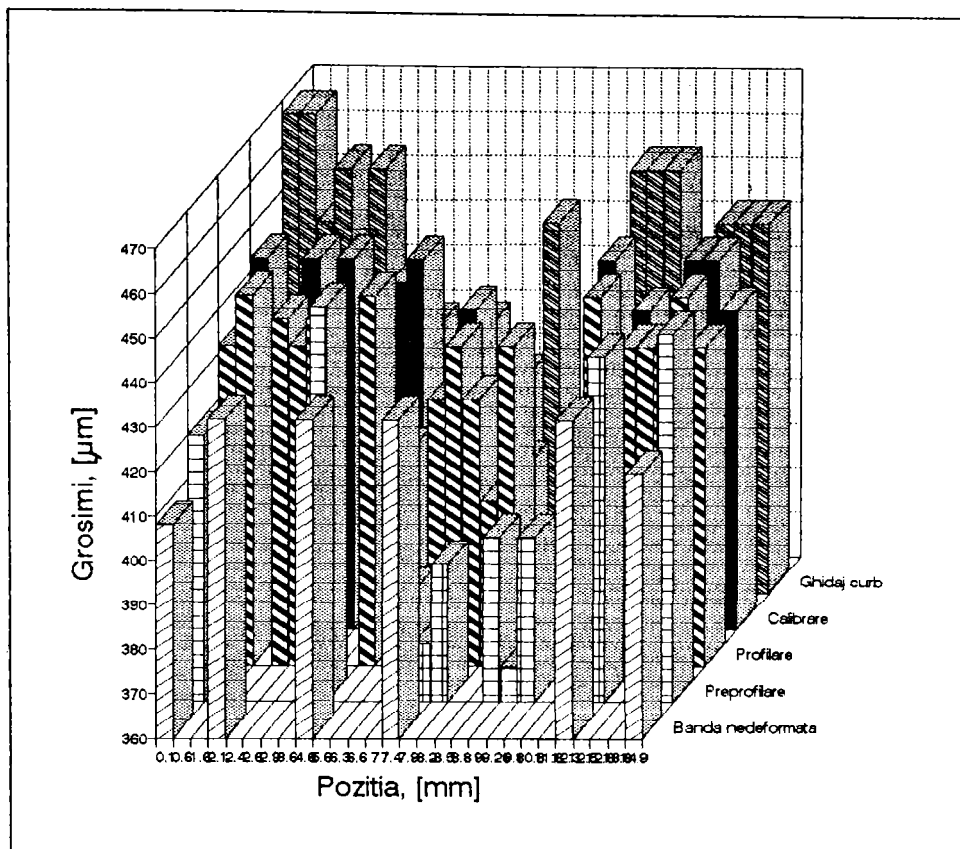


Fig. 4.27

tendinta este de pastrare a grosimii initiale a benzii in starea nedeformata);

- Tensiunea transversala de compresiune Δ_{ct} , determina o ingrosare a benzii la capete, care, poate compensa (sub aspect dimensional, nu si al proprietatilor mecanice), efectul de subtire de la capete datorat debitarii cu foarfece cu role;

- Aceste tendinte si fenomene sunt si mai clar evidentiata urmarind curbele de variatie grosimi = f (pozitiei), pentru cazul profilarii si al calibrarii cand se obtine un profil al benzii de tipul celui prezentat in foto 3;

- Pentru cazul concret se observa o usoara nepotrivire (din constructie sau din uzura diferentiata), intre rola de profilare si cea de calibrare, pentru portiunea de sprijin din mijloc, nepotrivire dovedita de diferentele minimelor de grosime din portiunea de mijloc;

- Datorita unor valori mai mici ale sectiunilor de trecere din ghidajul curb, in acest bloc operator banda calibrata este supusa,

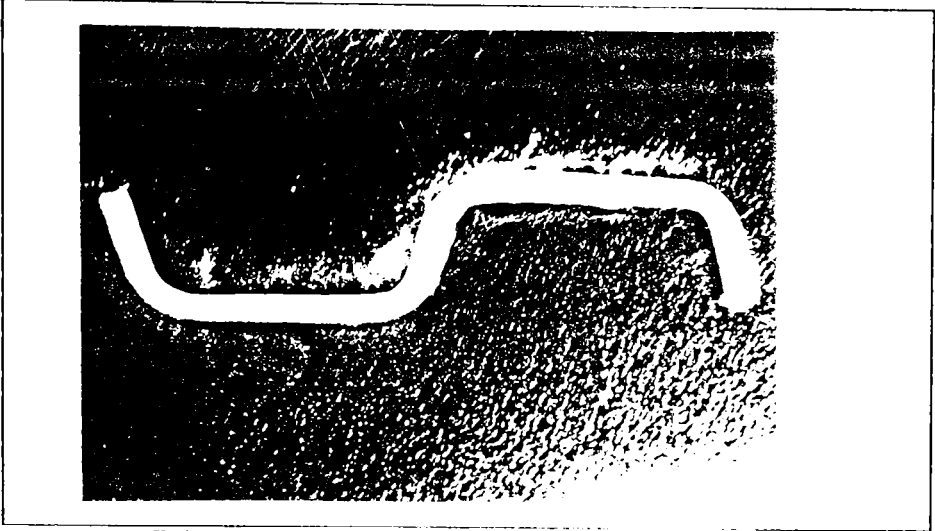


Foto 3

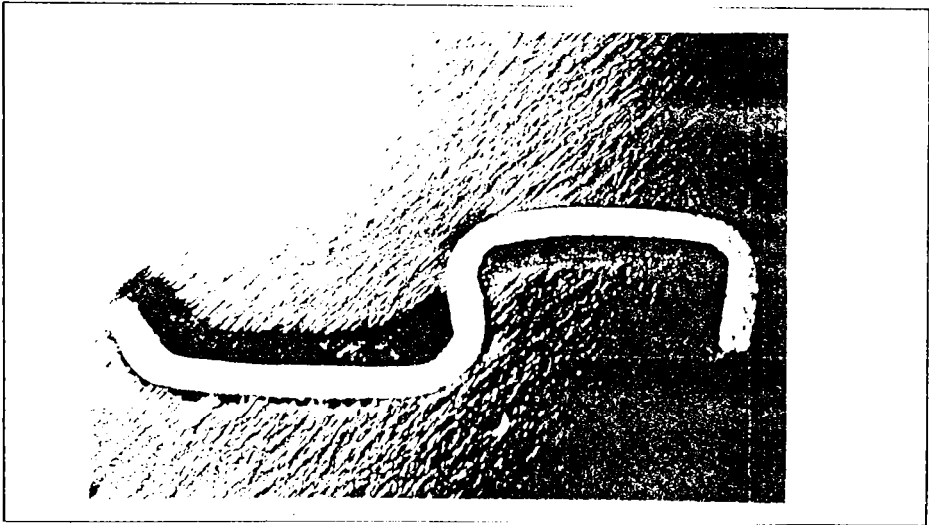


Foto 4

in planul transversal, unei tensiuni de compresiune generala care poate determina, in cazul unor valori mai mari decat cele critice, o flambare a benzii manifestata prin curbarea acesteia in portiunile drepte (foto 4), fapt ce determina o ingrosare a benzii, la capete, la valori mai mari chiar decat cele initiale, cu pastrarea unei subtieri mici in zona mediana;

In cazul tubului $\phi 16$, fabricat din OL37 zincat mecanic, analiza variatiei grosimii in functie de pozitia pe lungimea fibrei medii in sectiunea transversala (figura 4.28) si a histogramei spatiale (figura 4.29) sau plane (figura 4.30), caracterizatoare aceleiasi

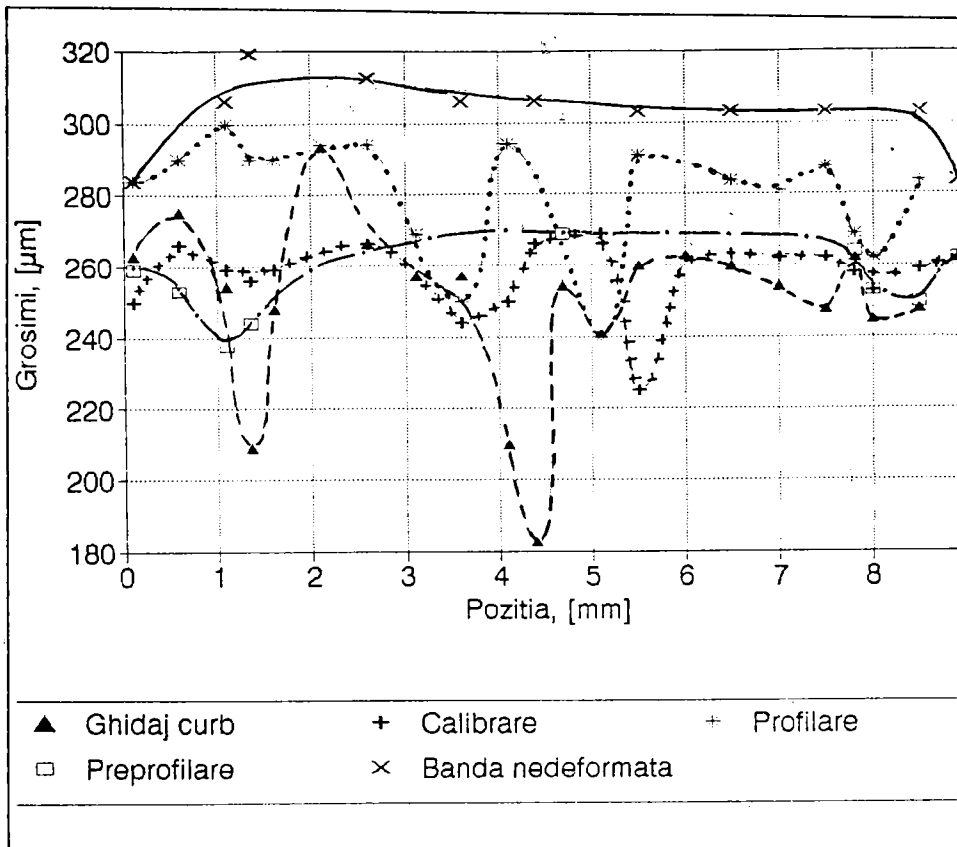


Fig. 4.28

dependente, conduce la urmatoarele concluzii:

- Pe langa observatiile anterioare, care raman valabile integral si in acest caz, se pot face unele observatii legate de compatibilitatea sculelor deformante prin prisma cerintelor tehnologice ale procesului, observandu-se o subtiere globala in toate blocurile de prelucrare inclusiv in ghidajul curb, ceea ce denota o nepotrivire intre profilul acestuia si profilul rolei de calibrare (santuri mai mari in ghidajul curb);

- De asemenea, se observa o scadere mare a grosimii in blocul de preprofilare determinata de o crestere prea mare a vitezei benzii, sau o presiune (forta de apasare) prea mare pe role;

- In ghidajul curb si jocul intre corpul ghidajului si suprafata benzii este mai mare pentru a doua curbura, iar in prima curbura jocul este prea mic, existand o subtiere maxima.

In cazul tubului flexibil $\phi 10$ fabricat din banda laminata la rece din OL 37, neacoperit, curbele obtinute pentru variatia grosimii in cele cinci blocuri operatorie sunt prezentate in figura 4.31, iar

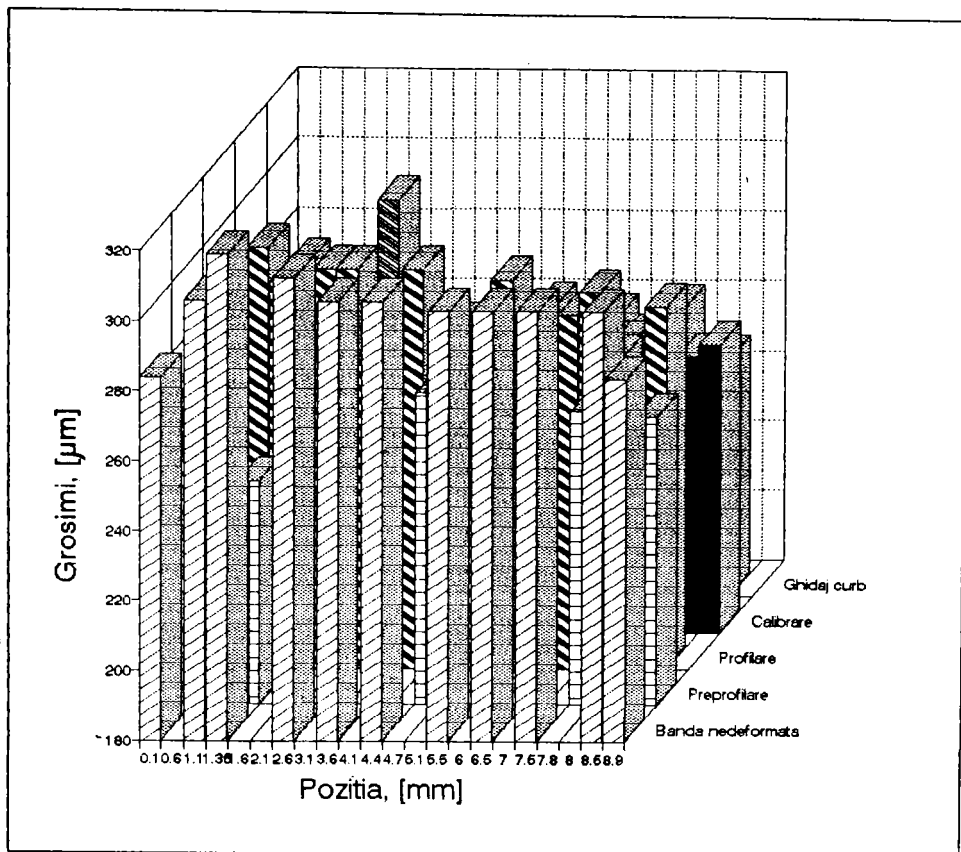


Fig. 4.29

histogramele spatiale in figura 4.32.

Din analiza acestor interpretari grafice se desprind urmatoarele concluzii:

- Si in acest caz apare o subtiere a bezii in urma prelucrarilor de deformare, care este insa mai mica decat in cazul tubului $\phi 16$ (8% fata de 11%), de unde rezulta concluzia unei reglari mai bune a fortei de apasare a roletelor si gradientilor de viteze ale benzii intre blocurile operatoare ;

- Subtierea creste pana la blocul de calibrare (inclusiv), dupa care, in ghidajul curb are loc o comprimare a benzii, atat dupa directia de deplasare (axiala, longitudinala), cat si in planul transversal, fapt ce determina o tendinta de ingrosare a benzii, ingrosare insuficienta pentru a compensa subtierea din blocurile anterioare (ramanand o subtiere medie de aprox.5%);

- Deformatia produsa in ghidajul curb este, in acest caz, mai greu de controlat tehnologic, datorita reflexiilor care au loc, generarii unor suprapuneri de unde, care genereaza interferente, avand drept

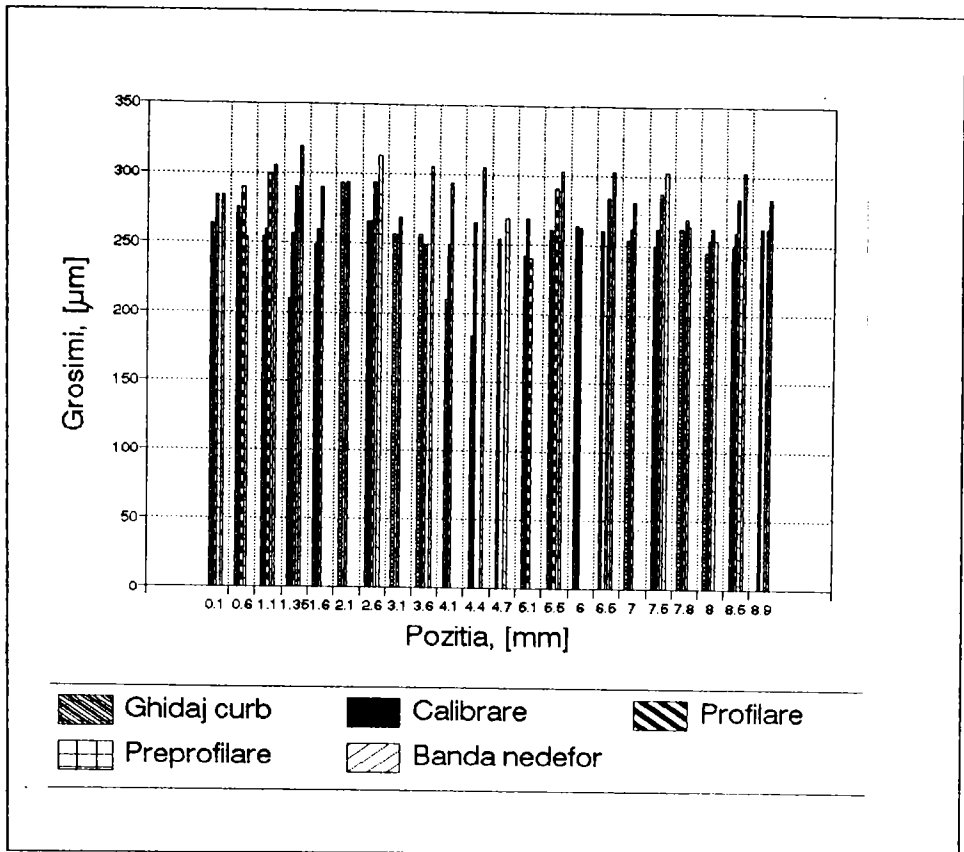


Fig. 4.30

consecinte ingrosari exagerate ale zonelor capetelor (peste 14%), capetele propriu-zise ramanand cu distorsiunile generate de la debitarea cu foarfecile cu role;

- Si de aceasta data, la una din portiunile intermediare de la rolele de calibrare a existat o abatere superioara de la diametrul nominal mai mare decat cea admisa, in zona respectiva aparand o subtiera a peretilor (aproximativ 8%), care nu poate fi explicata prin aparitia unor tensiunii de intindere transversala (ca in cazul portiunii din mijloc) si nici longitudinala, deoarece, in acest caz, s-ar fi produs subtiera in ambele zone de capat nu numai intr-una, ca in acest caz, o alta cauza posibila, dar mai putin probabila, fiind existenta unor abateri de pozitie (cauzate de executii necorespunzatoare, sau de jocuri mari in articulatiile rolor determinate de depasirea limitelor de uzura admise), intre perechile de role pentru calibrare.

In ce priveste analiza variatiei grosimii benzii in cazul fabricatiei tubului $\phi 12$ din 10NiCr170E (curbele de variatie

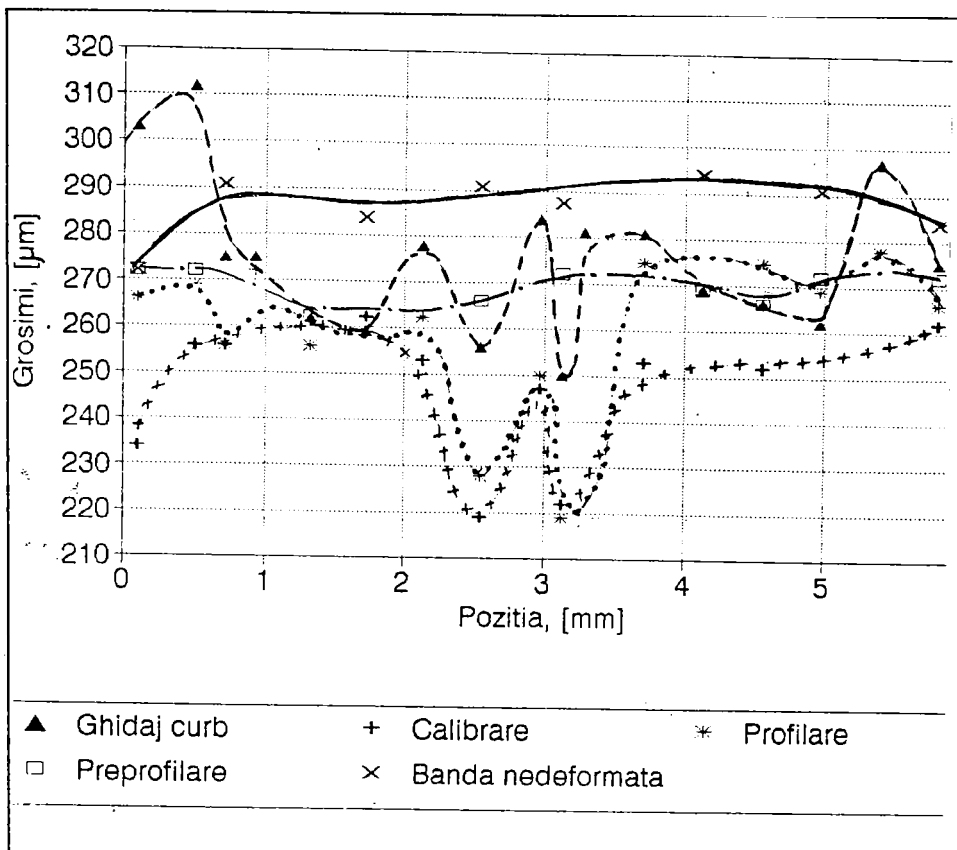


Fig. 4. 31

prezentate in figura 4.33, iar histogramele spatiale in figura 4.34), se urmaresc suplimentar aspectele legate de suprapunerea influentelor materialului peste influentele blocurilor de prelucrare si a zonelor de prelucrare (exprimate prin gradele si tipurile de deformare care apar).

Astfel, se pot estima urmatoarele concluzii:

- Datorita caracteristicilor mai bune de rezistenta mecanica, suprapuse peste neadaptarea reglarii jocului optim intre rolele de la foarfecele cu role, debitarea benzilor semifabricat la latimea ceruta de procesul de fabricatie se face cu o subtiere foarte puternica (aproximativ 27% la unul din capete) a capetelor, cu diferente semnificative (aproximativ 13%), intre cele doua capete, aparand necesara o sincronizare intre pozitia benzii la debitare si pozitia benzii la profilare pentru obtinerea tubului, astfel incat, deformatiile sa fie de semne contrarii;

- Relatia de dependenta intre variatia grosimii si gradul de deformare isi pierde liniaritatea, fiind caracterizata de variatii

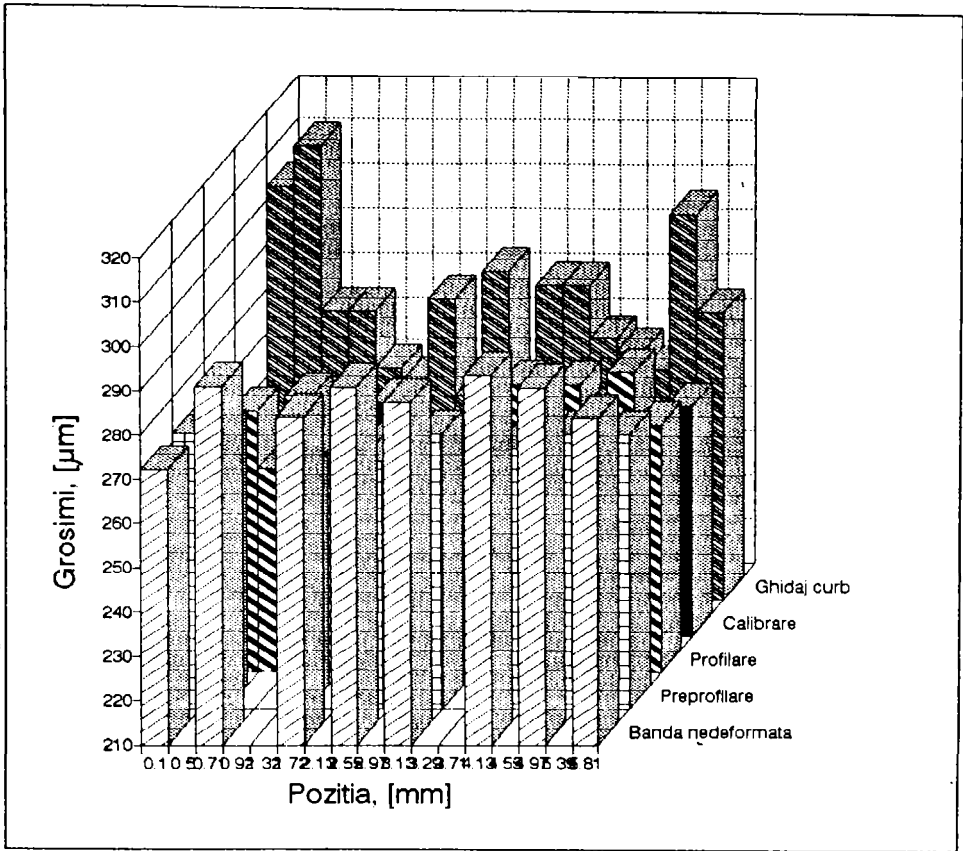


Fig. 4.32

mult mai mici ale grosimii la grade mici de deformare (cazul preprofilarii), respectiv, variatii mult mai mari ale grosimii la grade mai mari de deformare (cazul profilarii);

- Pe baza concluziei anterioare, s-a observat ca in cazul calibrarii, daca se respecta prescriptiile de proiectare pentru rolele corespunzatoare (abateri de forma si dimensiuni de maxim 2% fata de rolele de profilare, rugozitatea $R_a < 3,2$ etc.), curba de variatie a grosimii in raport cu pozitia pe fibra neutra a sectiunii transversale nu difera semnificativ de aceiasi curba trasata in cazul profilarii;

- Calitatea materialului permite un control superior al procesului de deformare, explicat printr-o uniformitate mai buna a materialului si justificat prin curba de variatie a grosimii in functie de pozitia de masurare pe fibra medie in sectiune transversala pentru prelucrarea in ghidajul curb, unde se poate observa ca valoarea medie aritmetica a grosimii este aceiasi cu media grosimii initiale (in banda nedeformata), curba grosimii

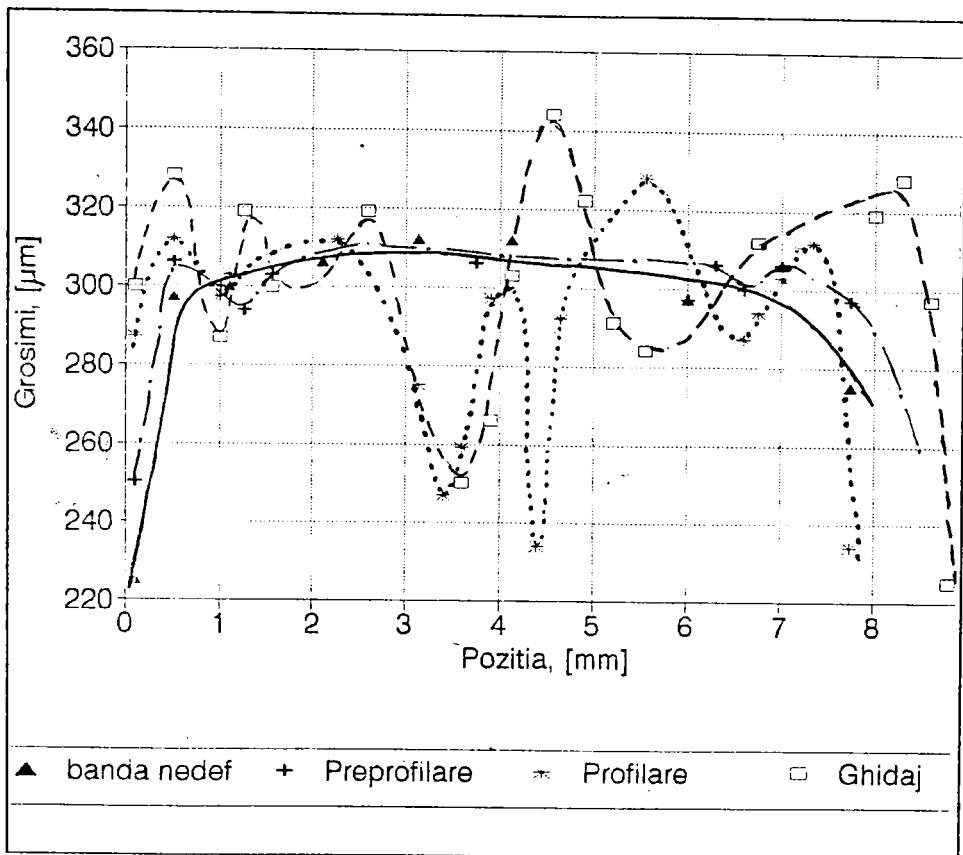


Fig. 4.

initiale putand servi ca axa de simetrie pe orizontala.

Analiza singulara a acestor dependente, desi ofera o multitudine de informatii asupra procesului se considera insuficienta fara interpretarea completa a procesului de deformare plastica prin stabilirea deformatiilor remanente intr-o matrice plana de tipul M (23x5), considerata in cazurile unor materiale diferite, viteze diferite, tipuri si diametre de tuburi diferite, respectiv, blocuri operatorii diferite.

4.2.4 Studiul starii de deformare a benzii prin variatia microduritatii

In continuare se vor analiza variatiile duritatilor in matricea M (23x5) considerandu-se cateva cazuri semnificative de materiale, tipuri si diametre de tuburi, viteze ale benzii si blocuri operatorii, dupa cum urmeaza:

I. Pentru tubul $\phi 37$, fabricat din OL 37, la viteza optima a benzii determinata experimental de 0,25 m/s, materialul fiind

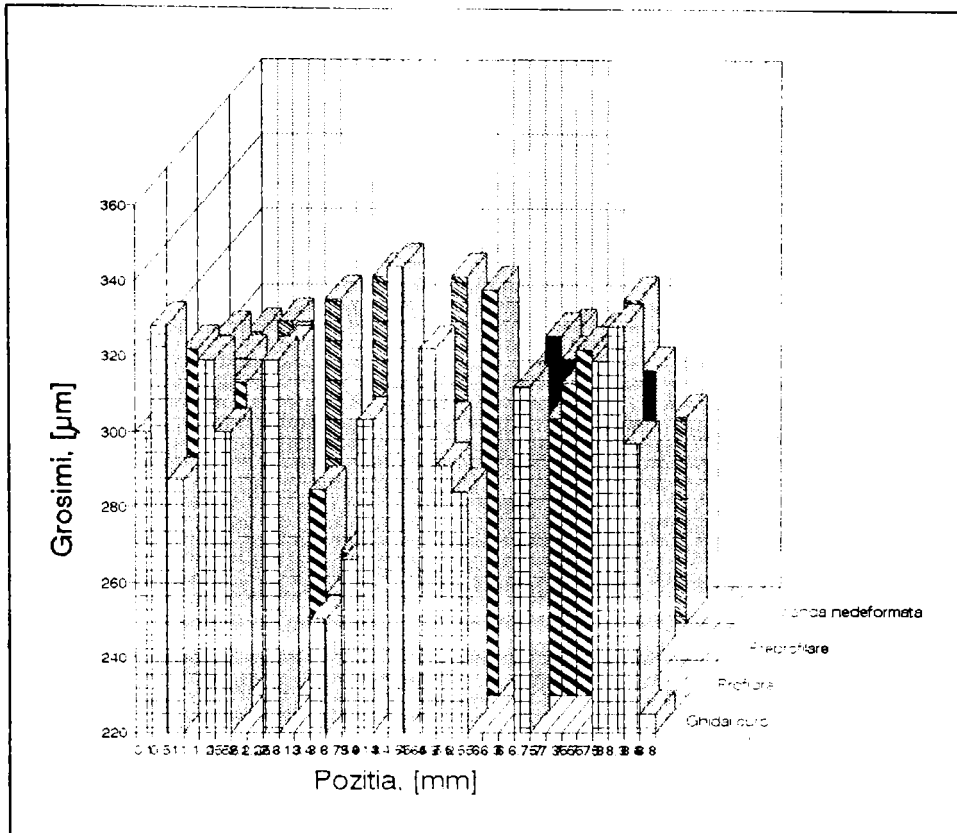


Fig. 4.34



Foto 5

acoperit prin zincare mecanică se analizează variația durității în

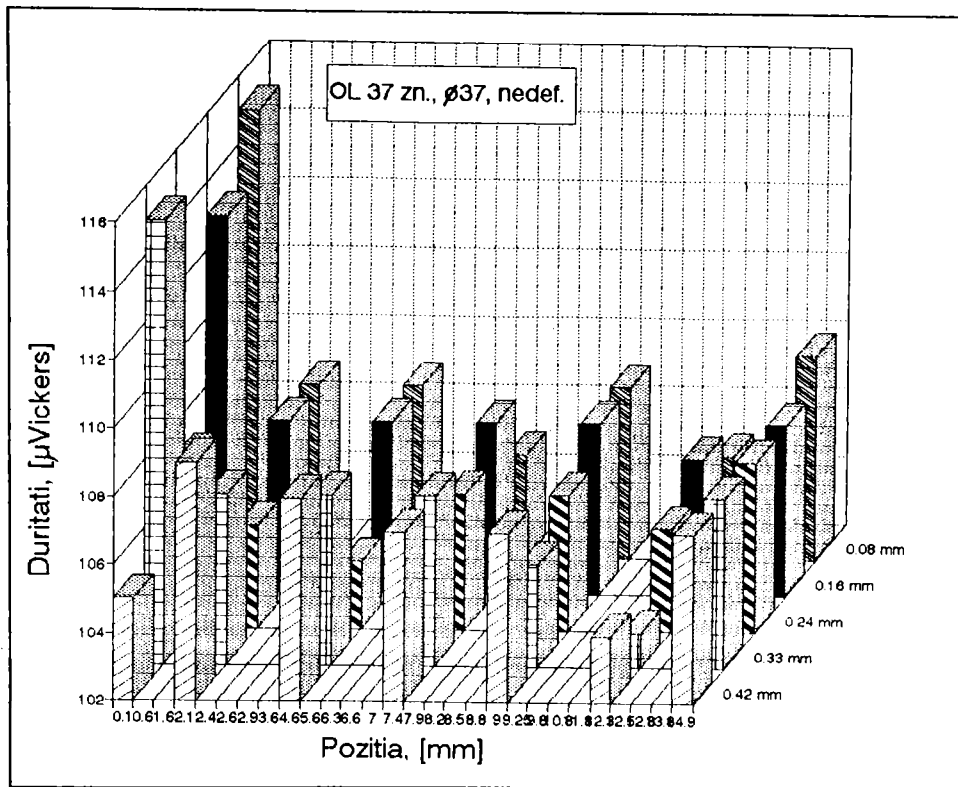


Fig. 4.35

mai multe blocuri operatorii:

I.1. In cazul benzii nedeformate (figura 4.35), se observa existenta unor neuniformitati mici ale valorilor microduritatilor masurate (dispersii mai mici de 1,3), cu exceptia capatului unde diferentele intre microduritati sunt mult mai mari (dispersia de valoare 4,19), datorita deformatiilor ce apar la debitare, analiza microstructurala demonstrand cu prisosinta acest lucru (foto 5 prezentand un aspect din aceasta zona la o marire de 1000x).

Pe lungimea benzii se observa o remanenta usoara a intaririi datorate procedului de laminare a benzii, in ciuda recoacerii care precede livrarea benzilor laminate, fapt demonstrat de o crestere a dispersiei de la zona fibrei medii (coordonata pe grosime 0,24 mm), la exterior (coordonate 0,08 sau 0,42 mm), de la valori de 1,03 la 3,15 respectiv, 3,43.

I.2. Pentru blocul de preprofilare, variatia duritatii in planul unei sectiuni transversale, (figura 4.36), ofera informatii semnificative legate de determinarea starii de deformatii si, implicit, tensiuni dupa cum urmeaza:

- Tensiunea de intindere T3, din portiunea de mijloc

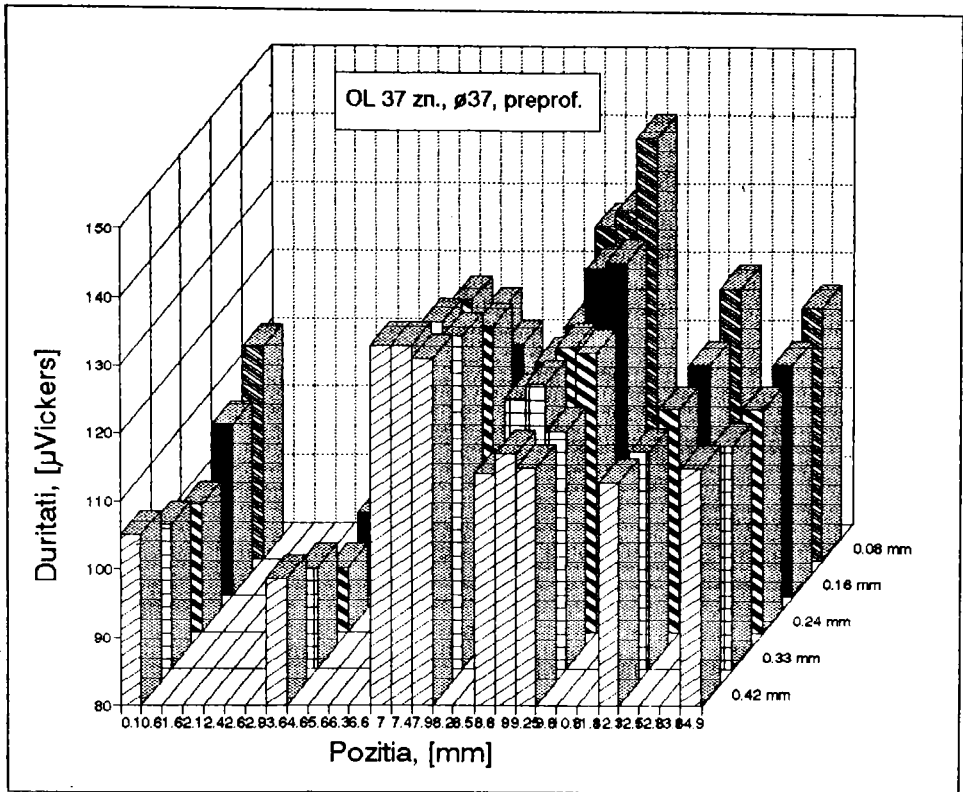


Fig. 4.36

(corespunzatoare starii II din figura 4.37), este mai mare decat tensiunea de compresiune din fibra extrema comprimata (T2 din figura corespunzatoare starii I din aceeasi figura), astfel ca diagrama tensiunilor rezultante are aspectul din figura 4.37, starea III.

- Deoarece sensurile celor doua curburi sunt diferite, se observa din histograma ca si repartitia duritatilor este complementara (de semne opuse), constructia optima a sculelor deformante corespunderand cazul cand $T3-T2=0$ si $T1+T3=\text{minim}$;

- Datorita frecarilor care au loc la suprafata de contact dintre scula deformanta si banda semifabricat se introduc in spatiul de lucru tensiuni suplimentare de contact si frecare, care determina un caracter neliniar al repartitiei tensiunilor pe grosimea benzii, extremitatile rezultantei descriind pe grosime un arc de parabola (graficul din figura 4.38).

I.3. In cazul gradelor de deformare mai mari, caracteristice blocului de profilare (histograma de variatie a duritatilor prezentata in figura 4.39), tensiunile T1 si T2 au valori mai mari decat T3, producand modificari mai mici ale starii globale de

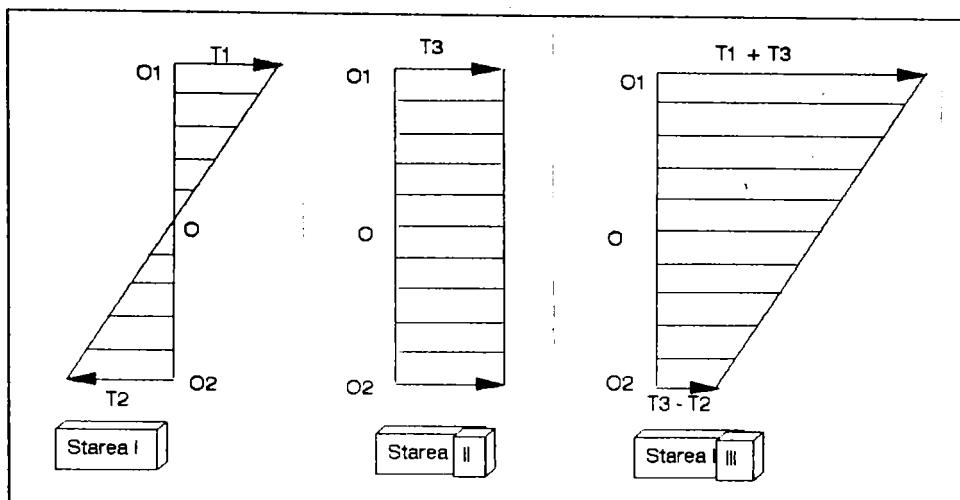


Fig. 4.37

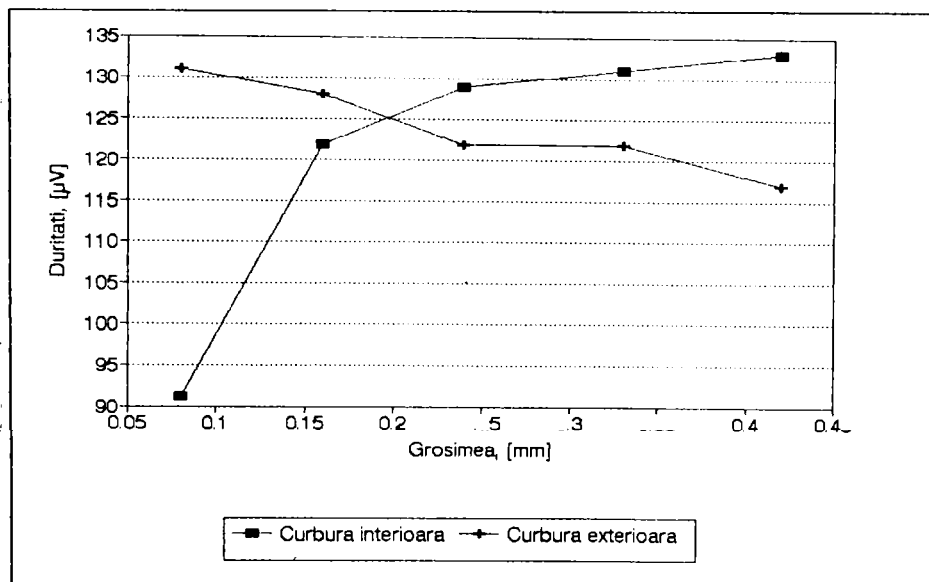


Fig. 4.38

tensiuni si deformatii, astfel ca, de aceasta data, duritatile (si implicit deformatiile), in zonele de curbura, au valori minime in fibra medie (coordonata pe grosime 0,24 mm) si valori maxime in fibrele extreme (coordonate pe grosime 0.08 respectiv 0.42 mm).

Aceste elemente sunt caracteristice pentru curburile de la capete, in cazul curburilor din zona de mijloc, tensiunea T_3 este mai mare decat celelalte, ramanand valabile explicatiile din cazul preprofilarii (curba de variatie a duritatilor in axele curburilor este prezentata in figura 4.40).

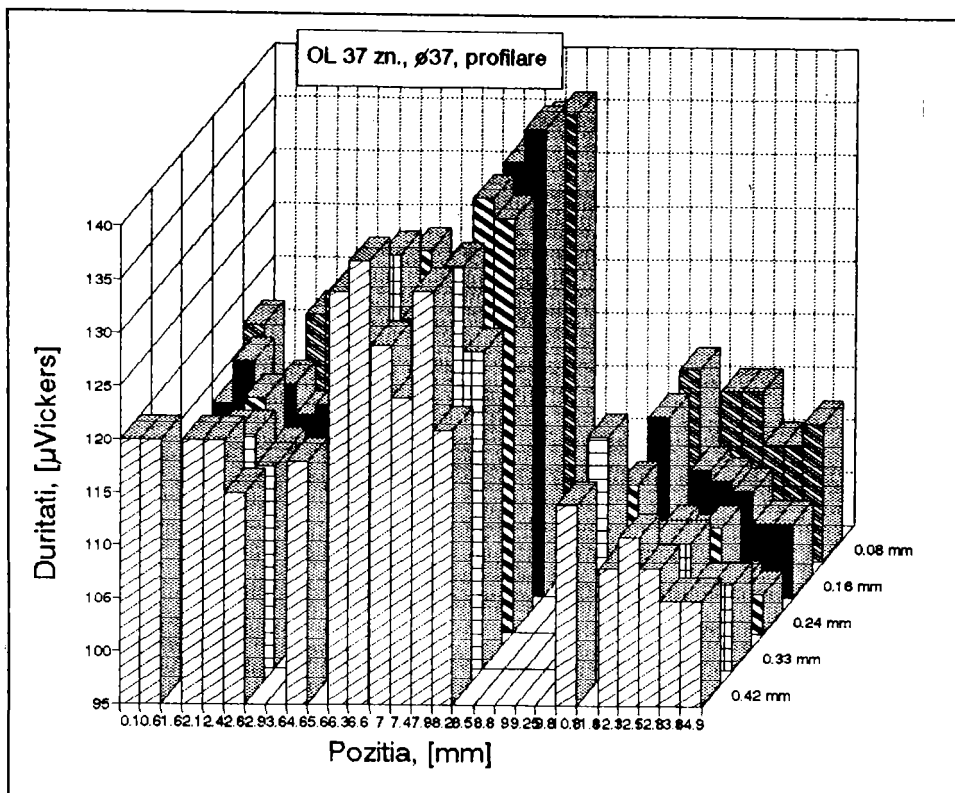


Fig. 4.39

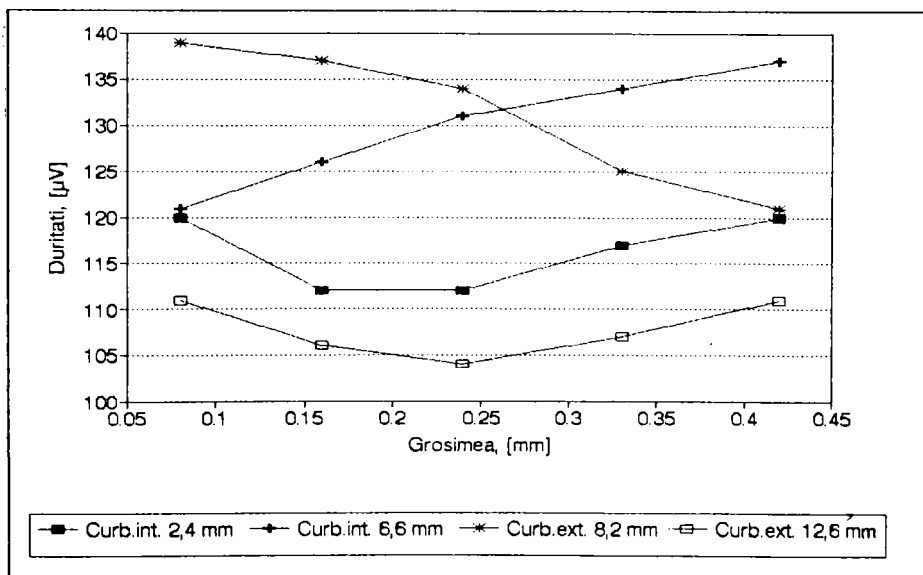


Fig. 4.40

I.4 Asa cum se observa din figura 4.41, in cazul blocului de

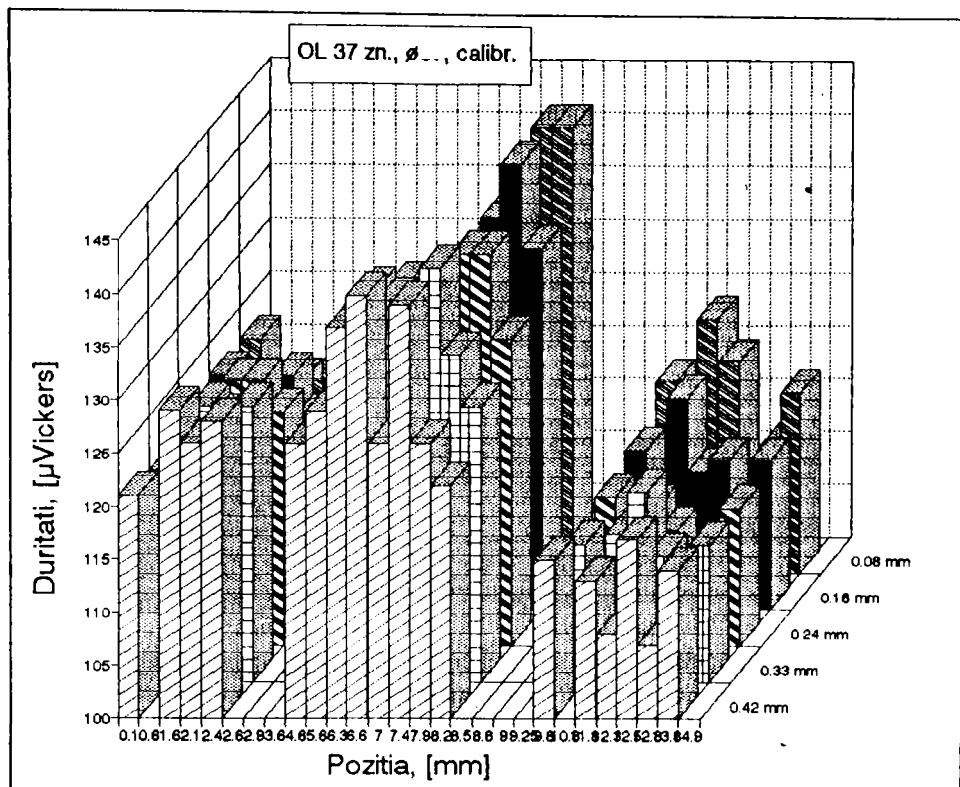


Fig. 4.41

calibrare, repartitia in planul sectiunii transversale a duritatilor este asemanatoare cu cazul profilarii, marea majoritate a valorilor duritatilor fiind mai mari datorita maririi gradelor de deformare (aproximativ cu 6-7 %).

I.5 La trecerea benzii prin ghidajul curb (figura 4.42), starea de tensiuni si deformatii sufera distorsiuni apreciabile, atat datorita fortelor suplimentare care apar ca urmare a schimbarii bruste a directiei in spatiu, cat si a fortelor de frecare mai mari, care determina, pe langa aparitia unor tensiuni tangentiale suplimentare si incalziri puternice ale materialului in anumite zone. Aceste incalziri determina aparitia unei usoare detensionari a materialului, care explica faptul ca in zonele de curbare a benzii (unde gradele de deformare au valorile maxime), cresterile duritatilor sunt mici (intarirea este anulata de efecte termice puternice care determina aparitia unei revenerii a materialului si redistribuirea dislocatiilor in structura materialului, in unele cazuri, mai ales in straturile superficiale, avand loc o redistribuire a graunilor metalici (foto 6).

Se poate concluziona din acest ultim caz ca, printr-o constructie

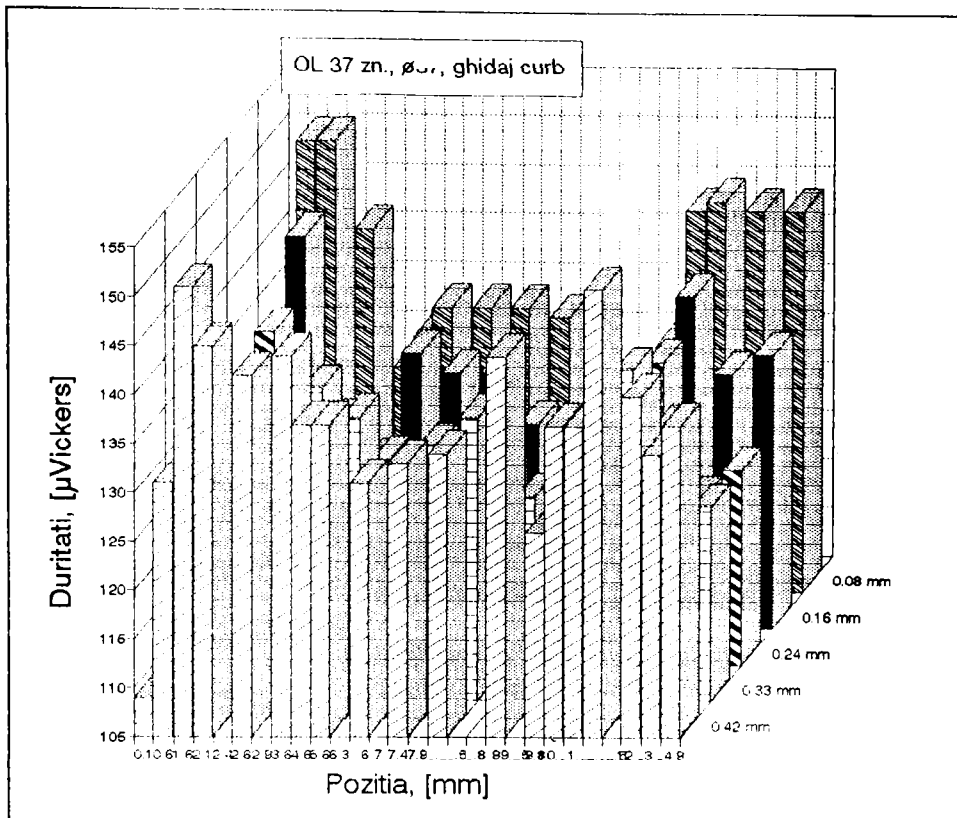


Fig. 4.42



Foto 5

adecvata a ghidaiului curb, se poate modifica, in sens favorabil, starea de tensiuni si deformatii din banda profilata, astfel incat,

sa se echilibreze starea de pretensionare existenta in material dupa calibrare, imbunatatindu-se intreaga gama a parametrilor de utilizare a tubului flexibil.



Foto 7

II. Pentru tubul $\phi 16$, fabricat din OL 37, la viteza optima a benzii, determinata experimental la 0,222 m/s, materialul fiind acoperit prin zincare mecanica, se analizeaza variatia duritatii in mai multe blocuri operatorii:

II.1 Banda nedeformata prezinta aceleasi aspecte ca si la tubul $\phi 37$ (figura 4.43), de aceasta data existand dispersii mai mari ale duritatilor, fara posibilitatea de a identifica fenomenele anterioare, neuniformitatile putand fi explicate doar printr-o marime superioara a grauntilor din structura si implicit o anizotropie pronuntata. Tot din aceasta cauza, zona de capat este mai putin deformata (asa cum se poate observa din microstructura prezentata in foto 7, marire 500x), pe o portiune mai mica decat limita de masurare la capat, neputandu-se masura duritatea in capat, ci pe o portiune interioara mai putin afectata de sistemul de debitare, astfel ca valorile sunt apopiate de cele caracteristice zonelor nedeformate din interiorul sectiunii transversale a benzii.

II.2 In cazul blocului de preprofilare (figura 4.44), procesul de deformare plastica, aflat intr-o faza de initiere, determina deformatii la suprafetele exterioare ale benzii (unde duritatile vor avea valori maxime), afectand foarte putin zona fibrei medii din sectiunea transversala.

Banda fiind mai subtire, iar valorile jocului relativ mai mari,

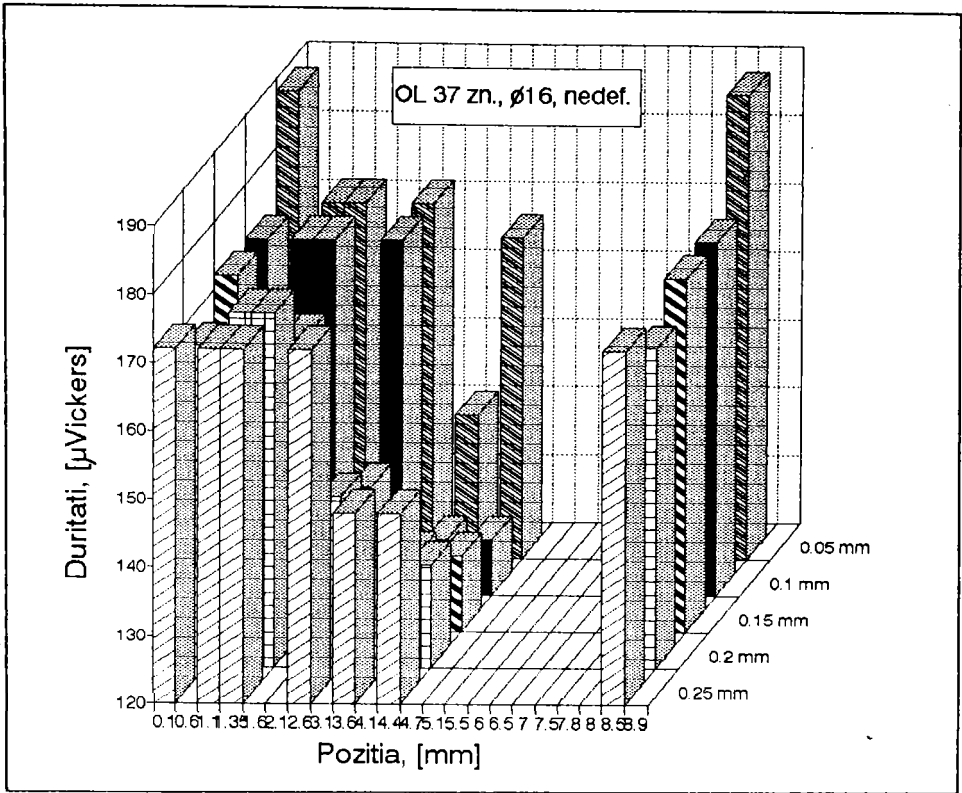


Fig. 4.43

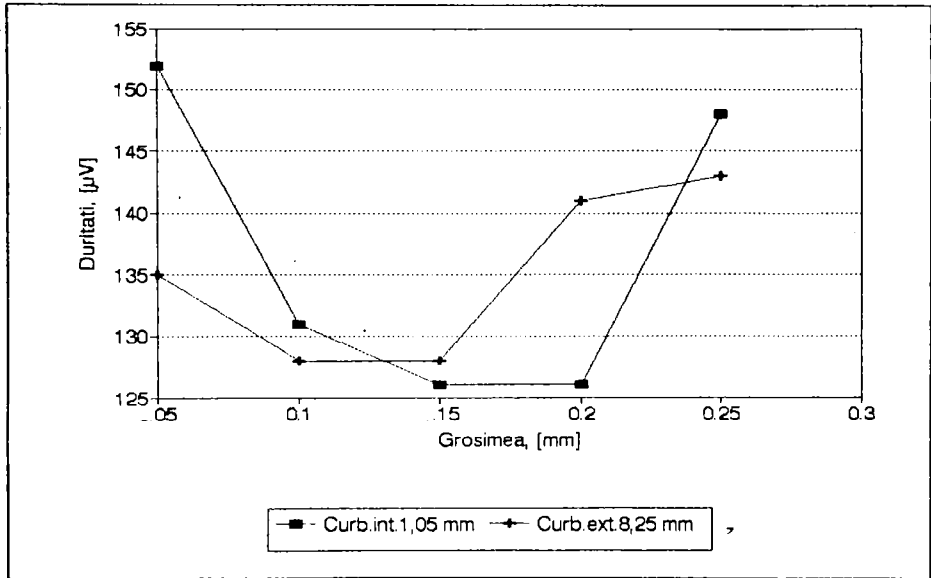


Fig. 4.45

suprapunerile tensiunilor de intindere nu modifica esential starea

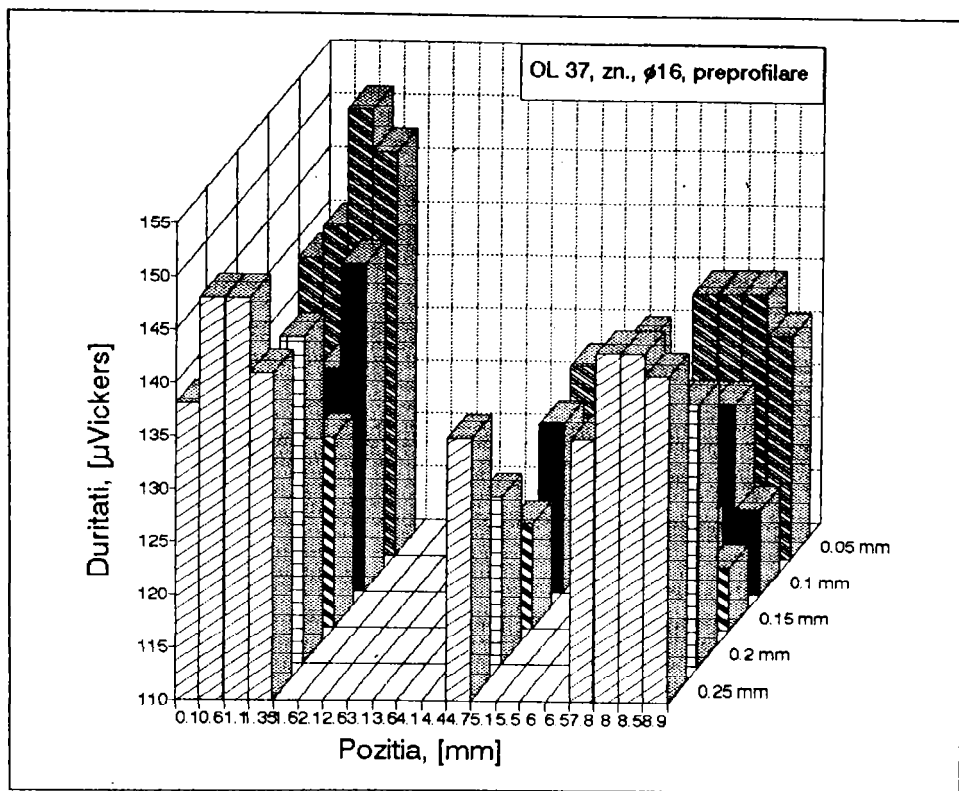


Fig. 4.44

globala de tensiuni si deformatii, putandu-se stabili mai precis o influenta a acesteia (figura 4.45).

II.3 De aceasta data, in cazul profilarii, se prezinta un exemplu corespunzator valorilor optime ale jocurilor, constructiei sculelor deformante, regimului cinematic si dinamic, pentru cazul tehnologic (tipul si diametrul tubului), supus analizei, observandu-se o repartitie uniforma a valorilor microduritatilor in intrega sectiune transversala, valori mai mari ale dispersiei inregistrandu-se in zonele de curbare a benzii (figura 4.46).

II.4 Trecand la blocul de calibrare, se poate vedea, in mod experimental, influenta geometriei sculelor asupra procesului de deformare, dupa cum urmeaza:

In zona de mijloc (coordonate 4,2 mm si 5,4 mm)- pastrandu-se aceeasi geometrie a sculelor si valori ale parametrilor tehnologici- se constata ca prezenta tensiunilor de intindere afecteaza procesul de deformare, determinand aparitia unor fisuri in zona de curbura si subtieri inacceptabile, care inrautatesc parametrii de utilizare a tubului flexibil rezultat, afirmatia fiind argumentata si de rezultatele analizei metalografice.

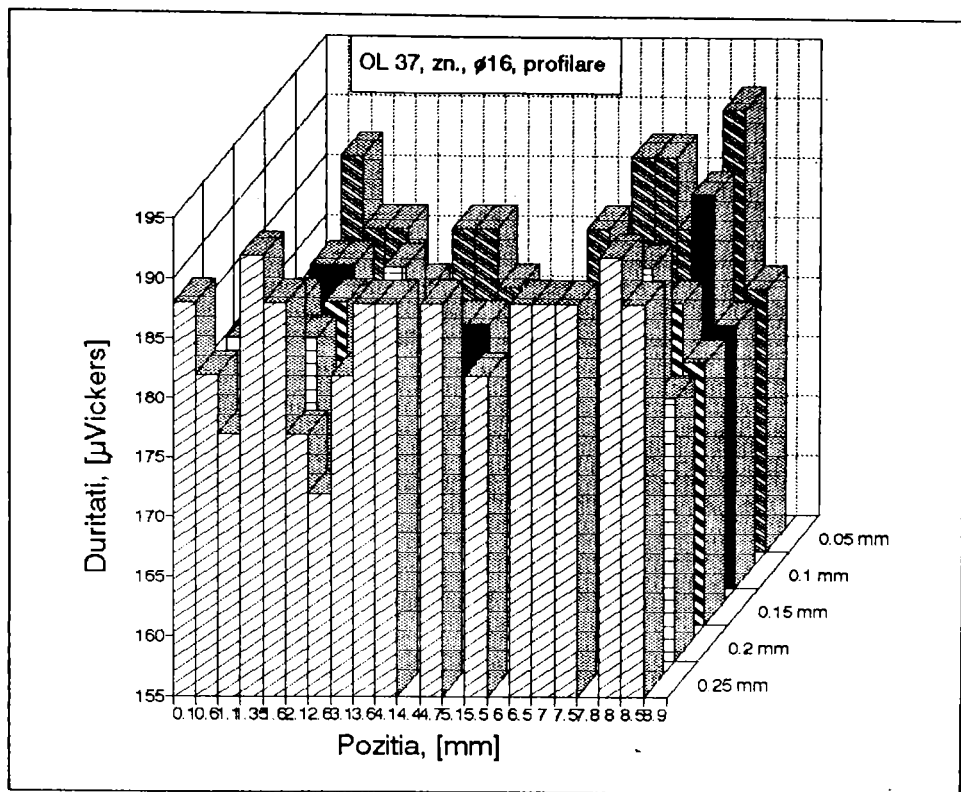


Fig. 4.46

Se poate constata astfel, ruperea stratului de acoperire și propagarea frontului de fisuri în grosimea benzii (foto 8, prezentând zona de curbura din mijloc (coordonată 3,55 mm), la o mărire 500x), concomitent cu accentuarea unui proces de coroziune (asa numita coroziune sub tensiune), fapt ce explica existența unor valori mai mici ale microduritatilor, mai ales în zonele de curbura unde fibra este întinsă (figura 4.47).

În privința analizei metalografice a benzii, în curburile din zonele extreme (coordonate 1,25 mm și 8,1 mm), se constată o subțiere mică a benzii, fără întreruperea continuității stratului de acoperire sau apariția altor fisuri (foto 9 prezentând un aspect de structură la o mărire de 500x), simultan cu un proces de deformare cu o uniformitate bună a stării de tensiuni, la o mărire 1000x putându-se observa (în foto 10), chiar apariția liniilor de alunecare într-un graunțe cu axa dispusă după direcția tensiunilor tangențiale maxime, procesul fiind favorizat și de o relativă izotropie a dimensiunilor granulare ale materialului metalic.

Se poate trage deci, concluzia necesității unei raze de racord și a unui joc mai mare pentru porțiunea din mijloc a rozelor de



Foto 8

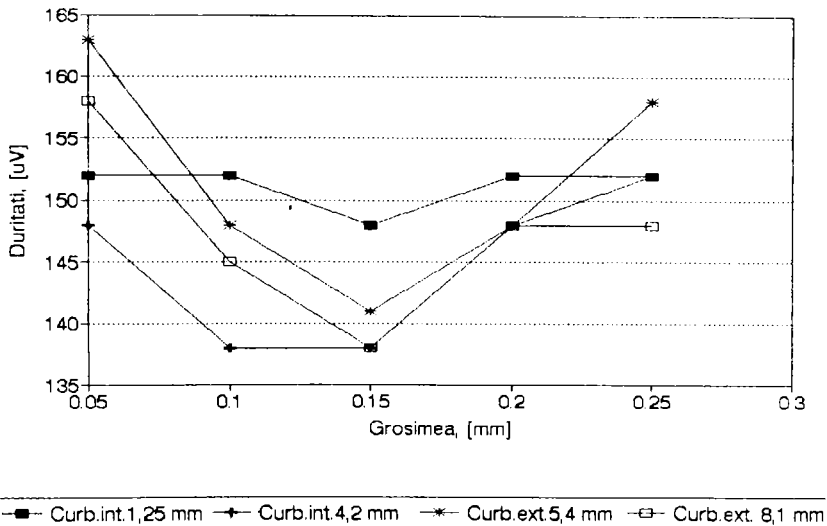


Fig. 4.47

calibrare, fata de zonele extreme, astfel ca repartitia globala a microduritatilor (echivalent al starii de tensiuni din material), sa fie uniforma, diferita de cea obtinuta in cazul acelorasi raze si jocuri, prezentata in figura 4.48.

II.5 Asa cum se poate observa din analiza procesului de deformare din ghidajul curb, influentele negative ale geometriei ghidajului, dar si sculelor de deformare anterioare, asupra procesului de lucru, departe de a putea fi atenuate, sunt accentuate, in curburile din zona de mijloc a benzii (coordonate 4,4 mm si 5,1 mm), avand loc o

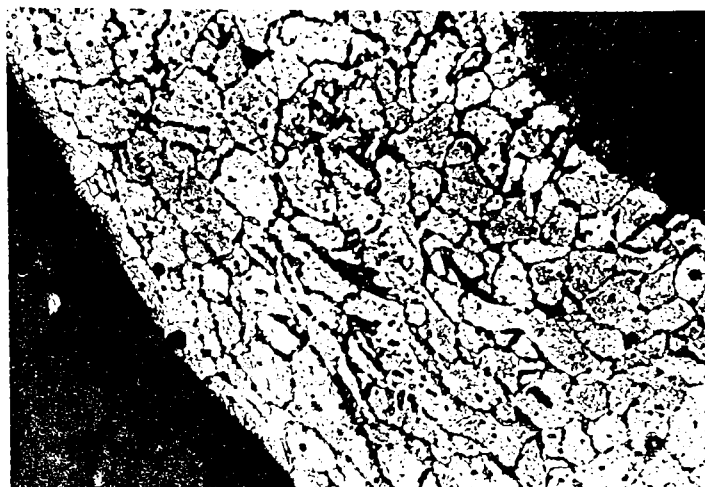


Foto 9



Foto 10

crestere accentuata a microduritatilor spre fibrele extreme, jocul radial prea mic din ghidaj si rugozitatea prea mare pe aceasta suprafata a acestuia favorizand marirea gradientului de duritate si in curbura extrema de inceput (coordonata 1.35 mm), tot aici fiind si cazul unei raze de racordare prea mica in raport cu valoare optima determinata a benzii calibrate, variatiile mergand pana la 25 % (figura 4.49 prezentand histograma desfasurata a microduritatilor masurate).

III. Micsorand diametrul tubului la 10 mm fenomenele observate, in conditiile modificarii parametrilor tehnologici si constructiei

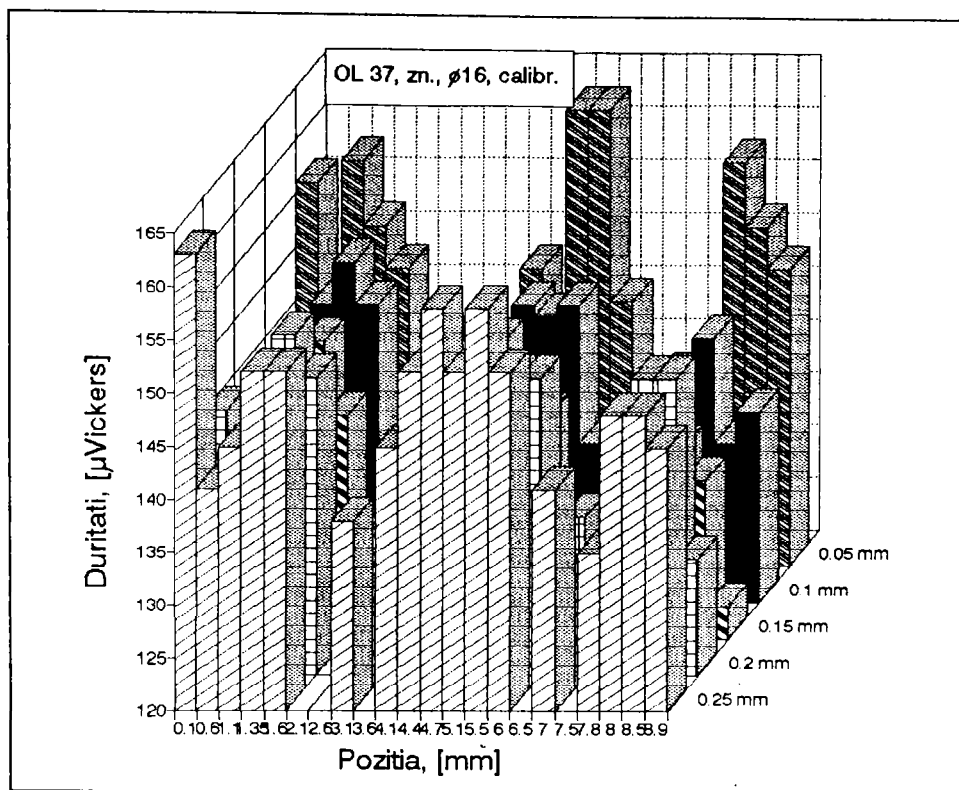


Fig. 4.48

sculelor, sunt asemanatoare celor prezentate pana acum, suplimentar tragandu-se urmatoarele concluzii:

III.1 Banda nedeformata, in acest caz, datorita absentei procesului de acoperire prin zincare mecanica (desfasurat la temperaturi peste linia transformarilor structurale), are valori mult mai mari ale uniformitatii repartitiei (dispersii foarte mici, chiar nule), influenta mare avand doar jocul incorect stabilit intre rolele foarfecelor de debitare (in capatul respectiv dispersia este 6,33).

III.2 In cazul preprofilarii, stabilirea jocului optim intre role are o importanta deosebita putand influenta esential deformarea materialului de la o stare de deformatii normala, cu alungire in fibra extrema exterioara si comprimare aproximativ egala in fibra extrema interioara (coordonata 1,2 mm), la o deformare intr-un singur sens prin suprapunerea tensiunii tangentiale de intindere (coordonata 4,63 mm).

III.3 In studiul comportarii materialului in blocul de profilare, prin stabilirea valorilor optime ale razelor de racordare ale roletelor si jocurilor intre acestea s-a realizat o stare de tensiuni si deformatii uniforma (figura 4.50 si foto 11).

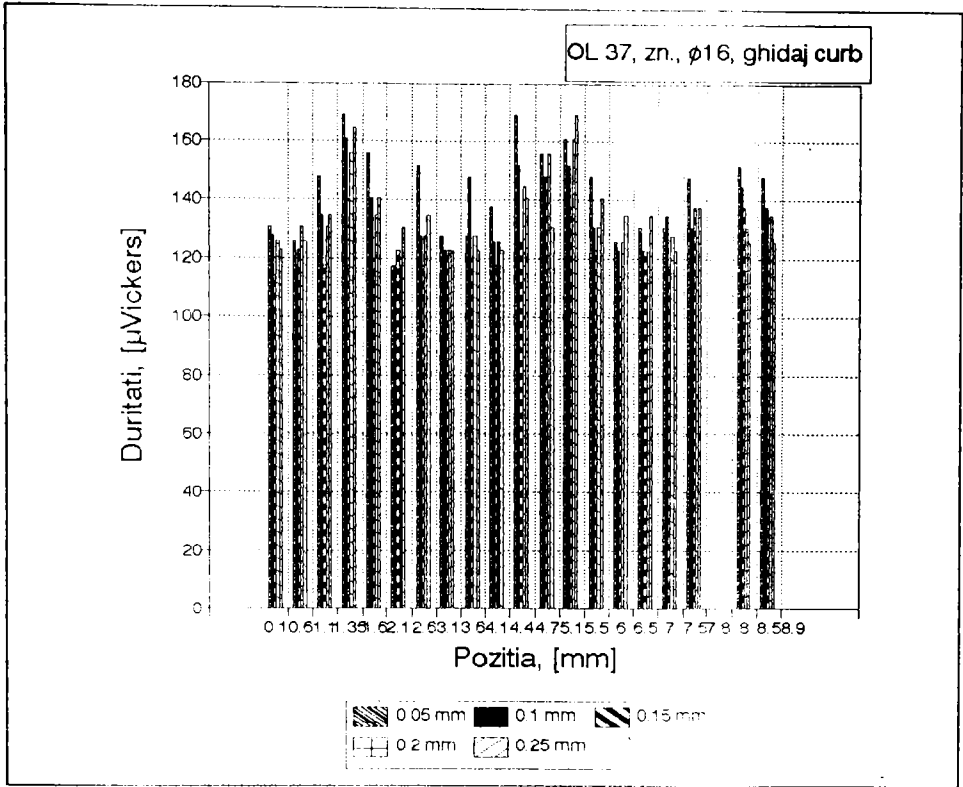


Fig. 4.49



Foto 11

III.4 Incercarea de micșorare ulterioara a razei de indoire in cadrul calibrarii nu determina aparitia unor fisuri dar tensioneaza zona si subtiaza banda cu 15 % (foto 12).

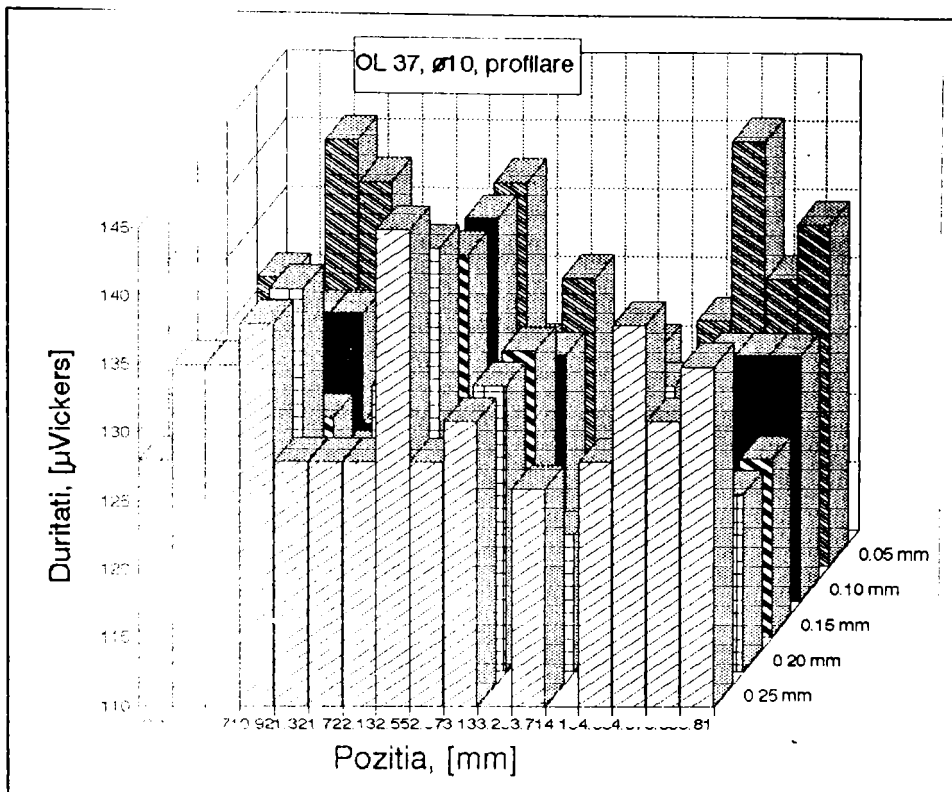


Fig. 50

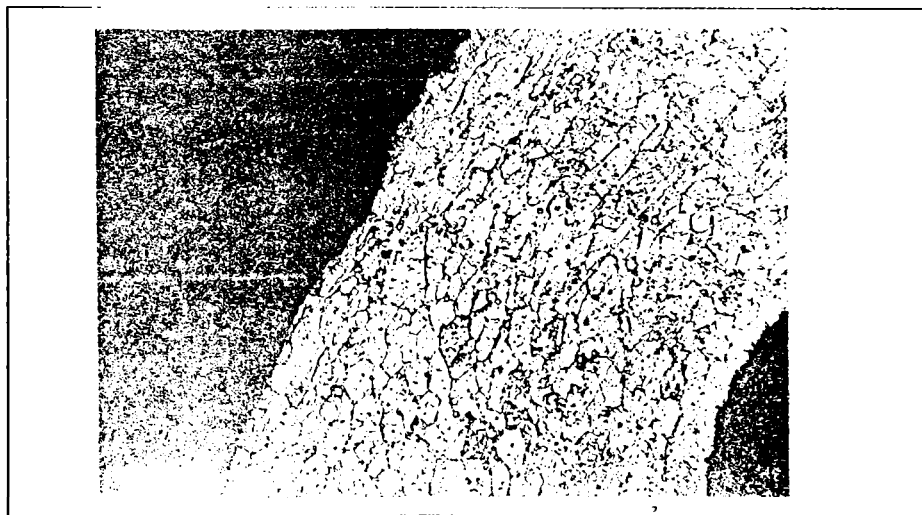


Fig. 51

III.2 Analiza fenomenelor din ghidajul curb scoate in evidenta deformarea materialului in zona fibrei neutre, datorate unei curgeri a

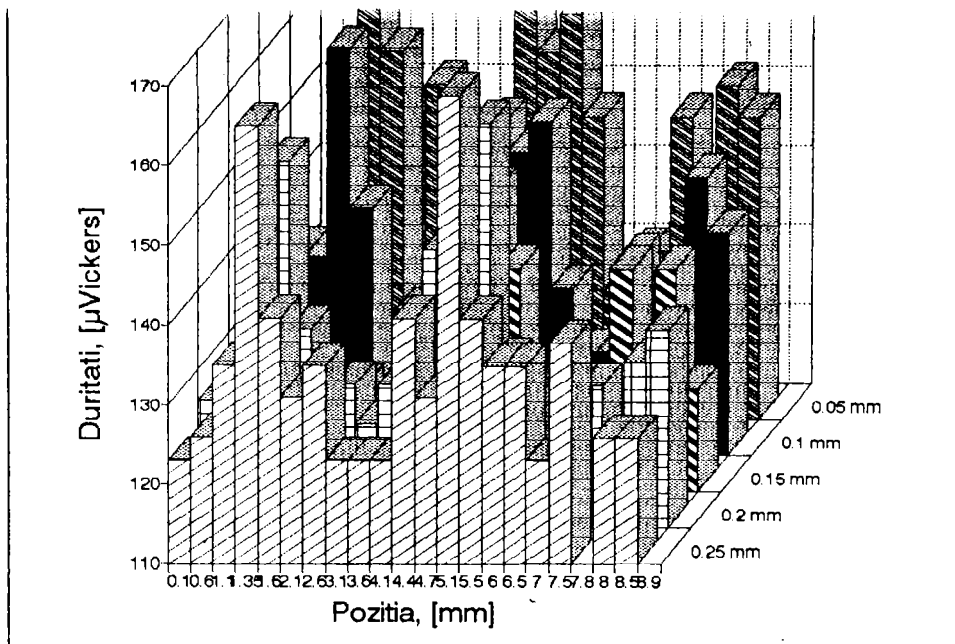


Fig. 4.51

materialului dupa directia axei neutre transversale si influenta fenomenelor termice, mai intense in aceasta situatie datorita capacitatii mai mici de preluare a caldurii de catre sistemul ghidaj curb-banda deformata (histograma desfasurata de variatie a duritatilor in planul sectiunii transversale este prezentata in figura 4.51).

IV. Pentru studiul influentei materialului asupra procesului s-a efectuat un experiment cu schimbarea materialului benzii semifabricat la 10NiCr170E, otel inoxidabil austenitic, care prezinta mai pregnant fenomenul de intarire la rece.

IV.1 Astfel, in cazul benzii nedeformate (pentru care histograma de repartitie a microduritatilor in sectiunea transversala este prezentata in figura 4.52), se observa ca duritatea este mare la capete, unde gradul de deformare este mare datorita debitarii, la un capat (coordonata 0,1 mm) valorile duritatilor fiind mult diferite, fapt explicat prin neuniformitatea procesului de deformare (demonstrata si de analiza microstructurii in capatul respectiv (foto 13, marire 500x)), iar in celalalt capat valorile microduritatilor sunt mari si foarte apropiate, demonstrand un

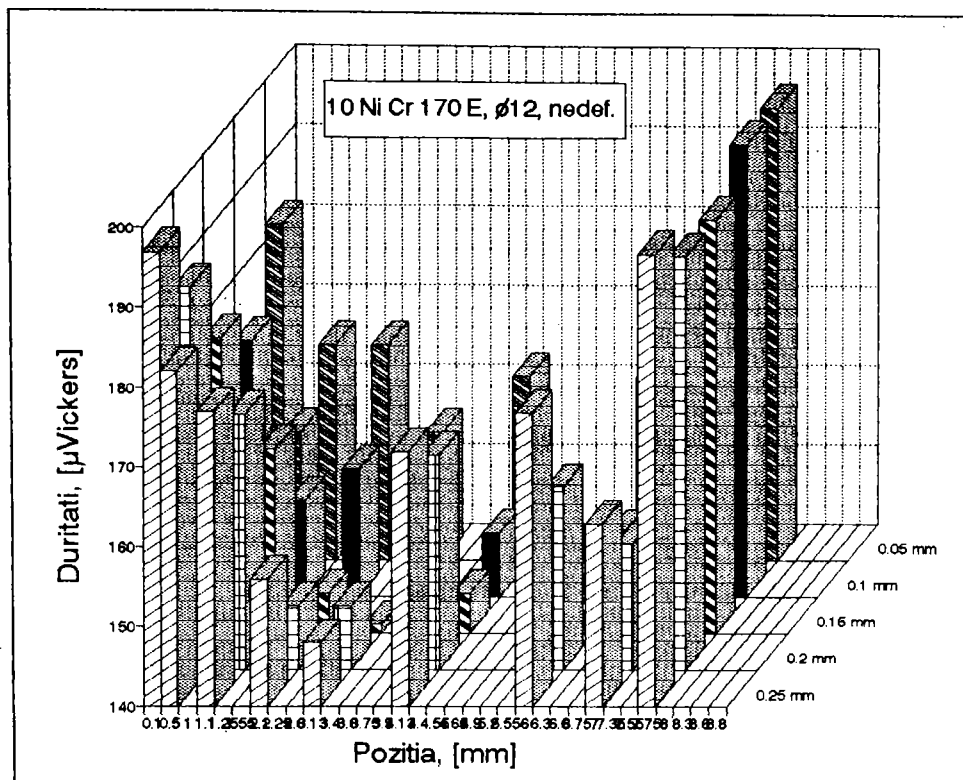


Fig. 4.52

reglaj corect al jocului si geometriei rotelor de debitare.

Pe latimea benzii se observa ca valorile duritatilor sunt mai mici in zona fibrei medii si mai mari in fibrele extreme, demonstrand in acest fel, remanenta starii de tensiune din material in urma procesului de laminare la rece a benzilor.

IV.2 In portiunea corespunzatoare blocului de preprofilare histograma variatiilor microduritatilor intr-o sectiune transversala (figura 4.53), permite evidentiarea unor zone de propagare a campului de actiune a rotelor de deformare in imediata apropiere a axelor radiale ale celor doua curburi (coordonate 1,2 mm si 6,3 mm), zone in care analiza microstructurala evidentiaza striviri ale materialului (foto 14, marire 1000x).

IV.3 Si in cazul blocului de profilare (pentru care histograma de variatie a microduritatilor este prezentata in figura 4.54), au loc fenomenele de strivire a materialului la sprijinirea acestuia pentru curbare in toate cele patru curburi ale benzii, putandu-se observa - de aceasta data mai pregnant, datorita intaririi la rece mai accelerate a materialului- si fenomenele de curgere a materialului intre curburile din zona de mijloc (coordonate 3,4 mm si 4,4 mm) si

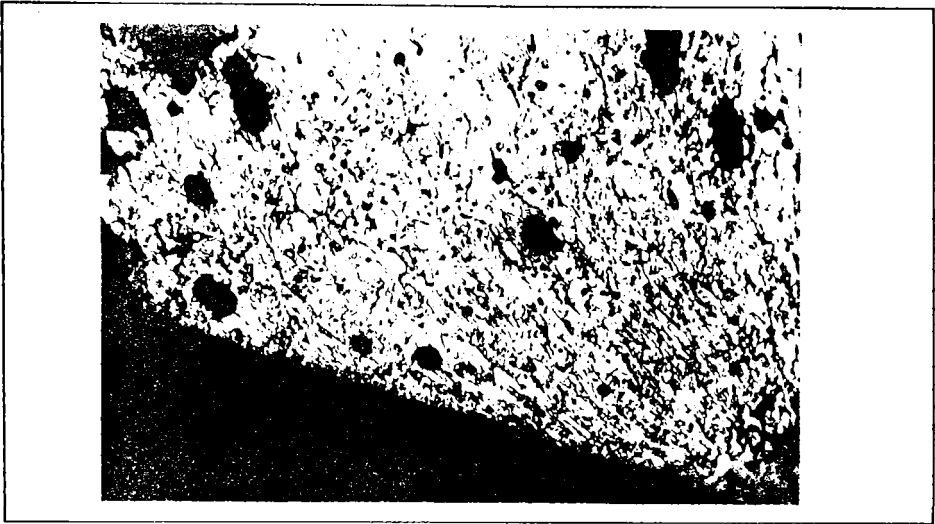


Foto 13

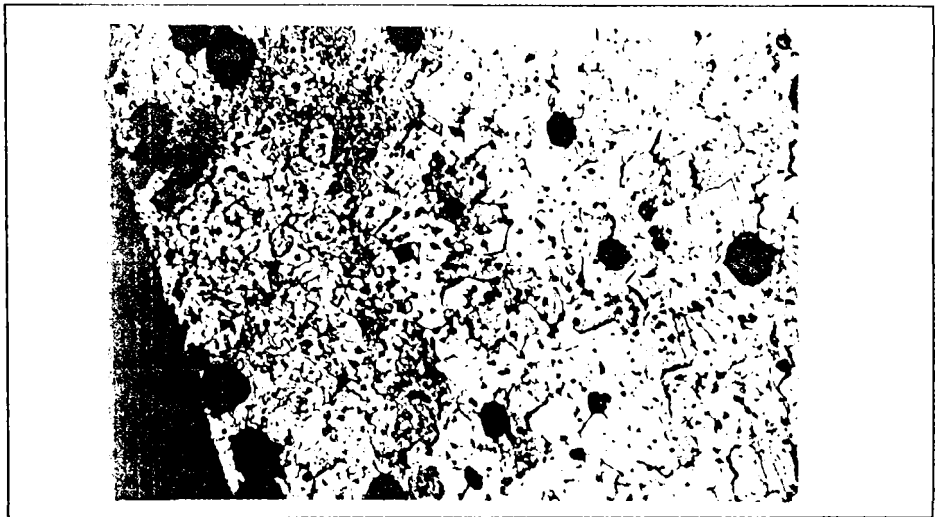


Foto 14

mai puțin accentuat între aceste curburi și cele din zonele extreme (coordonate 1,25 mm respectiv 6,75 mm).

Gradele de deformare mai mari pentru curburile din zona mediană sunt argumentate, pe lângă valorile mari ale microdurităților și de subțierea pronunțată a benzii semifabricat în axele acestor curburi, evoluția finală a microdurităților înglobând, așa cum s-a spus anterior și starea remanentă în material în urma procesului de fabricare a benzii prin laminare la rece.

Un aspect al curbarii benzii cu o rază la valori optime stabilite, în axa de coordonate 6,75 mm este prezentat în foto 15,

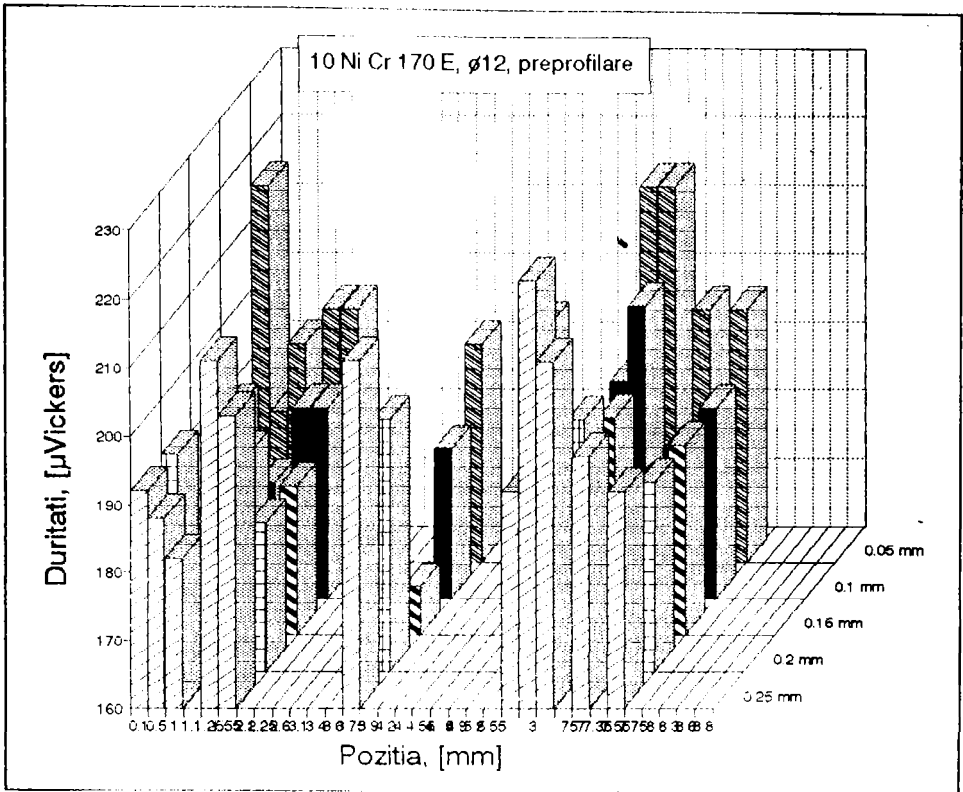


Fig. 4.53

pentru o marire 250x.

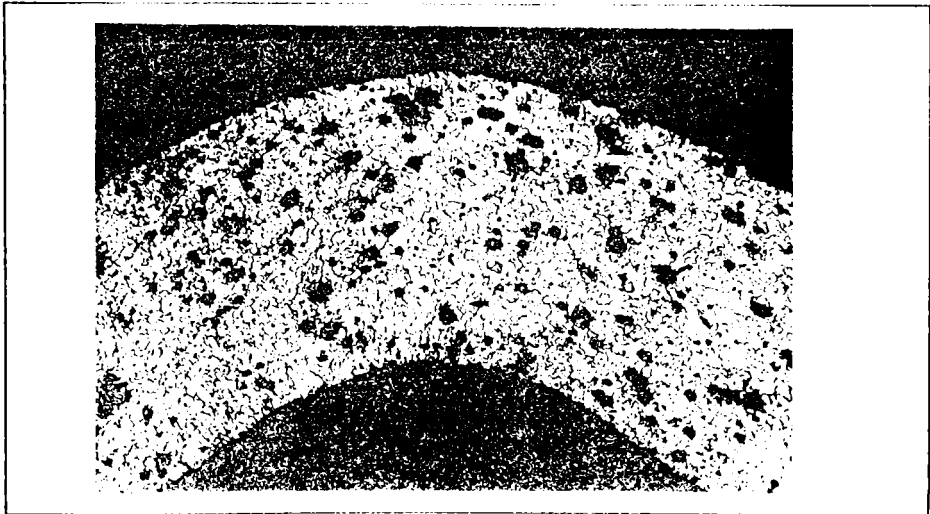


Foto 15

IV.4 Daca se forteaza raza de racordare la valori mai mici,

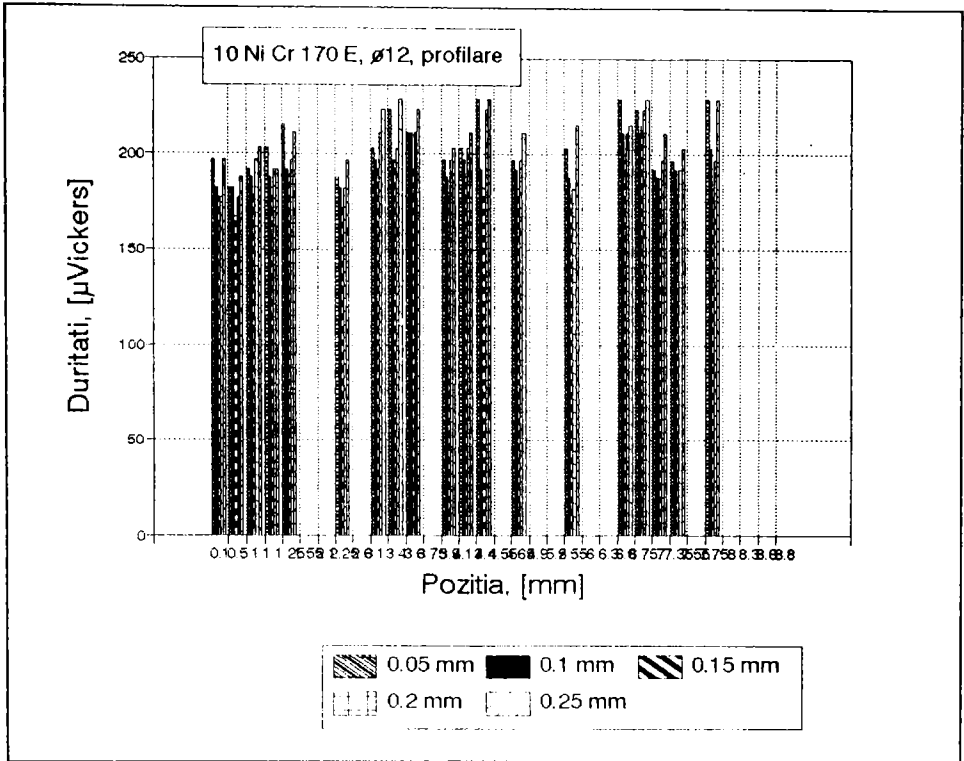


Fig. 4.54

analiza microstructurilor evidentiaza, in conditiile starii de pretensionare existente, aparitia unor subtieri exagerate si chiar amorsarea unor microfisuri (foto 16, marire 250x).



Foto 16

IV.5 Fenomenele terrice care au loc in ghidajul curb sunt

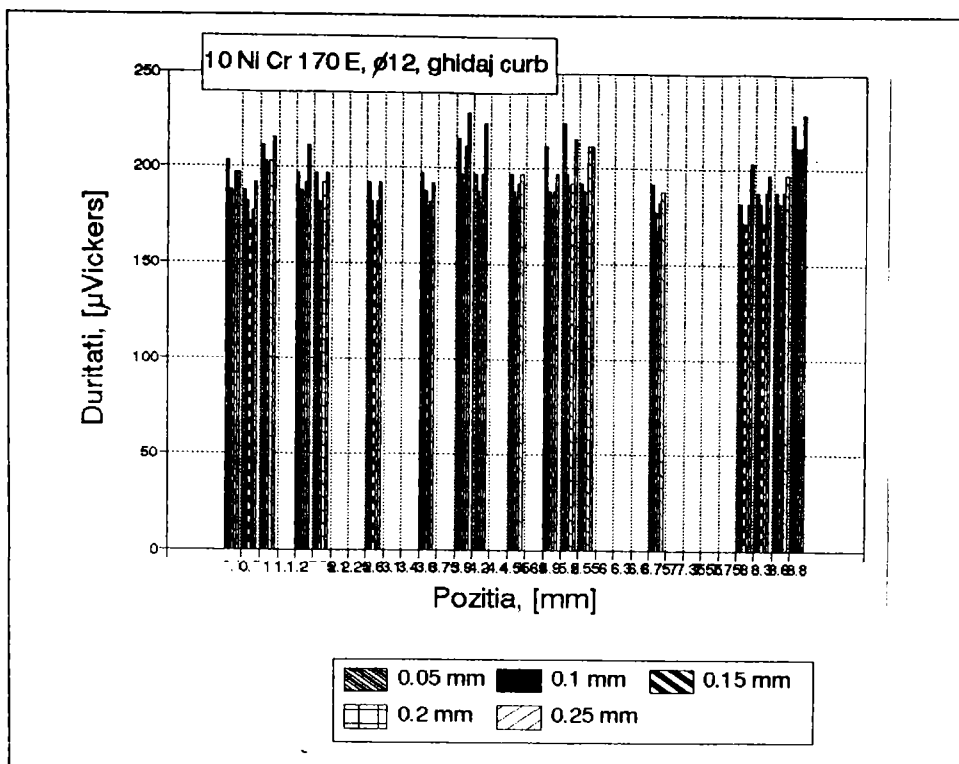


Fig. 4.55

insuficiente pentru a determina modificari structurale, de aceea, in cazul folosirii benzilor din oteluri inoxidabile la fabricarea tuburilor flexibile, constructia ghidajului curb este astfel proiectata si executata, incat sa determine corelarea deformatiilor plastice cu procesele anterioare, astfel incat, banda rezultata dupa curbare in ghidaj sa aiba compensata cea mai mare parte a pretensionarilor induse de procesele anterioare de prelucrare, un exemplu in acest sens fiind oferit de repartitia prezentata in histograma din figura 4.55.

5. CONTRIBUTII EXPERIMENTALE LA OPTIMIZAREA PROCEDEELOR DE ACOPERIRE A BENZII SEMIFABRICAT FOLOSITA LA FABRICAREA TUBURILOR FLEXIBILE

5.1 ELEMENTE DEFINITORII

Folosirea noilor materiale de baza, cresterea permanenta a cererii de rezistenta la coroziune, concomitent cu necesitatea optimizarii tehnologiei de depunere sunt doar cateva ratiuni care justifica necesitatea noilor solutii in domeniul sistemelor de protectie anticoroziva.

Cereri stringente au impus aplicarea acestora si in domeniul tehnologiilor de fabricatie a tuburilor flexibile, cu precadere in cazul celor aplicate in industria automobilelor, a bunurilor de larg consum, instalatii de uz casnic, utilajului tehnologic pentru industriei de proces etc.

5.2 VARIANTE TEHNOLOGICE STUDIATE SI REZULTATE OBTINUTE

Dintre variantele tehnologice, cea mai folosita este placarea (acoperirea) cu zinc urmata (de cele mai multe ori), de cromare.

In acest caz, solutiile cele mai folosite, care au fost experimentate, precum si principalele caracteristici ale acestora sunt prezentate intr-un tabel cunoscut sub numele de tabelul Simon & Toma, conform tabelului 5.1.

In tabelul 5.1, s-au utilizat urmatoarele notatii:

-caracterizarea influentei: a-slaba; b-medie; c-tare;

-1-pe otel; 2-contra otelului; 3-protectie catodica; 4-tratament anodic; 5-depinde de sistemul de placare; *-peste 400 °C.

Semnele "<", "-", respectiv ">", reprezinta influentele descrescatoare, noninfluenta, respectiv influenta crescatoare.

Dupa cum este cunoscut, stratul de zinc aplicat ofera protectie catodica (potentialul electrolitic al zincului este -0,76 V, fata de cel al fierului de -0,44 V), iar cromul completeaza cu o protectie anodica. De asemenea, experientele efectuate si investigatiile desfasurate, au condus la concluzia cresterii rezistentei la coroziune odata cu micșorarea porozitatii stratului placat, mai puțin poros in cazul cromului.

Tabelul 5.1

Tipul de acoperire	Rez. coroz.	Rez. oxid.	Rez. uzura Abrz.	Rez. Adez.3	Prop. obos.	Ade- ren- ta	Infl. comp. baza	Dur- it. HV	Temp. max. °C
Aluminiu	c3	b	c4	-	a	a	-	50	400
Crom	c5	c	c	b	b	c	<	900	500
Cobalt	b	a	a	b	b	c	<	280	400
Co+oxid Cr	b	b	b	c	a	c	-*/<	420	800
Nichel	b	a	a	a	-	c	<	250	500
Ni+silicon carbid	b	a	b	b	a	c	<	420	400
Ni neelectr 400 °C/1 h	b a	- -	b c	b c	- -	c c	< <	500 900	500 500
Ni+silic. carb.neel.	b	-	c	b	-	c	<	650	400
Ni+diam. (neelectr.)	b	-	c	b	-	c	<	700	500
Ni+PTFE(nel)	a	-	a	c	-	c	<	280	300
Cupru	b	a	a	b	c	c	-	190	350
Alama	b	-	b	b	b	c	-	600	<200
Bronz	b	-	b	b	b	c	-	700	<200
Zinc	c	-	a	a	b	c	-	80	250
Argint	a	a	a	c	c	c	-	60	850
Cadmiu	c3	-	a	b	b	c	<	80	220
Ni/Cd	c	a	-	-	-	c	-	320	500
Staniu	c	-	a	c	c	b	-	5	100
Plumb	c	-	a	c	c	b	-	5	200
Pb/Sn	c	-	a	c	c	b	-	10	100

In ce priveste functiile tribologice (de rezistenta la uzura), depunerile mixte zinc + crom reprezinta o alternativa buna pentru acoperirea cu cadmiu. Acoperirea cu cadmiu, datorita dificultatilor tehnologice si preturilor de cost ridicate, este aplicata cu multe restrictii, doar in locuri unde cerintele de exploatare o fac strict necesara (spre exemplu sistemele tehnice cu cerinte deosebite in ce

priveste siguranta in functionare).

Avand in vedere cele prezentate mai sus, precum si logica tehnologica mult mai simpla, se explica optiunea moderna pentru cazul acoperirii cu zinc urmata de cromare si flotare.

Trecerea la acest procedeu de acoperire a impus, in mod implicit, necesitatea utilizarii unor electroliti noi, supusi unei permanente perfectionari. Astfel, in tabelul 5.2 se prezinta principalele tipuri de electroliti acceptati actualmente, pe plan mondial, pentru acest procedeu. Se face precizarea ca o tendinta in uzanta industriala actuala este folosirea baiilor de galvanizare cu un continut foarte scazut de cianid.

Tipul baii	Denumire comerciala	Zn [g/l]	Co [g/l]	NaOH [g/l]	NaCN [g/l]	Cl [g/l]
Alcalina cont.rid. si scazut	Movilux Neorapid	7-50	-	75-150	5-100	-
Alcalina cont.foarte scazut	Protolux	5-12	-	80-150	-	-
Acida	Zincalux 100	25-40	-	-	-	100-160
Acida Zn-Co	Zincadur Co	20-35	6-9	-	-	100-160

In ce priveste densitatile de curent, valorile acestora depind (in mod uzual si semnificativ), de tipul de electrolit folosit si de tipul de agitatie din baia de galvanizare, legat de acestea, tabelul 5.3 prezentand valorile cele mai uzual folosite actualmente, $[A/dm^2]$.

Corelat cu cele prezentate pana acum, se prezinta in tabelul 5.4 variatia ratei depunerii stratului de zinc in functie de parametrii cei mai importanti: densitatea de curent, $[A/dm^2]$ si tipul baii, calculandu-se totodata si eficienta de curent.

Rezulta deci, o crestere a eficientei de curent cu descresterea densitatii de curent pentru baile cianidice si pentru baile alcaline fara continut de cianid.

Totodata, o acoperire buna cu zinc si o uniformitate acceptabila se poate observa in cazul densitatilor mici de curent, aplicate mai ales in cazul formelor complicate ale partilor ce urmeaza a se acoperi.

Tabelul 5.3			
Tipul baii	Fara agitare	Agitare mecanica	Barbotare cu aer
cont.ridicat de cyanid	>5	7	-
cont.scazut de cyanid	>4	5	-
fara cyanid	>1,5	3	5
acida	>3	5	9

Tabelul 5.4			
Densit.de curent	Tipul baii	Rata depunerii	Eficienta de curent
3 [A/dm ²]	CRC	aprox.0,8 [$\mu\text{m}/\text{min}$]	aprox. 90%
	CSC	aprox.0,6 [$\mu\text{m}/\text{min}$]	aprox. 70%
	FC	aprox.0,6 [$\mu\text{m}/\text{min}$]	aprox. 70%
	A	aprox.0,9 [$\mu\text{m}/\text{min}$]	aprox.100%
1 [A/dm ²]	CRC	aprox.0,3 [$\mu\text{m}/\text{min}$]	aprox.100%
	CSC	aprox.0,27 [$\mu\text{m}/\text{min}$]	aprox. 90%
	FC	aprox.0,27 [$\mu\text{m}/\text{min}$]	aprox. 90%
	A	aprox.0,3 [$\mu\text{m}/\text{min}$]	aprox.100%

CRC-continut ridicat de cyanid; CSC- continut scazut de cyanid; FC- fara cyanid; A- acida.

Baile acide, desi sunt caracterizate de eficiente ridicate de curent, determina prafuirea suprafetelor si implicit rugozitati mai mari, putand fi aplicate cu precadere in cazul suprafetelor plane mai putin pretentioase.

5.3 CERCETARI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA

UNIFORMITATII DEPUNERILOR PE MATERIALUL BENZII

Intrucat in domeniul fabricatiei de tuburi flexibile uniformitatea depunerilor de zinc este determinanta pentru prelucrarile ulterioare, s-a pus problema determinarii si optimizarii experimentale a acesteia. Dintre multiplele procedee cunoscute in cadrul metodei Haring & Blum s-a ales varianta

utilizarii tuburilor de test avand lungimea de 60 mm si diametrul de 10 mm, depunerile de metal efectuandu-se intr-o celula de test in conditii identice pentru fiecare caz. Dupa depunere tuburile de test sunt sectionate longitudinal si se masoara distributia de metal depus.

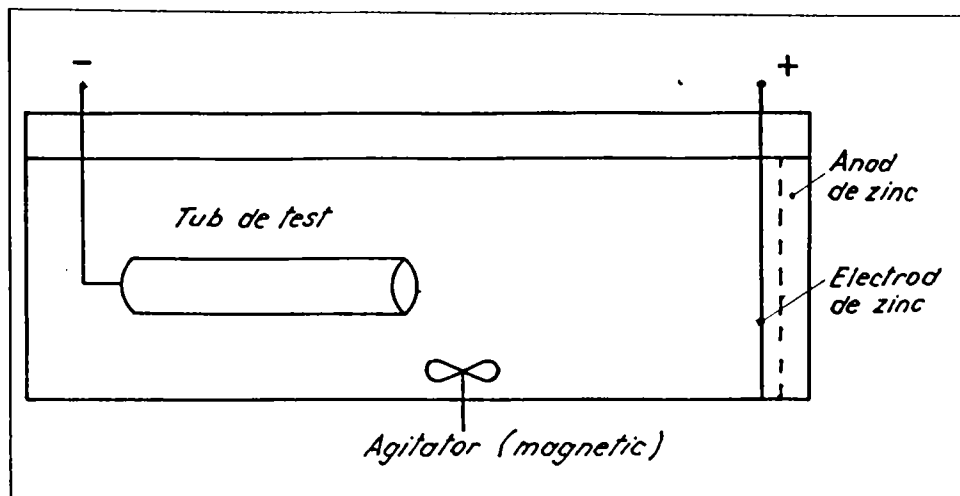


Fig. 5.1

În figura 5.1 se prezintă schema de principiu a instalației.

Uniformitatea depunerilor este determinată într-o măsură importantă de conținutul de metal din electrolit. După cum este cunoscut, zincul are o foarte bună solubilitate determinând o creștere a conținutului de metal în electrolit, problema rezolvată prin utilizarea unui electrod insolubil de fier, controlul conținutului de metal din baie fiind realizat printr-o celulă anodică separată, care intră în lucru printr-un circuit by-pass.

În ultima vreme în domeniul electrolitelor binari s-au dezvoltat cei conținând nichel, cobalt sau aliaje metalice adăugate la zinc. Baile cu electrolit binar zinc-nichel sau zinc-cobalt sunt de natură acidă, iar baile zinc-fier operează în domeniul bazic.

Pe plan mondial sunt folosiți drept constituenți de aliere un număr din ce în ce mai mare de metale ca: fier, cupru, cobalt, nichel, crom, cadmiu, magneziu, aluminiu, staniu etc. Conținutul de metal depus variază de la 10 %, pentru nichel, la (0,5...1) %, pentru cobalt, fapt ce înclină spre folosirea cu precădere a bailor zinc-cobalt, cu protecție catodică, la densități de curent de ordinul (2...3)A/dm², creșterea conținutului de cobalt peste această valoare având influențe nesemnificative asupra rezistenței la

coroziune.

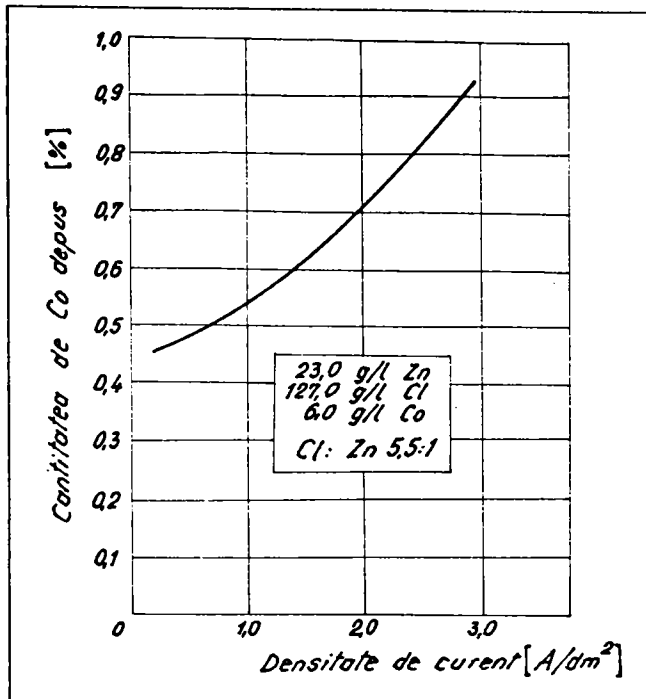


Fig. 5.2

In figura 5.2 se prezinta dependenta continutului de cobalt depus, si compozitia barii de zinc cobalt.

Dintre variantele tehnologice de acoperire, cele mai folosite in cazul tuburilor flexibile sunt legate de urmatoarele tacte:

-acoperire numai cu zinc > tratament termic > activare acida sau alcalina > cromare > flotare, spalare sau ungere;

-prezincare (3...5) μm in bai simple de zinc > tratament

termic > post-zincare > activare acida sau alcalina > cromare > flotare, spalare sau ungere > acoperire cu zinc.

-folosirea electrolitilor neaditivi concomitent cu cresterea nivelului temperaturii de lucru.

Pentru evitarea incluziunilor de hidrogen, duratele si nivelul temperaturilor si fazelor se adapteaza procesului. In mod normal se lucreaza la temperaturi intre (120...200) °C, pe durate de (1...2) h, dar sunt situatii cand se efectueaza intreruperi necesare dupa acoperire pentru 48 h cu mentinerea semifabricatului peste 24 h, la 120 °C.

Depunerile de zinc rezultate in urma aplicarii acestei variante tehnologice, in mod uzual, au proprietatile prezentate in tabelul 5.5. Legat de cele prezentate pana acum, se face precizarea ca, in cursul acoperirii, se pot efectua corectii speciale, indeosebi in scopul impiedicarii tendintelor de formare a carbonului si/sau oxizilor sub forma unor pelicule de acoperire, tendinta incomplet controlata actualmente, din punct de vedere tehnologic.

In ce priveste analiza datelor prezentate in tabelul 5.5,

Tabelul 5.5

Caracteristica	Strat depus in baie:		
	Acida	Alcalina	Cyanica
Structura rețelei cristaline	hexagonala	hexagonala	hexagonala
Tipul de cristalizare	dispersa neorientata	dispersa orientata sub forma de cimp	
Marimea cristalelor [nm]	70+/-30	90+/-40	135+/-50
Microtensiunile interne [N/mm ²]	80	120	150
Macrotensiunile interne [N/mm ²]	-40	+80	-40
Microdunitatea Vickers	100+/-30	130+/-30	140+/-40
Ductilitatea [%]	2 0,5...7	1 1...5	0,5 0,2...3

structura zincului este hexagonala, indiferent de tipul baii, iar in ce priveste aspectul cristalizarii, structura este dispersa si neorientata (DN), in cazul bailor acide, respectiv, dispersa orientata sub forma de camp (DOC), in cazul bailor alcalina si alcalin-cianide.



Foto 17

Se poate concluda ca utilizarea depunerilor de zinc aliat prin

procedee de electroplacare asigura caracteristici de rezistenta mecanica superioare, competitive la varf, chiar cu depunerile de cadmiu, intr-o mare parte a aplicatiilor legate de fabricarea tuburilor metalice flexibile.

Testele efectuate pana acum au aratat chiar indicatori mai buni in ce priveste rezistenta la uzarea prin frecare de alunecare si rostogolire, in cazul acoperirilor cu zinc, doar rezistenta la coroziune inregistrand valori ceva mai mici.

Un argument in acest sens il constituie si rezultatele analizei microstructurilor, foto 17 prezentand, la o marire 1000x, un aspect privind comportarea stratului de acoperire realizat prin folosirea electrolitilor binari, starea initiala a rezultatelor obtinute prin zincare mecanica putand fi analizata, spre exemplu chiar din cele observate in curbura din foto 8 (capitolul 4).

6. CONCLUZII FINALE SI CONTRIBUTII ORIGINALE ALE AUTORULUI

6.1. CONCLUZII FINALE

* Optimizarea procesului tehnologic de fabricatie a tuburilor flexibile nu este o operatie simpla ci, un proces complex, cu o asociere distincta de elemente particulare si generale, corelate cu tipologia proceselor si produselor;

* Amorsarea unei incercari de optimizare globala a procesului tehnologic de fabricatie a tuburilor flexibile o constituie stabilirea unui model sistemic generalizat pentru acest proces, care sa fie cat mai putin afectat de tipologia de productie, dar, in acelasi timp, sa permita particularizarea, prin asignarea unor variabile, pentru orice tip de produs;

* Tratarea procesului de productie a tuburilor flexibile ca pe un sistem cibernetic este ingreunata de numarul mare de variabile aferente, de aceea, elaborarea modelului sistemic trebuie sa inceapa cu o selectie a variabilelor bazata, la inceput, pe metode subiective, iar ulterior, pe metode obiective, prin experimente si calcule;

* Dupa finalizarea modelului sistemic se trece-prin experimente si analiza statistico-matematica a rezultatelor- la determinarea legaturilor existente intre variabile si/sau grupe de variabile;

* Legaturile determinate reprezinta transformate prin proces ale variabilelor, care stau la baza determinarii functiei globale de transfer, functie care, din pacate, in cazul de fata, nu poate avea o expresie generalizata, ci doar forme particulare, cu un anumit grad de generalitate;

* Deoarece, in urma analizei efectuate, pachetul variabilelor de stare este destul de mare, obiectivele procesului de optimizare globala sunt numeroase si nu intotdeauna variabilele au aceleasi exprimari, nu se poate vorbi deocamdata de posibilitatea unei optimizari globale, utilizand metode multicriteriale;

* Daca pe domeniul de definitie al procesului tehnologic de fabricatie a tuburilor flexibile se introduc restrictii determinate de grupa materialelor de baza (metale, nemetale, compozite), iar pe aceste subdomenii se introduc restrictii de caractere speciale ale

tipologiei constructive a tubului, apar intervale de definitie pentru posibile functii obiectiv ale optimizarii;

* Se poate vorbi astfel de optimizarea procesului tehnologic de fabricatie a tuburilor metalice flexibile de tip agrafa (discontinui intr-o sectiune longitudinala), de optimizarea procesului de acoperire cu straturi de protectie anticoroziva a benzii semifabricat, de optimizarea fabricatiei tuburilor compozite etc., aspecte tratate, in acest mod, in prezenta lucrare.

6.2. CONTRIBUTII ORIGINALE ALE LUCRARIII

Aspectele tratate in prezenta teza de doctorat incearca sa rezolve, in parte, probleme de optimizare a procesului tehnologic de fabricatie a tuburilor flexibile, pornind de la cercetarea teoretica fundamentala, pana la rezolvarea unor probleme practice din productie, aducandu-se mai multe contributii originale.

6.2.1. Contributii teoretice

Studiul tipologiei fabricatiei tuburilor flexibile din materiale nemetalice si compozite, pe plan mondial, in vederea elaborarii unui sistem global de clasificare si a stabilirii tipurilor principale de tuburi care sa fie fabricate in tara;

Analiza principalelor tehnologii de fabricatie si a materialelor din fabricatia moderna a tuburilor flexibile din materiale nemetalice si compozite, in vederea elaborarii unor tehnologii optime pentru fabricarea in tara a unor tuburi flexibile din materiale nemetalice si compozite;

Elaborarea, pe baza unei analize sistemice, a unui model generalizat pentru sistemul de actiune tehnologica la fabricarea tuburilor metalice flexibile;

Elaborarea unui model generalizat intrari-iesiri pentru subsistemul de fabricare a tuburilor metalice flexibile prin deformare plastica;

Ierarhizarea factorilor esentiali pentru procesul tehnologic de fabricatie a tuburilor metalice flexibile prin deformare plastica prin metoda corelatiei de rang;

Stabilirea principalelor functii obiectiv si a restrictiilor corespunzatoare pentru procesul de optimizare globala a tehnologiei de fabricatie a tuburilor flexibile;

Analiza procesului de deformare plastica, proces esential si dominant la fabricarea tuburilor metalice flexibile, considerat ca

o profilare continua cu role in trei faze de deformare, in scopul stabilirii unor modele de calcul a geometriei principalelor scule deformante (rolele de profilare);

Tot in conditiile anterioare, s-au obtinut relatii pentru determinarea teoretica a starii de tensiuni si deformatii din banda functie de materialul semifabricat si tipul tubului, precum si determinarea conditiilor de stabilitate in ghidajul curb;

Stabilirea, prin analiza de regresie, a unei relatii optime pentru determinarea razei de curbura si a conditiilor de lucru ale ghidajului curb, in functie de tipul si caracteristicile geometrice ale tubului flexibil.

6.2.2. Contributii in domeniul cercetarii si prelucrarii experimentale

Stabilirea influentei vitezei benzii asupra starii reale de deformatii si tensiuni, in conditii industriale de fabricare a tuburilor metalice flexibile;

Stabilirea influentei calitatii materialului asupra starii reale de deformatii si tensiuni, in conditii industriale de fabricare a tuburilor metalice flexibile;

Stabilirea influentelor diametrelor tuburilor, la profilul benzii de tip SPD, asupra starii reale de deformatii si tensiuni, in conditii industriale de fabricare a tuburilor metalice flexibile;

Determinarea influentelor pe care factorii prezentati anterior, le au asupra grosimii benzii semifabricat, atat in cazul fiecărei faze de profilare, cat si in ghidajul curb;

Analiza micrometalografica a modificarilor care apar in structura materialului metalic pentru fiecare zona semnificativa, corespunzator tuturor fazelor procesului de profilare a benzilor subtiri si proceselor din ghidajul curb, pentru tuburile de tip SPD;

Optimizarea, pe aceste baze, a geometriei sculelor deformante, regimurilor tehnologice si dimensiunilor semifabricatelor, corelate cu materialele folosite, starea acestora si tipologia constructiva;

Analiza experimentală a interdependentelor functionale dintre blocurile de deformare, corespunzatoare fazelor de profilare, precum si a interdependentelor dintre acestea si ghidajului curb;

Stabilirea comportarii stratului de acoperire prin zincare mecanica in conditiile de deformare specifice fiecarui bloc operator si la valori diferite ale parametrilor tehnologici, prin analiza microstructurilor metalografice;

Realizarea unor diagrame pentru variatia ratei depunerii stratului de zinc in functie de densitatea de curent si tipul baii de acoperire, pentru materialele suport folosite in fabricatia de tuburi metalice flexibile;

Studiul comportarii unor electroliti binari, in conditii industriale, in vederea optimizarii regimurilor tehnologice la acoperirea electrochimica;

Analiza uniformitatii depunerii straturilor de metal functie de compozitia baii, natura materilului care se depune si a materialului suport.

6.2.3. Contributii la implementarea industriala a rezultatelor cercetarii

Proiectarea constructiva si tehnologica a unui tip nou de ghidaj curb, care permite marirea vitezei benzii;

Contributii la introducerea in fabricatie a doua tipuri noi de tuburi flexibile din familia tuburilor compozite, respectiv din materiale nemetalice;

Contributii la cresterea eficientei procesului de acoperire electrochimica prin:

- introducerea unor tipuri de electroliti noi;
- optimizarea parametrilor tehnologici ai procesului;
- marirea uniformitatii depunerilor;

Elaborarea unei metodologii de proiectare pentru sculele deformante (rolele de profilare), pornind de la starea reala de deformare a materialului;

Organizarea, pe baza modelului generalizat intrari-iesiri, a unui sistem propriu de asigurare a calitatii.

Finalizarea aplicarii in industrie a tuturor rezultatelor prezentei cercetari va determina urmatoarele efecte:

- reducerea consumului specific de energie electrica cu cca. 30%;
- reducerea consumurilor materiale cu cca 15 %;
- inlocuirea unor materiale scumpe si/sau deficitare cu altele mai ieftine;
- cresterea capacitatii de lucru a masinilor de fabricat tuburi flexibile cu pana la 40 %;
- marirea flexibilitatii sistemelor tehnologice si posibilitatea introducerii in fabricatie a unor tipuri noi de tuburi flexibile.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Adrian, M., -Tehnologia laminarii, ET, Bucuresti, 1977
- [2] Andrei, A., s.a., -Bazele cercetarii experimentale, Institutul Politehnic Cluj, Lito, 1984
- [3] Anghel, P.T., -Designing tools for roll-forming, Iron age, Nr.18/1949
- [4] Anghel, P.T., -Profilgestaltung beim Kaltbiegen mit Rollen, Machine design, Cleveland 28, Nr.25/1956
- [5] Anghel, P.T., s.a. -Avantajele formarii profilurilor metalice pe masini de profilare, Comunicarile primei sesiuni tehnico-stiintifice satmarene, Satu-Mare, 1979
- [6] Anghel, P.T., s.a. -Metoda moderna de proiectare a sculelor de profilat table subtiri, Comunicarile primei sesiuni tehnico-stiintifice satmarene, Satu-Mare, 1979
- [7] Bobos, I., Maxim, T., -Tuburi si arbori flexibili, ET, Bucuresti, 1966
- [8] Bogoiavlenskii, K.N. -Opredelenie dlina oceaga deformatii pri ghibe polosni na profileghibocinomu stane, Masinostroenie, Nr. 5/1959
- [9] Bogoiavlenskii, K.N., -Issledovanie deformatii metala na profileghibocinomu stane, s.a., Masghiz, Moskva, 1963
- [10] Bogoiavlenskii, K.N., -Issledovanie deformatii polosni i usili na valkov profileghibocinovu stana metodami matematicheskoi statistiki, Gnutaie profili prokata, III, Harkov, 1975
- [11] Bogoiavlenskii, K.N., -Technologie der Fertigung von Leichtbauprofilen, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1979
- [12] Bologa, O. -Contributii la vibroambutisarea tablelor subtiri din otel, Rezumatul tezei de doctorat, 1986

- [13]* * * -Catalogoage de productie ale firmelor:
 /PENTA-TECH, Austria, 1991
 /LUTZE, Austria, 1991
 /F.HABERKON, Austria, 1991
 /PARKER-ERMETO, Austria, 1991
 /AMETEK, S.U.A., 1990
 /LAGRA, Germania, 1991
 /SCHLEMMER, Germania, 1991
 /RICHARD ADAM, Germania, 1991
 /METALLWAREN FABRIK, Germania, 1991
 /GEWIK, Germania, 1991
 /SENIOR ENGINEERING, Germania, 1991
 /NORRES JOSEPH &Co, Germania, 1991
- [14]Cazimirovici, E. -Teoria deformarii plastice, EDP,
 Bucuresti,1981
- [15]* * * -Colectia IPE International, 1987-1993
- [16]* * * -Colectia Technik Report, 1988-1993
- [17]Constantinescu, I., s.a.-Prelucrarea datelor experimentale
 cu calculatoare numerice, Ed. Tehnica,
 Bucuresti, 1981
- [18]Dancea, I. -Metode de optimizare. Algoritmi-programe,
 Ed. Dacia, Cluj-Napoca, 1976
- [19]Davidov, V.I., s.a. -Proizvodstvo gnutah tonkostennah profilei
 metodom profilirovania na rolikovah
 stankah, Metalurghizdat, 1959
- [20]Davidovici, I., s.a.-Modelarea problemelor decizionale in
 sistemul agricol de productie, Editura
 Ceres, Bucuresti, 1982
- [21]Desjeux, J.C., Duflos, J.,-Les plastiques renforces, Preses
 universitaire de France, Paris, 1967
- [22]Dobrescu, C. -Optimizarea parametrilor agregatelor
 agricole in scopul reducerii consumurilor
 Ministerul Agriculturii, Bucuresti, 1982
- [23]Dobrescu, C. -Studiul sistemic al agregatelor agricole,
 Ministerul Agriculturii, Bucuresti, 1982
- [24]* * * -Documentatii tehnice: Bayer Chemie Werkstoffe
 1976; Deltachimie 1977; Goldsworthy Engineering
 1976; Owens-Corning fiberglass U.S.A. 1971;
- [25]* * * -Expansion joints -Handbook, Edition 1973,
 Witzenmann GMBH
- [26]Gheorghe, A. -Ingineria sistemelor, Editura Academiei,
 Bucuresti, 1979
- [27]Grebenik, V.M., -Ob usiliah v oceaghe deformatii pri polucenie
 gnutah profilei na rolicovah stanah, Izvestia
 vazov, Cernaia metalurghia, Nr. 8/1969

- [28]Grecu, H. -Tehnologia indoirii tevilor si profilurilor,
Ed. Tehnica, Bucuresti, 1977
- [29]Griffin, E.,s.a.-Cold formed steel section, Iron and steel,
London, Nr. 9/1955
- [30]Gutu, S., s.a. -Elemente de inteligenta artificiala pentru
conducerea operativa a productiei, Editura
Academiei, Bucuresti, 1983
- [31]Iliescu, C. -Tehnologia presarii la rece, Ed. Didactica si
Pedagogica, Bucuresti, 1984
- [32]Iosifescu, M.,s.a.-Mica enciclopedie de statistica, Editura
Stiintifica si Enciclopedica, Bucuresti,
1985
- [33]Kuzmenco, V.A. -Novie schemi deformirovania tveordihtel,
Izdatelstvo "Naukova Dumka", Kiev, 1973
- [34]Leicenکو, M.A. -Proizvodstvo gnutah profilei v rolikoghibod-
nah stanah, Stali, Nr. 6/1955
- [35]Mäkelt, H., -Das Kaltwältzen von Profilen aus Blech,
Ind.-Anz.76, Nr. 69/1954
- [36]Mäkelt, H., -Werkstückbeanspruchung und Kraftbedarf beim
recht-winkligen Kaltbiegen von Blech auf
Pressen, Abkantmaschinen und Profiliermas-
chinen, Ind.-Anz.82, Nr. 26/1960
- [37]Malita, M., s.a.-Matematica organizarii, Ed. Tehnica,
Bucuresti, 1971
- [38]Matveev, Iu.M.,s.a.-Novaie protesi proizvodstva trub,
Metalurghia, Moskva, 1969
- [39]Matveev, Iu.M. -Svarnae truba. Sovremenie metoda
proizvodstva, Gosudarstvennoe naucino
tehnikeskoe literaturii po cernoi i
tvetnoi metalurghii, Moskva, 1950
- [40]Matveev, Iu.M.,s.a.-Tehnologia proizvodstva electrosvarnih
trub, Metalurghia, Moskva, 1967
- [41]* * * -Metal bellows -Handbook, Edition 1983,
Witzenmann GMBH
- [42]Mocanu, D.,s.a. -Analiza experimentală a tensiunilor, vol.
I+II, Ed. Tehnica, Bucuresti, 1977
- [43]Nanu, A., -Tehnologia materialelor, EDP, Bucuresti, 1977
- [44]Nichici, A. -Tehnologia materialelor, Notite curs
Universitatea Tehnica din Timisoara, 1992

- [45]Nicoara, D., s.a. - Cercetari privind marimea fortelor si a momentelor la profilarea la rece din banda, Lucrarile celei de-a doua Conferinta nationale de echipamente si tehnologii noi in constructia de masini, Craiova, 1987
- [46]Nicoara, D., - Contributii la studiul prelucrabilitatii prin profilare la rece din banda, Rezumatul tezei de doctorat, Universitatea Galati, 1990
- [47]Nicoara, D., - Cresterea productivitatii la proiectarea zonei active la profilare utilizand calculatorul electronic, simpozionul "Preocupari si realizari actuale privind cresterea nivelului calitativ al produselor ...", Braila, 1986
- [48]Nicoara, D., s.a. - Proiectarea asistata de calculator a rolor pentru profilarea la rece din banda, Tehnologii si echipamente de deformare plastica la rece, Universitatea Galati, 1984
- [49]Nicolescu, D. - Contributii la studiul si experimentarea prelucrarii prin deformare continua la rece in profilarea benzilor din tabla, Rezumatul tezei de doctorat, Institutul Politehnic Iasi, 1983
- [50]Nistor, D., Ripszky, S., - Materiale termorigide armate, ET, Izrael, G., Bucuresti, 1980
- [51]Oehler, G., - Biegen, Carl Hauser Verlag, München, 1963
- [52]Poloukine, P., s.a. - Resistance de metaux et des alliages a la deformation plastique, Metallurgia, Edition Mir, Moscou, 1980
- [53]Popescu, I. - Optimizarea procesului de aschiere, Editura Scrisul Romanesc, Craiova, 1987
- [54]Razumihin, M.I., s.a. - Gofroobrazovaniya pri izghibe tonkosteh profilei, Cuzmecino stampovocinoo proizvodstvo, Nr. 9/1967
- [55]Resa, I., s.a. - Probleme de statistica rezolvate pe calculator, Ed. Facla, Timisoara, 1984
- [56]Rodina, A., - Contributii la optimizarea fabricatiei de tuburi metalice flexibile, Teza de doctorat, I. P. Timisoara, 1985
- [57]Rodina, A., - Tuburi metalice flexibile, ET, Bucuresti, 1987
- [58]Romanovski, V.P. - Stantarea si matritarea la rece, traducere din limba rusa, Ed. Tehnica, 1970
- [59]Rosinger, St. - Procese si utilaje de presare la rece, Culegere de date de proiectare, Ed. Facla, Timisoara, 1987

- [60]Rosinger, St. -Tehnologia presarii la rece, Lito,
Institutul Politehnic Timisoara, 1981
- [61]Rosinger, St., -Unele consideratii asupra posibilitatilor de
Seiculescu, V., realizare prin profilare a bucselor elastice
de la diblurile expandabile, a V-a Conferinta
de procese si utilaje de prelucrare la rece,
Timisoara, 1986
- [62]Sachs, G., -Principles and methods of sheet-metal
fabricating, New York, 1951
- [63]Savii, G., -Rezultate experimentale la profilarea
Seiculescu, V., bucselor elastice de la diblurile
expandabile, a V-a Conferinta de procese si
utilaje de prelucrare la rece, Timisoara,
1986
- [64]Scherble, M., -The manufacturing of exhaust pipes from
aluminium-coated and corrosion resistant
steels, Industrial Production Engineering,
Nr. 1/1985
- [65]Schulze, G., -Kenngriissen für die Entwicklung und den
Einsatz von Profiliermaschinen,
Maschinenbautechnik, Nr. 8/1959
- [66]Seiculescu, V., -Cercetari teoretice si aplicative asupra
profilarii prin deformare plastica cu tren
de role, Teza de doctorat, Universitatea
Tehnica din Timisoara, 1989
- [67]Seiculescu, V., -Unele consideratii privind parametri
tehnologici ai procesului de profilare,
Referat de doctorat, Universitatea Tehnica
Timisoara, 1985
- [68]Smirnov Aliaev, G.A. -Metod microstructurnah izmerenii
plasticescoid deformaatii, Zavodskaia
laboratoria, Nr. 11/1951
- [69]Smirnov Aliaev, G.A. -Soprotivlenie materialov plasticescomu
deformirovania, Masghiz, Moskva, 1961
- [70]Smirnov Aliaev, G.A., -Osnovi teorii nepreravnoi formovki v
Gun, G. profiloghibocinah stanah, Izvestia
vuzov, Cernaia metalurghia,
Metalurghizdat, Nr. 9/1962
- [71]Smirnov Aliaev, G.A., s.a. -Analiz plasticeskoi metallov
metodom microstructurnah izmenenii
Injinerai sbornik, 1951
- [72]Smirnoy Aliaev, G.A., s.a. -Experimentalnae isledovania v
obrabotke metallov davleniem,
Masinostroenie, Leningrad, 1972

- [73]Smirnov Aliaev,G.A.,s.a.-Teoria obrabotki metallov davleniem Gosudarstvenoe izdatelstvo, Vissaia scola, Moskva, 1963
- [74]Socolovski, V.V. -Teoria plasticitatii, traducere din limba rusa, Ed. Tehnica, Bucuresti, 1953
- [75]Taloi, D., s.a. -Optimizarea proceselor metalurgice, EDP, Bucuresti, 1983
- [76]Taloi, D., s.a. -Optimizarea proceselor tehnologice, Aplicatii in metalurgie, EDP, Bucuresti, 1983
- [77]Tapalaga, I., s.a. -Extrudarea metalelor la rece, Ed. Dacia Cluj Napoca, 1986
- [78]Tapalaga, I., s.a. -Tehnologia presarii la rece, Lito, Institutul Politehnic, Cluj Napoca, 1980
- [79]Teodorescu, M., s.a.-Prelucrari prin deformare plastica la rece, Ed. Tehnica, Bucuresti, 1987
- [80]Teodorescu, M., Zgura, G. -Tehnologia presarii la rece, Ed. Didactica si Pedagogica, Bucuresti, 1980
- [81]Tiron, M. -Metode clasice si moderne utilizate in prelucrarea matematica a observatiilor geodezice, Ed.Tehnica, Bucuresti, 1985
- [82]Trisevski,I.S.,s.a. -Holodno gnutae gofrirovannae profili prokata, Gosudarstvennoe Izdatelstvo Tehnica, Kiev, 1973
- [83]Trisevski,I.S.,s.a. -Proizvodstvo gnutah profilei, Metallurgia, Moskva, 1975
- [84]Trisevski,I.S.,s.a. -Proizvodstvo i primenenie gnutah profilei procata, Metallurgia, Moskva, 1975
- [85]Trisevski,I.S.,s.a. -Razrabotka i osvoenie tehnologii izgotovlenia U - obraznah gnutah profilei pro atker dlia selihoz masinostroenie, Stali, Nr. 8/1985
- [86]Trisevski,I.S.,s.a. -Teoreticeskoie osnovi protessa profilirovanie, Metallurgia, Moskva, 1975
- [87]* * * -Tuburi metalice flexibile, standarde tehnice de ramura, I.A.V. Resita
- [88]Tucu, D. -Asupra unei analize a interdependentei intre variabilele de reglare si variabilele de stare ale procesului tehnologic de fabricare tuburilor metalice flexibile, Primul colocviu national tehnic interdisciplinar, Braila, 1993

- [89]Tucu, D. -Asupra unor electroliți utilizati actual-
mente in tehnologii de acoperire din proce-
sele de fabricare a tuburilor metalice
flexibile, Analele Universitatii
Oradea, fasc. Mecanica, 1993 .
- [90]Tucu, D. -Asupra unui sistem tehnologic generalizat
de fabricare a tuburilor flexibile prin
deformare plastica, CNTN, Sect.E-Procese
conexe, Timisoara, 1993
- [91]Tucu, D. -Model sistemic pentru procesul tehnologic
de fabricatie a tuburilor metalice flexibile
prin deformare plastica, CNTN, Sect.E-Procese
conexe, Timisoara, 1993
- [92]Tucu, D. -O analiza globala a subsistemului de
fabricatie a tuburilor flexibile prin
deformare plastica, Analele Universitatii
Oradea, fasc. Mecanica, 1992
- [93]Tucu, D. -Posibilitati de optimizare a instalatiilor
tehnologice de acoperire a materialelor
utilizate la fabricarea tuburilor metalice
flexibile, Primul colocviu national tehnic
interdisciplinar, Braila, 1993
- [94]Tucu, D.,
Nanu, A.,
Rodina, A. -Posibilitati de utilizare a materialelor ne-
metalice in fabricarea tuburilor flexibile
compozite, CNTN, Sect.E-Procese conexe,
Timisoara, 1993
- [95]Tucu, D., s.a. -Analiza factorilor esentiali pentru procesul
de fabricatie a tuburilor metalice flexibile,
Analele Universitatii Oradea, fasc. Mecanica,
1992
- [96]Tucu, D., s.a. -Analiza interdependentei intre variabilele de
reglare si variabilele de stare ale procesului
de fabricatie a tuburilor metalice flexibile,
Analele Universitatii Oradea, fasc. Mecanica,
1993
- [97]Tucu, D., s.a. -Analiza sistematica asupra actiunii tehnologice
la fabricarea tuburilor flexibile, Analele
Universitatii Oradea, fasc. Mecanica, 1991
- [98]Tucu, D., s.a. -Aspecte privind stabilirea influentelor carac-
teristicilor materialului semifabricat asupra
marimilor de reglare ale procesului de
fabricatie a tuburilor metalice flexibile,
Al VII-lea simpozion "Tehnologii si produse
noi in constructia de masini", vol. "Tehno-
logii de prelucrare", Suceava, 1993

- [99]Tucu, D., s.a.-Asupra unor posibilitati de fabricare a tuburilor flexibile din materiale nemetalice, Al VII-lea simpozion "Tehnologii si produse noi in constructia de masini", vol. "Tehnologii de prelucrare", Suceava, 1993
- [100]Tucu, D., s.a.-Asupra unor posibilitati de utilizare a tuburilor flexibile in industria petroliera, Sesiunea de comunicari stiintifice, "Industria de petrol si gaze-prezent si perspective", sectiunea "Constructia Utilajului tehnologic" Institutul de Petrol si Gaze, Ploiesti, 1992
- [101]Tucu, D., s.a.-Asupra unor sisteme moderne de protectie anticoroziva utilizate in procesul tehnologic de fabricatie a tuburilor metalice flexibile, Analele Universitatii Oradea, fasc. Mecanica, 1993
- [102]Tucu, D., s.a.-Cercetari privind utilizarea electrolitilor binari in tehnologiile de acoperire a materialelor utilizate la fabricarea tuburilor metalice flexibile, Analele Universitatii Oradea, fasc. Mecanica, 1992
- [103]Tucu, D., s.a.-Influenta variabilelor de definire a tipului a tipului constructiv al tubului flexibil asupra marimilor de reglare in procesul de fabricatie a tuburilor metalice flexibile, Al VII-lea simpozion "Tehnologii si produse noi in constructia de masini", vol. "Tehnologii de prelucrare", Suceava, 1993
- [104]Tucu, D., s.a.-Materiale nemetalice utilizate ca elemente ale sistemelor moderne de fabricatie a tuburilor metalice flexibile, Analele Universitatii Oradea, fasc. Mecanica, 1993
- [105]Tucu, D., s.a.-Model intrari-iesiri generalizat pentru studiul procesului de fabricatie a tuburilor metalice flexibile prin deformare plastica, Analele Universitatii Oradea, fasc. Mecanica, 1992
- [106]Tucu, D., s.a.-Studiul comportarii benzilor laminate din OL 37 in procesul tehnologic de fabricatie a tuburilor metalice flexibile prin deformare plastica, CNTN, Sect.E-Procese conexe, Timisoara, 1993
- [107]Tucu, D., s.a.-Studiul interdependentei intre raza ghidajului curb si diametrul tubului pentru procesul de fabricatie a tuburilor metalice flexibile, Analele Universitatii Oradea, fasc. Mecanica, 1992
- [108]* * * -Tuyaux metallique flexibles -Manuel, Edition 1983, Witzemann GMBH

- [109]Vit, I., s.a. -Avtomaticeskaia linia profilirovania
corpusah detalei liuminentah svetilikov,
Cuzbecino stampovocinoe proizvodstvo,
Nr.7/1978
- [110]Zgura, Gh., s.a.-Prelucrarea metalelor prin deformare
la rece, Ed. Tehnica, Bucuresti, 1977
- [111]Woinaroschy,A.,s.a.-Optimizarea proceselor din industria
chimica-exemple si aplicatii, Editura
Tehnica, Bucuresti,1990