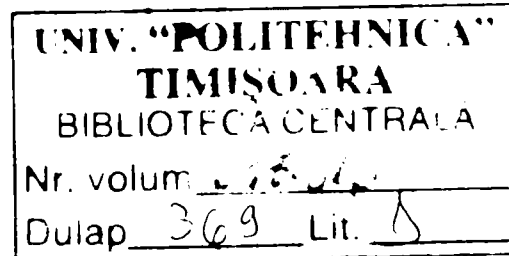


**TEZA DE DOCTORAT**

**Contributii la elaborarea unor metode si mijloace  
pentru calibrarea aparatelor pentru masurarea  
tensiunilor mecanice la elemente de tip panza**



Conducator stiintific: Prof. dr. ing. Dan PERJU

Doctorand: Dipl.-ing. Marius MERES

TIMISOARA  
- 2005 -

## **Prefata. Scopul tezei de doctorat**

Lucrarea de fata abordeaza un subiect de stricta actualitate din domeniul tehnicii, cel al masurarii tensiunilor mecanice la elemente de tip panza. Autorul reda, prin lucrarea mentionata, o parte din activitatea profesionala si de cercetare desfasurata in cadrul unui laborator metrologic german. De aici deriva titlul lucrarii care include si domeniul calibrarii/etalonarii.

In ultimii ani, serigrafiera pe diverse tipuri de materiale, a inregistrat o dezvoltare rapida, odata cu dezvoltarea continua a campului specific de aplicatii. Serigrafia este un procedeu de imprimare cu largi aplicatii practice, fiind la ora actuala cea mai frecvent utilizata tehnica din domeniu. Se regaseste atat in industria textila cat si in industria electronica (acoperirea circuitelor imprimate cu lac rezistent la coroziune chimica inaintea procesului de corodare, aplicarea stratului protector pentru contactele aurite, etc.).

Datorita faptului ca in industria electronica s-a ajuns la o miniaturizare a circuitelor realizate de obicei pe suprafete de ordinul  $\text{cm}^2$ , se impune asigurarea unei calitati deosebite a tehnicii serigrafice folosite, ceea ce implica controlul precis si continuu al parametrilor care contribuie la implementarea procesului.

Tehnica serigrafica se bazeaza pe principiul aplicarii unor vopsele sau lacuri pe un sablon din panza textila sau metalica, sub care se afla materialul pe care se doreste depunerea substantei serigrafice, sablonul fiind intins pe un suport numit rama serigrafica. S-a constatat ca nivelul de tensionare dat de forte de intindere aplicate in plan longitudinal si transversal si de tensiunile remanente din panza influenteaza considerabil calitatea depunerii de substanta prin intermediul tehnicii serigrafice.

Astfel, pentru obtinerea unor imprimari de inalta calitate, este necesara masurarea si evident controlul tensiunilor mecanice care solicita panzele, pentru asigurarea calitatii optime a produselor obtinute prin serigrafiera. Iata deci, ca se deschide un domeniu demn de exploatat cu aplicare directa atat in domeniul serigrafic cit si in cel metrologic.

Rezultatele cercetarii in domeniu devin exploatabile nu numai de catre producatorii respectiv beneficiarii tehnicii serigrafice ci si de cercetatori si reprezentanti ai altor domenii.

In acest context teza prezinta o metoda care sa permita masurarea simultana atat a tensiunilor de intindere aplicate panzei serigrafice cat si a tensiunilor interne care apar la

nivelul panzei pentru optimizarea acestora in vederea cresterii calitatii produselor obtinute prin serigrafie.

Din punct de vedere metrologic, standul propus permite etalonarea si calibrarea aparatelor de masurare a tensiunii mecanice la elemente de tip panza. Pentru realizarea obiectivului tezei s-a avut in vedere studiul principalelor modalitati actuale de masurare a tensiunilor mecanice si adaptarea respectiv perfectionarea acestora pentru aplicabilitatea lor in practica.

Pornind de la cele aratate mai sus, trebuie mentionat ca introducerea autorului in mediul de cercetare se datoreaza distinsului conducator stiintific, Prof.dr.ing Dan Perju care prin experienta profesionala si modul deosebit de-a educa generatii de studenti si colaboratori i-a asigurat sustinerea profesionala si morala pe durata elaborarii prezentei teze si nu numai. In continuare, autorul doreste sa adreseze multumiri si referentilor stiintifici ai tezei prezentate, pentru bunavointa de-a o parcurge si pentru aprecierile facute, prin care, considera ca a beneficiat de un plus de experienta, extrem de util.

*Cuprins*

<b>Cap. 1</b>	<b>Fire. Panze. Panze serigrafice</b> .....	8
	1.1 Echilibrul firelor .....	8
	1.1.1 Fire solicitate de sarcini continue.....	9
	1.1.2 Firul usor .....	12
	1.1.3 Firul omogen greu.....	15
	1.2 Starea plana de tensiuni si deformatii .....	21
	1.2.1 Starea plana de tensiuni .....	21
	1.2.2 Starea plana de deformatii specifice.....	21
	1.2.3 Functia Airy a tensiunilor.....	23
	1.2.4 Placi dreptunghiulare subtiri actionate de forte situate in planul lor median.....	24
	1.2.5 Cercul lui Mohr.....	26
	1.3 Panze serigrafice .....	28
	1.4 Serigrafia.Principii generale. Domenii de utilizare.....	33
	1.5 Componente de baza ale procesului serigrafic .....	36
	1.5.1 Ramele serigrafice.....	36
	1.5.2 Vopsele serigrafice .....	37
	1.5.3 Sabloane serigrafice .....	38
	1.5.4 Dispozitive de tensionare si lipire a panzei serigrafice.....	41
	1.5.5 Raclete serigrafice.....	43
	1.6 Masini serigrafice .....	45
<b>Cap. 2</b>	<b>Stadiul actual in domeniul masurarii solicitarilor si tensiunilor mecanice in panze</b> .....	47
	2.1 Tipuri de solicitari. Metode de masurare.....	47
	2.2 Metode de masurare fara contact a tensionarii panzelor .....	54
	2.3 Tensiometre. Principii generale. Domenii de utilizare .....	58
	2.3.1 Tensiometre mecanice cu redare analogica .....	65
	2.3.2 Tensiometre mecanice cu afisare digitala .....	69
	2.4. Standarde si norme existente in domeniul masurarii tensiunilor mecanice si in serigrafie.....	71

2.4.1 Norma DIN 16611: Unitati de masura pentru serigrafie .....	71
2.4.2 Norma VDE / VDI 3711 .....	74
2.5 Studiul brevetelor de inventie publicate in acest domeniu.	
Cercetare documentara .....	77
2.6 Propuneri de solutii constructive pentru standuri de etalonare/calibrare	
Principii de functionare .....	79
2.6.1 Stand cu tensionare manuala si masurare cu traductor de forta.....	79
2.6.2 Stand cu tensionare manuala si masurare cu micrometrul.....	82
2.6.3 Stand cu tensionare gravitacionala si masurare	
cu traductor de forta .....	84
2.6.4 Stand cu tensionare automata electrica si masurare	
cu traductor de forta .....	86
2.6.5 Stand cu tensionare automata electrica si masurare	
inerferometrica .....	90
2.6.6 Stand cu tensionare automata hidraulica / pneumatica si	
masurare cu traductor de forta.....	94
2.7 Studiu de solutii – analiza critica.....	96
<b>Cap. 3 Standul de etalonare propus .....</b>	<b>98</b>
3.1 Schema bloc. Modul de functionare .....	99
3.2 Componenta standului .....	100
3.2.1 Panza serigrafica .....	100
3.2.2 Sistemul de tensionare .....	104
3.2.3 Traductorul de forta .....	104
3.2.4 Sistemul de afisare .....	106
3.2.5 Interfata .....	108
3.2.6 Sistemul de calcul si softul .....	109
3.3 Etalonarea/calibrarea tensiometrelor. Metode de etalonare .....	110
3.4 Analiza critica a metodelor de etalonare/calibrare .....	117
3.5 Modul de lucru pe stand .....	124
<b>Cap. 4 Determinari experimentale .....</b>	<b>127</b>
4.1 Variatia parametrilor de baza ai panzei in functie de tensionare .....	127
4.1.1 Variatia diametrului firului .....	127

4.1.2 Variatia ariei libere .....	129
4.1.3 Variatia finetei panzei .....	134
4.1.4 Variatia grosimii panzei.....	135
4.2 Fluajul panzei tensionate .....	137
4.3 Caracteristica de etalonare .....	138
4.4 Analiza rezultatelor. Concluzii .....	142
<b>Cap. 5 Estimarea caracteristicilor metrologice ale standului.....</b>	<b>143</b>
5.1 Determinarea sensibilitatii standului .....	143
5.2 Estimarea incertitudinii asupra sensibilitatii .....	144
5.3 Clasa de precizie a standului .....	149
<b>Cap. 6 Consideratii si concluzii finale .....</b>	<b>151</b>
6.1 Concluzii finale .....	151
6.2 Contributii personale .....	152
<b>Bibliografie .....</b>	<b>154</b>

## Cap.1. Fire. Panze. Panze serigrafice

### 1.1. Echilibrul firelor

Firul este considerat un corp perfect flexibil si inextensibil a carui sectiune transversala are dimensiuni foarte mici in raport cu lungimea.

Prin notiunea de perfect flexibil se intelege proprietatea firului de a lua orice forma, de a fi facut ghem etc., fara a opune vreo rezistenta la schimbarea sa de forma. Prin inextensibil se intelege proprietatea firului de a-si pastra lungimea constanta. Firul poate fi intins, dar in mod evident din cauza flexibilitatii sale nu poate fi comprimat.

O consecinta a flexibilitatii firului este faptul ca acesta ia ca forma de echilibru o linie dreapta daca este supus la capetele sale A si B la doua forte de tractiune egale si de directie opusa  $\bar{F}$  si  $-\bar{F}$ , cu conditia ca intre A si B sa nu mai actioneze nici o alta forta (fir de greutate neglijabila denumit si fir usor).

Taind firul intr-un punct M oarecare intre A si B si studiind echilibrul portiunilor de fir AM si BM rezulta ca intre M si A trebuie sa lucreze forta  $\bar{T} = -\bar{F}$  respectiv intre M si B forta  $-\bar{T} = \bar{F}$  (v.fig. 1.1). Forta interioara  $\bar{T}$  sau  $-\bar{T}$  se numeste *efortul din fir*, putandu-se concluziona faptul ca firul de greutate neglijabila se comporta la intindere ca o bara intinsa de la o grinda cu zabrele. [38]

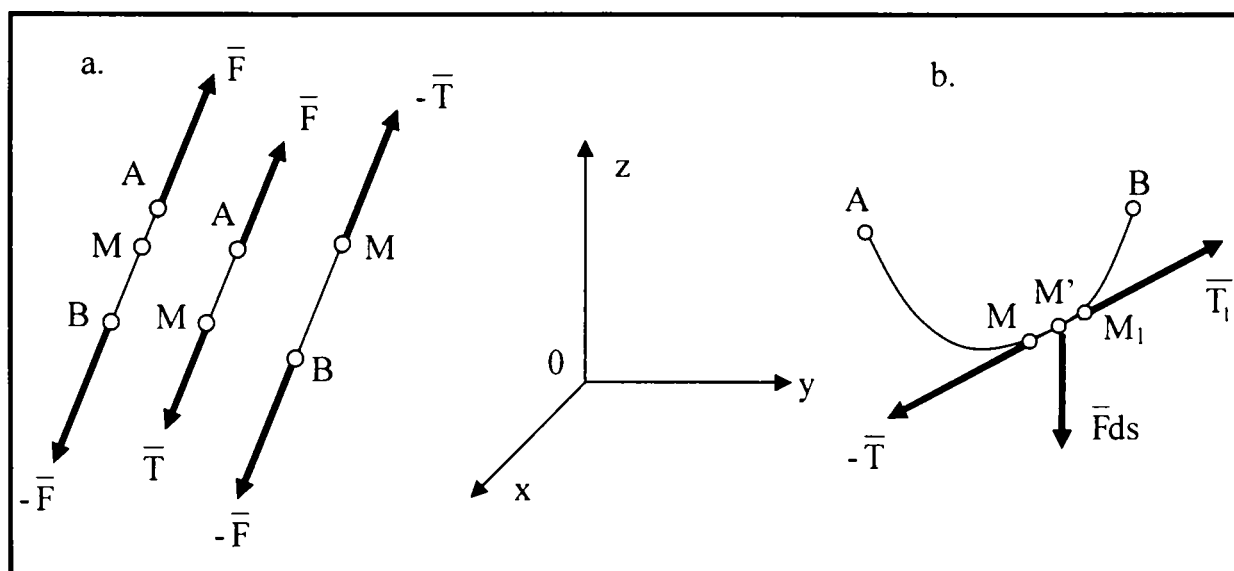


Fig.1.1 Echilibrul firelor

### 1.1.1. Fire solicitate de sarcini continue

O sarcina continua a firului este greutatea acestuia. Pentru un element de fir de lungime  $ds$ , greutatea va fi  $\bar{G}ds$  in care  $\bar{G} = \rho\bar{g}$ ,  $\rho$  fiind masa specifica liniara,  $\bar{g}$  acceleratia gravitationala si  $\bar{G}$  greutatea unitatii de lungime a firului.

Se va considera cazul mai general al unei sarcini continue astfel incat pe un element de fir de lungime  $ds$ , forta care se exercita sa fie  $\bar{F}ds$ ,  $\bar{F}$  reprezentand forta pe unitatea de lungime a firului. Aceasta forta unitara  $\bar{F}$ , este in general un vector variabil cu fiecare element al firului.[38]

Se va determina forma de echilibru a unui fir AB supus la sarcini continue, iar la extremitati supus la anumite legaturi. Forma de echilibru este o curba plana sau in spatiu denumita *curba funiculara*.

Fie doua puncte  $M$  si  $M_1$  ale firului infinit apropiate, situate pe curba funiculara si fie  $\bar{T}$ , efortul din fir in  $M$ , reprezentand actiunea portiunii de fir  $BM$  asupra lui  $AM$ . Fie  $\bar{T}_1$  efortul din fir in  $M_1$ , reprezentand actiunea portiunii de fir  $BM_1$  asupra lui  $AM_1$ . (v.fig. 1.1 b).

Pentru ca firul  $AB$  sa se afle in echilibru, este necesar si suficient ca fiecare element  $MM_1$  al sau sa fie in echilibru sub actiunea fortelor ce lucreaza asupra lui, si anume: efortul din fir  $-\bar{T}$  cu punctul de aplicatie  $M$  care reprezinta actiunea portiunii de fir  $AM$  asupra elementului  $MM_1$  (egala si direct opusa, pe baza principiului actiunii si reactiunii, cu actiunea lui  $BM$  asupra lui  $AM$ ), efortul din fir  $\bar{T}_1$  cu punctul de aplicatie in  $M_1$ , care reprezinta actiunea portiunii de fir  $M_1B$  asupra elementului  $MM_1$  si forta  $\bar{F}ds$  datorita incarcarii continue ( $MM_1 = ds$ ).

Pentru elementul de fir  $MM_1$ , se scriu ecuatiile vectoriale de echilibru:

$$\bar{T}_1 - \bar{T} + \bar{F}ds = 0; \quad \overline{M_1M} \times (-\bar{T}) + \overline{M_1M} \times (\bar{F}ds) = 0 \quad (1.1)$$

Avand in vedere ca  $\bar{T}_1 = \bar{T} + d\bar{T}$ , prima ecuatie devine:

$$d\bar{T} + \bar{F}ds = 0 \quad (1.2)$$

In ecuatia de momente din relatiile (1.1) termenul al doilea se neglijeaza, astfel ca



ecuatia se scrie  $\overline{M}_1 \overline{M} \times \overline{T} = 0$ , ceea ce arata ca in pozitia de echilibru a firului, efortul intr-o sectiune a acestuia este tangent la curba de echilibru a firului.

Raportand la un sistem de referinta Oxyz si notand cu  $x, y, z$ , coordonatele lui  $M$ , cu  $\alpha, \beta, \gamma$ , unghiurile tangentei in  $M$  la curba de echilibru a firului si tinand seama ca proiectiile lui  $\overline{T}$  pe axe sunt  $T \cos \alpha, T \cos \beta, T \cos \gamma$ , se obtine prin proiectia relatiei (1.2) pe axe:

$$\begin{aligned} d(T \cos \alpha) + X ds &= 0, \\ d(T \cos \beta) + Y ds &= 0, \\ d(T \cos \gamma) + Z ds &= 0, \end{aligned} \quad (1.3)$$

in care  $X, Y, Z$ , sunt proiectiile pe axe ale fortei  $\overline{F}$ .

Cunoscandu-se :

$$\cos \alpha = \frac{dx}{ds}, \quad \cos \beta = \frac{dy}{ds}, \quad \cos \gamma = \frac{dz}{ds}$$

ecuatiiile de echilibru ale elementului de fir devin:

$$\frac{d}{ds} \left( T \frac{dx}{ds} \right) + X = 0, \quad \frac{d}{ds} \left( T \frac{dy}{ds} \right) + Y = 0, \quad \frac{d}{ds} \left( T \frac{dz}{ds} \right) + Z = 0. \quad (1.4)$$

Prin multiplicarea acestor ecuatii cu  $\frac{dx}{ds}$ ,  $\frac{dy}{ds}$  si  $\frac{dz}{ds}$ , adunand, dezvoltand parantezele si grupand termenii, se obtine:

$$\begin{aligned} T \left( \frac{dx}{ds} \frac{d^2x}{ds^2} + \frac{dy}{ds} \frac{d^2y}{ds^2} + \frac{dz}{ds} \frac{d^2z}{ds^2} \right) + \frac{dT}{ds} \left[ \left( \frac{dx}{ds} \right)^2 + \left( \frac{dy}{ds} \right)^2 + \left( \frac{dz}{ds} \right)^2 \right] + \\ + \frac{X dx + Y dy + Z dz}{ds} = 0 \end{aligned} \quad (1.5)$$

Tinandu-se cont de faptul ca :

$$\left( \frac{dx}{ds} \right)^2 + \left( \frac{dy}{ds} \right)^2 + \left( \frac{dz}{ds} \right)^2 = 1 \quad (1.6)$$

prin derivare in raport cu  $s$ , se obtine:

$$\frac{dx}{ds} \frac{d^2x}{ds^2} + \frac{dy}{ds} \frac{d^2y}{ds^2} + \frac{dz}{ds} \frac{d^2z}{ds^2} = 0 \quad (1.7)$$

Rezulta:

$$dT + (Xdx + Ydy + Zdz) = 0 \quad (1.8)$$

In cazul in care exista o functie scalara  $U(x, y, z)$  de coordonatele  $x, y, z$  ale punctului  $M$  astfel incat:

$$\frac{\partial U}{\partial x} = X, \quad \frac{\partial U}{\partial y} = Y, \quad \frac{\partial U}{\partial z} = Z, \quad (1.9)$$

aceasta se numeste *functia de forta* a fortei  $\bar{F}$  ( $\bar{F}$  este gradientul lui  $U$ ). In acest caz relatia (1.8) se scrie:

$$dT + dU = 0, \quad (1.8')$$

de unde prin integrare, se obtine:

$$T + U = \text{constant}. \quad (1.10)$$

Relatiile (1.8) si (1.9) alcatuiesc un sistem de patru ecuatii a caror rezolvare determina pe  $x, y, z$  si  $T$  in functie de variabila independenta s.[38]

Daca in punctul curent  $M$  de pe fir se considera triedrul lui Frenet, care are ca axe tangenta la fir de versor  $\bar{\tau}$  dirijat in sensul in care s creste, normala principala de versor  $\bar{n}$  dispus spre interiorul concavitatii si binormala cu versorul  $\bar{b} = \bar{\tau} \times \bar{n}$ , atunci  $\bar{T} = T\bar{\tau}$  si ecuatia vectoriala de echilibru, adica:

$$\frac{d\bar{T}}{ds} + \bar{F} = 0 \quad (1.11)$$

devine:

$$\frac{dT}{ds}\bar{\tau} + T\frac{d\bar{\tau}}{ds} + \bar{F} = 0 \quad (1.12)$$

sau:

$$\frac{dT}{ds}\bar{\tau} + \frac{T}{R_c}\bar{n} + \bar{F} = 0, \quad (1.13)$$

unde  $R_c$  este raza de curbura a firului in punctul  $M$ .

Proiectand ecuatia (1.13) pe axele triedrului Frenet se obtine sistemul:

$$\frac{dT}{ds} + F_{\bar{\tau}} = 0; \quad \frac{T}{R_c} + F_{\bar{n}} = 0; \quad F_{\bar{b}} = 0. \quad (1.14)$$

Rezulta ca forta  $\bar{F}$  este inclusa in planul osculator la pozitia de echilibru a firului.

Proprietati ale firelor:

a). Daca  $\bar{F} = 0$ , atunci:

$$\frac{dT}{ds} = 0, \quad \frac{T}{R_c} = 0. \quad (1.15)$$

Presupunand  $T \neq 0$ , rezulta ca  $T = \text{const.}$ ,  $R_c = \infty$ , in acest caz curba funiculara este o dreapta iar efortul din fir este constant.

b). Daca  $F_\tau = 0$ , rezulta:

$$\frac{dT}{ds} = 0, \quad T = \text{const.}$$

c). Daca  $\bar{F}$  are o directie fixa, atunci curba funiculara este plana. Intr-adevar  $\bar{u}$  fiind versorul directiei fixe, ecuatia vectoriala de echilibru al unui element de fir se scrie:

$$d\bar{T} + \bar{F}u ds = 0.$$

Prin inmultire vectoriala cu  $\bar{u}$  se obtine:

$$\bar{u} \times d\bar{T} = 0 \quad \text{sau} \quad d(\bar{u} \times \bar{T}) = 0$$

sau  $\bar{u} \times \bar{T} = \bar{C} = \text{const.}$  Cum  $\bar{u}$  si  $\bar{T}$  determina planul osculator, rezulta ca orientarea planului osculator nu se schimba, deci curba este plana. [38]

### 1.1.2 Firul usor

In cazul unui poligon format din elemente articulate, sollicitate de forte concentrate aplicate la noduri, este posibila inlocuirea acestuia cu un fir perfect flexibil de greutate neglijabila (fir usor), adica toate elementele sunt sollicitate doar la eforturi de intindere [40].

Daca firul este sollicitat de doua forte aplicate la extremitatile acestuia atunci echilibrul firului va fi posibil doar daca cele doua forte sunt egale si de sens contrar si au un suport comun, forma de echilibru a firului fiind o linie dreapta care coincide cu suportul comun al celor doua forte.

Prin urmare se poate afirma ca problema firului usor sollicitat de forte concentrate se reduce la determinarea poligonului funicular al acestor forte [40].

Daca se da un sistem de forte si se cere determinarea poligonului funicular astfel ca o anumita latura sa treaca prin punctul A si o alta sa treaca prin punctul B (v. fig. 1.2 a), atunci exista o infinitate de solutii care satisfac aceste conditii. Insa polii tuturor poligoanelor care trec prin cele doua puncte A si B se vor gasi pe o dreapta paralela cu AB. Pentru determinarea acestei drepte este suficient sa se gaseasca un singur poligon funicular care sa satisfaca aceasta conditie, prin polul sau se traseaza paralela la dreapta AB si aceasta dreapta va contine totalitatea polilor care satisfac conditiile cerute. Un asemenea pol poate fi determinat daca se cunoaste rezultanta sistemului de forte (v. fig. 1.2).

Cunoscandu-se fortele  $\bar{F}_1, \bar{F}_2, \bar{F}_3$  (fig. 1.2 a) se construiesc poligonul fortelor (fig. 1.2 b), iar cu ajutorul unui pol arbitrar  $O$  si a razelor polare  $0,1,2,3$  se construiesc un poligon funicular  $0',1',2',3'$  cu ajutorul caruia se determina suportul rezultantei care trece prin intersectia laturilor  $0'$  si  $3'$  (v.fig. 1.2 a).

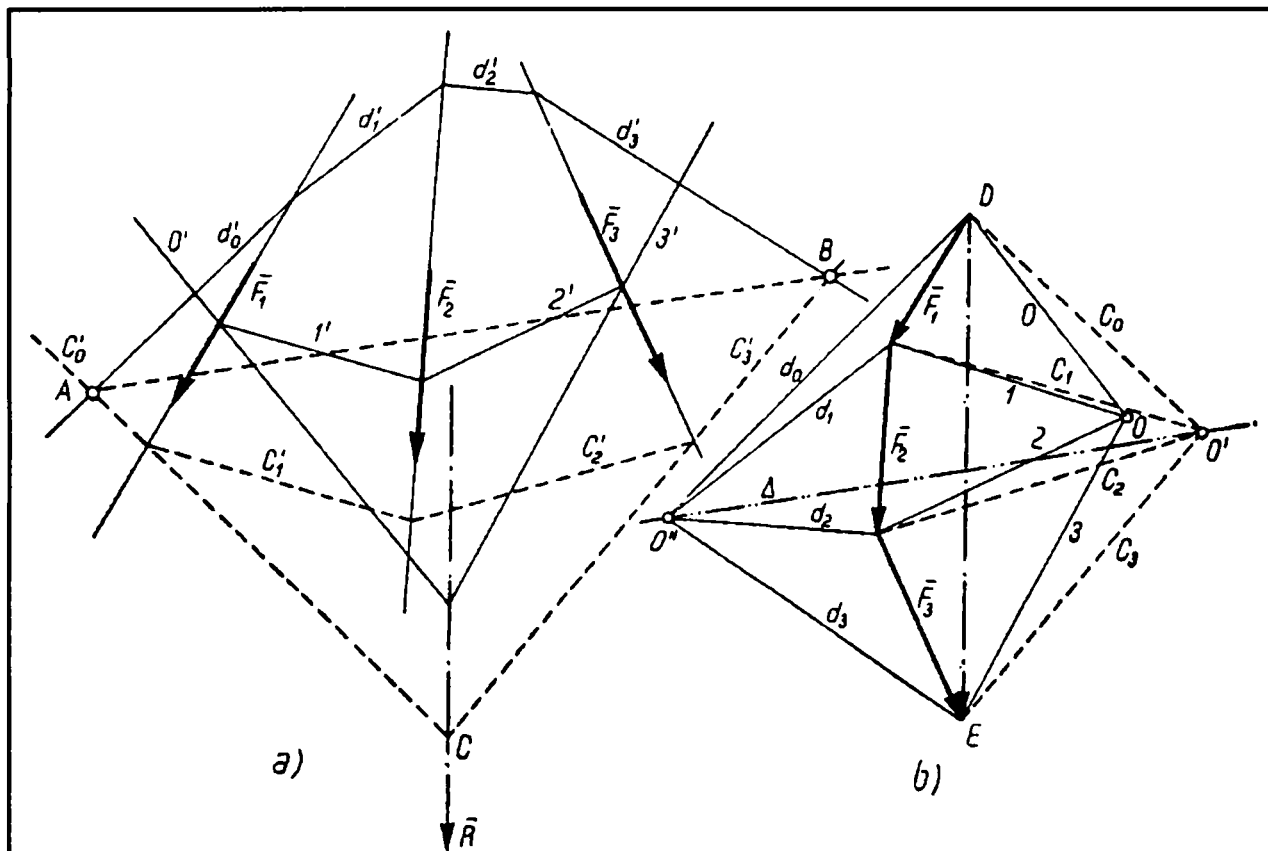


Fig. 1.2 Sistemul de forte si poligonul funicular aferent

Se cere ca poligonul funicular sa satisfaca conditia ca prima sa latura sa treaca prin punctul A, ultima latura prin B respectiv alegerea unui punct oarecare C de pe suportul rezultantei care sa se uneasca cu A si B.

Dreptele CA si CB vor fi prima si ultima latura ale unui poligon funicular pentru sistemul de forte considerat. Polul  $O'$  al acestui poligon se obtine prin construirea paralelelor la CA si CB prin punctele D si E din poligonul fortelor.

Dreapta  $\Delta$ , paralela cu AB, dusă prin  $O'$  reprezintă locul geometric al tuturor polilor poligoanelor funiculare, pentru care, dacă prima latura trece prin A atunci ultima latura va trece obligatoriu prin B. In fig. 1.2 s-au construit doua poligoane funiculare de acest tip :  $C'_0, C'_1, C'_2, C'_3$  cu polul in  $O'$  si  $d'_0, d'_1, d'_2, d'_3$  cu polul in  $O''$ .

In cazul in care se impune conditia ca poligonul funicular, pentru un sistem de forte dat sa treaca prin trei puncte, se poate considera sistemul de forte  $\bar{F}_1, \bar{F}_2, \bar{F}_3, \bar{F}_4, \bar{F}_5$ , din fig. 1.3 a.

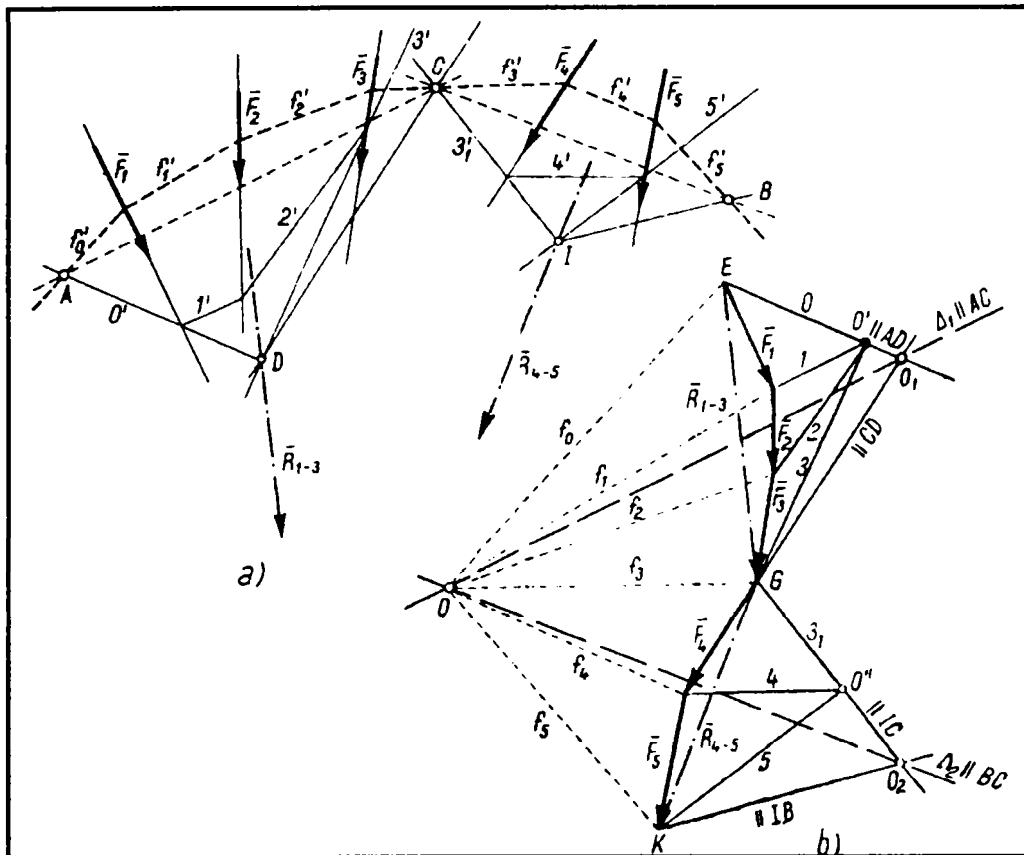


Fig. 1.3 Sistemul de forte si poligonul funicular prin trei puncte

Pentru grupul de forte,  $\bar{F}_1, \bar{F}_2, \bar{F}_3$ , pentru care se admite faptul ca prima si ultima latura de poligon funicular trebuie sa treaca prin A si C, se obtin o infinitate de solutii, dar toti polii acestor poligoane se vor gasi pe o dreapta ( $\Delta_1$ ) paralela cu AC. Pentru grupul de forte  $\bar{F}_4, \bar{F}_5$ , pentru care se admite faptul ca prima si ultima latura de poligon funicular trebuie sa treaca prin C si B se obtin solutiile cu polii de pe dreapta  $\Delta_2$  paralela cu BC. Cele doua drepte se intalnesc in punctul O, poligonul funicular cu polul in acest punct va fi singurul care satisface atat conditiile de pe dreapta  $\Delta_1$  cat si de pe dreapta  $\Delta_2$ . (doar acest poligon funicular generat din punctul A va trece prin punctele B si C).

In poligonul fortelor (fig. 1.3 b) se determina rezultanta partiala a fortelor  $\bar{F}_1, \bar{F}_2, \bar{F}_3$ , notata cu  $\bar{R}_{1-3}$  si prin polul arbitrar  $O'$  se construiesc poligonul funicular  $O' 1' 2' 3'$  care determina punctul D al suportului rezultantei  $\bar{R}_{1-3}$ . Unind punctul D cu punctele A si C prin punctele G si E, in poligonul fortelor, se duc paralele la AD respectiv DC care se intersecteaza in  $O_1$ . Prin  $O_1$  se traseaza dreapta  $\Delta_1$  care va contine toti polii poligoanelor funiculare care trec prin A si C.

Pentru grupul de forte  $\bar{F}_4, \bar{F}_5$  in poligonul fortelor se construiesc rezultanta  $\bar{R}_{4-5}$  si cu ajutorul unui pol arbitrar  $O''$  respectiv unui poligon funicular se determina punctul I de pe suportul lui  $\bar{R}_{4-5}$  (fig. 1.3 a). Punctul I se uneste cu C si B, in poligonul fortelor din G si K trasandu-se paralele la IC si IB care se vor intalni in  $O_2$ . Dreapta  $\Delta_2$  care va trece prin  $O_2$  va contine toti polii poligoanelor funiculare care trec prin B si C.

Intersectia dreptelor  $\Delta_1$  si  $\Delta_2$  reprezinta polul poligonului funicular unic (O) care va trece prin punctele A, B si C ( $f_0, f_1, f_2, f_3, f_4, f_5$ ).

Poligoanele funiculare care trec prin doua sau trei puncte au numeroase aplicatii in tehnica, in special in cazul grinzilor sau a firelor incastrate la ambele capete (cum este si cazul panzelor serigrafice care pot fi considerate ca un ansamblu de fire flexibile si inextensibile de greutate neglijabila).

### 1.1.3. Firul omogen greu

Pentru acest caz se aplica ecuatiile generale de echilibru ale firului in situatia in care asupra sa nu actioneaza decat greutatea proprie, determinandu-se in aceasta situatie forma de echilibru a acestuia. [38]

Se presupune firul omogen,  $\rho$  fiind greutatea unitatii de lungime. Deoarece forta  $\bar{F} = \bar{\rho} \cdot ds$  are directia fixa verticala, pozitia de echilibru va fi situata intr-un plan vertical. Fie  $xOy$  acest plan cu axa  $Oy$  orientata ascendent.

Ecuatiile de echilibru devin:

$$\frac{d}{ds} \left( T \frac{dx}{ds} \right) = 0, \quad \frac{d}{ds} \left( T \frac{dy}{ds} \right) - \rho = 0 \quad (1.16)$$

sau:

$$T \frac{dx}{ds} = T \cos \alpha = T_0 = \text{const.}, \quad d \left( T \frac{dy}{ds} \right) = \rho ds. \quad (1.17)$$

Prima ecuatie arata ca efortul T din fir este minim pentru  $\alpha = 0$ , adica in punctul cel mai de jos al curbei de echilibru unde tangenta este orizontala si are valoarea numerica  $T_0$ .

Efortul maxim din fir va fi pentru  $\alpha_{\max}$ , adica in punctul de prindere cel mai ridicat al firului.

Inlocuind pe T cu valoarea  $T_0 \frac{ds}{dx}$ , a doua ecuatie devine:

$$d\left(\frac{dy}{dx}\right) = \frac{\rho}{T_0} ds = \frac{\rho}{T_0} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx \quad (1.18)$$

pe baza relatiei:

$$1 = \left(\frac{dx}{ds}\right)^2 + \left(\frac{dy}{ds}\right)^2, \quad (1.19)$$

se obtine:

$$\frac{d\left(\frac{dy}{dx}\right)}{\sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}} = \frac{\rho}{T_0} dx. \quad (1.20)$$

Prin integrare:

$$\operatorname{arcsinh}\left(\frac{dy}{dx}\right) = \frac{\rho}{T_0} (x - x_0), \quad (1.21)$$

sau:

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{sh} \frac{\rho}{T_0} (x - x_0), \quad (1.21')$$

in care sh este sinusul hiperbolic al functiei iar  $x_0$  este o constanta de integrare. Integrand din nou, se obtine:

$$y - y_0 = \frac{T_0}{\rho} \operatorname{ch} \frac{\rho}{T_0} (x - x_0), \quad (1.22)$$

in care ch reprezinta cosinusul hiperbolic, si  $y_0$  reprezinta cea de a doua constanta de integrare.

Exprimand cosinusul hiperbolic cu ajutorul functiilor exponentiale se obtine:

$$y - y_0 = \frac{T_0}{2\rho} \left[ e^{\frac{\rho}{T_0}(x-x_0)} + e^{-\frac{\rho}{T_0}(x-x_0)} \right]. \quad (1.23)$$

Curba de echilibru a firului omogen greu este **lantisorul**. Spre deosebire de cazul dinamic, in care este vorba de un sistem de ecuatii cu derivate partiale, studiul echilibrului conduce la un sistem de ecuatii diferentiale ordinare, de ordinul al doilea, cu functiile necunoscute  $x = x(s)$ ,  $y = y(s)$ ,  $z = z(s)$  si  $T = T(s)$ . [38] La aceste ecuatii se asociaza conditiile initiale care conduc la:

$$x(s_0), \quad y(s_0), \quad z(s_0), \quad \dot{x}(s_0), \quad \dot{y}(s_0), \quad T(s_0) \quad (1.24)$$

Aceste conditii la limita sunt conditii de tip Cauchy. In aplicatii apar insa mai frecvent conditiile la limita *bilocale*, care revin la precizarea pozitiei capetelor firului.

Ca exemplu se va trata figura de echilibru a unui fir flexibil si inextensibil *omogen*, sub actiunea greutatii (curba lantisor).

Greutatea care actioneaza asupra elementului de lungime  $ds$  este deci  $\vec{F} ds$ , unde:

$$\vec{F} = \rho \vec{g}, \quad \rho = \text{const.} = \rho_0 > 0. \quad (1.25)$$

Figura de echilibru este plana si situata intr-un plan vertical. Alegem acest plan ca plan  $Oxy$ , axa  $Ox$  fiind orizontala, iar axa  $Oy$  verticala ascendenta (fig.1.4). Se va considera  $z(s) \equiv 0$ .

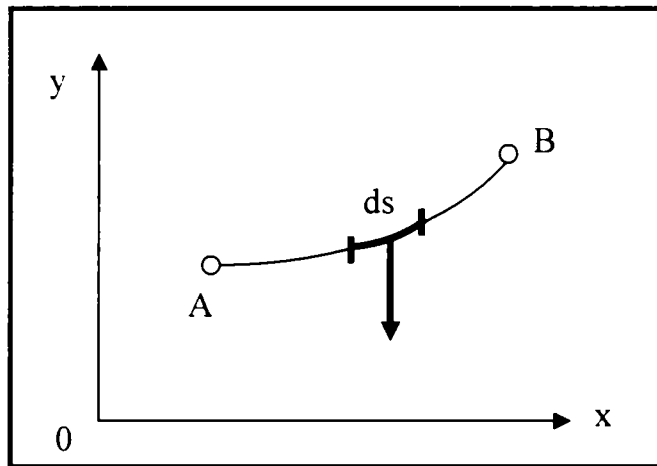


Fig.1.4 Sistemul de referinta atasat firului AB

Din ecuatiile de echilibru in proiectie pe axe (1.16) si punand conditia din relatia (1.19) rezulta:

$$T \frac{dx}{ds} = C \quad (1.26)$$

prin urmare: *proiectia pe orizontala a fortei de tensiune este constanta.* [38]

Se vor lua in considerare doua cazuri:

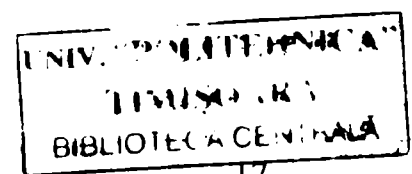
1).  $C = 0$

Din ecuatia (1.16) se vede ca in general  $T \neq 0$ . Prin urmare din (1.26) se deduce:

$$\frac{dx}{ds} = 0, \quad x = x_0$$

Acesta este, de exemplu, cazul in care firul este fixat la un singur capat. Pozitia de echilibru este verticala. Vom avea  $ds = dy$ , deci din a doua ecuatie (1.16) se deduce:

$$\frac{dT}{dy} = \rho g, T = \rho g(y - y_A) + T_A \quad (1.27)$$





2).  $C \neq 0$ .

Cum  $T \geq 0$ , din (1.26) se deduce ca  $\frac{dx}{ds}$  are un semn constant. Orientand

convenabil axa  $0x$ , putem presupune  $\frac{dx}{ds} > 0$ , adica  $C > 0$ .

Din (1.26) se deduce:

$$T = \frac{C}{\frac{dx}{ds}} \quad (1.28)$$

iar din a doua ecuatie (1.26), inlocuind pe  $T$  din (1.28)

$$\frac{d}{ds} \left( C \frac{dy}{dx} \right) - \rho g = 0.$$

Dar considerand pe  $y$  ca functie de  $x$ ,

$$\frac{d}{ds} (y'_x) = y''_x \frac{dx}{ds} = \frac{y''_x}{\sqrt{1+y'^2}}$$

Obtinem astfel ecuatia diferentiala:

$$C y'' = \rho g \sqrt{1+y'^2},$$

care se reduce la o ecuatie de ordinul intai punand  $y'(x) = u$ . Avem, separand variabilele:

$$\int \frac{du}{\sqrt{1+u^2}} = \ln(u + \sqrt{1+u^2}) = \frac{\rho g}{C} (x - x_0)$$

unde  $x_0$  este o constanta de integrare. Prin urmare:

$$u + \sqrt{1+u^2} = e^{\frac{\rho g}{C}(x-x_0)}$$

$$u - \sqrt{1+u^2} = -e^{-\frac{\rho g}{C}(x-x_0)}$$

Prin adunare si ulterior prin scadere rezulta:

$$y' = u = sh \frac{\rho g}{C} (x - x_0)$$

$$\sqrt{1+u^2} = ch \frac{\rho g}{C} (x - x_0), \quad ds = \sqrt{1+u^2} dx = ch \frac{\rho g}{C} (x - x_0) dx.$$

Daca se introduce notatia:

$$\frac{C}{\rho g} = a > 0 \quad (1.29)$$

unde  $a$  are dimensiunile unei lungimi, se gaseste prin integrare: [38]

$$y - y_0 = a \operatorname{ch} \frac{x - x_0}{a} \quad (1.30)$$

$$s = a \operatorname{sh} \frac{x - x_0}{a} + \operatorname{const.}$$

iar apoi din (1.26):

$$T = C \operatorname{ch} \frac{x - x_0}{a} = \frac{C}{a} (y - y_0) = \rho g (y - y_0) \quad (1.31)$$

in care  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $C$  sau  $a$  sunt constante de integrare.

Din (1.30) rezulta ca figura de echilibru este *curba lantisor*. Minimumul lui  $y(x)$  are loc pentru  $x = x_0$  si este egal cu  $y_0 + a$ .

Din relatia (1.31) rezulta o interpretare remarcabila a tensiunii in fir.[38] *Tensiunea in punctul M de ordonata y este egala cu greutatea unei portiuni de fir MQ care ar avea lungimea y-y<sub>0</sub>, adica egala cu distanta de la punctul M la dreapta y=y<sub>0</sub>, numita baza. Tensiunea este minima in punctul cel mai de jos al lantisorului (fig.1.5).*

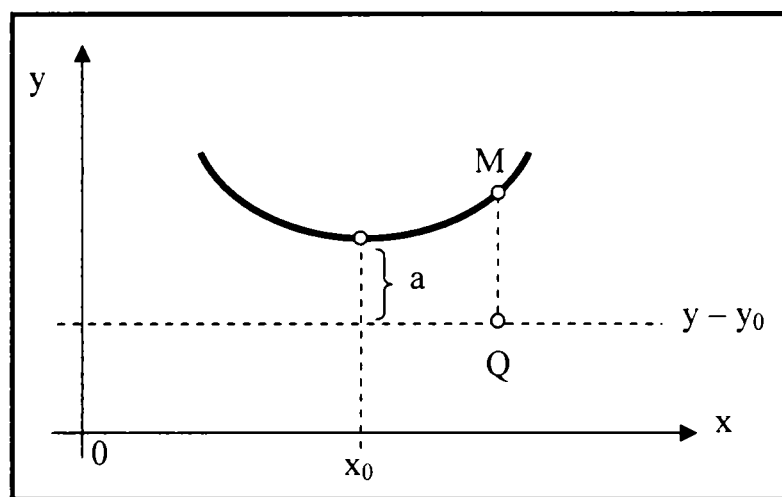


Fig.1.5. Interpretarea tensiunii din fir

Constantele de integrare se determina punand conditia ca figura de echilibru sa treaca prin punctele date A si B, cunoscand lungimea totala  $l$  a firului. Se pot alege axele astfel incat punctul A sa fie in originea 0, iar B sa aiba coordonatele  $x_B > 0$ ,  $y_B > 0$ .

Conditiiile problemei sunt:

$$a \operatorname{ch} \frac{x_0}{a} = -y_0, \quad y_B - y_0 = a \operatorname{ch} \frac{x_B - x_0}{a} \quad (1.32)$$

$$l = s_B - s_A = a \left( \operatorname{sh} \frac{x_B - x_0}{a} + \operatorname{sh} \frac{x_0}{a} \right)$$

De aici se deduce prin eliminarea lui  $y_0$ :

$$y_B = a \left( \operatorname{ch} \frac{x_B - x_0}{a} - \operatorname{ch} \frac{x_0}{a} \right)$$

respectiv se poate elimina  $x_0$  intre aceasta relatie si cea care il genereaza pe  $l$ . Exprimand functiile hiperbolice cu ajutorul exponentialelor, se obtine succesiv:

$$l + y_B = a \left( e^{\frac{x_B - x_0}{a}} - e^{-\frac{x_0}{a}} \right)$$

$$l - y_B = -a \left( e^{-\frac{x_B - x_0}{a}} - e^{\frac{x_0}{a}} \right)$$

de unde:

$$l^2 - y_B^2 = a^2 \left( e^{\frac{x_B}{2a}} - e^{-\frac{x_B}{2a}} \right)^2 = 4a^2 \operatorname{sh}^2 \frac{x_B}{2a}$$

Astfel:

$$\sqrt{l^2 - y_B^2} = 2a \operatorname{sh} \frac{x_B}{2a}$$

aceasta ecuatie contine doar necunoscuta  $a$ .

Notand  $\frac{x_B}{2a} = u$ , trbuie rezolvata ecuatia:

$$\frac{\operatorname{sh} u}{u} = \frac{\sqrt{l^2 - y_B^2}}{x_B} \quad (1.33)$$

Functia  $\frac{\operatorname{sh} u}{u}$  este o functie crescatoare de  $u$  pentru  $u \in (0, +\infty)$ . Prin urmare :

$$\frac{\operatorname{sh} u}{u} = 1 + \frac{u^2}{3!} + \frac{u^4}{5!} + \dots$$

Deci, ecuatia admite o singura radacina pozitiva, cu conditia ca:

$$x_B^2 + y_B^2 < l^2 \quad (1.34)$$

Astfel, *punerea problemei este posibila daca lungimea firului este mai mare decat distanta AB*, ecuatia admitand o solutie unica. [38]

## 1.2. Starea plana de tensiuni si deformatii

### 1.2.1 Starea plana de tensiuni

O placa plana de grosime constanta, foarte mica, raportata la axele  $0x$  si  $0y$  situate in planul ei median si la axa  $0z$  normala la acest plan, se afla intr-o stare plana de tensiuni daca nu este incarcata pe cele doua fete (superioara si inferioara), respectiv pe suprafata laterala incarcarea nu variaza cu grosimea si fortele masice sunt paralele cu planul median.[42] Despre acesta stare de tensiuni se poate vorbi si in cazul panzelor serigrafice.

In aceasta situatie:

$$\begin{aligned} \sigma_x = \sigma_x(x, y); \quad \sigma_y = \sigma_y(x, y); \quad \tau_{xy} = \tau_{xy}(x, y), \\ \sigma_z = 0; \quad \tau_{zx} = 0; \quad \tau_{zy} = 0; \quad Z = 0. \end{aligned} \quad (1.35)$$

Ecuatiile generale ale teoriei elasticitatii devin[42]:

a). *Ecuatiile lui Cauchy* se reduc la doua,

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + X = 0, \quad \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + Y = 0. \quad (1.36)$$

in care  $X$  si  $Y$  reprezinta fortele masice pe directiile  $x$  respectiv  $y$ .

b). *Ecuatiile lui Saint Venant* (de compatibilitate sau continuitate a deformatiilor) se reduc la una singura,

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \cdot \partial y} \quad (1.37)$$

c). *Ecuatiile lui Hooke generalizate* (intre deformatiile specifice si tensiuni), devin:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \nu \sigma_y); \quad \varepsilon_y = \frac{1}{E}(\sigma_y - \nu \sigma_x); \quad \varepsilon_z = -\frac{\nu}{E}(\sigma_x + \sigma_y), \\ \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G} = \frac{2(1+\nu)}{E} \tau_{xy}; \quad \gamma_{zx} = 0; \quad \gamma_{zy} = 0. \end{aligned} \quad (1.38)$$

De remarcat ca in cazul starii plane de tensiune, in general,  $\varepsilon_z \neq 0$ .

### 1.2.2 Starea plana de deformatii specifice

O placa plana de grosime constanta foarte mica, raportata la axele  $0x$  si  $0y$  situate in planul median si la axa  $0z$  normala la acest plan se afla intr-o stare plana de deformatii

specifice daca nu sunt posibile deplasari in directia axei  $Oz$  ( $w = 0$ ), respectiv pe suprafata laterala incarcarea nu variaza cu grosimea si daca fortele masice sunt paralele cu planul median.

In acest caz,

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \sigma_x(x, y); \quad \sigma_y = \sigma_y(x, y); \quad \tau_{xy} = \tau_{xy}(x, y), \\ Z = 0: \quad \varepsilon_z &= 0; \quad \gamma_{zx} = 0; \quad \gamma_{zy} = 0. \end{aligned} \quad (1.39)$$

Luandu-se in considerare Ecuatiile lui Cauchy si Saint Venant din relatia (1.37) rezulta  $\sigma_z = \nu(\sigma_x + \sigma_y)$ , deci in general, in starea plana de deformatii specifice exista tensiuni  $\sigma_z \neq 0$  normale pe planul meridian.

Relatiile lui Hooke generalizate (intre deformatiile specifice si tensiuni), devin:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)] \quad \varepsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z)], \\ 0 &= \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)], \\ \gamma_{xy} &= \frac{1}{G} \tau_{xy} = \frac{2(1+\nu)}{E} \tau_{xy}; \quad \gamma_{zx} = 0; \quad \gamma_{zy} = 0. \end{aligned} \quad (1.40)$$

Comparand ecuatiile teoriei elasticitatii din cazul starii plane de tensiune cu cele din cazul starii plane de deformatii specifice, constatam identitatea ecuatiilor Cauchy respectiv Saint Venant, singura deosebire fiind intre ecuatiile (1.38) si (1.40).

Se va arata insa ca cele doua probleme – a starii plane de tensiune si a starii plane de deformatii specifice – nu sunt distincte din punct de vedere matematic, ecuatiile (1.40) putand fi aduse la forma (1.38).[42] Intr-adevar daca se inlocuieste  $\sigma_z = \nu(\sigma_x + \sigma_y)$  in expresia lui  $\varepsilon_x$  din (1.40) rezulta:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu\sigma_y - \nu^2(\sigma_x + \sigma_y)] = \frac{1-\nu^2}{E} \sigma_x - \frac{\nu(1+\nu)}{E} \sigma_y = \frac{1-\nu^2}{E} \left[ \sigma_x - \frac{\nu}{1-\nu} \sigma_y \right]. \quad (1.40')$$

Analog se obtine:

$$\varepsilon_y = \frac{1-\nu^2}{E} \left[ \sigma_y - \frac{\nu}{1-\nu} \sigma_x \right]. \quad (1.40'')$$

Cu notația:

$$\frac{1-\nu^2}{E} = \frac{1}{E_1} \quad \text{și} \quad \frac{\nu}{1-\nu} = \nu_1, \quad (1.41)$$

expresiile  $\varepsilon_X$  și  $\varepsilon_Y$  pot fi scrise:

$$\varepsilon_X = \frac{1}{E_1} [\sigma_X - \nu_1 \sigma_Y], \quad \varepsilon_Y = \frac{1}{E_1} [\sigma_Y - \nu_1 \sigma_X], \quad (1.42)$$

deci identice ca expresie matematică cu cele din (1.38), singura deosebire fiind că în loc de  $E$  și  $\nu$  se folosesc  $E_1$  și  $\nu_1$ . Mai rămâne expresia  $\gamma_{xy}$ , care este identică în (1.38) și (1.40).

Pentru ca demonstrația să fie completă, mai trebuie arătat că:

$$\frac{2(1+\nu_1)}{E_1} = \frac{2(1+\nu)}{E}.$$

Intr-adevăr,

$$\frac{2(1+\nu_1)}{E_1} = 2 \frac{1+\nu^2}{E} \cdot \left[ 1 + \frac{\nu}{1-\nu} \right] = \frac{2(1+\nu)}{E}.$$

Rezultă că, din punct de vedere matematic, este suficient să studiem o singură stare plană, de exemplu cea de tensiuni, starea plană de deformări deducându-se din aceasta prin înlocuirea constantelor elastice  $E$  și  $\nu$  respectiv cu  $E_1 = E(1-\nu^2)$  și cu  $\nu_1 = \nu/(1-\nu)$ , adăugând tensiunea  $\sigma_z = \nu(\sigma_x + \sigma_y)$ . [42]

### 1.2.3 Funcția Airy a tensiunilor

În cazul în care forțele masice sunt nule ( $X = 0$ ,  $Y = 0$ ), ecuațiile lui Cauchy (1.36) se simplifică și devin:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} = 0. \quad (1.43)$$

Acestea sunt identic satisfăcute dacă există o funcție  $F(x, y)$  astfel încât:

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 F}{\partial y^2}; \quad \sigma_y = \frac{\partial^2 F}{\partial x^2}; \quad \tau_{xy} = \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y}. \quad (1.44)$$

În acest caz ecuațiile (1.36) devin:

$$\frac{\partial^3 F}{\partial y^2 \partial x} - \frac{\partial^3 F}{\partial y^2 \partial x} \equiv 0, \quad \frac{\partial^3 F}{\partial x^2 \partial y} - \frac{\partial^3 F}{\partial x^2 \partial y} \equiv 0.$$

Este important insa sa fie satisfacute si celelalte ecuatii cu derivate partiale. Din relatiile (1.38) deducem, tinand seama de (1.44),

$$\begin{aligned}\varepsilon_x &= \frac{1}{E} \left[ \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} - \nu \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} \right]; & \varepsilon_y &= \frac{1}{E} \left[ \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} - \nu \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} \right], \\ \gamma_{xy} &= -\frac{2[1+\nu]}{E} \cdot \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y}.\end{aligned}\tag{1.45}$$

Introducand aceste expresii in ecuatiile lui Saint Venant (1.37), rezulta ecuatiile cu derivate partiale:

$$\frac{\partial^4 F}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 F}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 F}{\partial y^4} = 0,\tag{1.46}$$

pe care trebuie s-o satisfaca functia  $F$  cunoscuta sub numele de functia lui Airy. Aceasta ecuatie mai poate fi scrisa sub forma:

$$\left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \left( \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} \right) = 0,$$

dar pentru ca operatorul

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$$

este in planul  $Oxy$  operatorul lui Laplace, ecuatiile (1.46) mai poate fi scrisa:

$$\Delta \Delta F = 0.\tag{1.47}$$

Se stie ca o functie care satisface conditia  $\Delta \Phi = 0$ , este armonica.

Solutionarea unei probleme de elasticitate plana se reduce prin urmare la gasirea unei functii biarmonice  $F$ , astfel incat tensiunile  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  si  $\tau_{xy}$ , calculate cu formulele (1.44) sa satisfaca conditiile la limita. [42]

## 1.2.4 Placi dreptunghiulare subtiri actionate de forte situatate in planul lor median

In acest caz se impune folosirea sistemului de axe carteziene. Vom analiza doua cazuri ce prezinta interes in problematica tezei:

*a). Placa dreptunghiulara subtire sollicitata la intindere (sau compresiune) pe directia unei laturi.*

Se considera o asemenea placa, sollicitata de o forta uniform distribuita  $p$ , in directia axei  $Ox$  (fig.1.6 ).

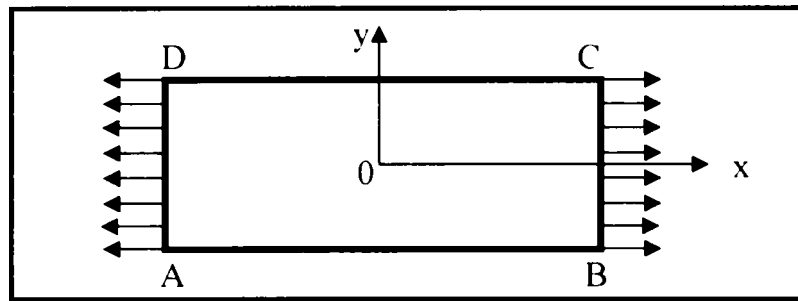


Fig. 1.6 Placa solicitata de forta uniform distribuita

Se admite grosimea placii ca fiind egala cu unitatea, putandu-se verifica usor ca in acest caz functia Airy,  $F = \frac{1}{2} py^2$ , corespunde conditiilor la limita. Intr-adevar, din expresia functiei  $F$  rezulta:

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} = p; \quad \sigma_y = \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} = 0; \quad \tau_{xy} = -\frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} = 0 \quad (1.48)$$

si este usor de verificat ca pe laturile AB si CD conditiile la limita  $\sigma_y = 0$ ,  $\tau_{xy} = 0$ , sunt satisfacute, iar pe laturile BC si AD, conditiile la limita,  $\sigma_x = p$ ,  $\tau_{xy} = 0$ , sunt de asemenea satisfacute. Se constata ca  $F$  verifica ecuatia cu derivate partiale (1.46).

Aceste constatari arata ca ipoteza simplificatoare a repartizarii uniforme a tensiunilor pe latura unei panze/placi de sectiune dreptunghiulara coincide cu solutia exacta. Este necesar totusi sa se precizeze ca starea de tensiuni (1.48), presupune ca si pe laturile AD si BC sarcinile exterioare trebuie sa fie uniform repartizate. In cazul in care aceasta conditie nu este indeplinita, asa cum se poate constata din fig.1.7.a, starea de tensiuni din placa se indeparteaza de cea data de (1.48).

Daca insa placa este alungita, asa cum se arata in fig.1.7 .b, ceea ce o apropie de forma unei bare, atunci portiunile AD si BC fiind mici in raport cu intregul contur, se poate aplica principiul lui Saint Venant si, considerand solicitarile de pe aceste portiuni ca fiind locale, se poate afirma ca starea de tensiune difera mult de cea data de relatiile (1.48) numai in vecinatatea laturilor AD si BC, in timp ce in regiunea centrala a placii se poate considera cu o foarte buna aproximatie distributia uniforma a tensiunilor  $\sigma_x$ . [42]

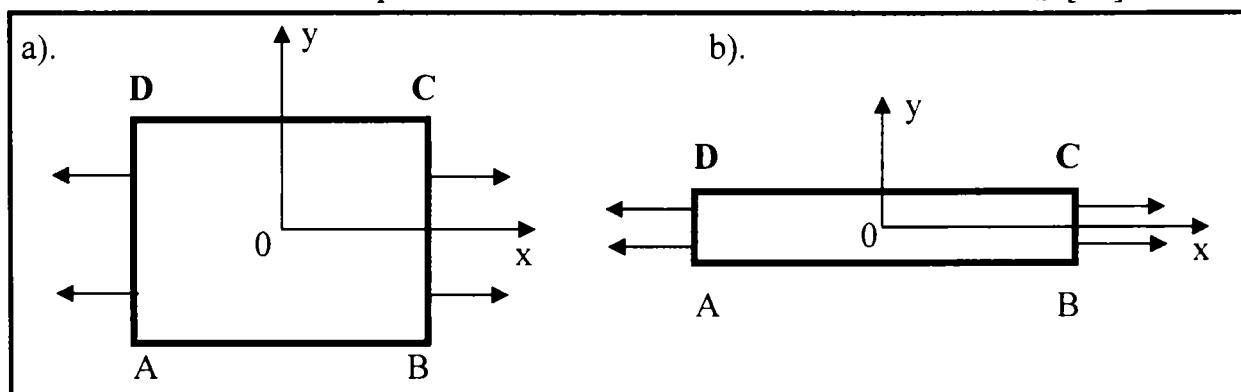


Fig. 1.7 Diferite forme ale placilor



b). *Placa dreptunghiulara subtire solicitata simultan la intindere (sau compresiune) in directiile laturilor si la forfecare.*

Se considera o asemenea placa solicitata dupa cum reiese din fig. 1.8.

Este usor de verificat ca functia Airy,  $F = \frac{1}{2} py^2 - qxy + \frac{1}{2} rx^2$ , corespunde conditiilor la limita. Intr-adevar, tensiunile:

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} = p; \quad \sigma_y = \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} = r; \quad \tau_{xy} = -\frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} = q \quad (1.49)$$

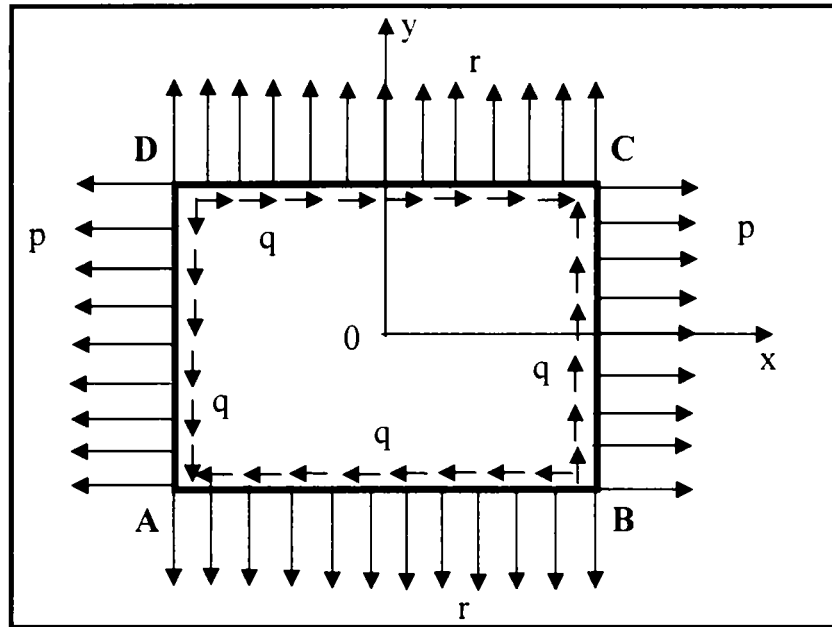


Fig. 1.8 Placa solicitata la intindere si forfecare

verifica conditiile la limita care sunt: pe laturile AB si CD,  $\sigma_y = r$ ,  $\tau_{xy} = q$ ; pe laturile AD si BC,  $\sigma_x = p$ ,  $\tau_{xy} = q$ . Se constata, de asemenea, ca functia F verifica ecuatia cu derivate pariale (1.46). [42]

Se observa ca tensiunile de forfecare sunt maxime in colturile placii solicitate si au valoare nula in centrul acestuia, motiv pentru care in constructia standului tratat in teza se va adopta solutia panzei decupate sub forma de cruce.

In unele cazuri devine necesara reprezentarea grafica a variatiei eforturilor unitare, acest lucru realizandu-se cu ajutorul cercului lui Mohr.[1]

## 1.2.5 Cercul lui Mohr

Din teoria elasticitatii se cunoaste faptul ca pe directiile principale eforturile unitare tangentiale sunt nule. [1] Atunci este valabila si reciproca afirmatiei, adica directiile axelor sunt directii principale iar eforturile unitare  $\sigma_x$  si  $\sigma_y$  sunt eforturi unitare principale (v.fig.1.9).

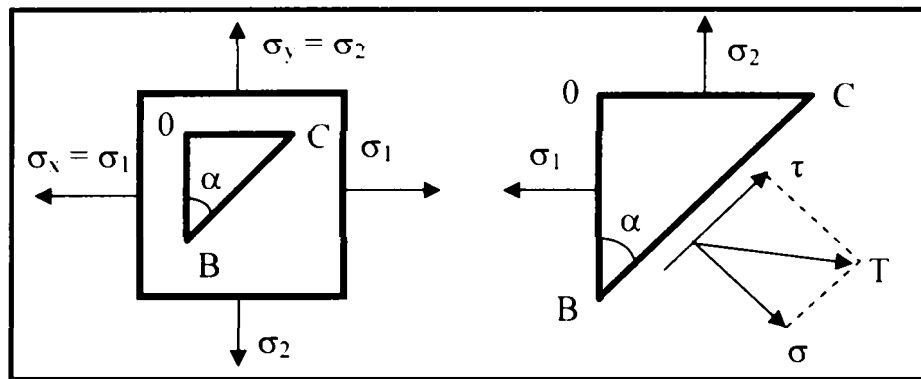


Fig. 1.9 Panza si elementul decupat supus la efort axial

Daca se decupeaza un segment triunghiular dintr-o placa (panza) cu cateta si unghiul  $\alpha$  cunoscute, pe ipotenuza segmentului triunghiular va apare tensiunea normala si tangentiala ( $\sigma$  si  $\tau$ ), rezultanta lor fiind tensiunea din fir (T), vezi fig. 1.9.

Presupunand ca  $\sigma_x > \sigma_y$  se pot folosi notatiile uzuale ale eforturilor unitare principale, adica se inlocuieste  $\sigma_x$  prin  $\sigma_1$  si  $\sigma_y$  prin  $\sigma_2$ , relatiile tensiunilor normale si tangentiale devin [1]:

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cos 2\alpha \\ \tau &= \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \sin 2\alpha\end{aligned}\quad (1.50)$$

Daca se elimina unghiul  $2\alpha$  intre cele doua relatii se obtine ecuatia care reprezinta cercul lui Mohr pentru starea plana de eforturi unitare:

$$\left(\sigma - \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}\right)^2 + \tau^2 = \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}\right)^2 \quad (1.51)$$

Cercul lui Mohr are centrul pe axa  $O\sigma$ , la distanta  $OC = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}$  si raza  $R = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$ , asa cum este prezentat in fig. 1.10.

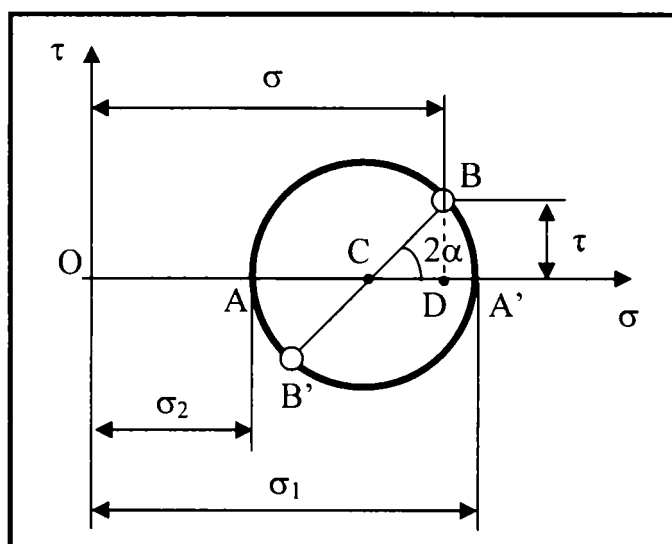


Fig. 1.10 Cercul lui Mohr

Eforturile unitare pe o sectiune inclinata cu unghiul  $\alpha$  fata de axa  $Oy$  se afla ducand raza  $CB$ , care face unghiul  $2\alpha$  cu axa  $\sigma$ , si determinand coordonatele punctului  $B$ :

$$OD = \sigma, \quad DB = \tau$$

In cazul unor aplicatii industriale se utilizeaza frecvent elemente structurale la care o dimensiune este neglijabila in raport cu celelalte doua rezultand astfel placi subtiri care formeaza un element de tip panza (material textil sau metalic rezultat din impletirea firelor perfect flexibile si inextensibile de greutate neglijabila, asa numitele fire usoare, pentru care in paragrafele anterioare s-au prezentat pe scurt principalele consideratii teoretice de baza).

Prin procesul de tesere a firelor se obtin materialele de tip panza, care au o aplicabilitate larga in practica industriala. Unul din domeniile de varf care utilizeaza materiale de tip panza este procesul serigrafic.

In cele ce urmeaza se vor prezenta principalele tipuri de panze serigrafice, precum si principiul procesului serigrafic impreuna cu componentele de baza ale acestuia.

### 1.3. Panze serigrafice

In procesul serigrafic, pe langa materialul de acoperire (lac, vopsea), tipul panzei serigrafice joaca un rol hotarator in realizarea unei imprimari de calitate.

Panzele serigrafice pot fi din materiale nemetalice (nylon, polyester), metalice (oțel) sau mixte (polyester metalizat).

In fig.1.11 a si b respectiv in fig.1.12 se prezinta diverse tipuri de panze serigrafice.

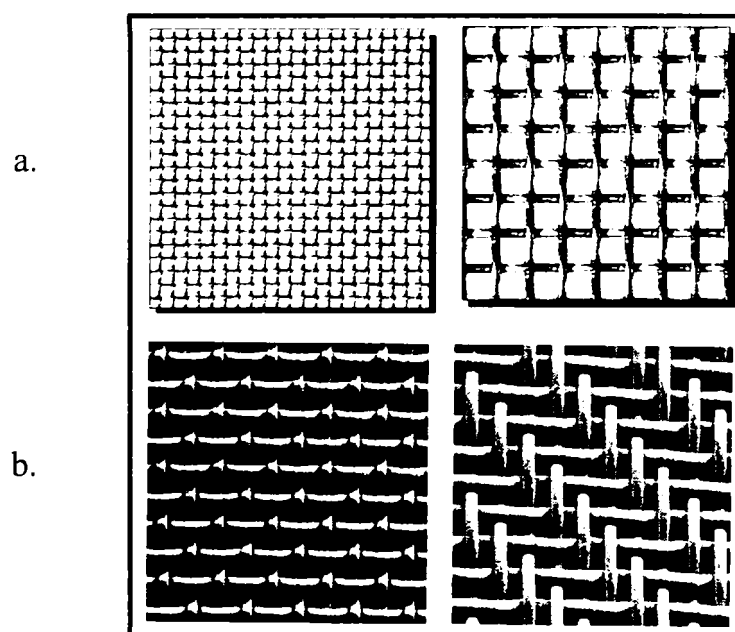


Fig. 1.11 Panze serigrafice

a - metalice, b- tipuri de impletituri



Fig. 1.12 Panze nemetalice, tipuri de impletituri

Tab.1.1 prezinta principalele caracteristici ale diverselor tipuri de materiale pentru panze serigrafice cu specificarea utilitatii acestora.

Tab.1.1. Caracteristici ale panzelor serigrafice – criterii de alegere

Caracteristici	Nylon	Polyester	Polyester metalizat	V <sub>2</sub> A - Oțel
Capacitate portanta	X+	X	X	XX
Intindere	X+	-	-	-
Permitivitate pentru vopsele	X+	X+	X	XX
Durabilitate	X	XX	XX	-
Stabilitate chimica	X	X	X+	X+
Antistatic	-	-	X	XX

- slab; X+ - satisfactor; X - bun; XX - foarte bun.

Alegerea panzelor serigrafice se realizeaza in functie de caracteristicile acestora, marcate prin diverse simboluri.

Astfel grosimea panzei (v. fig.1.13) se noteaza dupa cum urmeaza:

S - subtire;

M + T - mediu;

HD - gros.

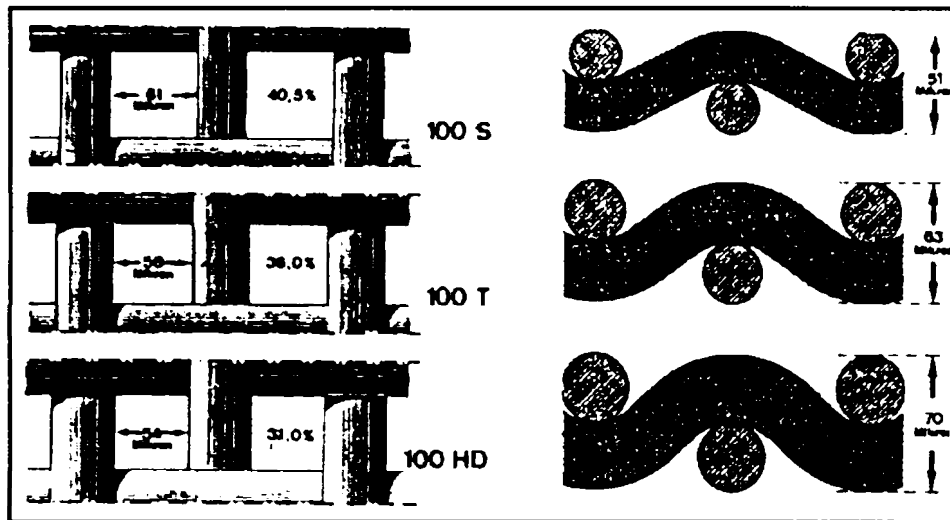


Fig. 1.13 Panze serigrafice de diferite grosimi, simbolizare

Principalele caracteristici ale panzelor serigrafice sunt:

1. distanta dintre fire  $W$  [ $\mu\text{m}$ ];
2. diametrul firului  $d$  [ $\mu\text{m}$ ];

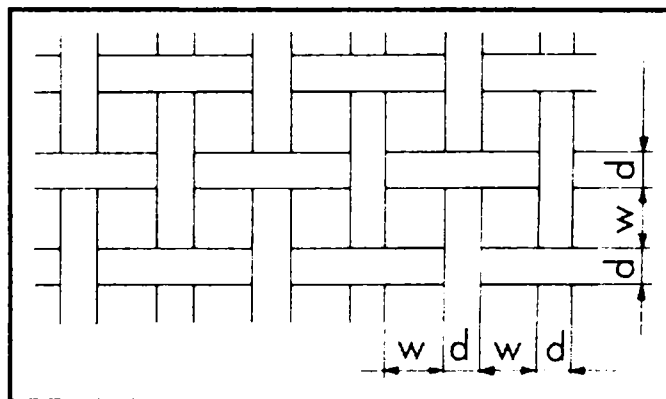


Fig.1.14. Caracteristicile panzelor serigrafice

3. finetea panzei  $n$  (nr. de fire/ cm) sau Mesh (nr.de fire / toli).

$$n = \frac{10[\text{mm}]}{W[\text{mm}] + d[\text{mm}]} ; \text{ sau: Mesh} = \frac{25,4[\text{mm}]}{W[\text{mm}] + d[\text{mm}]} \quad (1.52)$$

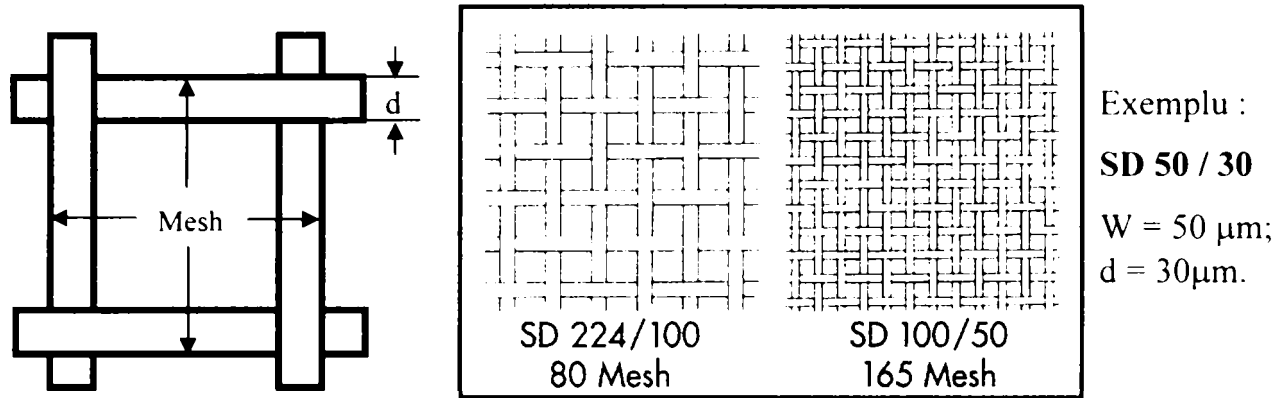


Fig. 1.15 Finetea panzei, exepre de simbolizare

4. aria libera procentuala  $A_0$ :

$$A_0 = \left( \frac{W}{W + d} \right)^2 \times 100\% \quad (1.53)$$

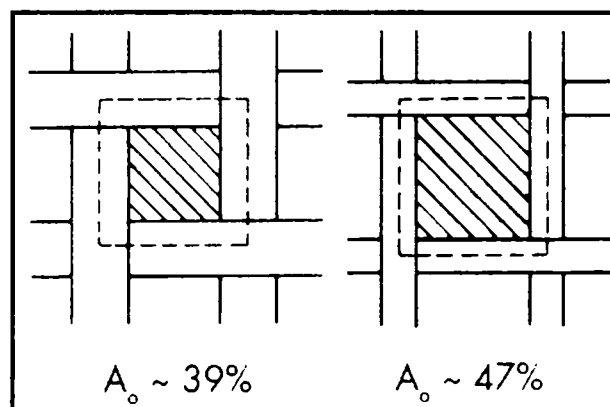


Fig.1.16 Aria libera la diverse panze

Cu cat aria libera este mai mare, cu atat creste capacitatea (volumul) de incarcare (acoperire cu vopsea) a panzei serigrafice.

5. volumul teoretic de incarcare:

$$V_{th} = W^2 \times D \frac{10^4}{W + d} \quad [\mu m^3] \quad (1.54)$$

in care: W [μm]; d [μm]; D [μm].

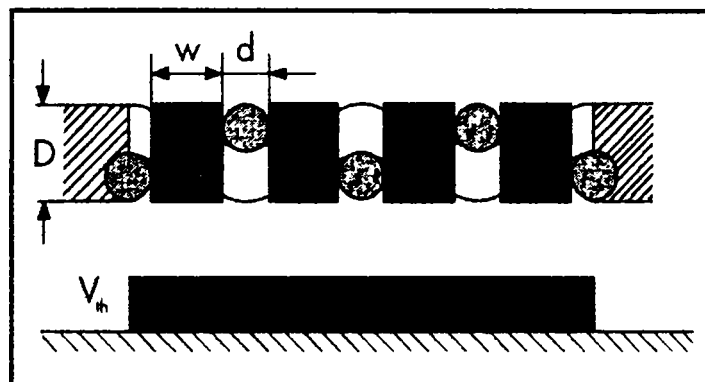


Fig.1.17. Volumul teoretic de incarcare al panzei serigrafice

## 6. deformatia specifica a panzei [%]:

Panzele metalice, comparativ cu cele sintetice, au cea mai mare limita de elasticitate si deformatia specifica cea mai mica in domeniul deformatiei elastice (vezi fig. 1.18).

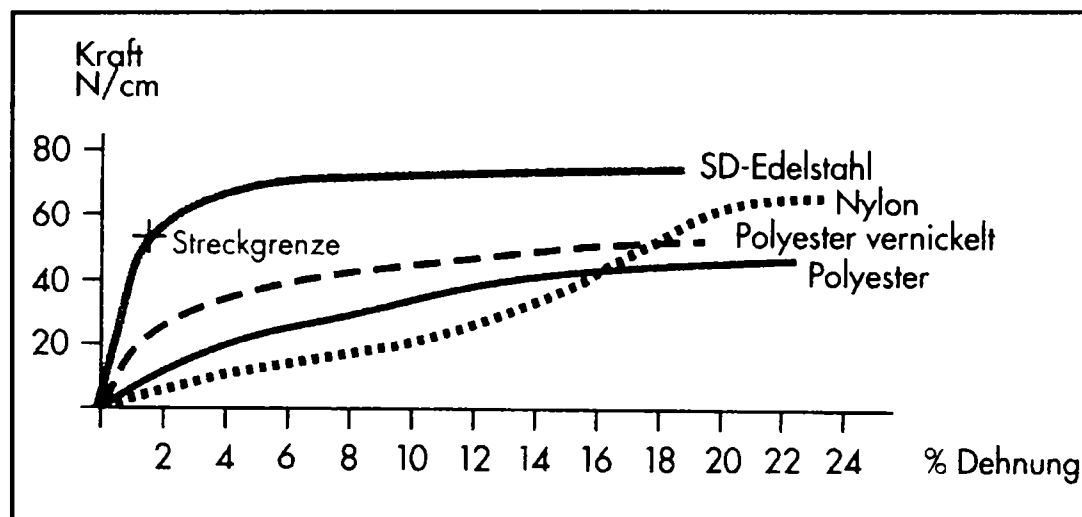


Fig.1.18. Caracteristica tensiune-deformatie-specifica pentru diverse panze

Datorita limitei de elasticitate mai mari, panzele metalice pot fi tensionate mai mult. O tensionare mai ridicata reduce sageata in timpul procesului de imprimare si in acelasi timp mareste calitatea imprimarii.

In cazul panzelor metalice, pentru a obtine o calitate ridicata a imprimarii, este necesara o tensionare cuprinsa intre 15 ÷ 22 N/cm (fig.1.19).

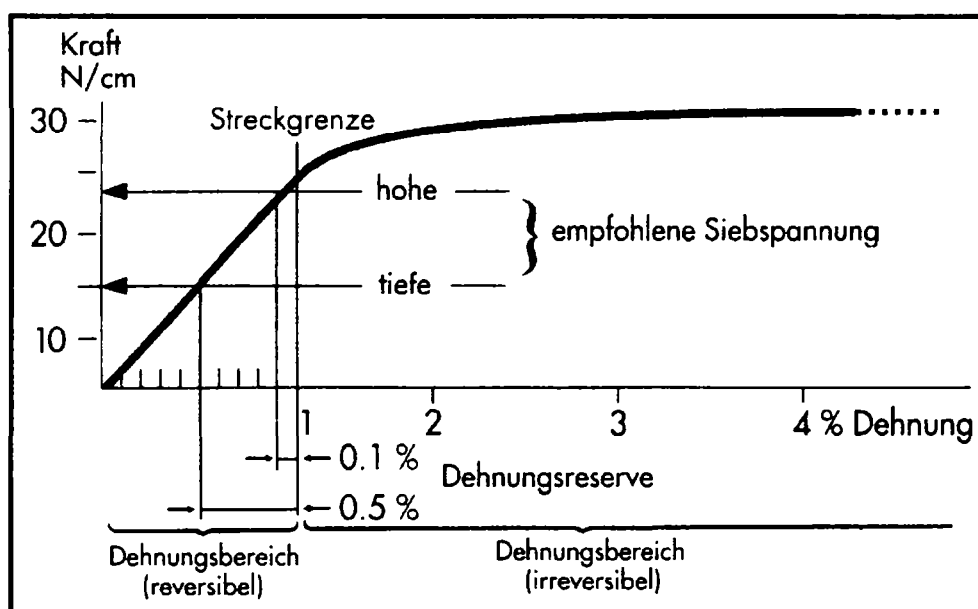


Fig.1.19. Caracteristica tensiune-deformatie-specifica pentru panze metalice

In cadrul procesului de imprimare este interzisa depasirea limitei de elasticitate a materialului din care este confectionata panza pentru a nu trece in domeniul deformatiilor

plastice, recomandandu-se luarea in considerare a unui interval de siguranta cuprins intre limitele 0,1 – 0,5‰.

Exemplu de simbolizare a panzei serigrafice cu semnificatia notatiilor:

100 - 40 W PW → tipul panzei (1 :1)

↓ ↓ ↓  
n d culoare: W – alb; Y - galben

#### 1.4. Serigrafia. Principii generale. Domenii de utilizare

La ora actuala aproape ca nu exista persoana care in activitatile sale curente sa nu se intalneasca cu produse realizate prin serigrafie. Serigrafia este modul de imprimare ideal in cazul unor productii de serie medie sau mare datorita costurilor reduse ce revin pe bucata in aceste cazuri. In cazul unor motive complicate, cu o bogata paleta de culori, realizate in serie mica, nu este recomandata serigrafia datorita costurilor ridicate si a mijloacelor necesare.

Ca procedeu de imprimare, serigrafia se utilizeaza in multe domenii, acestea putand fi clasificate dupa cum urmeaza:

- domeniul grafic;
- domeniul decorativ si arta serigrafica (stilul pop-art);
- domeniul industrial.

In fig. 1.20 sunt prezentate cateva produse specifice obtinute prin serigrafie.

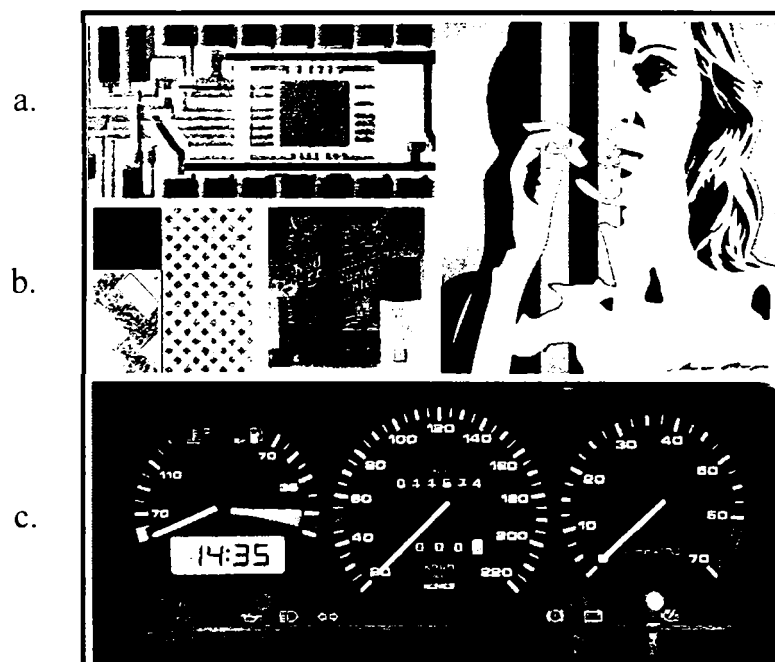


Fig. 1.20 Utilizarea serigrafiei a- aplicatii industriale, b- aplicatii decorative  
c- aplicatii grafice / industriale



Serigrafia este o tehnica de imprimare pe materiale metalice sau nemetalice cu ajutorul careia care se pot realiza contururi sau trasee complexe cu o precizie ridicata.

Principiul metodei (fig.1.21) consta in fixarea tensionata a unei panze serigrafice (metalice sau nemetalice) pe o rama serigrafica (4). Sub panza serigrafica (rama serigrafica), pe masa serigrafica (1), se fixeaza materialul de baza (2) pe care se doreste imprimarea substantei de acoperire (3) (vopsea, lac).

Pe panza se lipeste sablonul serigrafic (5) care, prin zonele sale opace si transparente (permeabile), realizeaza modelul ce trebuie imprimat pe materialul de baza.

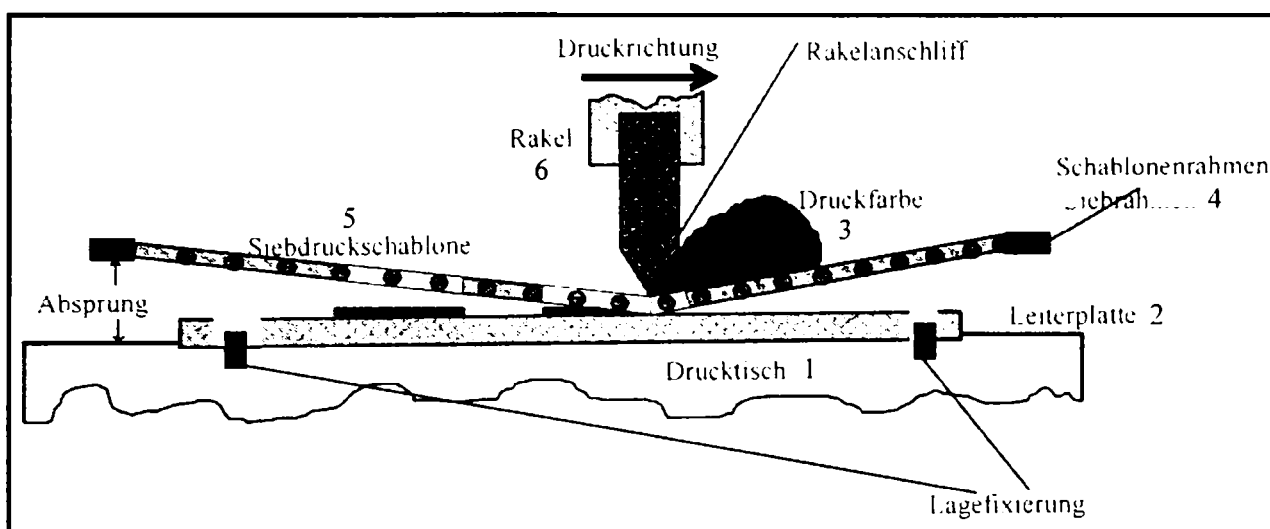


Fig. 1.21 Principiul serigrafiei

Peste sablonul serigrafic se aplica substanta de acoperire (3) cu ajutorul unei raclete (6) actionata in directia de imprimare pe intreaga suprafata a ramei serigrafice. Aplicarea substantei de acoperire (prin dozarea corespunzatoare a acesteia si actionarea racletei) se poate realiza fie manual fie mecanic, cu ajutorul masinilor serigrafice, in acest caz viteza de imprimare putand atinge cateva mii de foi sau obiecte pe ora. Astfel, substanta de acoperire este depusa prin zonele permeabile (perforate) ale sablonului pe suprafata materialului de baza care cuprinde zone neacoperite si zone acoperite cu substanta protectoare. Uscarea straturilor de vopsea depuse succesiv (in cazul unei imprimari color) se poate realiza manual sau in cele mai multe cazuri prin tehnici de uscare sau de polimerizare utilizand aerul cald, radiatiile infrarosii (I.R) sau razele ultraviolete (U.V).

Calitatea imprimarii realizate depinde in mare masura de tensionarea panzei serigrafice pe cele doua directii (laturile perpendiculare ale ramei), respectiv de tensiunile interne din panza serigrafica.

Tehnica imprimarii industriale in zone si straturi inguste respectiv foarte inguste dar "groase" (inalte) cum sunt circuitele electronice imprimate, este domeniul in care

serigrafia practic nu are concurenta deoarece foliile conductoare inguste si groase au un pret net superior. Insa punerea in practica a acestei tehnici cu cerințe mai speciale este o operatie delicata datorita faptului ca odata cu cresterea grosimii (inaltimii) stratului depus sunt necesare mai multe depuneri in straturi succesive respectiv uscarea completa a fiecarui strat pentru a putea trece la urmatorul, riscul ca stratul(rile) depus(e) sa se dezlipeasca datorita exfolierii fiind foarte mare. Devine deci necesara realizarea unei tehnici de imprimare serigrafice care sa permita obtinerea rapida a unui strat "gros", ingust și solid. La ora actuala se pot obtine straturi cu grosimi de maxim 1 mm fara uscare intermediara cu ajutorul unor emulsii speciale (Expert CEP). Principiul general consta in depunerea straturilor de emulsii din interiorul ramei serigrafice catre exteriorul acesteia, adica prin panza serigrafica, fiecare nou strat depus impingand-ul pe precedentul prin panza pe materialul de baza respectiv pe stratul depus anterior.

Pentru ca emulsia sa patrunda bine în panza serigrafica primele doua straturi se depun pe exteriorul panzei. Urmatoarele straturi depuse vor presa acest strat prin sablonul respectiv panza serigrafica ca niste prese minuscule pe suprafata destinata acoperirii.

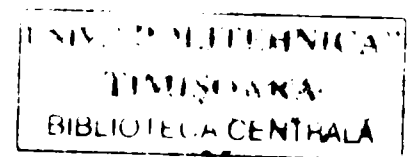
Straturile necesare obtinerii grosimii dorite (primele doua si urmatoarele) sunt aplicate fara uscare intermediara. Stratul final care se formeaza, prin depunerile succesive, este omogen in toata grosimea sa, spre deosebire de stratul obtinut prin tehnica traditionala care creeaza o structura stratificata datorita uscarilor succesive.

Uscarea finala (după obtinerea grosimii dorite) se realizeaza printr-o tehnica adecvata (aer cald, I.R., U.V) respectand procedura rotirii succesive a ramei serigrafice in primele minute de uscare.

Principalele elemente necesare implementarii procesului serigrafic, indiferent de categoria de aplicatii, sunt:

- a). ramele serigrafice;
- b). panzele serigrafice;
- c). vopselele serigrafice;
- d). sabloanele serigrafice;
- e). dispozitive de tensionare si lipire a panzei;
- f). racletele.

In cele ce urmeaza se vor prezenta principalele caracteristici ale acestor elemente.



## 1.5. Componente de baza al procesului serigrafic

### 1.5.1. Ramele serigrafice

Ramele serigrafice servesc la sustinerea panzei respectiv a sablonului serigrafic. Principalele caracteristici (zone specifice si dimensiuni de gabarit) ale diverselor tipuri de rame serigrafice sunt prezentate in fig.1.22 respectiv tab.1.2.

Principalele zone specifice ale ramelor serigrafice sunt (fig.1.22):

- zona de imprimare efectiva (A);
- zona de aplicare a vopselei serigrafice (B);
- zona exterioara a ramei (C).

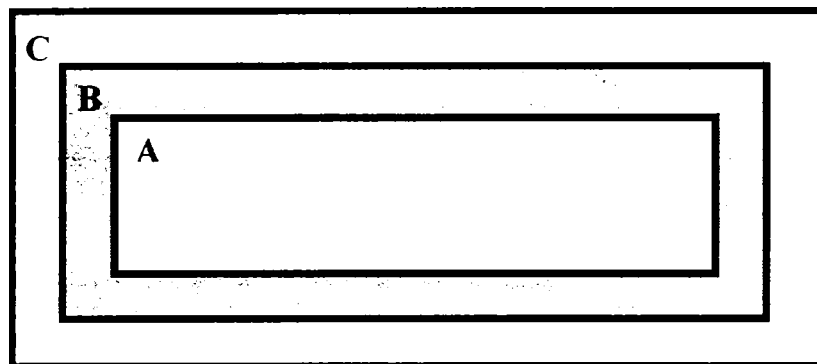


Fig.1.22. Rama serigrafica cu zonele sale specifice

Pentru obtinerea unor imprimari serigrafice de calitate se recomanda ca zona de aplicare a vopselei (B) sa nu fie depasita.

Tab. 1.2. Formatele principalelor tipuri de rame serigrafice

Format DIN	Zona de imprimare (A) [cm]	Zona de aplicare (B) [cm]	Zona exterioara (C) [cm]	Profil Al, grosime pereti [mm]	Profil otel, grosime pereti [mm]
A 4	21 × 30	36 × 45	51 × 60	40 / 40 2,5 – 3,0	40 / 40 1,5
A 3	30 × 42	45 × 57	60 × 72		
A 2	42 × 59	57 × 75	72 × 89		
A 1	59 × 84	75 × 102	91 × 116	40 / 50 3,0	40 / 50 2,0
A 0	84 × 118	102 × 136	120 × 154	40 / 60 3,0	

In fig.1.23. sunt prezentate cateva forme constructive de rame (1.23.a) serigrafice si tipuri de profile specifice (1.23.b).

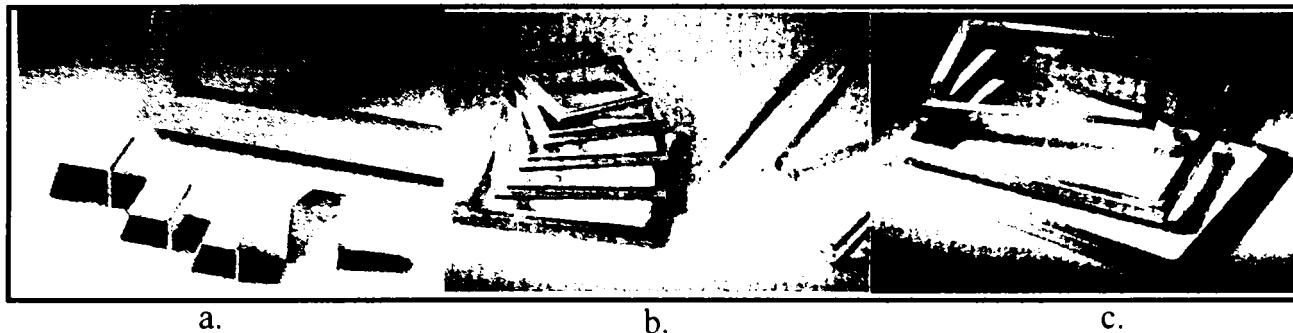


Fig. 1.23 Rame serigrafice

a – profile specifice b,c – forme constructive

Principalele *materiale pentru ramele serigrafice* sunt otelurile sau alumiul. Datorita coeficientului de dilatare mai scazut, spre exemplu la o diferenta de temperatura de  $10^{\circ}\text{C}$  dilatarea otelului este  $0,14\text{ mm/cm}$  fata de  $0,26\text{ mm/cm}$  in cazul alumiului, ramele de otel sunt mai stabile dar mai grele ( $\rho_{\text{Fe}} = 7,8\text{ g/cm}^3$ ,  $\rho_{\text{Al}} = 2,7\text{ g/cm}^3$ ).

Greutatea mai scazuta si rezistenta lor la coroziune fac ca alumiul sa fie materialul preferat in confectionarea ramelor serigrafice.

### 1.5.2 Vopsele serigrafice

Vopselele (cernelurile) serigrafice conditioneaza, prin calitatea lor, calitatea rezultatului final al procesului de imprimare (produsul obtinut).

Cu dezvoltarea noilor tehnologii numerice de imprimare vopselele au devenit parte integranta a procesului de imprimare, avandu-se in vedere diferite tipuri de vopsele care sa optimizeze procesul de imprimare.

Metodele traditionale de imprimare (offset, flexografie, heliogravura, etc) nu depind in mod direct de utilizarea unui anumit tip de cerneala, decizia achizitionarii unui anumit tip de cerneala fiind influentata de regula de pretul si nu de calitatea acesteia.

Tehnica de imprimare serigrafica este direct influentata de calitatea cernelii utilizate. Astfel, la ora actuala exista o larga gama de cerneluri practic pentru fiecare tip de masina serigrafica pentru a optimiza procesul de imprimare.

Principalele caracteristici ale cernelurilor tipografice sunt:

- vascozitatea;

- solubilitatea la diversi solventi;
- uscarea rapida;
- permanenta culorii (stabilitatea in timp);
- rezistenta la agenti atmosferici / coroziune.

La ora actuala exista patru mari categorii de cerneluri tipografice:

- cerneluri apoase;
- cerneluri pe baza de ulei;
- cerneluri pe baza de solventi;
- cerneluri de polimerizare U.V.

O problema importanta in domeniul imprimarii il constituie poluarea atmosferica ( a aerului si a apei) de catre vopselele sau solventii utilizati pe parcursul procesului de imprimare sau dupa terminarea acestuia (curatirea uneltelor).

Pentru prevenirea poluarii atmosferice in ultimii ani s-a trecut la utilizarea cernelurilor de polimerizare in U.V.

Cernelurile U.V. au la baza, ca si celelalte tipuri de cerneluri, oligomeri (polyesteri, epoxy-polyesteri, polyesteri acrilati) monomeri lichizi (acrilati) pentru diminuarea vascozitatii (diluanti), pigmenti (culori) sau diversi aditivi (agenti stabilizatori, corectori de tensiuni, materiale foto sensibile).

Materialele aditive fotosensibile sunt raspunzatoare de transformarea oligomerilor si a monomerilor (instabili) sub actiunea razelor U.V., in polymeri solizi (stabili) evitandu-se astfel pierderile de substante poluante (emisii de solventi, particule de vopsea).

### **1.5.3. Sabloane serigrafice**

Sablonul serigrafic, prin calitatile sale, determina calitatea imprimarii care depinde in principal de: rama serigrafica, panza serigrafica si tipul de sablon.

Alegerea tipului de sablon, optim pentru un anumit proces de imprimare, are in vedere in general urmatoarele aspecte :

- grosimea stratului de vopsea ce urmeaza a fi aplicat pe sablon;
- calitatea muchiilor (conturului) sablonului;
- precizia de reproducere (calitatea imaginii);
- cerintele de imprimare / uscare.

În fig.1.24. se prezinta forma constructiva a unui sablon (metalic) iar fig.1.25 scoate in evidenta importanta calitatii (prelucrarii) muchiilor conturului de sablon.

In functie de metodele de realizare, sabloanele pot fi:

- fotosablon direct;
- fotosablon indirect;
- fotosablon combinat (direct – indirect);
- film capilar.

Fotosablonul direct se obtine prin iluminarea sablonului (depus manual sau automat pe panza serigrafica).

Fotosablonul indirect se obtine prin iluminarea sablonului, dupa obtinerea acestuia realizandu-se solidarizarea sa cu panza serigrafica.

Fotosablonul combinat se obtine prin ancorarea filmului de sablon, cu ajutorul unei solutii de copiat, pe suprafata panzei dupa care acest ansamblu este expus la lumina.

Metoda filmului capilar utilizeaza absorbtia emulsiilor prin panza serigrafica umeda. Fortele capilare ce apar in zonele deschise ale panzei confera o aderenta foarte buna filmului pe suprafata acesteia.

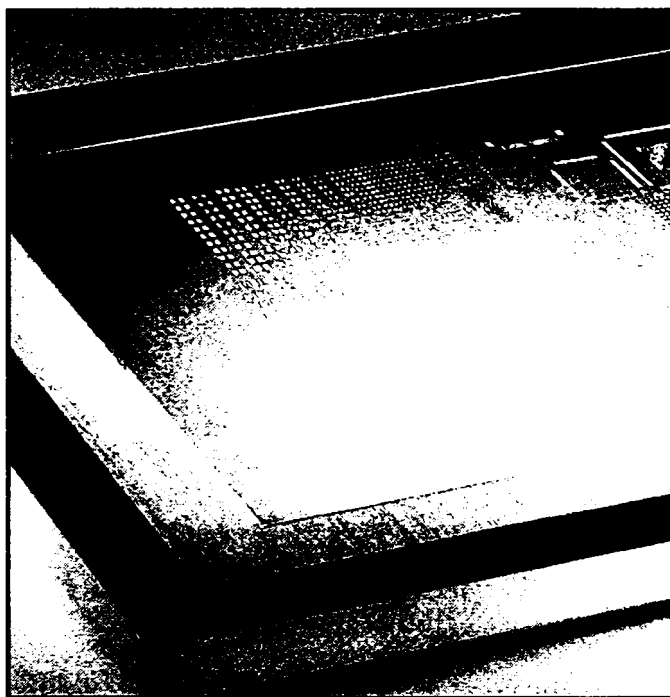


Fig. 1.24 Sablon serigrafic metalic

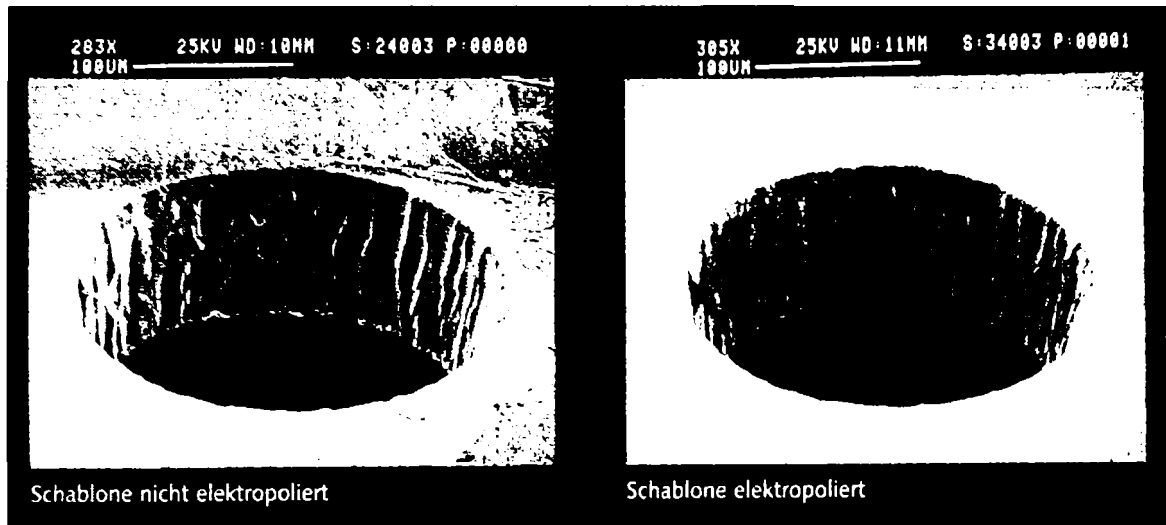


Fig.1.25 Importanta calitatii prelucrarii conturului de sablon

Daca grosimea sablonului este prea mica aceasta poate influenta negativ calitatea imprimarii (v.fig.1.26 Abb. 4,5,6), provocand mazgalirea conturului la imprimare (fig.1.26 Abb. 6), cu o grosime corespunzatoare de sablon obtinandu-se o imprimare de buna calitate (fig. 1.26 Abb. 1,2,3).

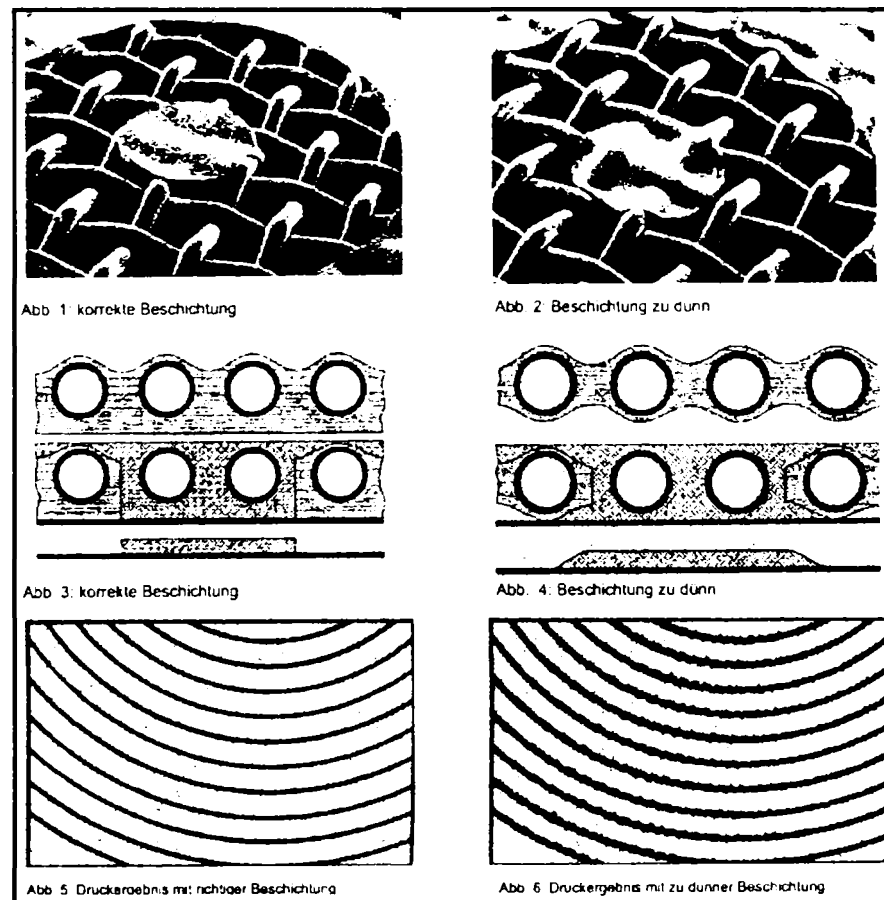


Fig. 1.26 Influenta grosimii sablonului asupra calitatii imprimarii

### 1.5.4. Dispozitive de tensionare si lipire a panzei serigrafice

Pentru realizarea tensionarii panzei serigrafice se utilizeaza urmatoarele mijloace de tensionare:

- tensionare prin actionare mecanica;
- tensionare prin actionare pneumatica;
- tensionare prin actionare hidraulica.

Sistemele cu tensionare mecanica utilizeaza de regula cupla surub – piulita pentru realizarea tensionarii (v.fig.1.27).

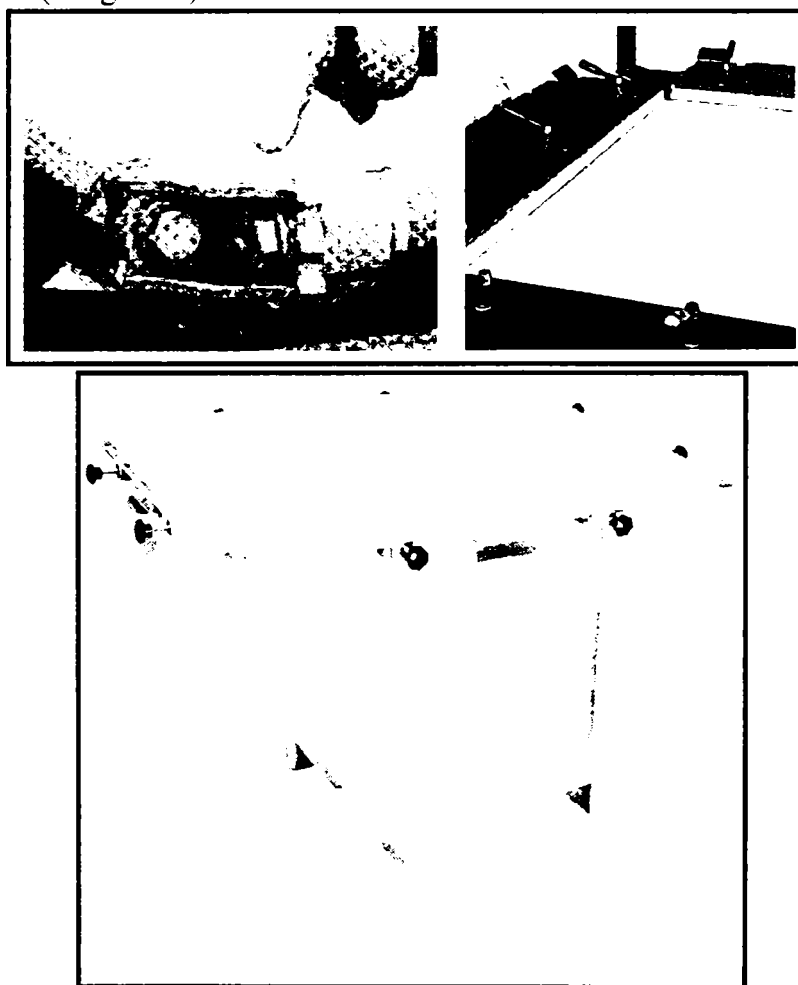


Fig.1.27. Sisteme de tensionare mecanice (cu surub).

Sistemele pneumatice sau hidraulice utilizeaza cilindri (pneumatici sau hidraulici) montati pe rama serigrafica. Principalele tipuri de cilindri de tensionare si modul lor de fixare pe rama serigrafica sunt prezentate in fig.1.28 a si b, fig.1.29, scotandu-se in evidenta rama serigrafica cu sistemul de tensionare montat pe laturile sale.

Sistemele de tensionare trebuie sa asigure o tensionare uniforma a panzei serigrafice (fara producerea cutelor) si sa permita obtinerea sagetii (H) specifice procesului in timpul imprimarii (v.fig.1.30).



O tensionare mai mare determina o sageata (H) mai mica si mareste in acelasi timp calitatea imprimarii obtinute prin procesul serigrafic.

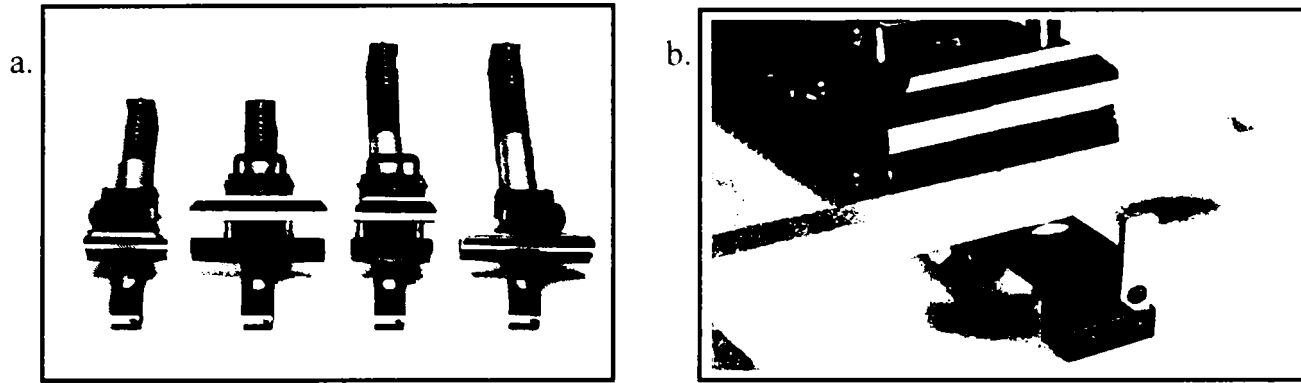


Fig. 1.28 Cilindri pneumatici / hidraulici

a- tipuri constructive, b – mod de fixare pe rama serigrafica

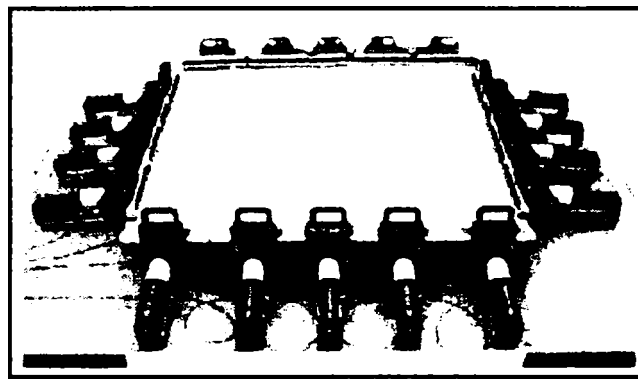


Fig. 1.29 Rama serigrafica cu sistem de tensionare pneumatic / hidraulic

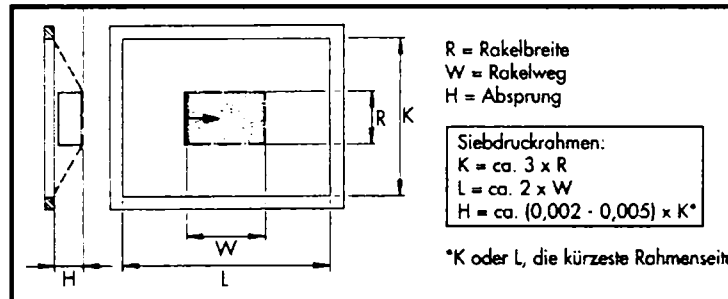


Fig. 1.30 Sageata (H) necesara procesului de imprimare

Tensionarea panzei poate fi dreapta (fig.1.31.a) sau oblica (fig.1.31.b).

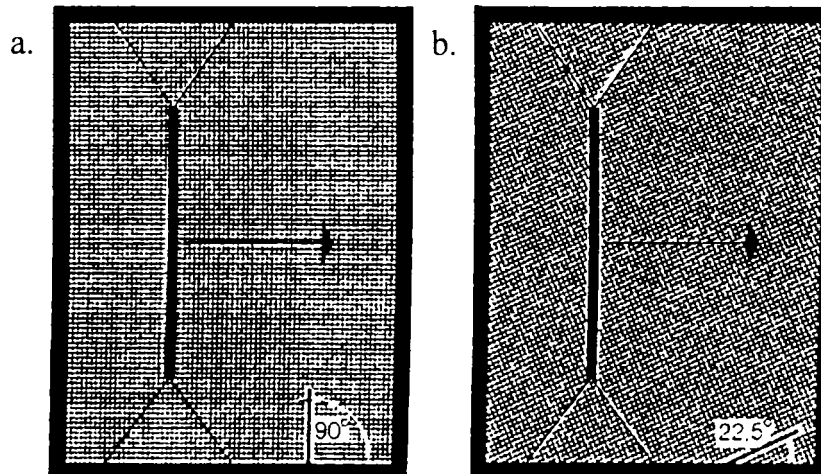


Fig.1.31. Tipuri de tensionare; a – dreapta, b - oblica

O tensionare oblica (la  $22,5^0$ ) contribuie la cresterea portantei panzei.

La orice tip de sistem de tensionare (mecanic, hidraulic, pneumatic, drept sau oblic) este foarte importanta masurarea tensiunilor aplicate pentru evitarea supraindierii panzei. Tensiunile aplicate se masoara in N/cm respectiv N/inch.

Tensionarea se realizeaza succesiv (cu o forta de tragere uzuala in trepte de 5 N/cm) cu pauze de  $30 \div 60$  secunde intre tensionari pana la atingerea nivelului de tensionare admis (care variaza in functie de materialul panzei si parametrii procesului de imprimare).

Pentru mentinerea tensionarii corespunzatoare, panza se lipeste pe rama serigrafica utilizandu-se substante adezive specifice.

Principalele caracteristici ale adezivilor, ce asigura o solidarizare adecvata a panzei cu rama serigrafica sunt:

- uscarea rapida;
- lipirea uniforma;
- rezistenta la solventi si agenti de curatire.

Calitatea lipirii nu depinde doar de calitatea adezivului ci si de aplicarea omogena a acestuia pe suprafete si de gradul de curatire ale suprafetelor destinate solidarizarii.

### **1.5.5. Raclete serigrafice**

Racletele serigrafice au rolul de a asigura aplicarea uniforma a substantelor de acoperire (lacuri, vopsele) pe suprafata panzei / sablonului serigrafic.

Ele sunt realizate din fasii plastice (deformabile) de polyuretan montate in manere sau dispozitive de actionare.

Principalele caracteristici ale racletelor sunt:

- duritatea;
- profilul;
- presiunea de apasare;
- unghiul de inclinare al racletei.

Duritatea racletei se masoara in Shore, in functie de duritate se deosebesc:

- raclete moi ( $65 \pm 5$  Shore A);
- raclete semidure ( $75 \pm 5$  Shore A);
- raclete dure ( $85 \pm 5$  Shore A).

Racletele dure necesita o presiune de apasare mai mare pentru aplicarea cantitatii de substanta pe sablon, cele mai moi se pot deforma excesiv (daca presiunea de apasare este prea mare) si pot produce o calitate inadecvata a imprimarii (mazgalire).

In functie de diversele tipuri aplicatiilor serigrafice putem deosebi raclete cu profil drept, inclinat sau rotund (v.fig.1.32).

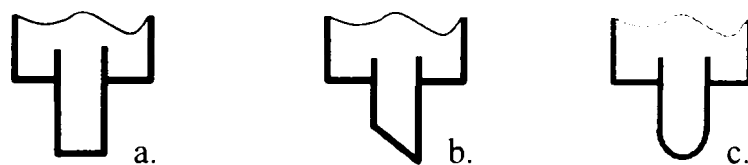


Fig.1.32. Raclete cu profil drept (a), inclinat (b) sau rotund (c).

In timpul imprimarii este necesara mentinerea constanta a fortei de apasare si a vitezei de avans pentru depunerea uniforma a substantei de acoperire pe sablon si obtinerea unei imprimari de calitate.

In functie de procedeul de fabricatie deosebim raclete clasice (obtinute prin prelucrare de material) sau raclete prefabricate direct la forma si lungimea dorita. Calitatea si durata de viata a racletelor prefabricate este mai mare comparativ cu cele clasice.

Dupa modul lor de actionare, racletele pot fi de doua categorii:

- raclete actionate manual;
- raclete actionate automat.

Racletele actionate manual sunt de regula de dimensiuni mai mici (10 ÷ 100 mm) prevazute cu maner pentru manevrabilitate facila (fig.1.33).

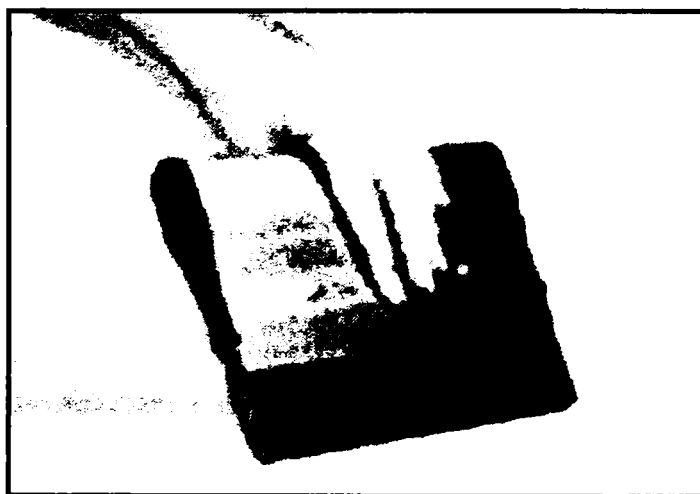


Fig.1.33. Raclete actionate manual

Racletele actionate automat sunt adaptabile diverselor tipuri de masini de imprimare, lama-port racleta putand fi fixata in sistemul de actionare al masinii serigrafice (v.fig.1.34).

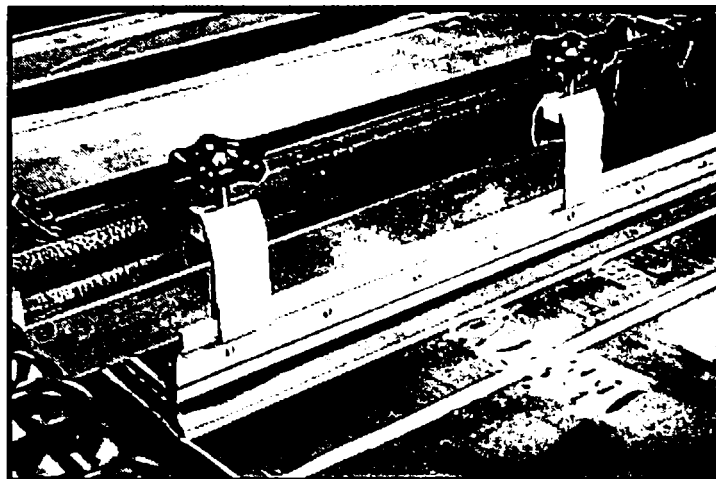


Fig. 1.34 Racleta actionata automat

Pentru absorbtia vibratiilor produse de masinile serigrafice, racletele sunt de tip pachet (v.fig.1.35), formate din mai multe straturi de diverse grosimi si duritati (raclete absorbante de vibratii).

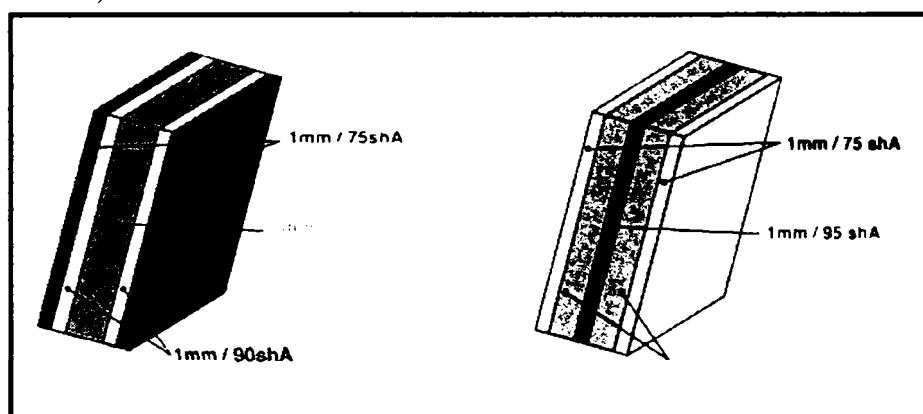


Fig.1.35. Raclete absorbante de vibratii

Straturile exterioare de duritate scazuta (75 shA) au rolul de a amortiza vibratiile si de a controla depunerea uniforma a vopselei, miezul central rigid (90 ÷ 95 shA) conservand unghiul de inclinare al racletei. Dimensiunile principale de gabarit sunt:

- lungime : 3660 mm;
- latime : 50 mm;
- grosime : 9 mm.

## 1.6. Masini serigrafice

Pentru cresterea productivitatii procesului de imprimare s-au realizat masini serigrafice care reunesc componentele prezentate anterior.

In functie de gradul de automatizare deosebim masini serigrafice semiautomate si automate. La masinile semiautomate, pentru unele faze ale procesului este necesara interventia operatorului uman, cele automate realizand imprimarea complet automat.

Principalele parti componente ale masinilor serigrafice sunt:

- masa (batiul) serigrafic pe care se fixeaza rama serigrafica;
- dispozitivele de fixare / tensionare a panzei serigrafice;
- dispozitivele de masurare a tensionarii panzei serigrafice;
- dispozitivele de preparare / vehiculare a substantelor adezive si a substantelor protectoare (lacuri, vopsele);
- dispozitivele de fixare si avans a racletei;
- dispozitivele de iluminare U.V., I.R. (daca este cazul);
- dispozitivele de ventilare / uscare (aer cald, U.V.);
- dispozitivele de evacuare deseuri (vopsea, solventi), curatire.
- dispozitive de comanda, numarare, avertisment, de securitate.

Fig.1.36 prezinta o vedere generala a unei masini serigrafice semiautomate.

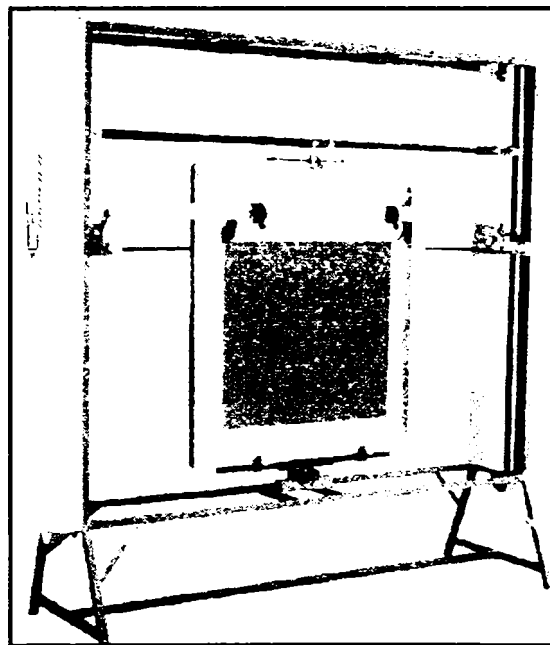


Fig.1.36 Masina serigrafica semiautomata

In fig.1.37 sunt redatate diverse tipuri de masini serigrafice automate.

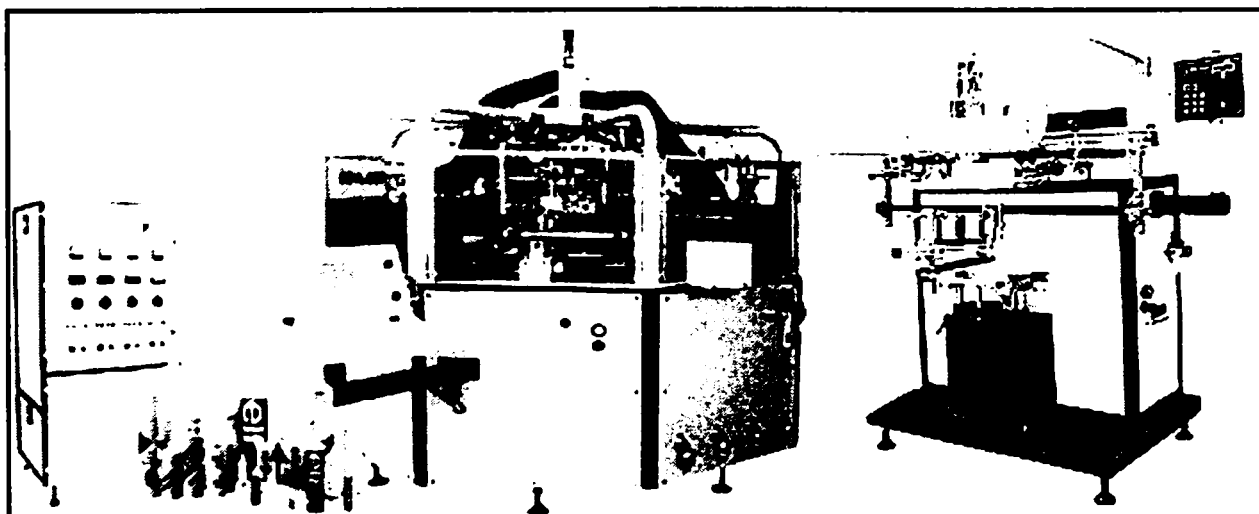


Fig. 1.37 Masini serigrafice automate

## Cap. 2 Stadiul actual în domeniul măsurării solicitărilor și a tensiunilor mecanice în panze

### 2.1 Tipuri de solicitări. Metode de măsurare

Asupra corpurilor elementelor pot acționa sarcini exterioare care sunt de tipul forțelor sau momentelor.

Aceste sarcini supun elementele, asupra cărora acționează, unor solicitări mecanice care în funcție de natura acțiunii externe (de interes pentru prezenta lucrare) pot fi :

- de încovoiere
- de întindere

În cele ce urmează se vor sintetiza, la nivel de principiu, aceste tipuri de solicitări și se vor prezenta câteva modalități actuale de măsurare acestora.

*Solicitarea de încovoiere:* apare în cazul acțiunii asupra elementului sensibil, având lungimea  $l$  a unei forțe  $F$  aplicată pe elementul respectiv cu un capăt liber și un capăt încastrat (vezi fig.2.1 a), rezultând o deformare  $\delta$  determinabilă matematic prin relația:

$$\delta = \frac{F \cdot l^3}{3EI_z} \quad (2.1)$$

iar deformarea unghiulară are valoarea:

$$\varphi = \arctan \frac{\delta}{l} \quad (2.2)$$

unde:

$E$  – modulul de elasticitate longitudinal  $\langle \text{N/mm}^2 \rangle$ ,  
 $I_z$  – momentul de inerție  $\langle \text{mm}^4 \rangle$

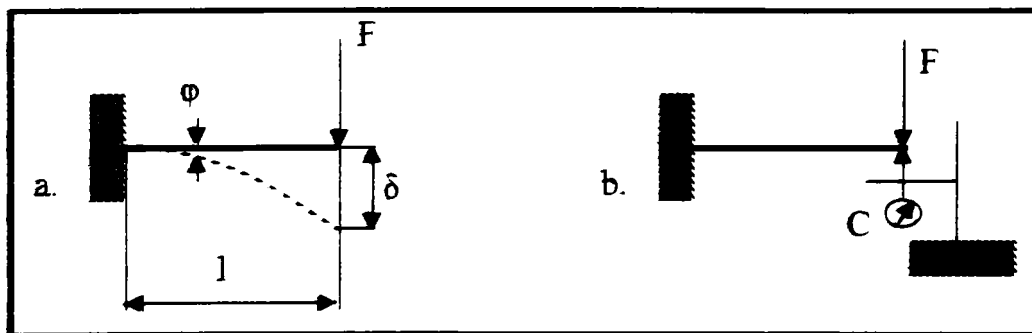


Fig. 2.1 Încovoierea elementului elastic solicitat de forța  $F$   
a.- principiu, b.- mod de măsurare a deformăției pe cale mecanică

Deformația  $\delta$  poate fi măsurată mecanic (de exemplu cu ajutorul unui comparator sau microcomparator, C – fig. 2.1 b) sau electric.

Principalele modalitati electrice de prelevare a semnalului (proportional cu deformatia elementului solicitat) si implicit a tensiunii mecanice, in cazul unor deformatii mici, sunt cele cu traductoare adecvate (tensorezistive, inductive, capacitive, etc.).

Sistemele tensorezistive de prelevare a semnalului utilizeaza ca elemente sensibile timbrele tensometrice (v.fig. 2.2 a)

In cazul utilizarii timbrelor tensometrice, acestea sunt lipite pe elementul a carui deformatie va fi masurata si sunt montate intr-o punte de masurare (Wheatstone) pentru a obtine semnalul de iesire ( $U_s$ ) de tip electric (vezi figura 2.2 b).

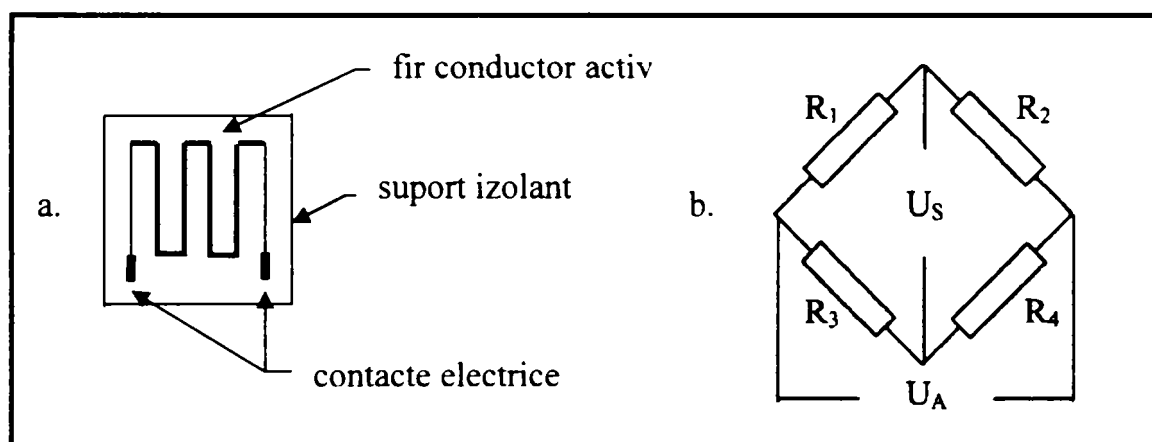


Fig.2.2. Timbru tensiometric (a) si puntea de masurare asociata (b)

Conditia de echilibru a puntii de masurare (tensiunea de iesire  $U_s = 0$ , pentru elementul nesolicitat) se realizeaza daca  $R_1 R_4 = R_2 R_3$ .

Ca urmare a solicitarii aplicate asupra elementului, timbrele tensometrice se deformeaza modificandu-si rezistenta electrica  $R$  conform expresiei:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (2.3)$$

unde:  $\rho$  - rezistivitatea materialului [ $\Omega m$ ];

$l$  - lungimea firului din care este realizata rezistenta [m];

$S$  - aria sectiunii conductorului [ $m^2$ ].

Modificarea rezistentei electrice produce aparitia unui semnal de iesire ( $U_s$ ) care este proportional cu deformatia elementului solicitat.

Timbrele tensiometrice pot avea si un rol de compensare termica ( $R_3$  si  $R_4$ ) ele fiind de acelasi tip ca si cele active ( $R_1$  si  $R_2$ ), dar in acest caz ele sunt montate perpendicular pe directia timbrelor active.

In fig. 2.3 se prezinta doua exemple uzuale de masurare cu element elastic si prelevarea tensorezistiva a semnalului (a deformatiei). In primul caz se utilizeaza un dinamometru lamelar, care aproximeaza o bara de egala rezistenta la incovoiere si patru

trductoare (timbre) tensometrice rezistive, montate in vecinatatea zonei de incastrare, cate doua pe fiecare fata. Configuratia aceasta a arcului lamelar reduce, practic la zero, erorile cauzate de lungimea si pozitia timbrelor tensometrice.

Prin cele patru traductoare, montate in punte completa (v.fig. 2.4) se asigura atat sensibilitatea maxima cat si compensarea efectului perturbator al variatiei de temperatura.

Similar opereaza montajul tensometric aplicat in cazul unui dinamometru circular (fig. 2.3 b).

In ambele cazuri, semnalul de iesire din punte (o diferenta de potential  $U_e$ ) este proportional cu forta masurand.

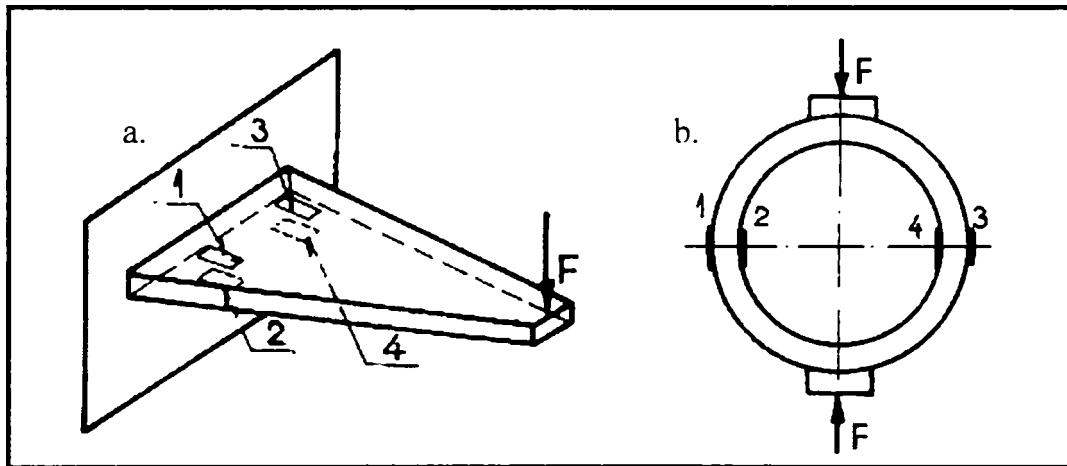


Fig. 2.3 Exemple de prelevare, prin intermediul traductoarelor tensometrice rezistive, a semnalelor (de deformatie) de la dinamometre cu element elastic.

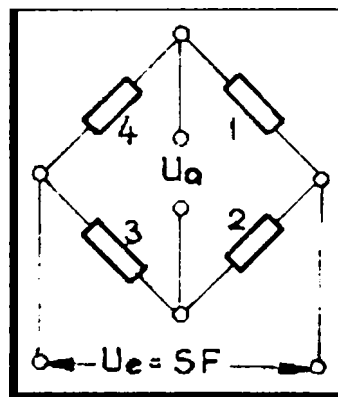


Fig. 2.4 Puntea tensometrica completa pentru prelevarea semnalului cu timbre tensometrice

*Solicitarea de intindere-compresiune:* reprezinta solicitarea elementului sub actiunea unei forte axiale  $F$  care produce alungirea (intinderea) sau scurtarea acestuia (compresiune) – v.fig. 2.5.

Relatia de echivalenta este:

$$F = \sigma_t \cdot A \quad [\text{N}] \quad (2.4)$$

unde:  $\sigma_t$  – tensiunea normala de intindere [MPa]



A – aria sectiunii transversale [mm<sup>2</sup>]

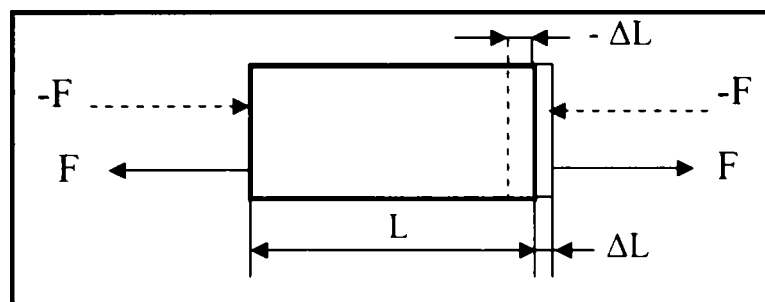


Fig. 2.5 Element sub actiunea sollicitarilor produse de forta F (-F)

Deformatiile produse se determina in baza legii lui Hooke:

- alungirea:

$$\Delta L = \frac{F \cdot L}{E \cdot A} \quad [\text{mm}] \quad (2.5)$$

F – forta [N];

L – lungimea elementului [mm];

E – modulul de elasticitate longitudinal al materialului elementului [N/mm<sup>2</sup>];

A – aria sectiunii transversale a elementului [mm<sup>2</sup>].

- scurtarea:

$$-\Delta L = \frac{F \cdot L}{E \cdot A} \quad [\text{mm}] \quad (2.6)$$

Relatia de echivalenta in cazul sollicitarii de compresiune:

$$F = \sigma_c \cdot A \quad [\text{N}] \quad (2.7)$$

in care  $\sigma_c$  este tensiunea normala la compresiune [MPa]

Principalele modalitati de masurare a deformatiilor de intindere-compresiune se pot realiza mecanic (fig. 2.6) sau electric (metoda tensometrica - fig.2.3 b, metoda coardei vibrante, metoda piezoelectrica sau magnetoelastica).

In fig. 2.6 sunt prezentate cateva dinamometre cu element elastic uzuale, acestea fiind in esenta niste “arcuri” de tractiune, compresiune sau pentru ambele tipuri de sollicitare, masurarea deformatiilor realizandu-se pe cale mecanica.

Directia si sensul de actionare a fortelor s-a marcat cu F si sageti, iar locul si directia de masurare, pe cale mecanica sau optica, a deformatiei s-a marcat cu sageti si simbolul  $\delta$ .

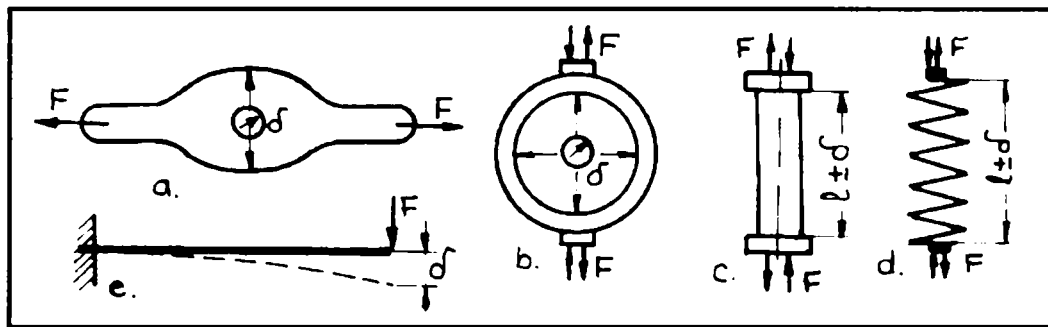


Fig. 2.6 Dinamometre cu element elastic. Exemple.

Astfel, pentru dinamometrul din fig. 2.6 a (numit dinamometru parabolic) forta de tractiune se exercita pe directie longitudinala, iar deformatia se masoara central pe directie transversala. La dinamometrul circular (b), fortele pot fi atat de tractiune cat si de compresiune, deformatia masurandu-se diametral, fie pe directia fortei fie pe o directie perpendiculara pe aceasta.

Pentru forte mari se poate utiliza, ca element elastic, o bara (plina sau tubulara) cu deformatii foarte mici pe directia fortei (cazul c). Sageata unui arc elicoidal de tractiune/compresiune (d), reprezinta marimea de iesire ( $\delta$ ) a unui astfel de dinamometru.

O alta modalitate de prelevare pe cale electrica a semnalului unui dinamometru cu element elastic capabil sa masoare forte de compresiune (pe langa metoda din fig. 2.3 b), o reprezinta traductorul cu coarda vibranta (fig. 2.7).

Un traductor cu coarda vibranta functioneaza pe principiul modificarii frecventei proprii de vibratie a unei coarde, in functie de forta care o intinde (exact ca in cazul "acordarii" unui instrument cu coarde pentru obtinerea unor sunete de diferite frecvente).

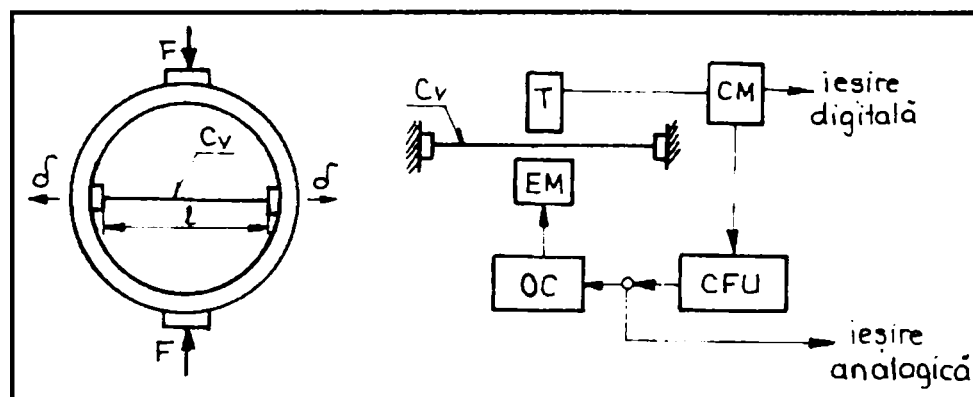


Fig. 2.7. Dinamometru cu coarda vibranta (a) si o modalitate de prelevare a semnalului (b).

Din ecuatia diferentiala a coardei vibrante rezulta frecventa proprie a acesteia ca fiind:

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot l} \cdot \sqrt{\frac{T}{\rho_1}} \text{ [Hz]}, \quad (2.8)$$

in care:

$T$  este forta de tensionare (intindere) a coardei [N];

$l$  - lungimea coardei [m];

$\rho_l$  - masa unitatii de lungime a coardei [kg/m].

Tensiunea din coarda ( $C_v$ ) apare ca urmare a deformatiei ( $\delta$ ) a elementului elastic al dinamometrului.

Excitarea coardei si prelevarea semnalului de frecventa a vibratiei acesteia se poate realiza in doua moduri:

- cu plasarea coardei vibrante in camp magnetic al unui magnet permanent si alimentarea ei cu un curent de frecventa variabila;
- cu excitarea electromagnetica a coardei, caz in care aceasta trebuie sa fie realizata dintr-un material feromagnetic.

In fig. 2.7 b se prezinta schema de principiu pentru varianta a doua, unde s-au facut notatiile: EM – electromagnet, OC – oscilator comandat (de frecventa variabila), T – traductor de proximitate (preferabil unul de tip inductiv), CM – circuitul electronic de masurare (a frecventei), CFU – convertor de frecventa – tensiune. Prin circuitul de reactie al acestei scheme se obtine frecventa proprie la rezonanta (semnal maxim).

Functionarea dinamometrelor piezoelectrice se bazeaza pe efectul piezoelectric, al unor materiale cristaline sau ceramice, de aparitie a unor sarcini electrice, la solicitarea mecanica a unei pastile confectionata din asemenea materiale.

Materialele cristaline utilizate pot fi naturale (cuartul) sau sintetice (sulfatul de litiu, fosfatul diacid de amoniu). Dintre materialele ceramice cu proprietati piezoelectrice se utilizeaza: titanul de bariu sau cel de plumb, zirconatul de plumb si titanatul de plumb si zirconiu. La un cristal de cuart (fig. 2.8 b) se identifica cele 3 directii (axe) specifice, forta putand actiona dupa directiile X sau Y, iar sarcinile electrice apar pe fetele paralele cu planul YOZ. Efectul maxim se obtine la actiunea fortei pe directia axei electrice X. Pentru cresterea semnalului obtinut, pastilele piezoelectrice se pot inseria, asa cum se prezinta in fig. 2.8 a, o solutie constructiva uzuala.

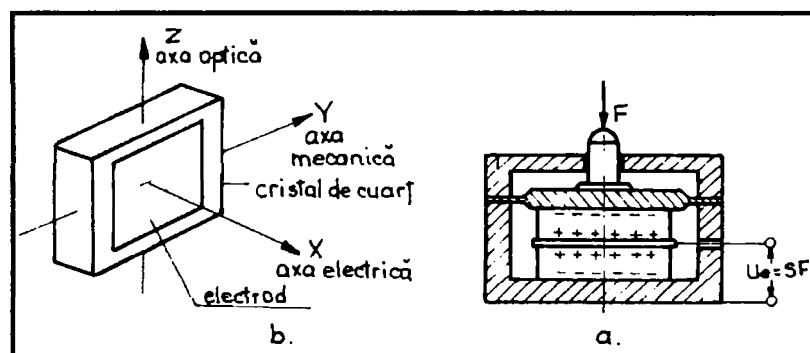


Fig. 2.8. Dinamometru piezoelectric (a) si cristalul piezoelectric (b)

Un material piezoelectric este caracterizat de constanta piezoelectrica, care descrie sensibilitatea lui, sub forma:

$$d_p = \frac{Q}{F} = \frac{C \cdot U}{F} \text{ [C/N]}, \quad (2.9)$$

in care:

Q este sarcina electrica rezultata pe fetele opuse ale pastilei piezoelectrice la aplicarea fortei F.

C – capacitatea electrica a pastilei la tensiunea U.

Frecventa proprie a acestor dinamometre este ridicata (de ordinul MHz), si din acest motiv se preteaza la masurari de forte in regim dinamic. Nu se recomanda folosirea dinamometrelor piezoelectrice la masurarea fortelor statice, datorita pierderilor de sarcina, montajul fiind capacitiv.

Dinamometrele magnetoelastice functioneaza in baza fenomenului cu aceiasi denumire, potrivit caruia, deformatiile elastice ale unui material feromagnetic, produc modificarea magnetizarii sau a reluctantei lui.

Magnetoelasticitatea reprezinta fenomenul opus magnetostrictiunii, prin care, sub actiunea unui camp magnetic, un corp feromagnetic isi modifica dimensiunile (la scara microscopica).

Principalele materiale feromagnetice, care se bucura de aceasta proprietate reversibila, sunt aliajele de fier cu nichel sau cobalt, aliajele nichel-cobalt (permalloy) si feritele.

In fig. 2.9 sunt prezentate cateva solutii uzuale de dinamometre magnetoelastice.

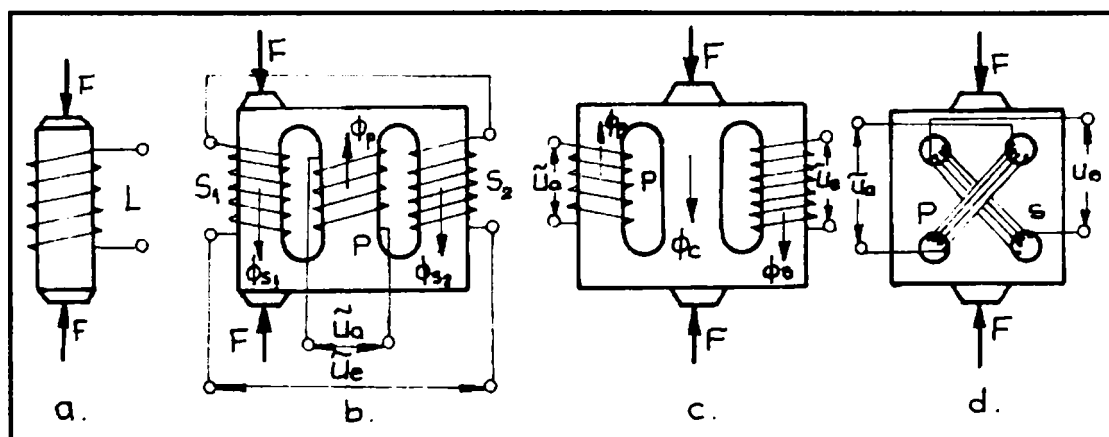


Fig. 2.9. Dinamometre magnetoelastice

Traductoarele magnetoelastice din compunerea lor pot fi de tip parametric sau generatoare (mai rar).

In fig. 2.9 a este prezentata cea mai simpla solutie, care poate fi atat de tip parametric, cat si generator. In primul caz, prin modificarea proprietatilor magnetice ale miezului sub actiunea fortei  $F$ , se modifica inductivitatea  $L$  a bobinei. In cel de al doilea caz, miezul bobinei este un magnet permanent, a carui magnetizare se modifica sub actiunea fortei  $F$  si ca urmare, in bobina se va induce o tensiune electromotoare. Solutia se aplica in cazul actiunii unor forte variabile.

Solutia din fig. 2.9 b este de tip transformator diferential cu secundarele identice  $S_1$  si  $S_2$  legate in opozitie. In absenta fortei, cu primarul  $P$  alimentat, datorita simetriei geometrice, electrice si magnetice, semnalul de iesire ( $U_e$ ) este nul. Daca forta actioneaza asupra miezului unuia dintre secundare ( $S_1$  in figura), atunci se produce o asimetrie magnetoelastica, care conduce la inegalitatea tensiunilor induse in secundar si deci se obtine un semnal de iesire  $U_e$ , aproximativ proportional cu forta  $F$ .

Dinamometrul magnetoelasic din fig. 2.9 c este de tip transformator simplu, la care miezul central, supus la forta  $F$ , joaca rolul de surs magnetic, astfel ca, fluxul magnetic prin secundar  $\Phi_s$ , variaza in functie de valoarea fluxului  $\Phi_c$  din coloana centrala. In acest caz nivelul tensiunii de iesire se modifica in raport cu nivelul tensiunii induse la  $F = 0$ .

Solutia din fig. 2.9 d, este tot de tip transformator, dar cu tensiunea nula in secundarul  $S$  la  $F = 0$ . Acest rezultat se poate obtine daca infasurarile primarului ( $P$ ) si secundarului ( $S$ ) sunt perpendiculare. Sub actiunea fortei  $F$  se realizeaza o asimetrie magnetoelastica a campului magnetic generat de infasurarea primara, astfel ca in secundar apare o tensiune electromotoare indusa ( $U_e$ ) aproximativ proportionala cu forta  $F$ .

## 2.2 Metode de masurare fara contact a tensiunilor mecanice

Solicitarile mecanice produc deformatii si tensiuni in elementele asupra carora actioneaza. Deformatiile, in unele cazuri si tensiunile, produse se pot scoate in evidenta prin sistemele de masurare prezentate anterior.

Pentru cazul specific de masurare a tensionarii panzelor serigrafice se mai poate utiliza o metoda foarte eficienta si anume difractograma Fraunhofer.

In propagarea undelor (luminoase sau acustice) se disting in general doua fenomene de baza: interferenta si difractia. Aceste fenomene pot sta la baza unor metode de masurare fara contact, care corespund starii fizice a mediilor investigate. Aplicand principiul difractiei Fraunhofer printr-o fanta, se poate realiza masurarea tensionarii panzei

serigrafice (panzele serigrafice se considera a fi corpuri materiale prevazute cu fante/ochiurile panzei).

Daca se ia in considerare o fanta (o deschidere dreptunghiulara) a carei lungime  $L$  este infinita in raport cu deschiderea  $a$  si asupra fantei cade o unda plana a carei directie de propagare este situata intr-un plan normal pe fanta si paralel cu latura  $a$  formand unghiul  $\varphi_0$  cu normala la fanta (v. fig.2.10 a), atunci unda luminoasa va suferi o difractie sub toate unghiurile formate in raport cu normala la fanta daca unghiurile sunt cuprinse in intervalul

$$-\frac{\pi}{2} \leq \varphi \leq \frac{\pi}{2}.$$

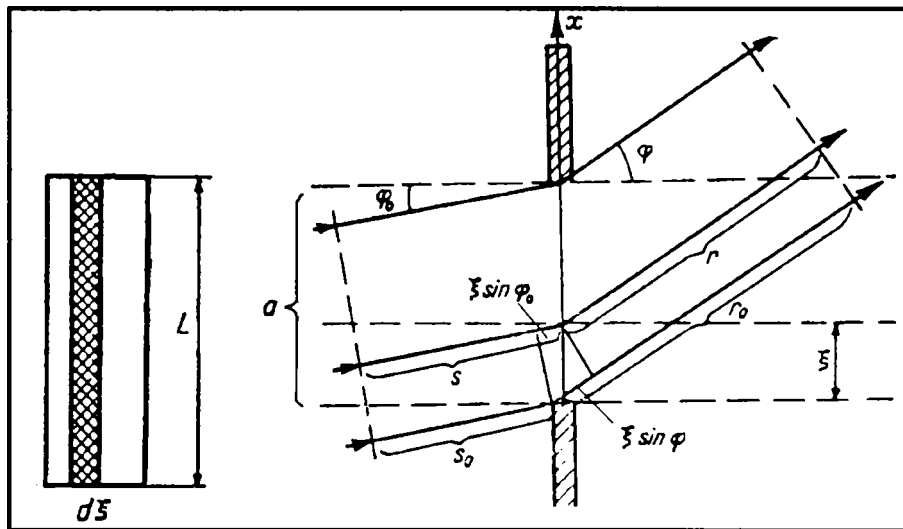


Fig. 2.10 a Difractia Fraunhofer pe o fanta

Expresia intensitatii unei refractate are valoarea [31]:

$$I(\alpha) = I_0 \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha^2}, \text{ unde } \alpha = \frac{k}{2} a (\sin \varphi - \sin \varphi_0) \quad (2.10)$$

Intensitatea unei este minima ori de cate ori este indeplinita conditia  $\sin \alpha = 0$ , adica  $\alpha = m\pi$  ( $m = 0, 1, 2, 3, \dots$ ). Variatia intensitatii unei refractate in functie de parametrul  $\alpha$ , impreuna cu figura de difractie corespunzatoare, este prezentata in fig. 2.10 b.

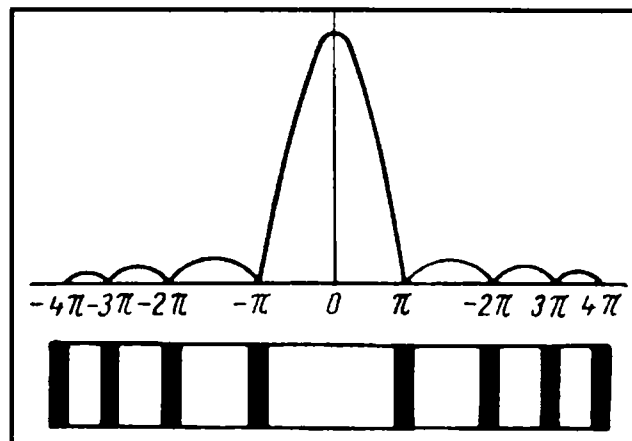


Fig. 2.10 b Curba  $I = I(\alpha)$  si figura de difractie aferenta

Largimea figurii de difracție depinde de raportul dintre lungimea de unda  $\lambda$  și deschiderea  $a$ , a fantei. Aceasta deschidere a figurii de difracție se poate aprecia prin unghiul cuprins între centrul maximului principal și primul minim. Pentru incidența normală pe rețea acest unghi este dat de relația [31]:

$$\varphi_1 = \arcsin \frac{\lambda}{a} \quad (2.11)$$

Dacă  $a \gg \lambda$  atunci acest unghi este neglijabil, adică figura de difracție se reduce la imaginea fantei. Dacă deschiderea fantei ( $a$ ) se micșorează figura de difracție se etalează din ce în ce mai mult, maximul principal devine din ce în ce mai aplatizat deoarece aria cuprinsă sub curba trebuie să-și păstreze valoarea constantă egală cu intensitatea unde incidente pe rețea. În cazul  $\lambda = a$  maximul principal se extinde în tot câmpul. Pentru valori  $\lambda \gg a$  nu se obține nici o figură de difracție, relația (2.10) neavând sens.

Măsurarea tensionării panzei utilizând principiul difractogramei Fraunhofer se bazează pe iluminarea monocromatică a panzei tensionate cu ajutorul unei surse monocromatice (Emitator), pe partea opusă aflându-se o cameră CCD (Receptor) cu posibilitatea conectării la un monitor pe care se pot vizualiza franjele rezultate. Franjele sunt echidistante la aceeași tensionare dar vor fi decalate în cazul unei tensionări diferite a panzei (obținându-se distanțe de interfranje  $\Delta y$  diferite).

Sursa de lumină (Emitatorul) și camera CCD (Receptorul) se află pe același suport cu posibilitatea deplasării acestuia în vederea baleierii panzei pe întreaga lungime. Astfel prin franjele obținute (forma și decalajul acestora) se poate determina tensionarea panzei practic în orice punct al acesteia. Principiul aferent metodei difractometrice Fraunhofer este prezentată în fig. 2.10 c.

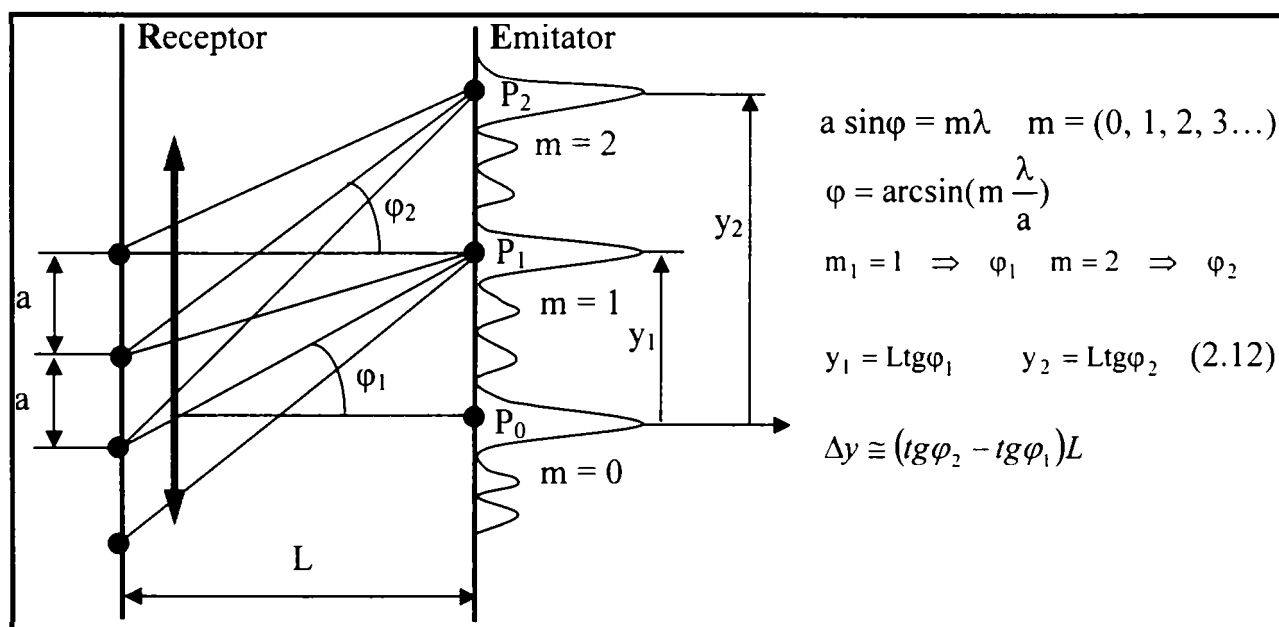


Fig. 2.10 c Metoda Fraunhofer - principiu

Metoda de masurare a tensionarii firului conform principiului difractiei Fraunhofer se poate pune in practica considerand un ochi de panza din vecinatatea fibrei centrale si unul din fibra exterioara, determinand doua difractograme pentru cele doua ochiuri considerate. Aceste difractograme vor fi diferite datorita tensionarii diferite a panzei.

Daca o panza este tensionata axial cu o forta unidimensionala ( $F$ ) si perpendicular pe aceasta directie cu o alta forta ( $F$ ) atunci tensiunea nu se repartizeaza uniform pe suprafata panzei (v.fig. 2.11). Astfel fibra marginala se va curba in timp ce fibra centrala ramane nedeformata, fapt explicabil prin tensionarea diferita a firului. Analog, si finetea panzei inregistreaza o variatie diferita, cea marginala ( $P_{xc}$ ) se va diminua mai mult decat cea centrala ( $P_{xi}$ ). Fibra marginala se deformeaza dupa o hiperbola, inregistrandu-se alungiri ale fibrei ( $\varepsilon$  si  $-\varepsilon$ ) proportionale cu fortele aplicate ( $F$ ) pe cele doua directii.

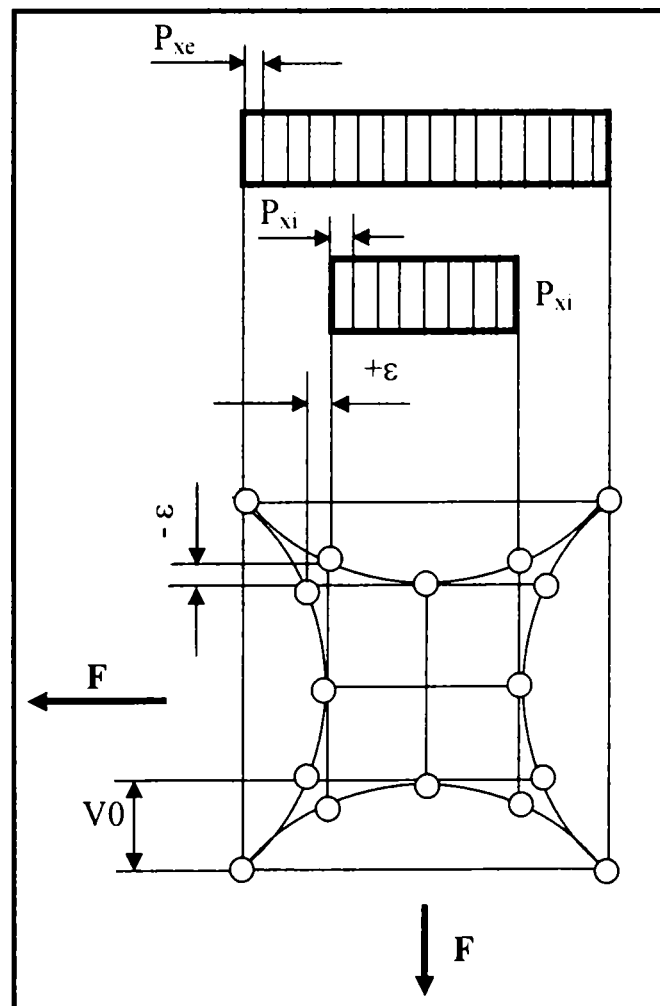


Fig. 2.11. Deformatia fibrelor tensionate

Metoda prezinta avantajul unei masurari fara contact mecanic (palpare optica - cu fascicul luminos), reducand astfel in mod considerabil erorile de masurare.



### 2.3 Tensiometre. Principii generale. Domenii de utilizare

Mijloacele de masurare a tensiunilor mecanice din panza serigrafica au ca scop masurarea deformatiei (sagettii) panzei, care se datoreaza greutatii proprii a panzei serigrafice la care se mai adauga si greutatea mijlocului de masurare.

Panza serigrafica poate fi considerata ca un ansamblu format din fire de tesatura omogene, intinse, incastrate la capete aflate pe aceiasi orizontala (prin fixarea pe rama serigrafica), fire pentru care se poate aplica ecuatiea lantisorului. Pentru cazul particular al incastrarilor aflate la acelasi nivel (v.fig. 2.12) este valabila relatia:

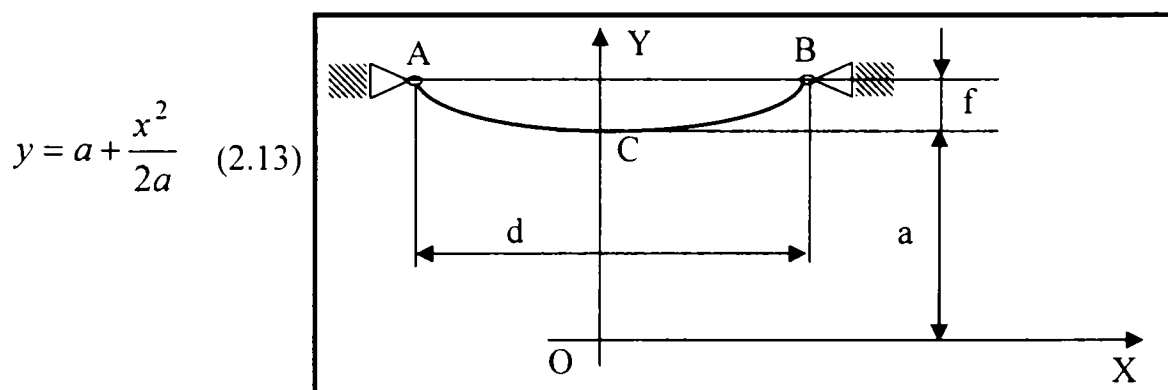


Fig. 2.12 Firul omogen intins (lantisorul)

Tensiunea din fir este minima ( $T_0$ ) in punctul cel mai jos (C) si este maxima ( $T_A$  si  $T_B$ ) in punctele de suspensie (A si B).

Tensiunea din fir este determinabila cu ajutorul relatiei:

$$T = T_0 \frac{ds}{dx} \quad (2.14)$$

In cazul in care punctele de suspensie (A si B) se afla la acelasi nivel expresia tensiunii minime din fir este:

$$T_0 = \frac{p \cdot d^2}{8 \cdot f} \quad (2.15)$$

unde:

$p$  – greutatea proprie a firului pe unitatea de lungime;

$d$  – deschiderea (distanța dintre punctele de reazem);

$f$  – sageata (deformatia) maxima a firului.

Tensiunea maxima din fir, care apare in punctele A si B, se poate determina cu ajutorul relatiei:

$$T_{MAX} = T_A = T_B = T_0 \cdot \sqrt{1 + \frac{16f^2}{d^2}} \quad (2.16)$$

Din expresia (2.16) rezulta ca in cazul sagetilor ( $f$ ) mici (cum este si cazul panzelor serigrafice) tensiunea maxima difera putin de cea minima ( $T_{MAX} \approx T_0$ ) si tensiunea nu variaza foarte mult de-a lungul firului ( $T_{MAX} \approx T_0 = ct.$ ).

Din aceste considerente rezulta ca pentru determinarea tensiunii din panza serigrafica (importanta pentru controlul pretensionarii panzei si implicit a calitatii imprimarii serigrafice) este necesara determinarea sagetii panzei ( $f$ ), care va fi maxima in centrul panzei, caz in care  $T_A = T_B = T_{MAX}$  si este valabila relatia (2.16).

Rezulta deci ca este necesara masurarea sagetii maxime ( $f$ ), motiv pentru care mijlocul de masurare (tensiometrul cu greutatea proprie  $G$ ) trebuie sa fie plasat in centrul panzei, deoarece numai in acest caz  $T_A = T_B = T_{MAX}$  (v.fig. 2.13).

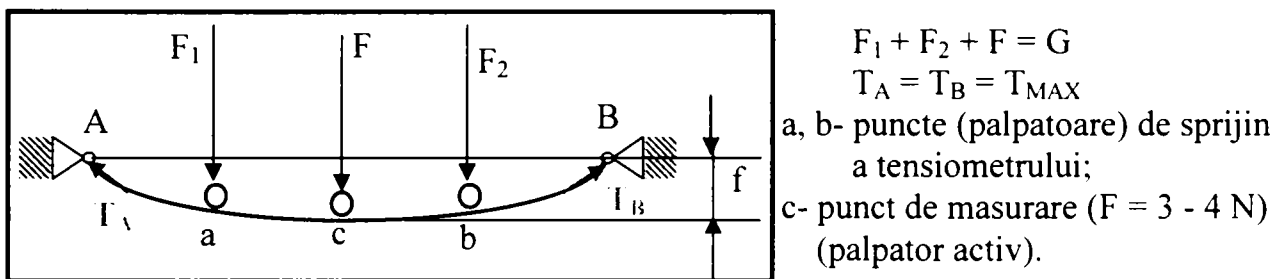


Fig. 2.13 Masurarea sagetii maxime (pozitionarea corecta a tensiometrului).

In cazul amplasarii tensiometrului in alta pozitie decat cea din mijlocul panzei serigrafice (v.fig.2.14) vom masura o sageata diferita ( $f'$ ) respectiv tensiunile vor fi diferite  $T_A \neq T_B \neq T_{MAX}$  si deci vor aparea erori de masurare.

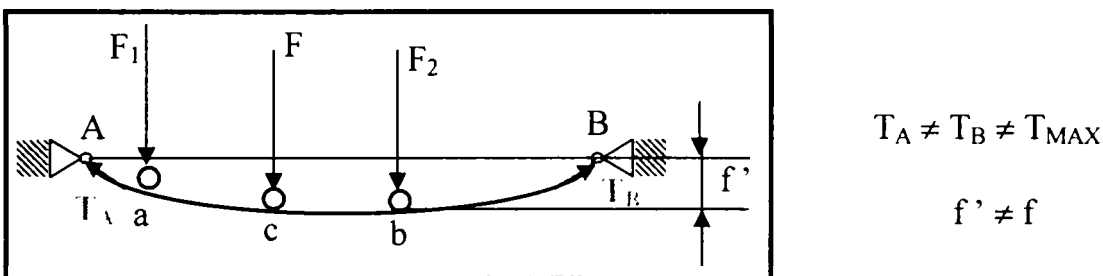


Fig.2.14 Pozitionarea incorecta a tensiometrului

Pentru ca tensiunile din fir sa fie egale ( $T_{MAX} \approx T_0$ ) si sa aiba variatii foarte mici ( $T_{MAX} \approx T_0 = ct.$ ) s-a admis faptul ca forta ce actioneaza asupra unei portiuni elementare a firului de lungime  $ds$  este proportionala cu proiectia  $dx$  a lui  $ds$  pe axa  $OX$ . ( $F \approx k \cdot dx$ ,  $dx = ds \cdot \cos \alpha$  v.fig. 2.15 a).

Prin urmare, pentru a avea rezultate de masurare cat mai corecte, este necesar ca tensiometrul sa fie pozitionat paralel cu firele panzei (in lungul axei OX), dupa cum reiese din fig. 2.15 a.

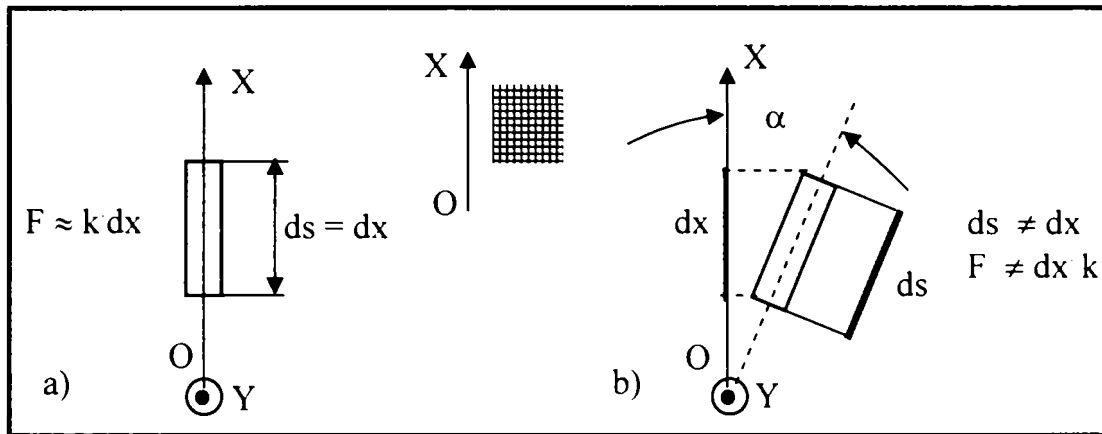


Fig. 2.15 Pozitionarea tensiometrului in functie de fibrele panzei

In cazul pozitionarii tensiometrului sub un unghi oarecare  $\alpha$  (v.fig. 2.15 b) fata de directia firelor panzei (axa OX), se vor obtine rezultate de masurare eronate ( $ds \neq dx \Rightarrow F \neq F_{real}$  si deci  $T_{masurat} \neq T_{real}$ ).

In concluzie pentru a minimiza erorile de masurare a tensiunilor din panza serigrafica este necesar ca tensiometrul sa fie pozitionat in centrul panzei serigrafice si orientat paralel cu firele panzei (v.fig. 2.13 si 2.15 a).

Mijloacele de masurare a tensiunilor mecanice se numesc tensiometre. Principiul de functionare al acestor mijloace de masurare este asemanator cu cel utilizat la masurarea tensiunii de montaj al curelelor de transmisie. Masurarea tensiunii de montaj la transmisiile prin curele ( v. fig. 2.16) se poate realiza pe mai multe cai, dupa cum urmeaza:

- **masurarea deformarii transversale** a unei ramuri asupra careia se aplica o forta sau un cuplu de forte cunoscut, marimea deformatiei specifice  $f/L$  fiind dependenta de tensiunea de montaj. In acest scop se foloseste un dispozitiv de masurare a tensiunii constituit dintr-un dinamometru telescopic cu arc elicoidal de compresiune (v.fig. 2.17).

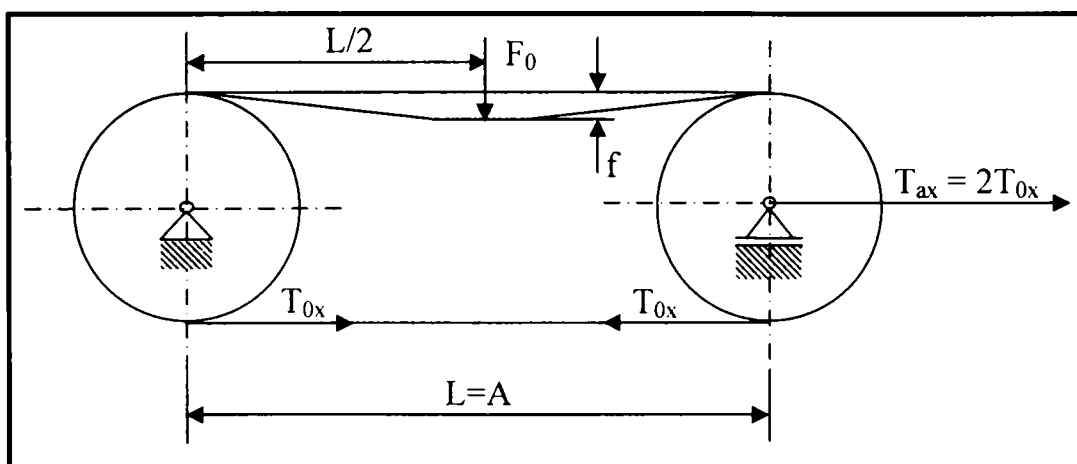


Fig. 2.16 Principiul masurarii tensiunii de montaj la o transmisie prin curele

Manerul de actionare si palpatorul sunt legate printr-un arc. Dispozitivul se aplica perpendicular pe mijlocul ramurii curelei tensionate. Apasand asupra manerului, deformatia arcului elicoidal va indica pe scala gradata forta  $F$ . In acest moment ramura curelei se deformeaza cu sageata  $f$ , care se masoara cu o rigla gradata (v.fig. 2.17).

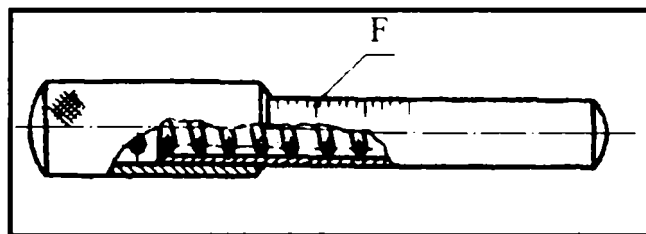


Fig. 2.17 Masurarea fortei cu ajutorul unui dinamometru cu arc elicoidal

Variind tensiunea de montaj la un profil dat, masurarea valorii sagetii permite trasarea dependentei dintre deformatia specifica si tesiunea de montaj conform relatiei:[13]

$$\sigma_0 = \frac{12.5}{10^2 \left( \frac{f}{l} \right)} - 0.61 \cdot 10^{-4} \cdot \left( 10^2 \frac{f}{l} \right)^2 \cdot E_t \quad [\text{Mpa}] \quad (2.17)$$

- **masurarea frecventei vibratiei proprii** a curelei, constituie o alta modalitate de masurare a tesionarii, in baza careia se determina tensiunea din curea, conform relatiei [4]:

$$T = 4 \cdot m \cdot L^2 \cdot \nu^2 \quad (2.18)$$

in care:

$T$  – forta de tensionare masurata [N];

$m$  – masa liniara a curelei [kg/m];

$L$  – lungimea totala a curelei [m];

$\nu$  – frecventa de vibratie proprie a curelei [Hz].

Pe baza frecventei proprii se poate evalua prin acelasi procedeu, starea de tensiune dintr-o panza, la tensiuni mai ridicate frecventa fiind mai inalta, printr-o expresie similara cu (2.18). Principiul metodei prezentate, este redata in fig. 2.18 in care se observa ca masurarea tensiunii se realizeaza pe ramura libera (opusa rolei de tensionare), utilizand un mijloc de masurare specific (masurare fara contact mecanic) a frecventei vibratiilor. Un astfel de aparat este prezentat in fig. 2.19.

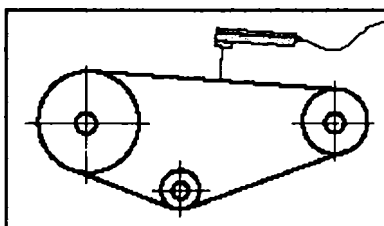


Fig. 2.18 Principiul masurarii tensiunilor pe baza frecventei proprii a vibratiilor

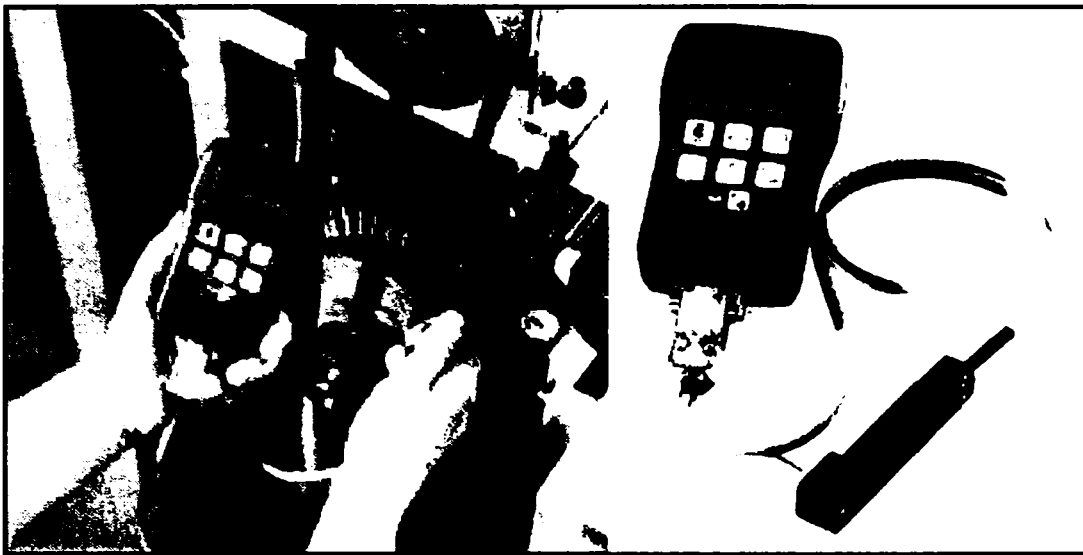


Fig. 2.19. Mijloc de masurare a frecventei vibratiilor curelei

Mijlocul de masurare utilizat afiseaza rezultatul masurarii in Hz sau in N, avand domeniul de masurare intre 10-300 Hz, distanta de masurare de la aparat (senzor) la curea variaza intre 3-20 mm, eroarea maxima de masurare fiind mai mica de 5 %.

Pornind de la analogia masurarii tensionarii curelelor se poate determina expresia sagetii unui fir tensionat. Astfel daca se considera o transmisie prin curea (v. fig. 2.20) se poate scrie [23]:

$$T_0 = F_0 \frac{L}{4 \cdot f} - 2 \frac{f^2}{L \cdot L_p} A \cdot E$$

$$\frac{T_0}{A} = \sigma_0 = \frac{F_0}{A} \cdot \frac{1}{4 \left( \frac{f}{L} \right)} - \frac{2E}{2\pi k_A} \frac{f^2}{L} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (2.19)$$

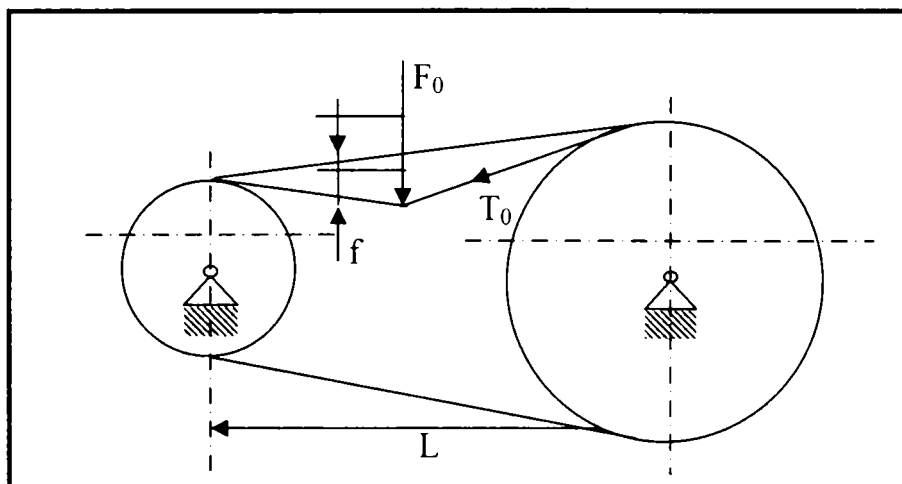


Fig. 2.20 Transmisia prin curea

In cazul panzelor se poate aplica aceeasi metoda, daca se aproximeaza zona deformata a firului tensionat in timpul masurarii (v.fig. 2.20) cu un triunghi (v.fig. 2.21 a, b si c) se pot scrie expresiile:

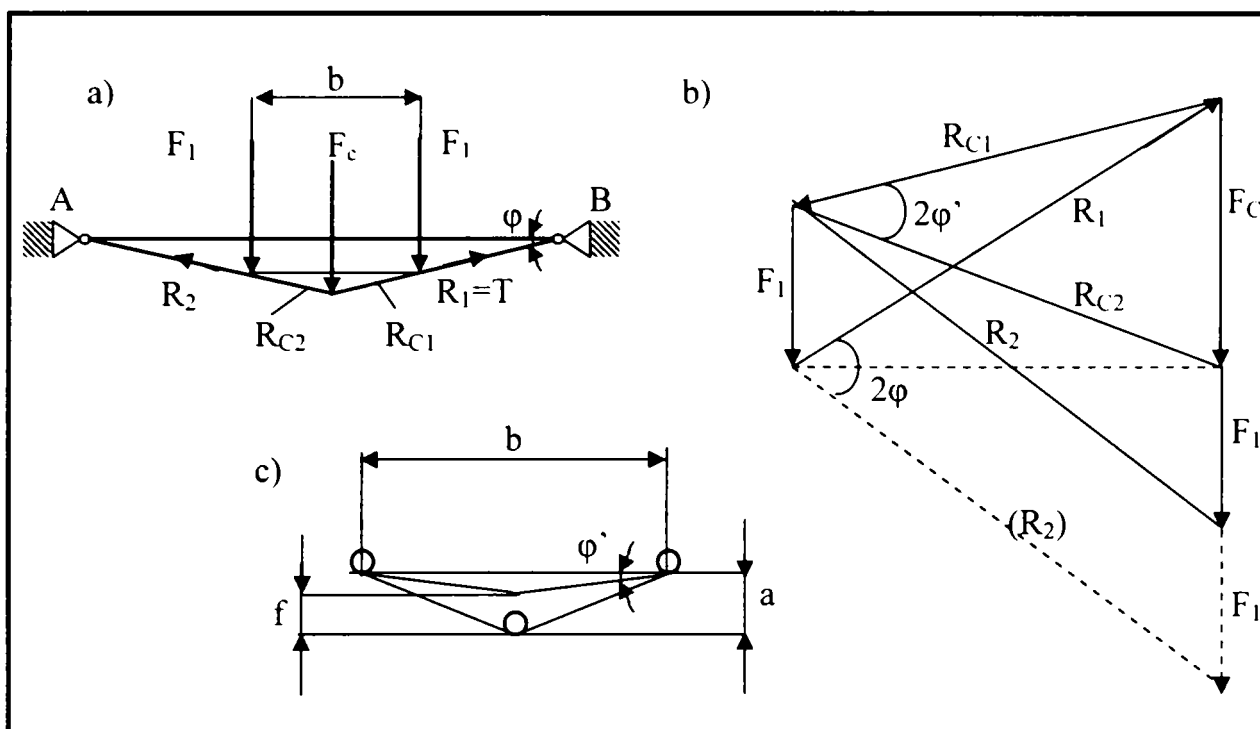


Fig. 2.21 Panza tensionata deformata sub actiunea tensiometrului

- a)- sistemul de forte si configuratia poligonala de echilibru (poligon funicular); b)- poligonul fortelor;  
c)- pozitia palpatorului si cilindrilor de sprijin ai tensiometrului in timpul masurarii

$$\begin{aligned}
 2F_1 + F_C &= G \\
 F_C &= F_{e0} + k \cdot f \\
 R_1 = R_2 &= \frac{G}{2 \sin \varphi} \\
 f &= a - \frac{b}{2} \operatorname{tg} \varphi' \approx a - \frac{b}{2} \sin \varphi' \\
 \sin \varphi &= \frac{G}{2T}; \quad \cos \varphi = \sqrt{1 - \frac{G^2}{(2T)^2}} = \frac{\sqrt{4T^2 - G^2}}{2T},
 \end{aligned} \tag{2.20}$$

de unde rezulta conditia de functionare a tensiometrelor:  $4T^2 - G^2 > 0$ ,  $G < 2T$

Se mai poate scrie (fig. 2.39 c):

$$\begin{aligned}
 \operatorname{tg} \varphi' &= \frac{F_C}{2T \cos \varphi} = 2 \frac{a-f}{b} \\
 2 \frac{a-f}{b} &= \frac{F_C}{\sqrt{4T^2 - G^2}} = \frac{F_{e0} + k \cdot f}{\sqrt{4T^2 - G^2}} \\
 4T^2 - G^2 &= \frac{b^2}{4} \cdot \frac{(F_{e0} + k \cdot f)^2}{(a-f)^2}
 \end{aligned} \tag{2.21}$$

Rezulta deci tensiunea din fir/panza:

$$T = \frac{1}{2} \sqrt{G^2 + \frac{b^2}{4} \left( \frac{F_{e0} + k \cdot f}{a-f} \right)^2} \tag{2.22}$$

Din (2.21) se mai poate scrie:

$$\frac{2a}{b} - \frac{2f}{b} = \frac{F_{e0}}{\sqrt{4T^2 - G^2}} + \frac{k \cdot f}{\sqrt{4T^2 - G^2}} \quad (2.23)$$

$$f \left[ \frac{k}{\sqrt{4T^2 - G^2}} + \frac{2}{b} \right] = \frac{2a}{b} - \frac{F_{e0}}{\sqrt{4T^2 - G^2}} = \frac{2a\sqrt{4T^2 - G^2} - b \cdot F_{e0}}{b \cdot \sqrt{4T^2 - G^2}}$$

De unde se deduce expresia sagetii (deformatiei) in functie de tensiune:

$$f(T) = \frac{2a\sqrt{4T^2 - G^2} - b \cdot F_{e0}}{2\sqrt{4T^2 - G^2} + k \cdot b} \quad (2.24)$$

Utilizand expresia dedusa a sagetii in functie de tensiunea din fir (2.24) si cunoscand datele constructive ale tensiometrului (masa proprie 485 g, distanta dintre palpatoare  $b = 62$  mm, constanta elastica a arcului  $k = 1,5$  N/mm, forta de pretensionare  $F_{e0} = 2$  N) se determina variatia sagetii in functie de tensionare (v. fig. 2.22)

$T := 25, 50, \dots, 250$  N/cm

$a := 1$  mm     $b := 62$  mm     $F_{e0} := 2$  N     $k := 1,5$  N/mm     $G := 4,75$  N

$$f(T) := \frac{2 \cdot a \cdot \sqrt{4 \cdot T^2 - G^2} - b \cdot F_{e0}}{2 \cdot \sqrt{4 \cdot T^2 - G^2} + k \cdot b}$$

$f(T) =$

-0.127
0.259
0.448
0.56
0.634
0.687
0.726
0.757
0.781
0.801

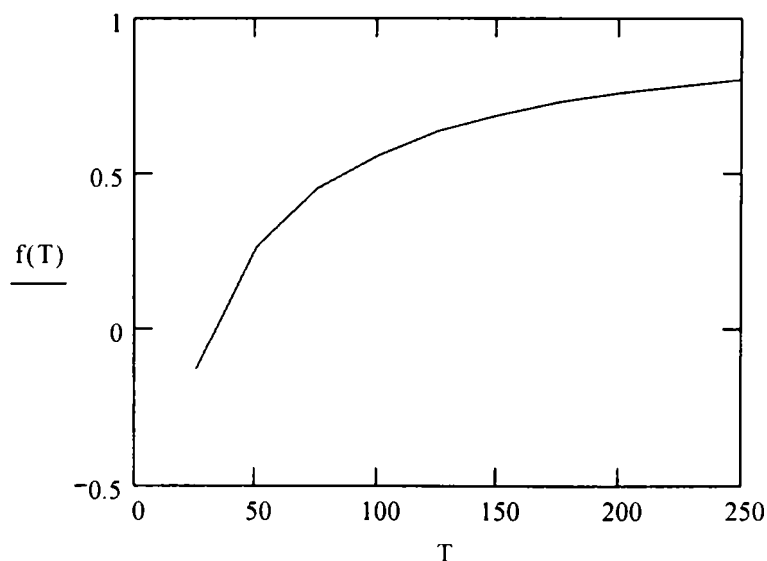


Fig. 2.22 Variatia sagetii in functie de tensionare

Mijloacele de masurare a tensiunii mecanice (tensiometrele) se pot clasifica in doua mari categorii:

- tensiometre mecanice (cu redare analogica),
- tensiometre mecanice cu afisare digitala.

### 2.3.1 Tensiometre mecanice cu redare analogica

Principiul de functionare al acestor tipuri de tensiometre se bazeaza pe existenta a doi cilindri de sprijin la extremitati si un palpator central (v.fig. 2.23) care este adus in contact cu palpatorul unui comparator mecanic (cu o treapta de amplificare) cu schema cinematica prezentata in fig. 2.24.



Fig. 2.23 Tensiometru mecanic cu redare analogica

Tensiometrele de acest tip functioneaza pe baza greutatii proprii, ele fiind compuse dintr-un suport in care se monteaza sistemul de masurare de tip comparator si un palpator format de regula dintr-un cilindru mobil (culisant) care apasa panza serigrafica cu o forta de masurare ( $F = 3 - 4 \text{ N}$ ) determinand o sageata ( $f$ ) care este o masura a tensiunii din panza (v. rel. 2.24).

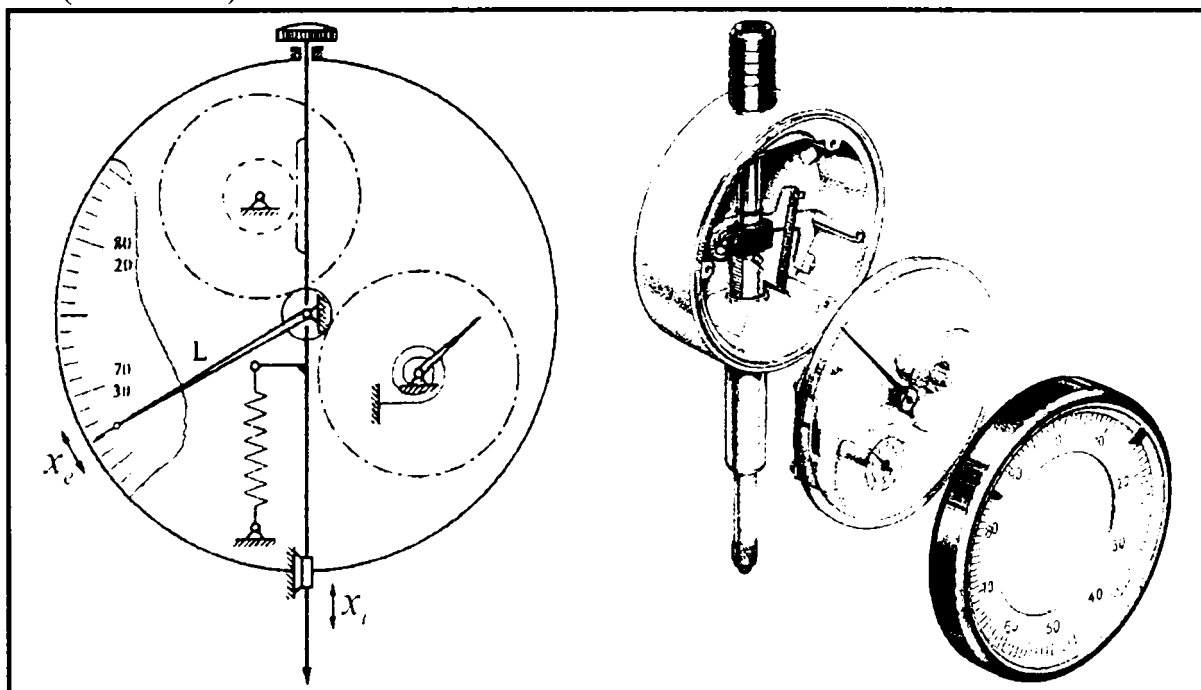


Fig. 2.24 Schema cinematica si o solutie constructiva a comparatorului mecanic cu o treapta de amplificare



Greutatea proprie a cilindrului (a palpatorului activ) poate fi ajustata cu ajutorul unor greutati aditionale de tip inel, fixate in interiorul palpatorului cu un inel pentru alezaje (v.fig.2.25).

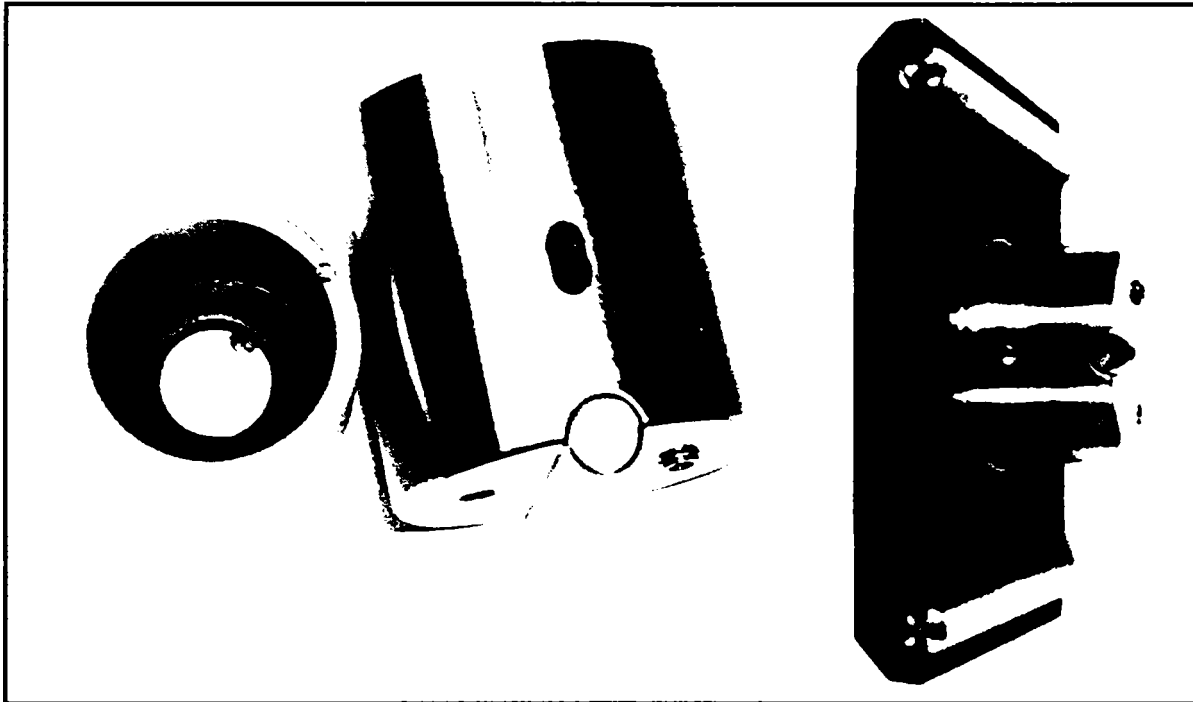


Fig. 2.25 Constructia palpatorului central si modalitatea de ajustare a greutatii proprii

Solutia constructiva a unui astfel de tensiometru mecanic cu redare analogica este prezentata in fig. 2.26.

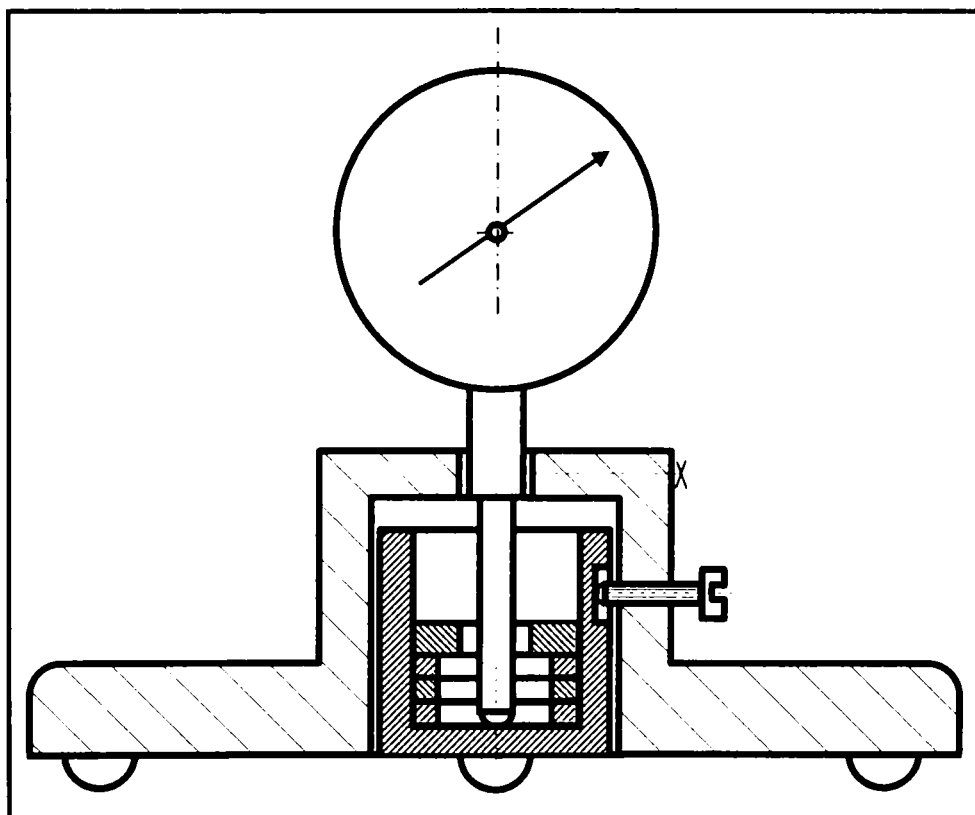


Fig. 2.26 Tensiometru mecanic – solutie constructiva

O particularitate a sistemului de masurare o constituie lipsa arcului din componenta sistemului de masurare pentru a nu influenta valorile masurate. Domeniul de masurare al acestor tipuri de tensiometre este de 0 – 60 N/cm.

Mecanismele palpatorului central (care vine in contact cu suprafata panzei tensionate respectiv cu palpatorul comparatorului) pot fi realizate si cu arc elicoidal de compresiune (fig. 2.27 a) sau cu arc lamelar (fig. 2.27 b), principiile acestor tipuri de solutii sunt prezentate in fig. 2.27.

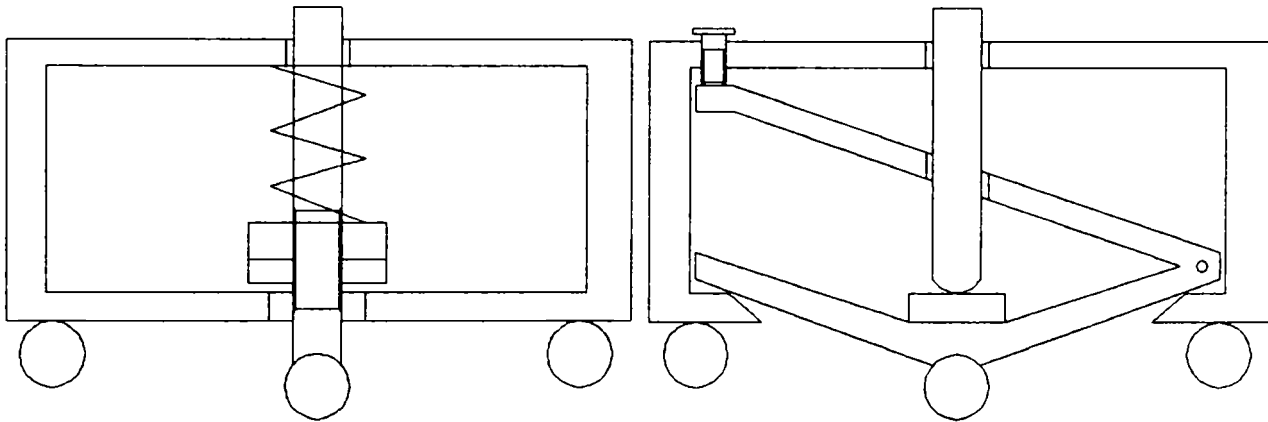


Fig. 2.27 Tipurile mecanismelor palpatorului central (a si b)

Ansamblul suport-sistem de masurare se pozitioneaza in centrul panzei a carei tensionare se masoara (fig.2.28).

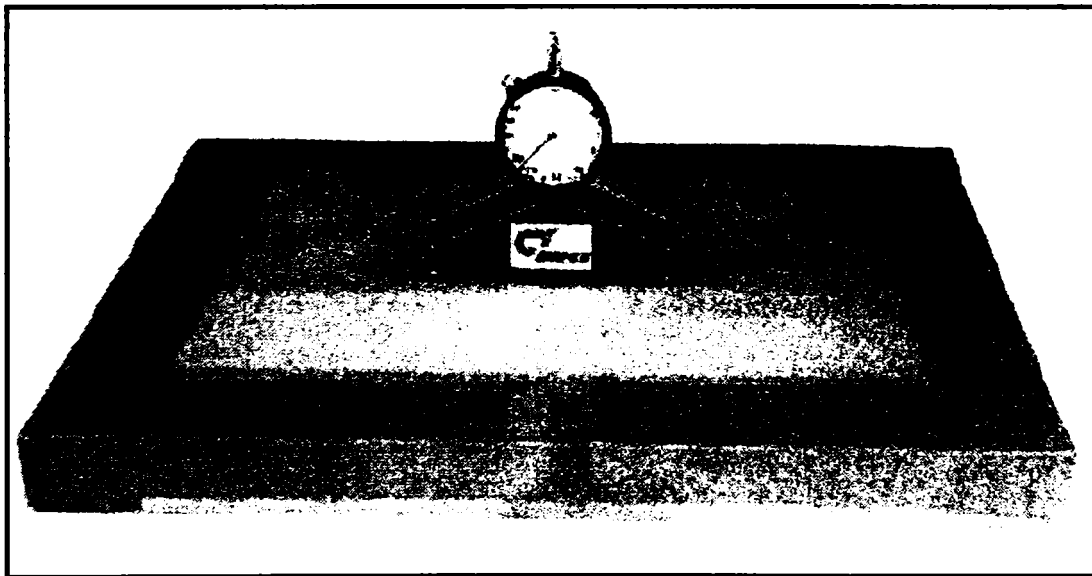


Fig. 2.28 Pozitionarea mijlocului de masurare/tensiometrului pe panza serigrafica

Scala de masurare a tensiometrelor este gradata direct in N/cm, fiind neliniara (v.fig. 2.29), datorita caracteristicii forta deformatie neliniare care rezulta din neliniaritatea caracteristicii panzelor serigrafice.

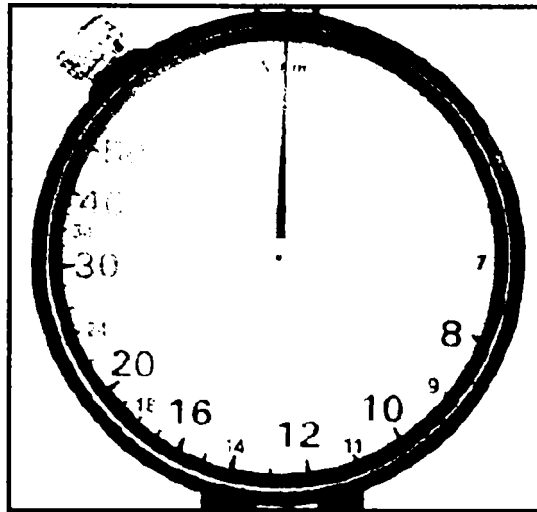


Fig. 2.29 Scara gradata a unui tensiometru mecanic

In fig. 2.30 sunt prezentate cateva variante constructive reprezentative ale unor tensiometre mecanice cu afisaj analogic (cadran si ac indicator).

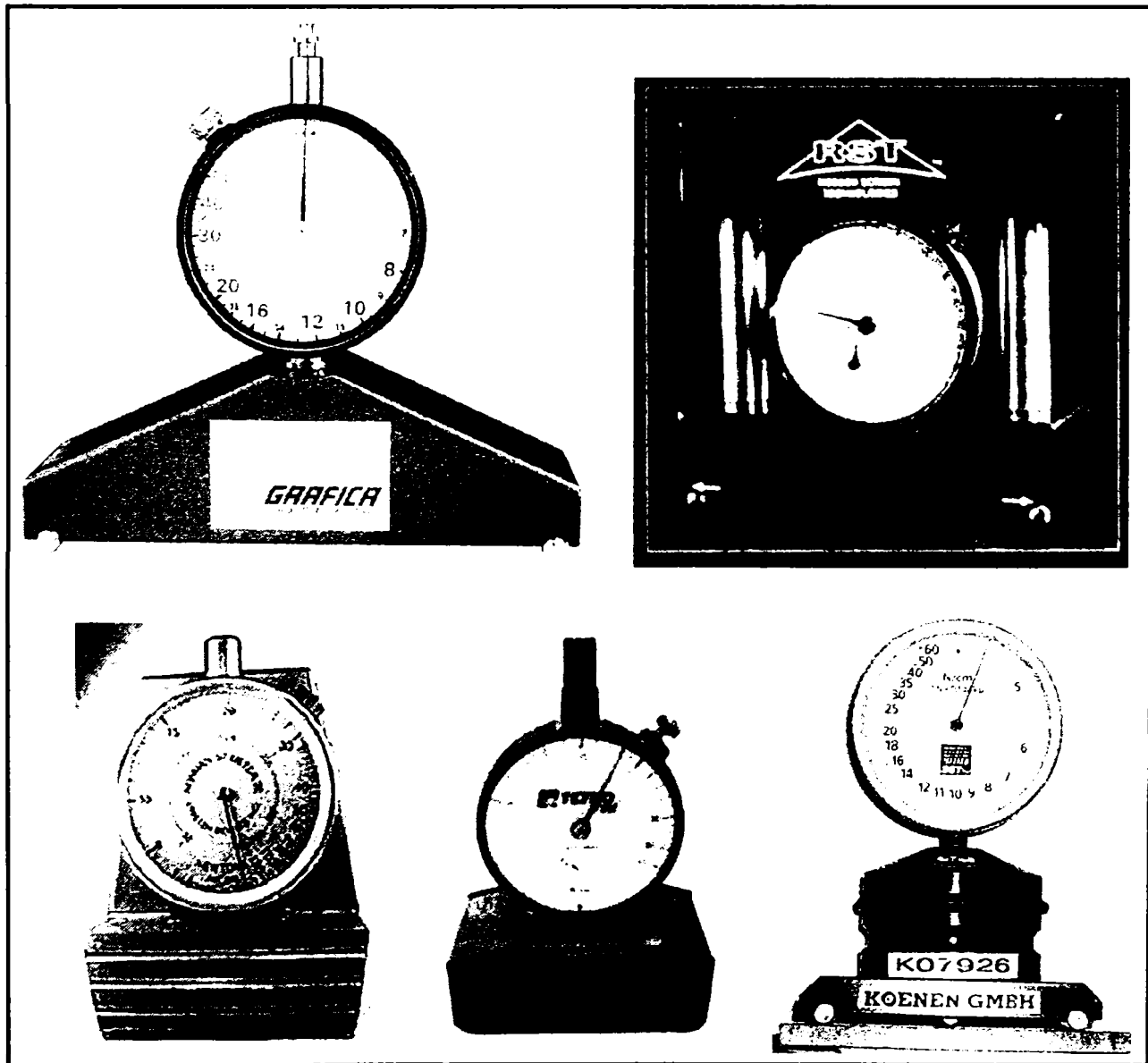


Fig. 2.30 Tensiometre mecanice cu redare analogica, variante constructive

Aceste tipuri de tensiometre sunt formate dintr-un palpator central care vine in contact cu suprafata panzei serigrafice in care se doreste masurarea tensiunii si doua palpatoare de sprijin al ansamblului de masurare care servesc la sustinerea sistemului de masurare. Datorita tensiunii mecanice din panza serigrafica palpatorul central este deplasat in sus, deplasarea fiind masurata cu ajutorul unui comparator mecanic a carui cadran este gradat direct in unitati de tensiune (N/cm).

### 2.3.2 Tensiometre mecanice cu afisare digitala

Principiul de functionare al acestora este identic cu cel al tensiometrelor mecanice cu redare analogica, deosebirea fiind in modul de afisare a rezultatului masurarii (transformarea semnalului de intrare de tip mecanic intr-o marime electrica) si posibilitatea prelucrarii mai facile a informatiilor (transmitere catre calculator).

Deosebirile constructive fundamentale fata de cele cu afisaj analogic constand in autocompensarea greutatii proprii si a preciziei de masurare mai ridicate.

Modul de transmitere electric al informatiilor se realizeaza cu ajutorul a doua timbre tensiometrice (unul activ iar celalalt pentru compensarea termica) montate pe un arc lamelar care vine in contact cu panza tensionata (v.fig. 2.31).

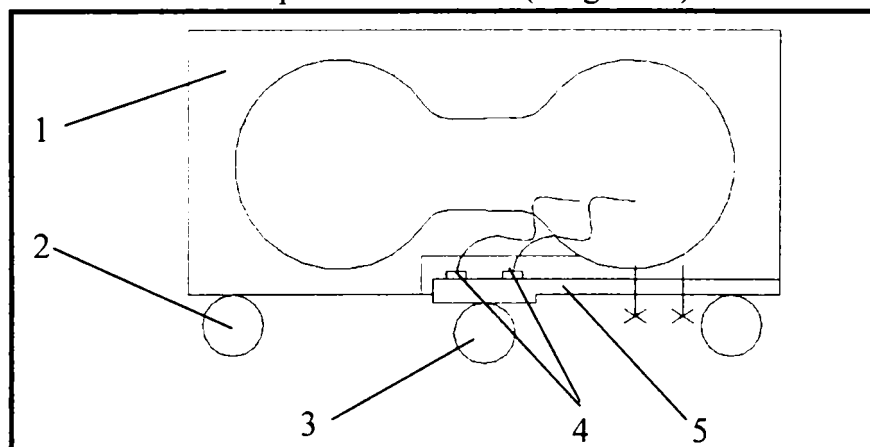


Fig. 2.31 Principiul prelevării electrice a semnalului la tensiometrele digitale

Principalele componente ale unui tensiometru cu afisare digitala sunt:

- structura de susținere -1
- palpatorul central (de masurare) -3 si cele de sprijin - 2;
- sistemul de transformare a deplasării mecanice in semnal electric ( prin arc lamelar -5 si punte cu timbre tensiometrice - 4);
- sistemul de amplificare a semnalului electric;
- sistemul de afisaj.

In fig. 2.34 este prezentat un tensiometru mecanic cu afisaj digital impreuna cu partile sale componente.

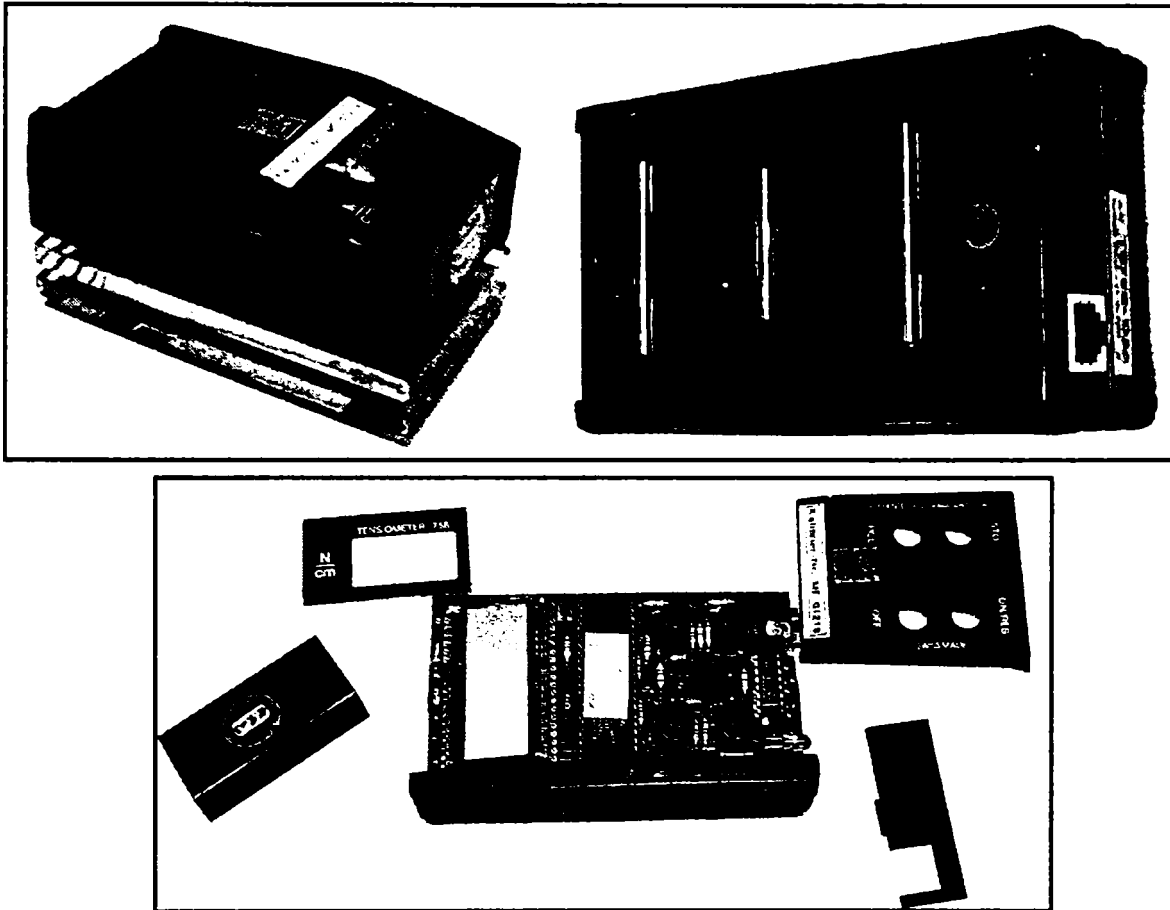


Fig. 2.32 Tensiometru mecanic cu afisare digitala - componenta

Variante constructive ale unor tensiometre mecanice cu afisare digitala sunt prezentate in fig. 2.33.

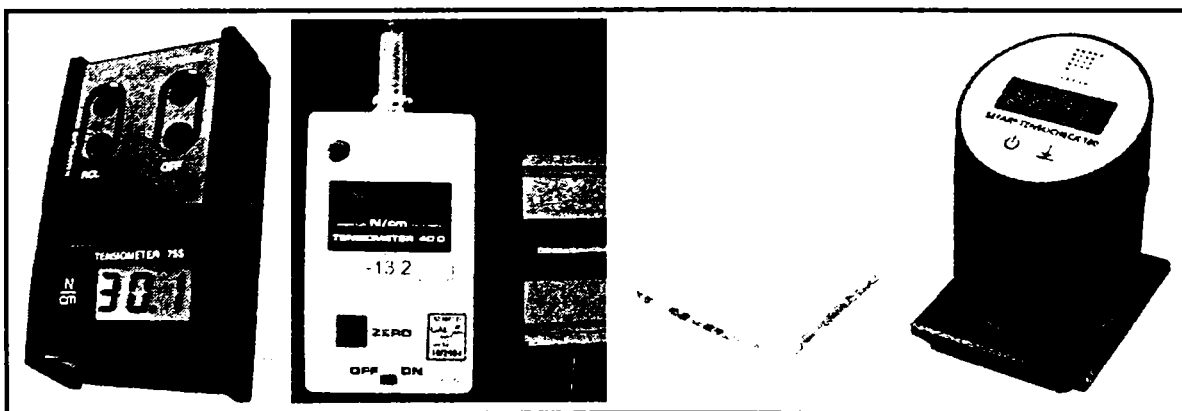


Fig. 2.33 Tensiometre mecanice cu afisare digitala, variante constructive

Tensiometrele mecanice cu afisare digitala prezinta avantajul major de a elimina eroarea de citire (datorita modului de afisare) si au posibilitatea transmiterii datelor catre calculator, ceea ce permite o prelucrare rapida a datelor cat si arhivarea rezultatelor.

## **2.4. Standarde si norme existente in domeniul masurarii tensiunilor mecanice si in serigrafie**

Datorita complexitatii procesului serigrafic (vezi cap. 1 din teza) a fost necesara introducerea unor norme specifice care sa defineasca procesul serigrafic cu elementele sale componente si sa compatibilizeze diferitele procedee din diverse tari pentru implementarea acestuia.

Autorul s-a concentrat pe studiul normelor specifice din Germania, unde la ora actuala se utilizeaza doua categorii de norme:

- norma nationala DIN 16611: Unitati de masura pentru serigrafie
- norma interna elaborata de VDE/VDI 3711 (Asociatia germana de Electrotehnica/ Asociatia germana a Inginerilor): Procedee de imprimare in serigrafie.

In aceste norme se prezinta principiile generale ale masurarii tensiunilor mecanice care apar in procesul serigrafic, principiul serigrafiei, accesorii utilizate in serigrafie, precizand si alte surse de informatii (norme, brevete de inventii, bibliografie, etc.) nationale si internationale.

In cele ce urmeaza se vor prezenta pe scurt cele doua norme amintite anterior:

### **2.4.1 Norma DIN 16611: Unitati de masura pentru serigrafie**

Acestei norme utilizate in Germania i se atribuie echivalentul international in norma "Printing Technology ; Measures for screen printing"

Norma cuprinde urmatoarele capitole:

1. Domenii de utilizare. Principii
2. Terminologie si simboluri
3. Calibrarea / etalonarea mijloacelor de masurare
4. Norme citate, surse de documentare si brevete de inventie (clase specifice)

In capitolul 1 al normei se prezinta marimile specifice utilizate in serigrafie cu scopul compatibilizarii schimbului de informatii necesare pentru utilizatori si producatori.

Cap. 2 al normei prezinta terminologia si unitatile de masura aferente, simbolurile specifice folosite in definirea parametrilor serigrafiei si in domeniul masurarii tensiunilor mecanice existente in panzele serigrafice.

Sunt prezentati urmatoorii termeni, cu unitatile de masura specifice:

- distanta dintre fire (w)
- sarme pentru panze serigrafice (sarme monofilare, descrise in norma DIN 4185, sarme multifilare in DIN 4185 )
- diametrele firelor pentru panze serigrafice (d)
- finetea panzei care defineste numarul de fire pe unitatea de lungime (n)
- tipuri de panze serigrafice
- aria libera procentuala, considerata pe suprafata totala a panzei (DIN 16610)
- grosimea panzei
- deformatia panzei (intiderea raportata la lungimea initiala exprimat in %)
- tesiunea mecanica din panza (forta cu care se intinde rama serigrafica care solicita panza, exprimat in N/cm)
- volumul teoretic de incarcare
- dimensiunile (exterioare si interioare) si formatele ramelor serigrafice
- raclete serigrafice (tipuri de raclete, tipuri de muchii,etc)
- surafata imprimata
- gradul de acoperire (aria libera raportata la suprafata totala de imprimat)

In fig. 2.34 se prezinta un extras din cap. 2 al normei analizate, care trateaza dimensiuni ale ramelor (fig.2.34/1), dimensiuni ale sitelor serigrafice (fig. 2.34/3), dimensiunile sabloanelor serigrafice (fig. 2.34/2), respectiv unghiuri de atac ale racletelor (fig.2.34/4).

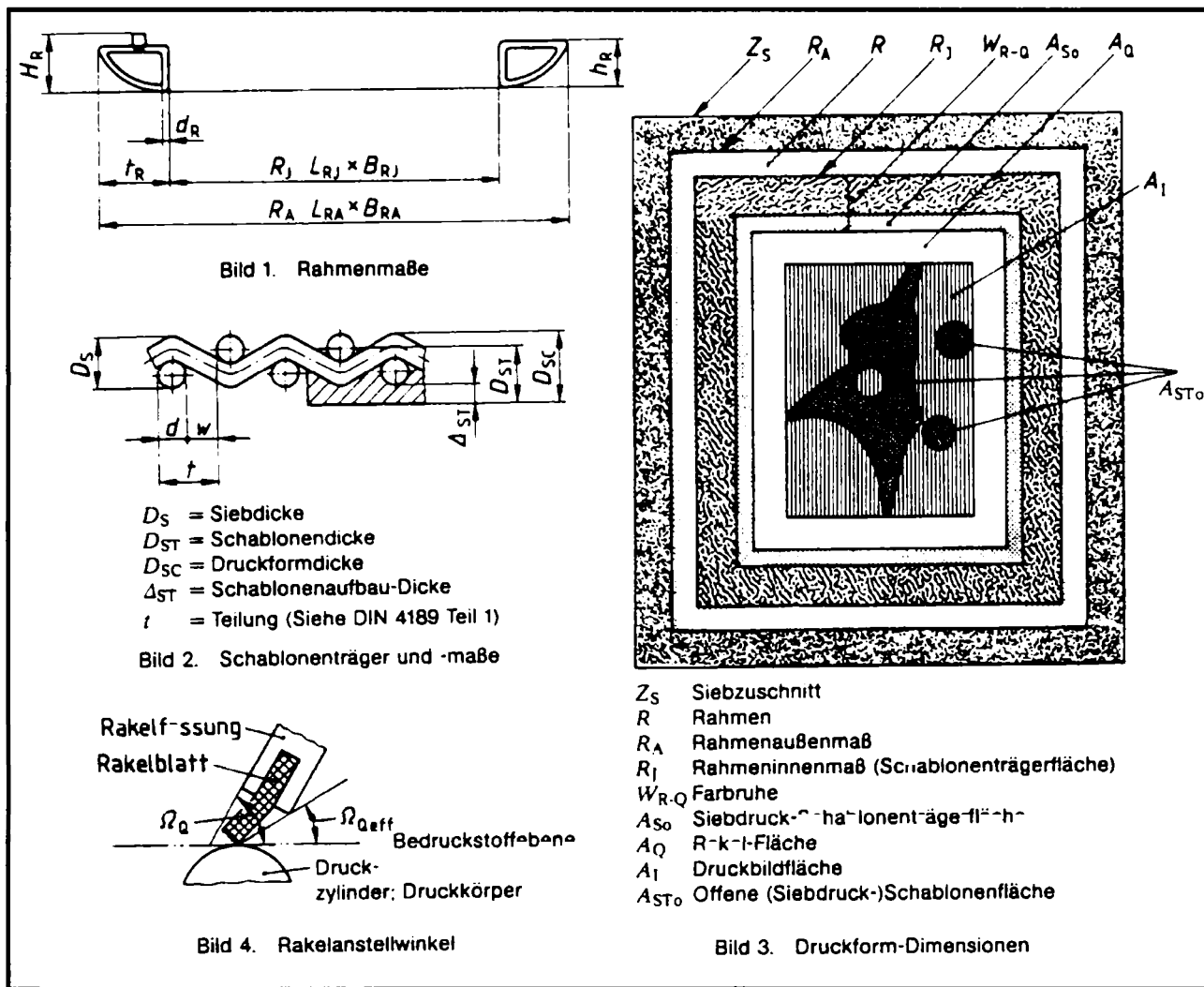


Fig. 2.34 Extras din norma DIN 16611

Capitolul 3 al normei trateaza problema specifica de etalonare si calibrare a mijloacelor de masurare a tensiunilor mecanice din panzele serigrafice. Este prezentat procedeul de tensionare pe axele X si Y ale ramei serigrafice. Se definesc timpzii de tensionare si pauzele dintre tensionari (0 – 30 sec, vezi fig. 2.35) respectiv pozitiile mijlocului de masurare, in raport cu panza serigrafica, a carei tensiuni se masoara.

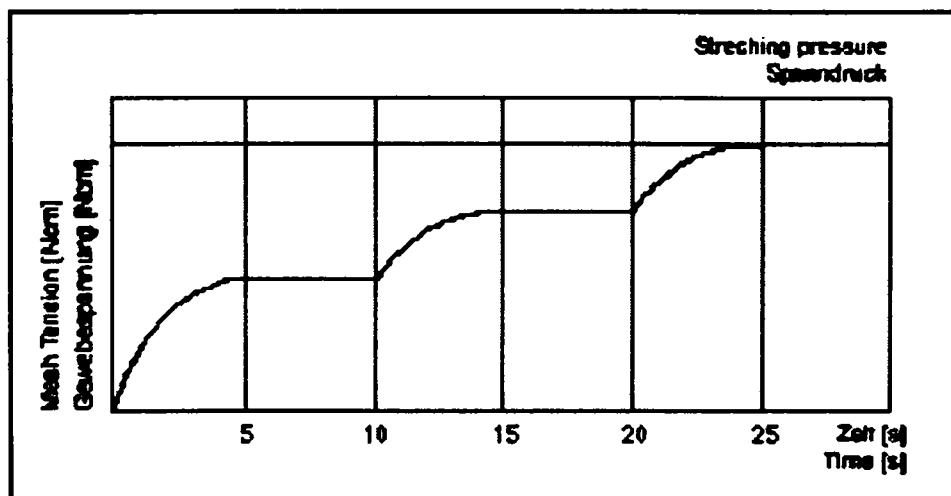


Fig 2.35 Timpzii si pauzele dintre tensionari



Se prezinta domeniile de masurare specifice pentru tensiunile in panzele serigrafice specificandu-se precizia de masurare necesara etalonarii tensiometrelor.

In continuare se evidentiaza panzele utilizate pentru etalonare, geometria panzei, materialele panzei, tipul de intindere/tensionare utilizat (tensionare dreapta  $90 \pm 1^\circ$ ). Sunt prezentate tipurile de calibrare (absolut si relativ).

Cap. 4 al normei prezinta normele autohtone (germane) conexe (DIN 4185, DIN 53855, DIN 4195, DIN 4197) si brevetele de inventie din domeniu (B41 F15/34, D06C /308).

Norma DIN 16611 sintetizata anterior a aparut in ultima editie in anul 1990 la Editra Beuth.

### **2.4.2 Norma VDE / VDI 3711**

Aceasta norma interna, elaborata de catre Asociatia Germana de Electrotehnica si Asociatia Germana a Inginerilor, poarta denumirea de: Procedee de imprimare in serigrafie.

Norma cuprinde sapte capitole, dupa cum urmeaza:

1. Principiul serigrafiei
2. Rame serigrafice (materiale, tensionarea ramelor serigrafice)
3. Panze serigrafice (notatii, tensionare, lacuri, lipirea panzelor)
4. Sabloane (materiale si metode folosite, proprietati, principiul fotosabloanelor)
5. Imprimarea serigrafica (cu sablon si fara sablon, raclete serigrafice)
6. Imprimarea recto-verso si verticala
7. Bibliografie

Cap. 1 trateaza notiuni fundamentale privind serigrafia (pretensionarea panzelor, tensiuni din panze, timpii respectiv pauzele dintre tensionari, vopsele serigrafice, panze serigrafice, sabloane, raclete, rame si modul de imprimare a imaginii serigrafice pe diferite suporturi).

Urmatorul capitol trateaza problematica specifica ramelor serigrafice din punct de vedere al geometriei lor si a materialelor utilizate. Se prezinta importanta stabilitatii ramelor in procesul serigrafic, aparitia unor solicitari pe unitatea de lungime de ordinul a 30 N/cm care ar produce o bombare interioara a ramei. Acest fenomen face necesara realizarea unei bombari spre exterior (v. fig. 2.36) a ramei, care sa compenseze tendinta de

bombare interioara si sa determine o mai mare stabilitate a acesteia.

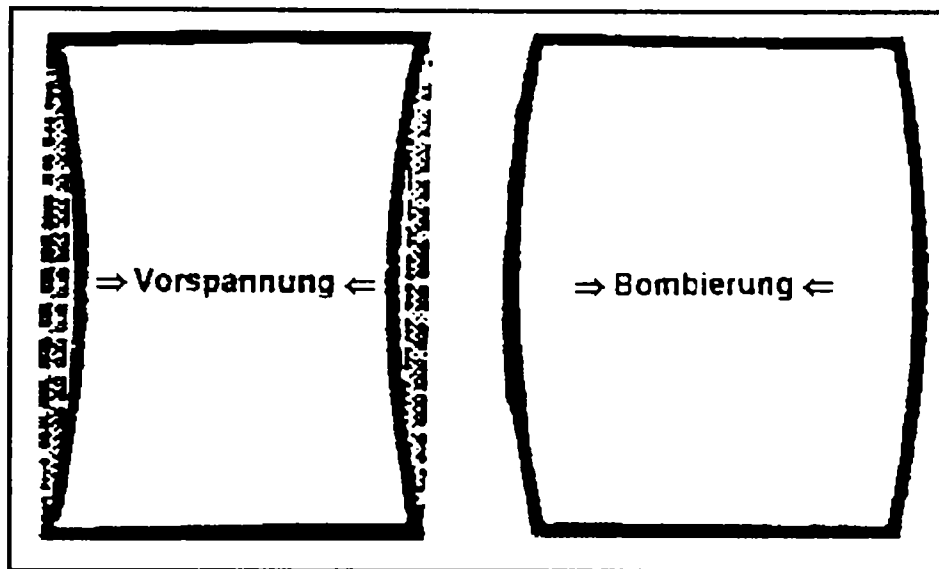


Fig. 2.36 Bombarea ramelor (spre interior si exterior)

Capitolul 3 prezinta panzele serigrafice cu caracteristicile aferente, care joaca un rol definitor in asigurarea calitatii procesului serigrafic. Se defineste domeniul de utilizare a diferitelor tipuri de panze (circuite electronice imprimate), facandu-se referire la simbolizarea acestora (subtire - S, mediu -M+T, gros -HD).

Se prezinta principalele tipuri de vopsele si lacuri serigrafice (lacuri conventionale, lacuri U.V, lacuri fotostructurate). In continuare se vorbeste despre tensionarea panzelor care variaza in functie de domeniul de utilizare intre 15 – 25 N/cm.

Valorile maxime ale tensiunilor aplicate decurg din caracteristicile panzelor utilizate (nr.de fire, diametrul firului, finetea panzei). Calitatea imaginii serigrafiate (contrastul) depinde foarte mult si de tipul de tensionare (oblica sau dreapta). Producatorii de panze serigrafice au determinat experimental valoarea optima a unghiului de tensionare care este de 22,5°. In cazul acestui tip de tensionare creste consumul de panza serigrafica si costurile totale ale procesului, datorita surplusului de deseuri rezultate.

In continuare sunt prezentate aspecte legate de lipirea panzelor pe ramele serigrafice (factori de influenta, tipuri de adezivi, rezistenta acestora la substantele de curatire).

Cap. 4 descrie importanta calitatii sabloanelor in procesul serigrafic, principalele tipuri de sabloane, materialele utilizate (fotofilme, filme capilare si materiale pentru copiere directa). Se prezinta metodele de sablonare (fotosablon direct, indirect, combinat, fotosablon capilar), scotandu-se in evidenta importanta grosimii sablonului in obtinerea unei imaginii serigrafice de calitate.

Se descrie procesul de iluminare (pentru fotosabloane) din punctul de vedere al intensitatii si a timpului de iluminare, care depinde de urmatoorii factori: fotosensibilitatea, grosimea suprafetei fotosensibile, intensitatea de iluminare a lampii utilizate, distanta de iluminare, pierderile de lumina prin absorbtie si reflexie.

In cap. 5 al normei se prezinta principalele tehnici de imprimare (cu si fara sablon) si principalele tipuri de raclete. Deasemenea se trateaza procedee si metode de pozitionare a ramelor in raport cu obiectele imprimate. Se prezinta principalele tipuri de raclete (moi, semidure si dure), modul de actionare ale acestora (manual si automat) si variantele constructive pentru diferite tipuri de imprimari (contur fin, contur rugos – vezi fig. 2.37).

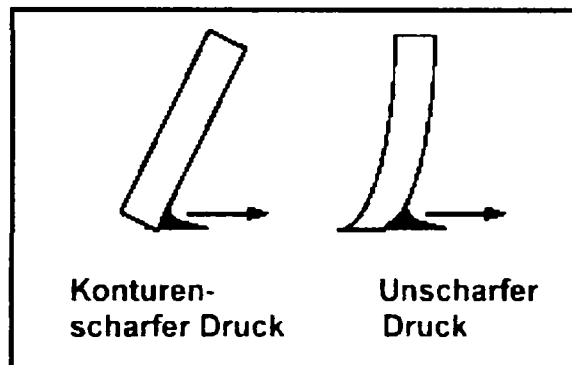


Fig. 2.37 Tipuri de raclete (contur fin si rugos)

Cap. 6 trateaza un procedeu relativ nou in serigrafie, imprimarea recto-verso. Acest procedeu s-a implementat pentru serigrafia cu emulsii (lichida) si fotosensibila dand rezultate excelente in practica. La imprimarea recto-verso obiectul ce urmeaza a fi serigrafiat se pozitioneaza vertical. Pe cele doua fete, in mod echidistant, se gasesc panzele serigrafice si racletele care executa concomitent procesul de depunere a lacului serigrafic pe ambele fete ale materialului serigrafiat. Aceasta reducand considerabil timpul de serigrafiere (la jumătate), fiind mai comod si pentru operator uman deoarece nu necesita manipularea obiectului de serigrafiat.

Cap. 7 prezinta pe scurt principalele surse de documentare din domeniu, cateva carti publicate, o serie de reviste si normele DIN conexe.

Dupa analizarea normelor existente in domeniu se trece la studiul brevetelor de inventie.

## **2.5 Studiul brevetelor de inventie publicate in acest domeniu.**

### **Cercetare documentara**

Inaintea elaborarii unei lucrari stiintifice se recomanda o cercetare documentara aprofundata a brevetelor de inventie pentru a vedea stadiul cunoscut al tehnicii din domeniul respectiv. În acest fel se pot integra ultimele realizari din domeniu si, în acelasi timp, se elimina pericolul lipsei de noutate sau activitate inventiva.

Cercetarea documentara in domeniul brevetelor de inventie se poate face:

- apeland la serviciile unui Consilier in proprietate industriala
- contactand un Centru Regional de Brevete si Marci
- pe cont propriu prin internet sau la Sala de lectura a unui Centru Regional

In contextul acestei lucrari de doctorat cercetarea s-a efectuat la oficiul european de brevete si marci din München si pe cont propriu prin internet.

Deoarece la oficiul european de brevete si marci din München majoritatea serviciilor sunt contra cost si foarte birocratice, autorul s-a concentrat mai mult asupra cautarii pe cont propriu prin internet.

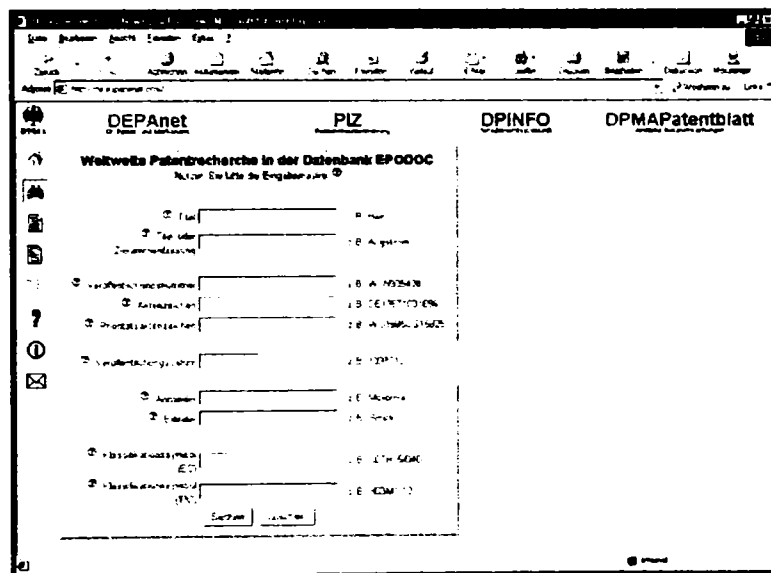
Institutul european de brevete si marci, ofera pe site-ul sau <http://de.espacenet.com> posibilitatea cautarii in documentele brevetelor Oficiului European de Brevete (EP), cererile de brevet inregistrate si publicate conform Tratatului de Cooperare in domeniul Brevetelor (PCT), brevetele japoneze (PAJ), brevetele din intreaga lume (WORLDWIDE) si brevetele romanesti acordate in ultimii doi ani. <http://ro.espacenet.com>.

Site-ul institutului european de brevete si marci ofera posibilitatea unei cautari aprofundate oferind o multitudine de optiuni in cautare iar rezultatele sunt satisfacatoare.

In domeniul relevant pentru teza de doctorat s-au gasit ca. 640 de brevete de inventie. Autorul s-a ghidat in cautare sa dupa clasificare internationala a brevetelor (IPC). Aceasta clasificare permite ordonarea brevetelor de inventie in domenii tehnice de utilizare mai precis in sectiuni, clase, categorii si grupe (vezi fig. 2.38).

Sectiunea	Clasa	Categoria	Grupa principala / secundara
B	41	F	15 / 34
Masini sisteme si metode de operare	Masini si sisteme de imprimare / multiplicare	Masini si accesorii serigrafice	Masini automate si semiautomate, rame, panze, tesaturi si accesorii folosite in serigrafie
D	06	C	3 / 08
Materiale textile sau alte materiale flexibile / hartie	Prelucrarea materialelor textile	Intinderea / tensionarea materialelor textile pe suprafete	Intinderea / tensionarea materialelor textile cu ajutorul ramelor si elementelor de tip pneumatic / hidraulic

Fig. 2.38 Clasificarea internationala a brevetelor de inventie (IPC)


 Fig.2.39 Site-ul oficiului european de brevete si marci <http://de.espacenet.com>

In cele ce urmeaza se prezinta sumar un brevet de inventie din domeniul serigrafic:

Titlul brevetului de inventie: Rama serigrafica de tensionare a panzei

Numarul curent: 8901173

Data depunerii cererii: 02.02.1989

Inventatorul: Max Liebich, Regen

Inventia descrie o metoda de tensionare a panzelor serigrafice cu ajutorul unei rame.

Rama, de forma dreptunghiulara (fig. 2.42) consta din 4 componente cu profil coada de randunica, iar fixare se face cu ajutorul suruburilor. Aceasta rama ofera posibilitatea modificarii tensiunii din panze dupa lipirea acesteia.

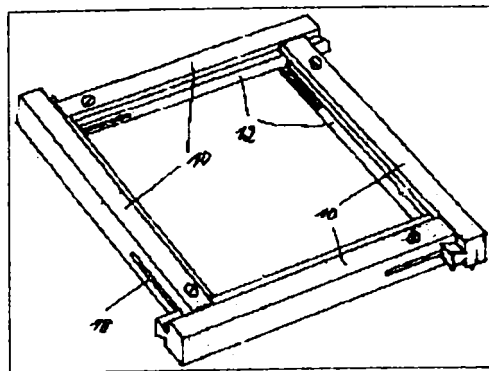


Fig. 2.40 Brevet de inventie – Rama serigrafica de tensionare a panzei

1989  
1989  
78ENTHALA

## **2.6. Propuneri de solutii constructive pentru standuri de etalonare/calibrare. Principii de functionare**

Pentru controlul tensionarii panzei serigrafice, cu una dintre extremitatile panzei in cruce pe ambele directii fixe, in vederea etalonarii/calibrarii tensiometrelor, se propun urmatoarele solutii constructive de principiu:

- a) Sistem de tensionare manuala, masurarea fortelor cu ajutorul unui traductor de forta;
- b) Sistem de tensionare manuala, masurare cu ajutorul unui palpator mecanic;
- c) Tensionare gravitacionala, masurare cu ajutorul traductoarelor de forta;
- d) Tensionare automata electrica, masurare cu ajutorul traductoarelor de forta;
- e) Tensionare automata electrica, masurare cu ajutorul unui sistem optic laser.
- f) Tensionare automata hidraulica sau pneumatica, masurarea cu ajutorul traductoarelor de forta;

In cele ce urmeaza se vor prezenta principiile de functionare ale acestor solutii constructive propuse.

### **2.6.1 Stand cu tensionare manuala si masurare cu traductor de forta**

Cel mai avantajos sistem manual de tensionare, din punct de vedere tehnico-economic, poate fi considerat mecanismul surub piulita, care poate asigura si o precizie adecvata pentru aplicatia propusa, jocul din cupla cinematica surub-piulita poate fi considerat neglijabil deoarece in cazul tensionarii panzei (indiferent de directia X sau Y) eventualul joc de flanc este consumat in momentul aparitiei fortei deci acesta nu are influenta asupra preciziei tensionarii.

Pentru asigurarea tensionarii independente pe cele doua directii de tensionare (X si Y) perpendiculare pe doua laturi ale ramei de tensionare se opteaza pentru doua cuple elicoidale surub-piulita identice. Astfel rama de tensionare va avea doua laturi fixe perpendiculare intre ele si doua laturi deplasabile cu ajutorul a doua cuple elicoidale surub piulita. Schema de principiu a standului este prezentata in fig. 2.41.

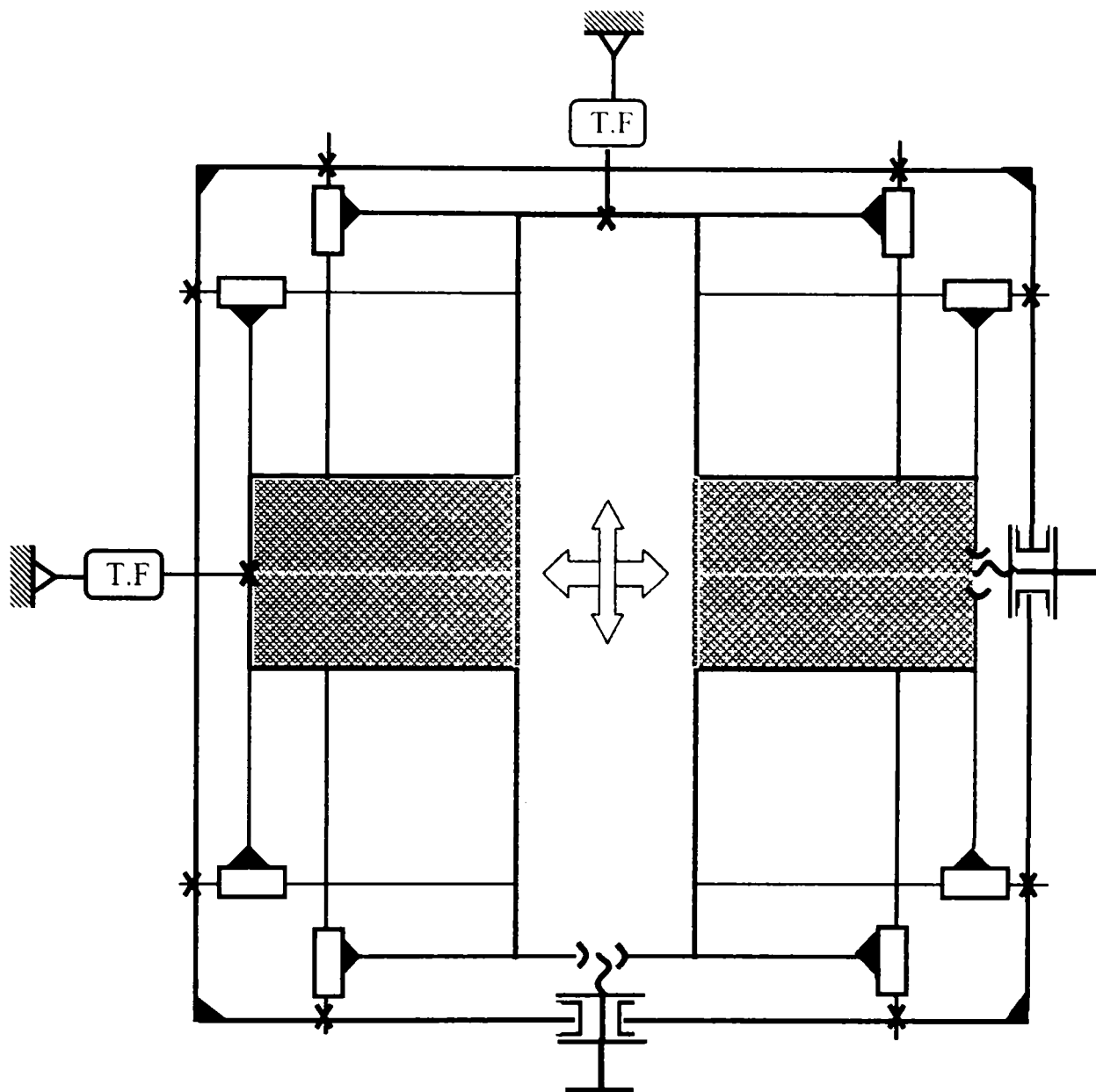


Fig. 2.41 Schema de principiu a standului cu tensionare manuala

Standul prezentat este compus dintr-o masa cu doua laturi fixe si doua laturi mobile (deplasabile), deplasarea independenta a celor doua laturi mobile pe directia axelor X si Y fiind asigurata de doua mecanisme surub-piulita. Datorita fixarii in cruce a panzei pe stand, in timpul tensionarii se poate produce o abatere de la perpendicularitate (v. Cap. 3.4). Daca aceasta abatere este semnificativa in locul solutiei cu tragere unilaterala se poate folosi o solutie cu tragere bilaterala. In fig. 2.42 si 2.43 se prezinta doua variante constructive pentru sisteme de tensionare bilaterala.

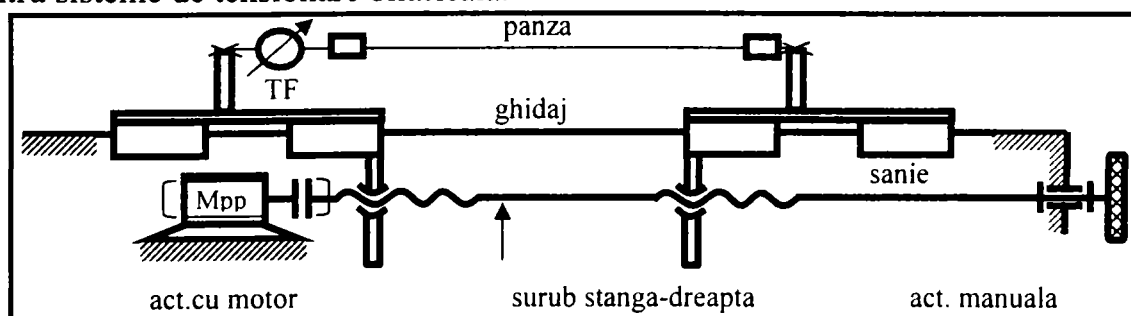


Fig. 2.42 Variante constructive pentru sisteme de tensionare bilaterala (cu deplasare sincrona si de sens contrar)



Se asigura deplasarea sincrona a ambelor capete de panza pe ambele directii de tensionare.

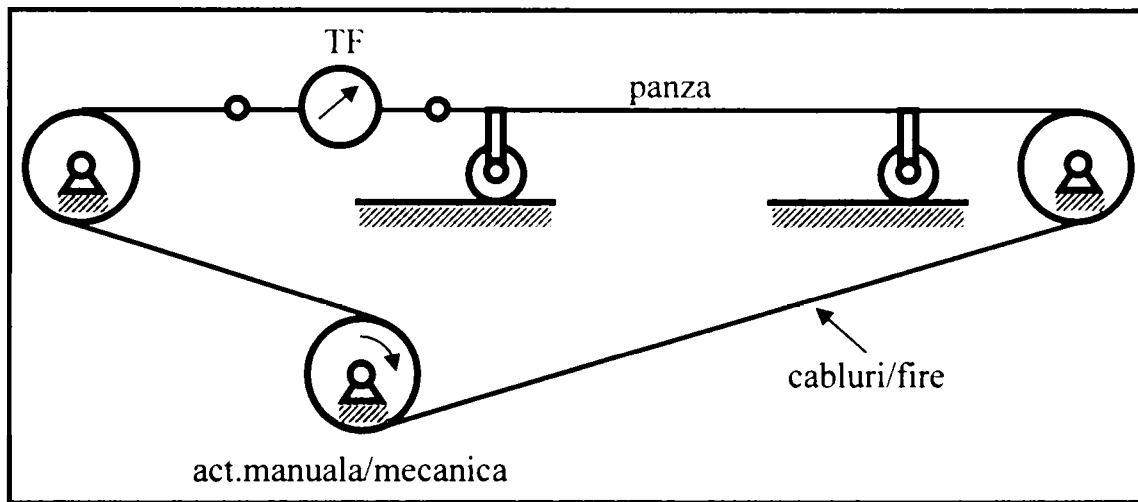


Fig. 2.43 Varianta constructivă pentru sisteme de tensionare bilaterala (cu deplasare sincrona și de sens contrar)

Măsurarea forțelor de tensionare se realizează cu ajutorul a două traductoare de forță (T.F) montate axial pe direcțiile de deplasare a laturilor mobile.

Traductoarele de forță (dinamometrele) pot fi în general de următoarele tipuri:

- cu element elastic (arc lamelar sau membrana) și prelevare electrică a semnalului (timbre tensiometrice);
- dinamometre magnetoelectrice;
- dinamometre piezoelectrice;
- dinamometre de tip mecanic (cu redare analogică).

Având în vedere necesitatea transmiterii și prelucrării automate a semnalului cules pentru aplicația prezentată (măsurarea forței de pretensionare a panzei serigrafice) se va opta pentru traductoare de forță de tip electric (cu semnal de ieșire sub formă electrică), principiul de funcționare al acestora fiind deja prezentat în Cap. 2.1.

O modalitate uzuală pentru măsurarea forțelor de întindere sau compresiune pe cale electrică este soluția cu element sensibil de tip membrană (v.fig.2.44) pe suprafața căreia se aplică timbrele tensiometrice montate în punte.

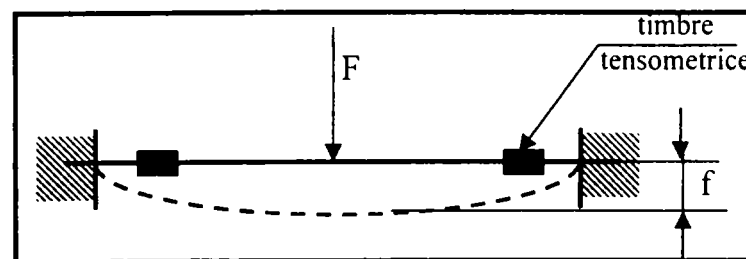


Fig. 2.44 Dinamometru cu membrană, principiul de prelevare electrică a semnalului



Principalele modalitati de masurare a deformatiilor/fortelor de intindere-compresiune se pot realiza mecanic sau electric (metoda tensiometrica, metoda piezoelectrica sau magnetoelastica).

Solutia constructiva de stand cu tensionare manuala si masurare cu traductor de forta (care poate fi unul din tipurile prezentate in Cap. 2.1) are urmatoarele **avantaje**:

- simplitatea constructiva;
- costul de realizare si exploatare redus;
- aplicabilitate pentru orice tip de panza serigrafica (nemetalina, metalica sau mixta);
- prelucrarea automata a datelor masurate.

**Dezavantaje** pot fi considerate:

- necesitatea operatorului uman;
- precizia redusa a tensionarii dar suficienta pentru aplicatia data.

## **2.6.2 Stand cu tensionare manuala si masurare cu micrometrul**

Schema de principiu a acestei variante coincide cu cea prezentata in fig. 2.41, in acest caz fiind vorba de o tensionare manuala a ramei.

Deosebirea consta in masurarea tensionarii ramei serigrafice, care se realizeaza cu ajutorul unui mijloc de masurare a lungimilor de tip micrometru.

Principiul masurarii se bazeaza pe deformarea elastica a panzei cu ajutorul unei greutate, deformatia fiind masurata cu ajutorul unui mijloc de masurare a lungimilor prevazut cu palpator mecanic. Pentru reglajul fin al mijlocului de masurare se utilizeaza un impuls de curent care inchide circuitul de masurare format din palpatorul mijlocului de masurare (5), palpatorul de masurare (3), panza serigrafica (1), sursa de curent (8) si lampa de semnalizare (7). Lampa de semnalizare se va aprinde in momentul in care ambele puncte de masurare (intre palpatorul 3, panza 1 si palpatorul fix 6 respectiv cel mobil al micrometrului 5) vor fi inchise din punct de vedere electric.

Pentru implementarea sistemului de masurare este necesara o panza serigrafica metalica sau mixta (conductoare din punct de vedere electric). Legatura electrica dintre sursa de curent (8) si panza serigrafica (1) se realizeaza cu ajutorul bilei metalice (9) care se deplaseaza, datorita miscarii suportului mobil (2), pe suprafata panzei serigrafice.

Schema de principiu a sistemului de masurare cu palpator mecanic adaptata masurarii tensionarii panzei serigrafice este prezentata in fig. 2.45.

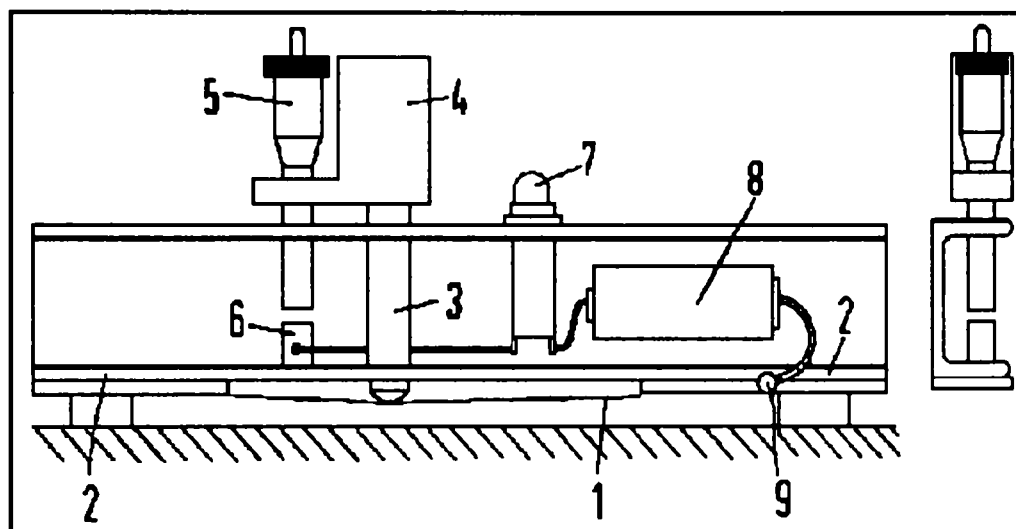


Fig. 2.45 Schema de principiu a sistemului de masurare

Componenta standului prezentat in fig. 2.45 este urmatoarea:

- 1- panza serigrafica (metalica sau mixta) tensionata;
- 2- suport mobil;
- 3- palpator central de masurare;
- 4- greutate;
- 5- micrometru;
- 6- palpator fix (pe suportul 2)
- 7- lampa de semnalizare;
- 8- sursa de curent;
- 9- bila metalica.

Modul de operare a sistemului de masurare este urmatorul:

- 1) Se pozitioneaza suportul mobil (2) pe suprafata panzei tesionate (1) astfel incit palpatorul de masurare (3) sa se situeze in mijlocul panzei si bila (9) sa vina in contact cu panza.
- 2) Se roteste capul micrometric (5) pana cand palpatorul fix (6) vine in contact cu panza serigrafica (1) prn intermediul palpatorului central (3) si se aprinde lampa (7).
- 3) Se citeste indicatia micrometrului.
- 4) Se desurubeaza in continuare capul micrometric (5) pana cand palpatorul (3) se poate deplasa liber pe panza (1) respectiv intre palpatorul fix (6) si palpatorul mobil al micrometrului (5) apare o fanta si lampa (7) se stinge. Se roteste (in sens contrar) capul

micrometric pana cand suprafetele celor doua palpatoare (cel mobil si cel fix al micrometrului) se ating si se aprinde lampa (7).

- 5) Se citeste noua indicatie a micrometrului.
- 6) Diferenta dintre cele doua indicatii (citiri) de pe micrometru reprezinta deformatia elastica a panzei serigrafice datorita greutatii (4).

Cu ajutorul metodei prezentate este posibila si masurarea tensionarii panzelor nemetalice dar in acest caz reglajul fin (reglajul la zero) nu se realizeaza electric (prin lampa) ci prin fanta de lumina dintre suprafetele palpatorului mobil si cel fix (6) respectiv intre palpatorul (3) si panza (1). Aceasta metoda de reglaj are insa precizie scazuta, deci aplicabilitatea metodei este limitata pentru panzele metalice sau mixte.

**Avantajele** metodei sunt:

- constructie relativ simpla;
- reglaj simplu si comod (pentru panzele metalice sau mixte);
- permite tensionare pe axele X si Y (prin sistemul de tensionare manual).

Ca **dezavantaje** pot fi mentionate:

- limitarea aplicabilitatii pentru panzele metalice sau mixte;
- erorile de masurare (erori de citire);
- nu se pot transmite si prelucra automat datele (dezavantaje eliminabile cu ajutorul unui micrometru cu afisaj digital si interfata pentru calculator);
- nu permite masurarea simultana a tensionarilor diferite pe directiile X si Y.

### **2.6.3 Stand cu tensionare gravitacionala si masurare cu ajutorul traductoarelor de forta**

In acest caz tensionarea pe directiile X si Y se realizeaza cu ajutorul a doua greutate (G) fixate pe laturile mobile ale ramei cu ajutorul unor fire (inextensibile) trecute peste doua role (scripeti).

Schema de principiu al acestui sistem de tensionare este prezentata in fig. 2.46. Masurarea fortelor de pretensionare se realizeaza cu ajutorul unor traductoare de forta (T.F) de tipul celor prezentate in Cap. 2.1.

Tensionarea poate fi diferita pe cele doua directii, dar in acest caz sunt necesare greutate cu valori diferite (set de greutate).

**Avantajele** acestui sistem sunt:

- constructie foarte simpla;

- permite tensionare simultană și diferită pe direcțiile X și Y;
- măsurarea forțelor de pretensionare este precisă (cu traductor de forță);
- permite vizualizarea și prelucrarea datelor

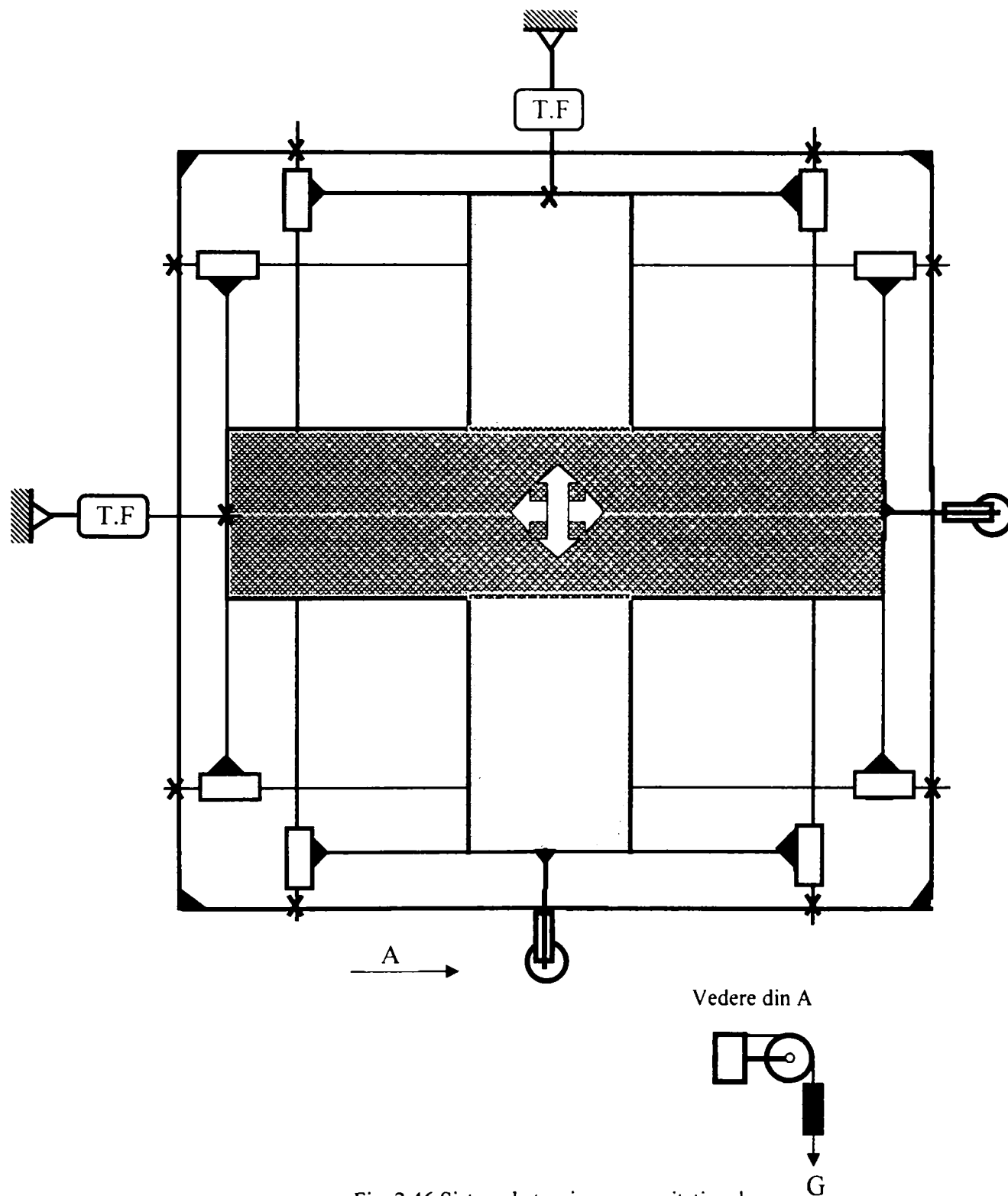


Fig. 2.46 Sistem de tensionare gravitațional

**Dezavantajele** posibile pot fi:

- pentru tensionare este necesar un set întreg de greutăți
- manipularea este incomodă;
- domeniul de tensionare este redus (limitat de plajă acoperită de setul de greutăți).

### 2.6.4 Stand cu tensionare automata electrica si masurare cu traductor de forta

Sistemul de tensionare automata cu actionare electrica utilizeaza ca sursa de actionare doua motoare pas cu pas (m.p.p) care permit tensionarea bilaterala a ramei serigrafice pe directiile X si Y.

Motoarele pas cu pas utilizabile pot fi:

- motoare pas cu pas rotative;
- motoare pas cu pas lineare.

Din punct de vedere constructiv motoarele pas cu pas se clasifica in:

- m.p.p cu reluctanta magnetica variabila;
- m.p.p cu magnet permanent.

In fig. 2.47 se prezinta schema de principiu (in sectiune transversala) a unui motor pas cu pas cu reluctanta magnetica variabila.

Aceste tipuri de motoare sunt cu rotor pasiv, putand avea pe suprafata rotorului dinti si crestaturi (de ex, sase dinti ca in fig. 2.47).

Partea statorica (un stator sau mai multe) cuprinde infasurari distribuite sau concentrate (de ex. opt infasurari concentrate in fig. de mai jos).

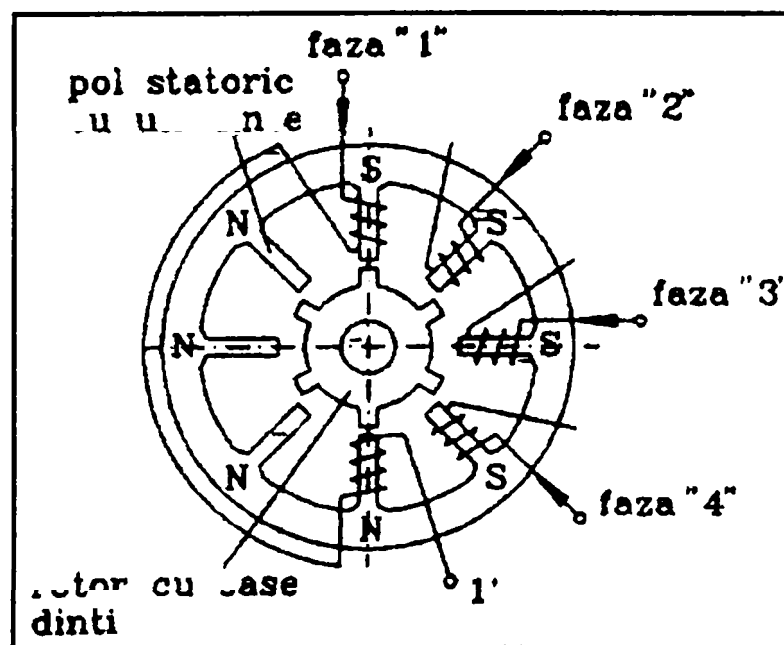


Fig. 2.47 Schema de principiu a unui m.p.p cu reluctanta magnetica variabila

Bobinele polilor diametral opusi se concentreaza in serie si se alimenteaza de la o sursa de curent continuu prin intermediul unui comutator electronic.

Prin alimentarea unei faze statorice (de ex. 1-1') rotorul se va roti astfel incat circuitul magnetic sa prezinte reluctanta magnetica minima (axa infasurarii alimentate sa coincida cu axa unor dinti rotorici). Intrerupand alimentarea fazei 1-1' si alimentand faza 2-2' rotorul va ocupa o noua pozitie de reluctanta magnetica minima rotindu-se cu un unghi  $\theta$  numit pas unghiular.

O micsoare a pasului unghiular se poate obtine prin marirea numarului de poli statorici si rotorici sau prin reunirea in acelasi motor a mai multor seturi independente (electric si magnetic) de statoare si rotoare decalate spatial intre ele.

Principalele avantaje ale m.p.p cu reluctanta magnetica variabila sunt:

- viteze mari de actionare;
- constructie mecanica simpla;
- poate fi bidirectional daca dispune de un numar marit de faze;
- poate fi realizat pentru o gama larga de pasi unghiulari.

Dezavantajele acestui tip de actionari pot fi:

- oscilatiile importante ale rotorului la alimentarea unei singure faze statorice la un moment dat;
- nu este memorata pozitia si nu se dezvolta un cuplu electromagnetic in lipsa alimentarii fazelor statorice.

Varianta motorului pas cu pas realizat cu magnet permanent in rotor este prezentata in fig. 2.48.

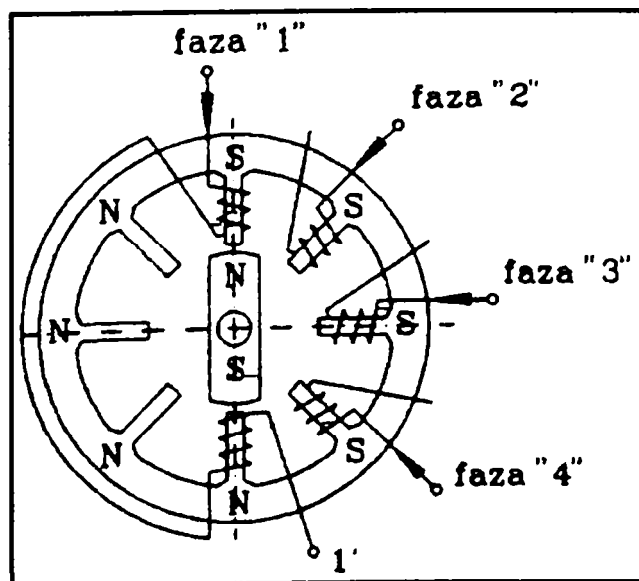


Fig. 2.48 Motor pas cu pas cu magnet permanent

Prin alimentarea fazei de comanda statorice se creaza un flux magnetic ce interactioneaza cu cel al magnetului permanent. Rotorul se va roti astfel incat sa ocupe o pozitie ce corespunde unei reluctante magnetice minime pentru circuitul magnetic.

Avantajele utilizarii unui astfel de motor sunt:

- consum energetic redus;
- rotorul are o miscare amortizata datorita prezentei magnetului permanent;
- se dezvolta un cuplu de fixare a rotorului chiar in lipsa alimentarii fazelor.

Dezavantajele acestui tip de motor sunt:

- tensiunea electromotoare indusa in infasurarea de comanda are valori ridicate;
- performantele motorului sunt afectate de variatia caracteristicilor magnetului permanent.

Componenta principiala a unui motor pas cu pas linear este prezentata in fig. 2.49.

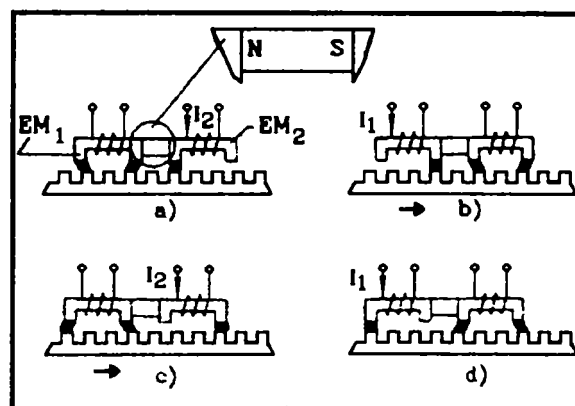


Fig. 2.49 Motor pas cu pas linear

Partea activa a motorului este realizata cu ajutorul a doi electromagneti ( $EM_1$  si  $EM_2$ ) care sunt separati de un magnet permanent. Partea pasiva feromagnetica este danturata cu acelasi pas ca si cel al electromagnetilor din parte activa. Magnetul permanent asigura un flux magnetic ce se inchide prin electromagneti si prin circuitul magnetic al partii pasive.

Alimentarea unui electromagnet se realizeaza astfel incat campul sub un pol al acestuia se va dubla iar celalalt se anuleaza. La alimentarea doar a electromagnetului  $EM_2$  partea mobila tinde sa ocupe pozitia minima (fig. 2.49 a). Decupland alimentarea de pe  $EM_2$  si alimentand  $EM_1$  partea mobila se va deplasa cu un sfert de pas sub actiunea fortelor electromagnetice si va ocupa o noua pozitie de reluctanta magnetica minima (fig. 2.49 b).

In fig. 2.49 c, d sunt prezentate urmatoarele doua pozitii succesive ale parti mobile pentru realizarea in cadrul unui ciclu complet a deplasarii pe un pas dentar. Partea mobila este suspendata prin intermediul unei perne de aer sau prin intermediul unui mecanism cu cuple cinematice elastice.

Avantajul unui astfel de motor este faptul ca asigura direct o miscare de translatie, ca dezavantaj putand fii mentionata constructia relativ complexa a acestuia deoarece este necesar un sistem care sa asigure suspendarea partii mobile.

Schema de principiu a standului cu tensionare bilaterala automata electrica, realizat cu ajutorul motoarelor pas cu pas, prezinta o varianta cu patru motoare pas cu pas rotative (v. fig. 2.50), transformarea miscarii de rotatie in miscare de translatie necesara tensionarii panzei serigrafice este realizata cu ajutorul mecanismului pinion-cremaliera. Se folosesc cate doua motoare pentru fiecare axa de tractiune astfel incat sa se poata asigura o deplasare sincrona si de sens contrar iar pozitia partii centrale a panzei sa ramina nemodificata.

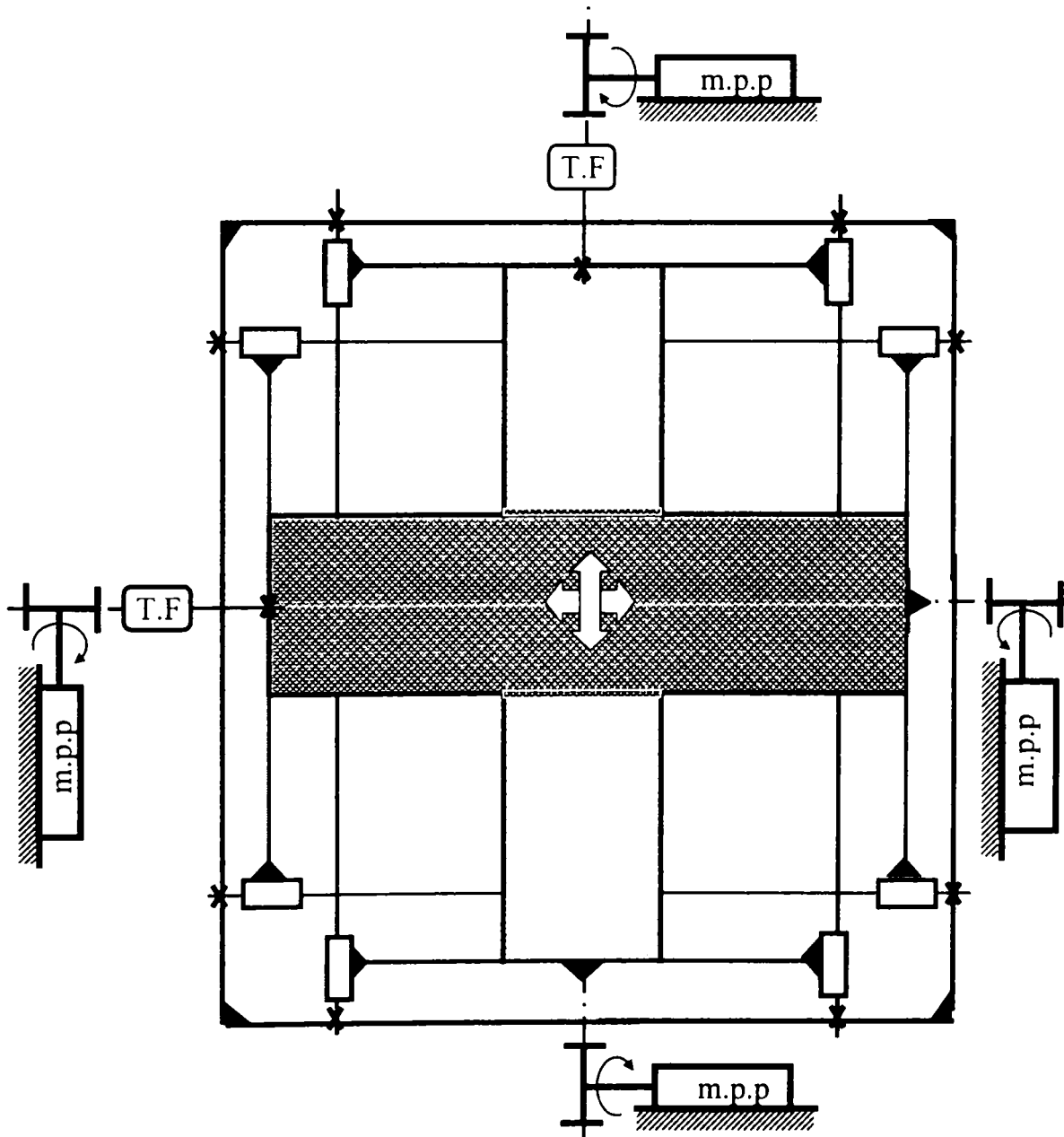


Fig. 2.50 Stand cu tensionare automata bilaterala  
cu motoare pas cu pas



In cazul utilizarii variantei cu motor pas cu pas linear partile componente ale acestuia (electromagneti si partea feromagnetica) pot fi incorporate direct in constructia ramei/mesei serigrafice, eliminandu-se mecanismul pinion-cremaliera, dar astfel se poate produce o crestere considerabila a costului realizarii sistemului.

Indiferent de tipul motoarelor pas cu pas utilizate masurarea fortelor de pretensionare se realizeaza cu ajutorul traductoarelor de forta (T.F) de tipul celor prezentate in Cap. 2.1.

**Avantajele** acestui sistem de pretensionare sunt:

- actionare si masurare automatizata;
- permite tensionarea diferita pe directiile X si Y (cu m.p.p diferite);
- masurarea precisa, este posibila prelucrarea automata a datelor.

**Dezavantajele** metodei sunt:

- necesitatea unor limitatoare de cursa respectiv traductoare de pozitie pentru motoarele pas cu pas;
- reglajul pretensionarii este limitat de cursa motoarelor pas cu pas (si de posibilitatea controlarii cursei);
- cost relativ mare de realizare, implementare si exploatare.

### **2.6.5 Stand cu tensionare automata electrica si masurare inteferometrica**

Sistemul de tensionare are la baza actionare automata electrica cu ajutorul motoarelor pas cu pas prezentat anterior (v. fig. 2.50), masurarea tensionarii realizandu-se in acest caz cu ajutorul unui sistem de masurare optic cu laser.

Solutiile constructive ce vor fi prezentate se bazeaza pe determinarea sagetii (deformatiei) panzei serigrafice sub actiunea unei greutati cu doua puncte de sprijin pe panza (ca in cazul tensiometrelor mecanice). Tensionarea panzei poate fi determinata stiind ca intre tensionarea panzei ( $T$ ) si deformatia ( $f$ ) exista o proportionalitate directa. Pe panza se pozitioneaza centric, o greutate cunoscuta pe doua puncte de sprijin, astfel incat sa se poate lua in cosiderare un poligon funicular dupa cum rezulta din fig. 2.51 a si b iar valoarea tensiunii se poate calcula cu ajutorul relatiei (2.25).

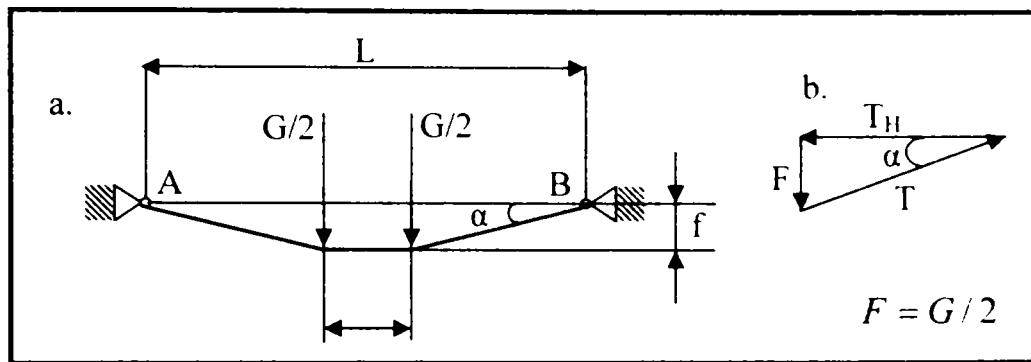


Fig. 2.51 Determinarea tensiunii/sagetii (deformatiei) panzei serigrafice

Din fig. 2.51 b. rezulta:

$$\left. \begin{aligned} \sin \alpha &= \frac{F}{T} \Rightarrow T = \frac{F}{\sin \alpha} \\ \operatorname{tg} \alpha &= \frac{f}{\frac{L-b}{2}} = \frac{2f}{L-b} \\ \sin \alpha &= \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}} \\ \sin \alpha &= \frac{2f}{\sqrt{(L-b)^2 - 4f^2}} \end{aligned} \right\} \Rightarrow T = \frac{\sqrt{(L-b)^2 - 4f^2}}{4f} \cdot G = T(f) \quad (2.25)$$

Masurarea tensionarii (a sagetii „ $f$ ” a panzei serigrafice care este de fapt o distanta) utilizand un sistem optic cu laser se poate realiza prin mai multe metode de masurare:

- telemetrie laser;
- metoda triangulatiei;
- metoda divizarii fascicolului.

Principiul masurarii pe baza telemetriei laser (adaptata la aplicatia data) este prezentata in fig. 2.52

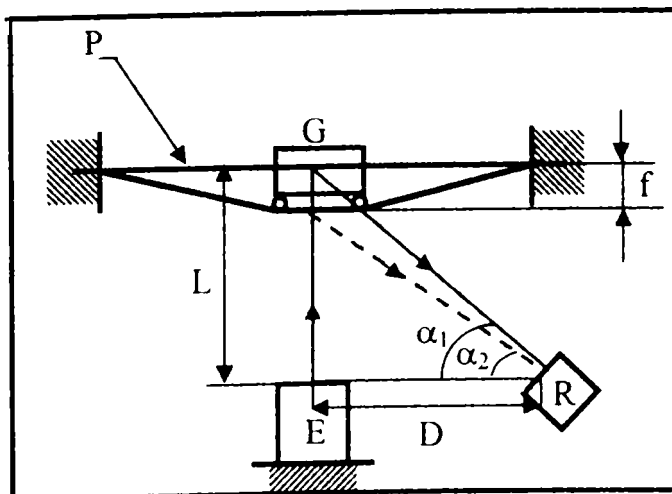


Fig. 2.52 Principiul telemetriei laser

Emitatorul E (sursa laser) si receptorul R se monteaza sub panza serigrafica la distanta L respectiv D intre emitator si receptor. Raza laser reflectata de obiect (panza P de care se lipeste un obiect reflectorizant) ajunge pe receptorul R, in starea nedeformata a panzei se poate scrie:

$$L = D \operatorname{tg} \alpha_1 \quad (2.26)$$

iar in starea deformata:

$$L - f = D \operatorname{tg} \alpha_2 \quad (2.27)$$

Masurand unghiurile de rotatie (cu ajutorul unui traductor de rotatie) ale emitatorului ( $\alpha_1$  si  $\alpha_2$ ) care urmareste punctul tinta (elementul reflectorizant plasat pe panza) si cunoscand datele constructive L si D pe baza relatiilor (2.26) si (2.27) se poate determina sageata „f”.

Metoda triangulatiei este asemanatoare telemetriei cu deosebirea ca pentru acest tip de aplicatie atat emitatorul E cat si receptorul R se deplaseaza unghiular (v.fig.2.53).

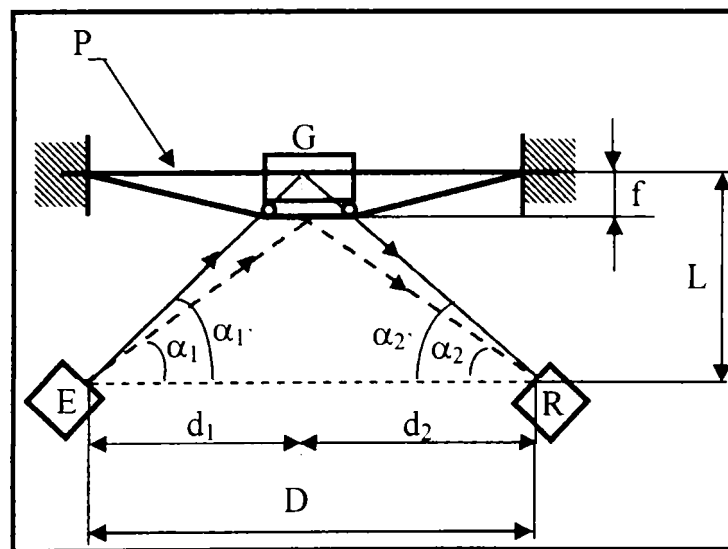


Fig. 2.53 Metoda triangulatiei

Pentru panza nedeformata (netensionata) se poate scrie:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_1 &= \frac{L}{d_1} \\ \operatorname{tg} \alpha_2 &= \frac{L}{d_2} \\ d_1 + d_2 &= D \end{aligned} \right\} \Rightarrow L = \frac{D}{\operatorname{ctg} \alpha_1 + \operatorname{ctg} \alpha_2} \quad (2.28)$$

Respectiv pentru panza tensionata:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha'_1 &= \frac{L-f}{d_1} \\ \operatorname{tg} \alpha'_2 &= \frac{L-f}{d_2} \\ d_1 + d_2 &= D \end{aligned} \right\} \Rightarrow L-f = \frac{D}{\operatorname{ctg} \alpha'_1 + \operatorname{ctg} \alpha'_2} \quad (2.29)$$

Daca se masoara unghiurile  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha'_1$ ,  $\alpha'_2$  din relatiile (2.28) si (2.29) se poate determina valoarea sagetii „f”.

Pentru evitarea necesitatii masurarii unghiurilor de rotatie se poate realiza solutia de masurare din fig. 2.54, montand emitorul si receptorul in acelasi loc, in acest caz fiind necesar si un cronometru pentru masurarea timpului „t” intre emisia si receptia luminii.

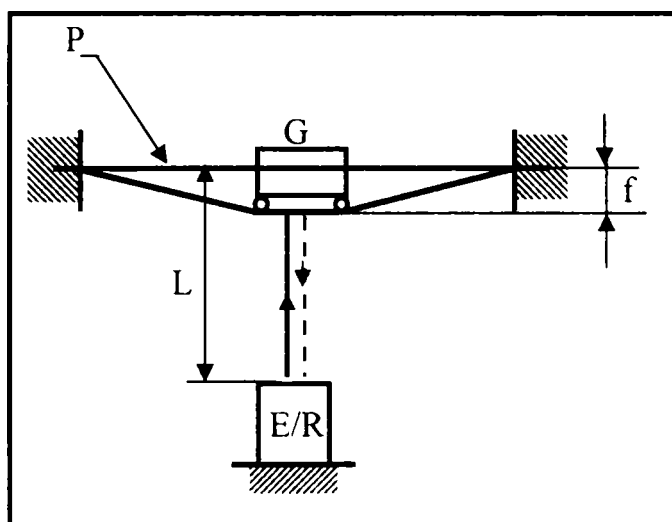


Fig.2.54 Telemetrie laser cu emitor si receptor incorporat

Pentru varianta din fig. 2.54 se poate scrie:

$$2(L-f) = c t \quad (2.30)$$

unde:  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s (viteza de propagare a luminii in aer)

Cunoscand cota de montaj L si cronometrind timpul dintre emisia si receptia luminii din relatia (2.30) se poate determina „f”.

Metoda divizarii fasciculului are la baza divizarea fasciculului laser de lungime de unda  $\lambda$  cu ajutorul unei prisme P (v.fig. 2.55) aflata la distanta L de obiect (panza serigrafica T).

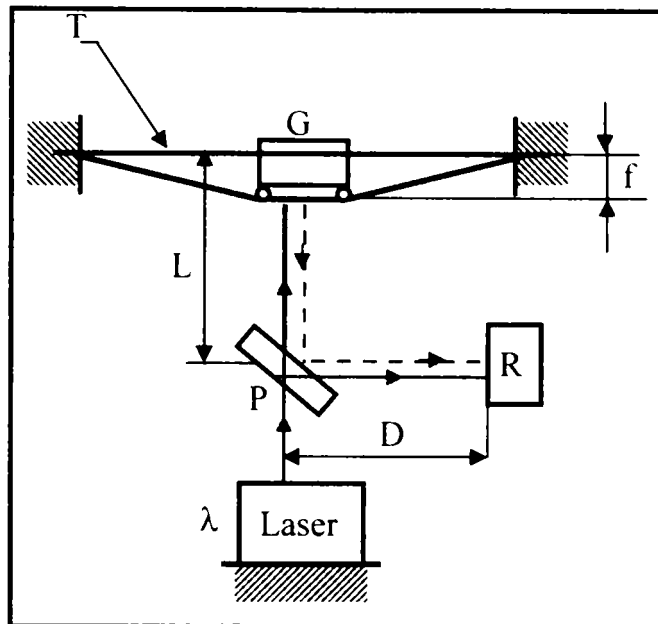


Fig. 2.55 Masurarea prin divizarea fascicolului laser

Raza laser este divizată de prisma P, o parte traversează prisma și ajunge pe obiect (panza T), de unde prin reflexie (pe un material reflectant lipit pe panza) ajunge pe receptorul R, drumul parcurs de raza fiind:  $2(L - f) + D$ .

Celălalt fascicul este deviat de prisma direct spre receptor, parcurgând distanța D.

Între cele două semnale culese pe receptor există un defazaj  $\theta$ , care se poate măsura (de exemplu cu ajutorul unui osciloscop) și cunoscând faptul că distanța parcursă se poate scrie sub forma:

$$2(L - f) + D = \frac{\theta}{360^\circ} \lambda \quad (2.31)$$

se poate determina sâgeata „ f ” dacă se cunosc cotele de montaj L și D respectiv lungimea de undă  $\lambda$  a radiației laser.

**Avantajele** sistemului propus pot fi:

- posibilitatea măsurării deformațiilor (tensionărilor) mici și foarte mici;
- posibilitatea tensionării simultane pe direcțiile X și Y;
- tensionare și măsurare automată.

Ca **dezavantaje** se pot lua în considerare:

- precizia măsurării depinde de precizia măsurării valorilor intermediare (unghiuri de rotație, cote de montaj, defazaj);
- necesitatea existenței unei suprafețe reflectante pe suprafața panzei;
- cost relativ ridicat de realizare.

### 2.6.6 Stand cu tensionare automata hidraulica/pneumatica si masurare cu traductor de forta

Sistemul de tensionare hidraulic sau pneumatic utilizeaza doi cilindri hidraulici sau pneumatici pentru asigurarea pretensionarii pe directiile X si Y.

Principiul sistemului de pretensionare cu actionare hidraulica sau pneumatica este prezentat in fig. 2.56

Prin introducerea aerului comprimat sau a uleiului sub presiune in cilindrii de actionare se asigura pretensionarea pe cele doua directii X si Y.

Masurarea fortelor de pretensionare se realizeaza cu ajutorul traductoarelor de forta (T.F) de tipul celor prezentate in Cap. 2.1.

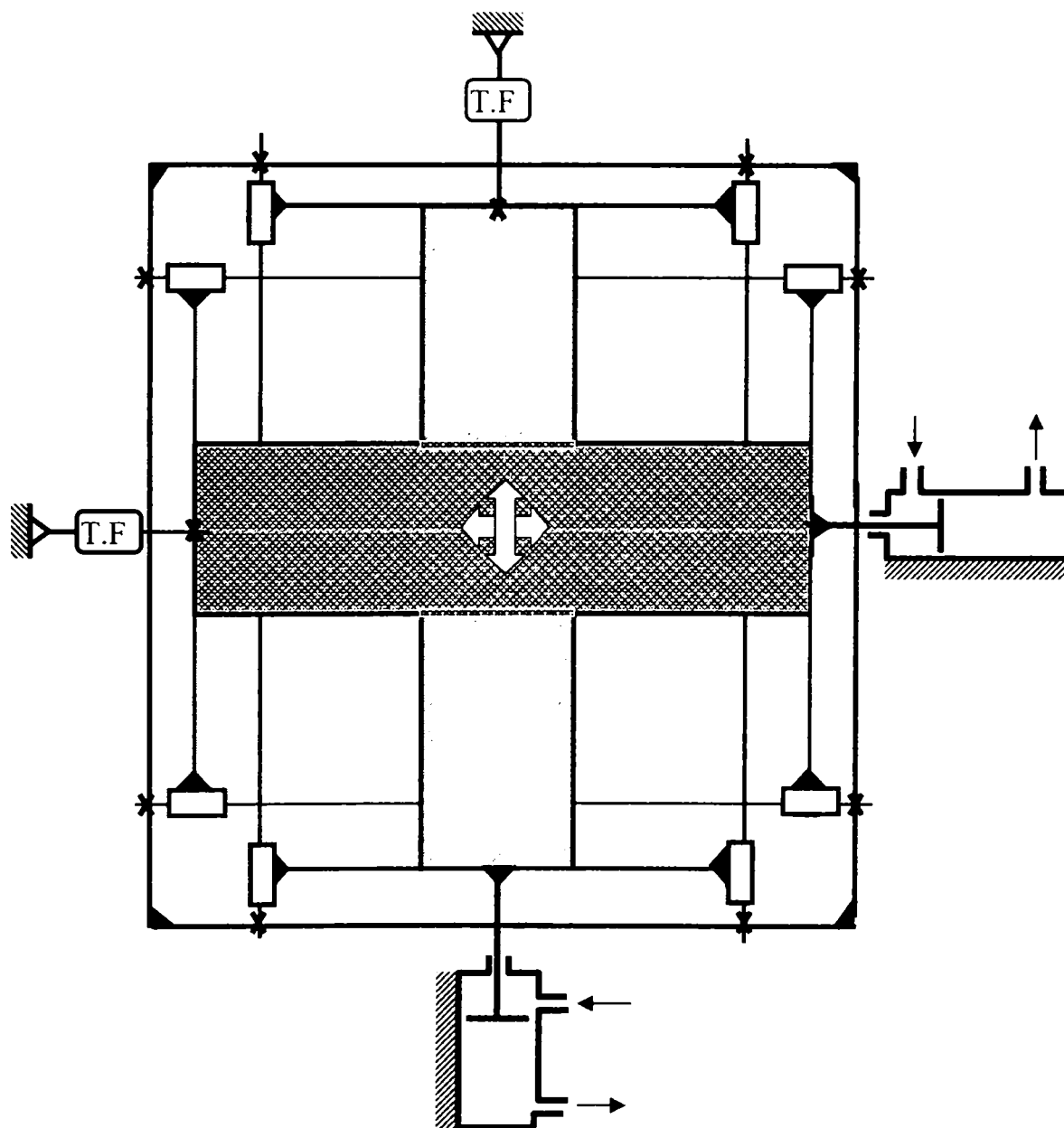


Fig. 2.56 Sistem de tensionare hidraulic sau pneumatic

**Avantajele** acestui tip de stand pot fi:

- asigurarea tensionarii simultane si diferite pe directiile X si Y;
- tensionare si masurare automata;
- posibilitate de prelucrare si afisare automata a datelor.

Ca **dezavantaje** se pot mentiona:

- necesitatea etansarilor pretentioase la nivelul piston-cilindru;
- necesitatea limitatoarelor de cursa sau/si a traductoarelor de pozitie pentru controlul curselor.

In cele ce urmeaza se va realiza analiza critica a solutiilor prezentate pe baza unor criterii de analiza propuse de autor.

## 2.7 Studiu de solutii – analiza critica

Pentru analiza solutiilor constructive propuse pentru standuri de tensionare in vederea etalonarii/calibrarii tensiometrelor se propun urmatoarele criterii de analiza:

- modul de tensionare;
- modul de masurare a fortelor de tensionare;
- precizia pretensionarii;
- precizia masurarii fortelor de tensionare;
- prelucrarea automata a datelor pe calculator;
- tensionare bilaterala pe directiile X si Y;
- simplitatea constructiva si de utilizare;
- costul.

Avand in vedere criteriile de analiza stabilite anterior se va realiza o analiza critica, sub forma tabelara, a solutiilor constructive propuse si prezentate anterior avand ca scop stabilirea solutiei constructive optime in vederea realizarii practice a acestuia.

Analiza critica a solutiilor constructive este realizata in Tab. 2.1, din care se poate constata ca solutia constructiva cu cele mai multe avantaje ( $A = 7$ ) si cele mai putine dezavantaje ( $D = 1$ ) este cel cu tensionare manuala si sistem de masurare a fortelor de tensionare cu ajutorul traductoarelor de forta.

Tip Stand	1.		2.		3.		4.		5.		6.	
	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D
Tensionare	manuala	D	manuala	D	gravitationala	D	automata, electrica	A	automata, electrica	A	automata, hidraul./pneum.	A
Masurare tensiune	automata cu T.F	A	operator, erori citire	D	automata cu T.F	A	automata cu T.F	A	cu laser	A	automata, cu T.F	A
Precizie masurare.	buna	A	buna	A	buna	A	buna	A	depinde de param.intermed.	D	buna	A
Prelucrare date	da	A	nu	D	da	A	da	A	da	A	da	A
Precizie tensiune	acoperitor pt. aplicatie	A	acoperitor	A	necesita seturi de greutatei	D	necesita limitatori de cursa	D	necesita limitatori de cursa	D	necesita limitatori de cursa	D
Tensionare bilaterala (X,Y)	nu	A	nu	D	nu	D	da	A	da	A	nu	A
Simplitate	da	A	complexitate medie	A	da	A	complex	D	complex	D	necesita etansari precise	D
Cost	redus	A	ridicat	D	redus	A	ridicat	D	ridicat	D	ridicat	D

1. Sistem de tensionare manuala, masurarea fortelor cu ajutorul unui traductor de forta;
  2. Sistem de tensionare manuala, masurare cu ajutorul unui micrometru;
  3. Tensionare gravitationala, masurare cu ajutorul traductoarelor de forta;
  4. Tensionare automata electrica, masurare cu ajutorul traductoarelor de forta;
  5. Tensionare automata electrica, masurare cu ajutorul unui sistem optic laser.
  6. Tensionare automata hidraulica sau pneumatica, masurarea cu ajutorul traductoarelor de forta;
- A - avantaj; D - dezavantaj; T.F - traductor de forta



### Cap.3. Standul de etalonare propus

In baza analizei critice a celor sase solutii constructive de stand propuse s-a ales ca solutie optima sistemul de pretensionare manuala (cu mecanism surub-piulita) de la o singura extremitate (unilaterala) si sistem de masurare a fortelor de pretensionare cu traductor de forta, schema de principiu a standului fiind prezentat in fig. 3.1.

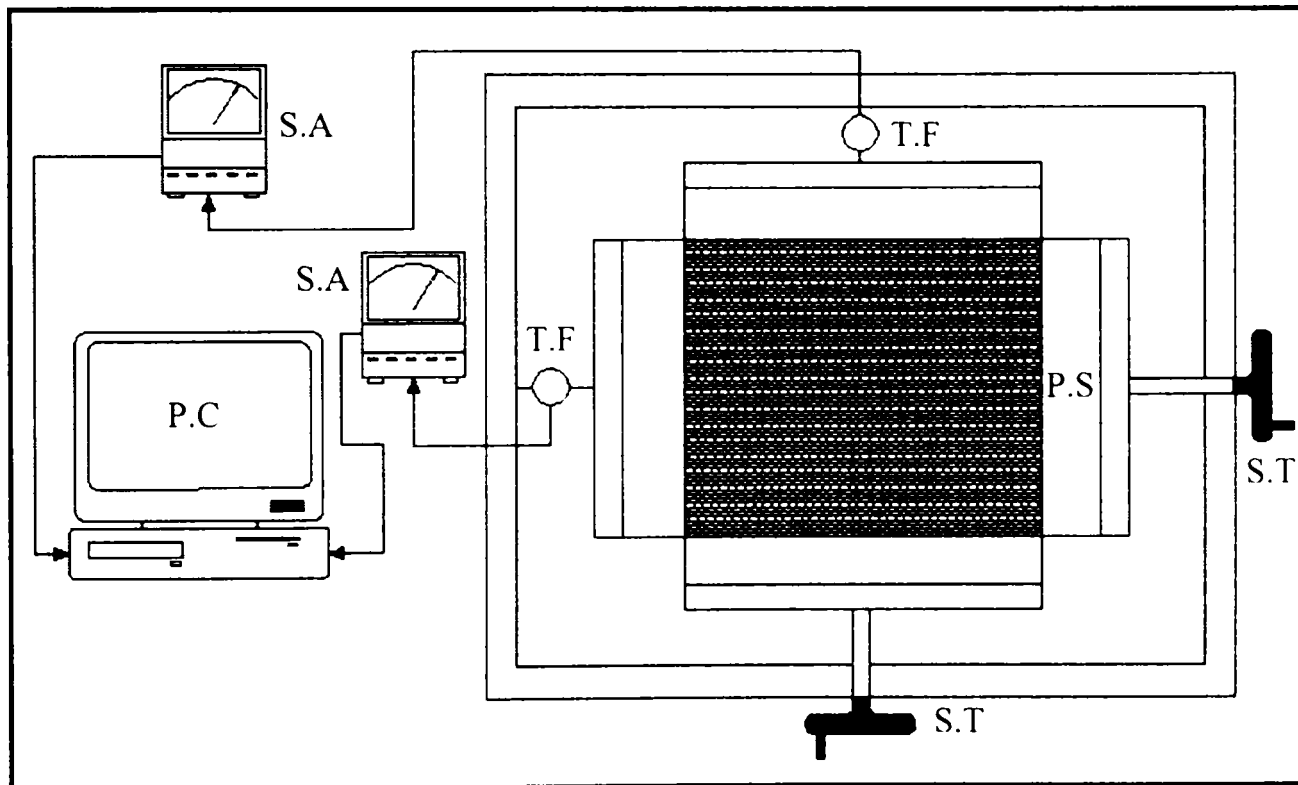


Fig. 3.1 Schema de principiu a standului propus

Componenta standului este urmatoarea:

S.T – sistem de tensionare;

T.F – traductor de forta;

S.A – sistem de afisare (poate fi unul singur cu afisare pe doua canale);

P.C – sistem de calcul;

P.S – panza serigrafica.

Modul de functionare se va prezenta facandu-se referire la schema bloc din fig. 3.2, care are aceasi componenta cu standul din fig. 3.1.

### 3.1 Schema bloc. Modul de functionare

Schema bloc a standului este prezentata in fig. 3.2

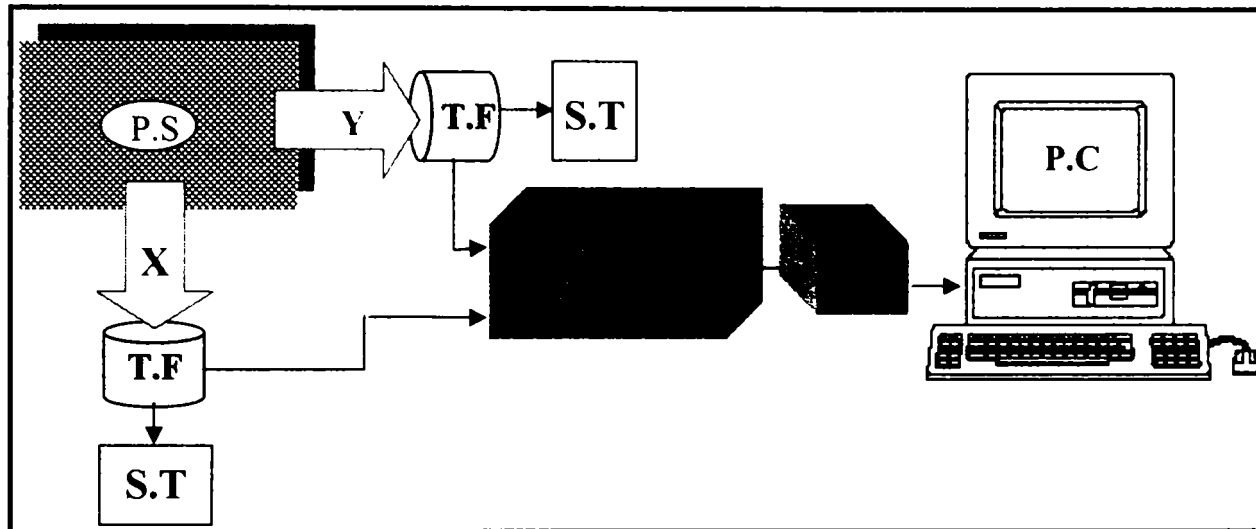


Fig. 3.2 Schema bloc a standului

Modul de functionare a standului este urmatorul:

Panza serigrafica (P.S) fixata pe rama serigrafica este tensionabila in mod independent pe directiile X si Y cu ajutorul a doua sisteme de tensionare (S.T) de tip surub-piulita.

Masurarea fortelor de tensionare se realizeaza cu ajutorul a doua traductoare de forta (T.F) care transforma semnalul de intrare (forte) in semnale de iesire de tip electric, afisabile cu ajutorul sistemului de afisaj (S.A). Pentru asigurarea arhivarii, prelucrarii si vizualizarii sub forma grafica a datelor, semnalul provenit de la traductoare (sistem de afisaj analogic) este prelucrat cu ajutorul unei interfete (I.F) si transmis sistemului de calcul (P.C) dotat cu softul de prelucrare/afisare aferent.

In cele ce urmeaza se prezinta pe scurt caracteristicile constructiv functionale ale componentelor standului.

## 3.2 Componenta standului

Conform schemei bloc din fig.3.2 standul are urmatoarea componenta:

1. panza serigrafica;
2. sistemul de tensionare;
3. traductoarele de forta;
4. sistemul de afisare;
5. interfata;
6. sistemul de calcul si softul aferent.

### 3.2.1. Panza serigrafica

Standul propus, datorita sistemului de masurare a tensionarii ales, are avantajul major ca poate utiliza orice tip de panza serigrafica, indiferent de tipul panzei sau materialul acesteia (textil, metalic sau mixt).

Panza serigrafica este fixata pe masa de etalonare, prevazuta cu sistemul de tensionare tip surub-piulita (v.fig. 3.3).

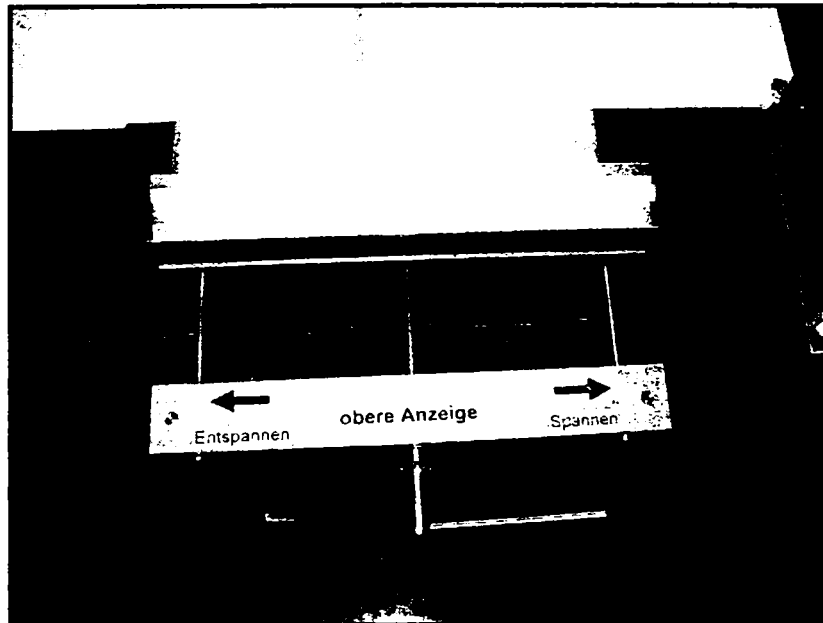


Fig. 3.3 Panza serigrafica si sistemul de tensionare

Fixarea panzei serigrafice in vederea tensionarii acesteia se realizeaza cu ajutorul unui sistem tip suport-placa-suruburi de strangere (v.fig. 3.4).

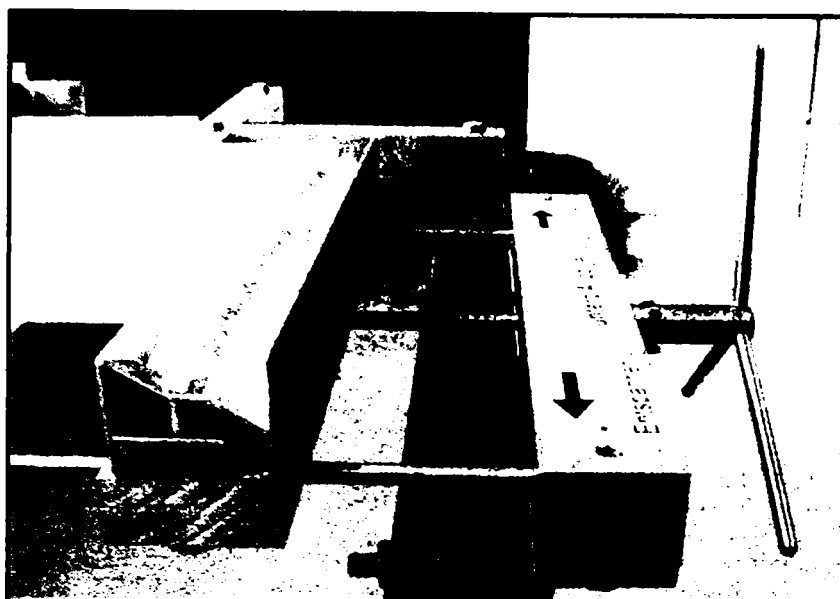


Fig. 3.4 Modul de fixare a panzei serigrafice

Sistemul de fixare are avantajul ca nu deterioreaza panza si fixarea acesteia se realizeaza pe toata lungimea cadrului (ramei).

La **alegerea panzei serigrafice** s-au luat in considerare doar cele din Poliester si poliamida (nylon) monofilar, tinandu-se cont de urmatoarele caracteristici:

- Tensionare ridicata pina la 80-90 N/cm
- Fluaj redus
- Rezistenta ridicata la rupere
- Calitati elastice / plastice bune

S-a ales o panza din Poliester, facandu-se o comanda speciala la firma Sefar Elvetia, firma specializata in productia de pinze serigrafice.

Codul panzei alese este 48-70W PW avand urmatoarele caracterisitici :

- Numar de fire/cm :  $n = 48 - 70$
- Diametrul firului:  $70\mu\text{m}$ ,
- Culoarea alba (W)
- Tip de panza 3:3 (PW-Plain Weave)
- Tensiunea max 90 N/cm

Schematic caracteristicile de baza ale panzei sunt redate in fig. 3.5.

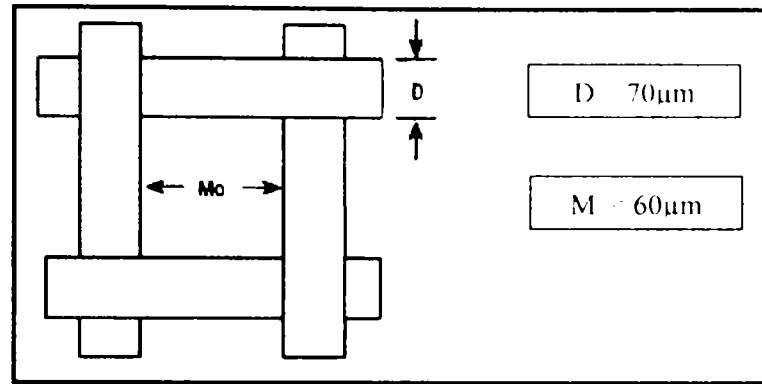


Fig. 3.5 Caracteristicile panzei

Cunoscand tensiunea maxima admisa a panzei (90 N/cm) si utilizand dependenta tensiune-finete panza (numar de fire) furnizata de catre producator (v.fig. 3.6) se determina numarul de fire al panzei ca fiind de 53 fire/cm.

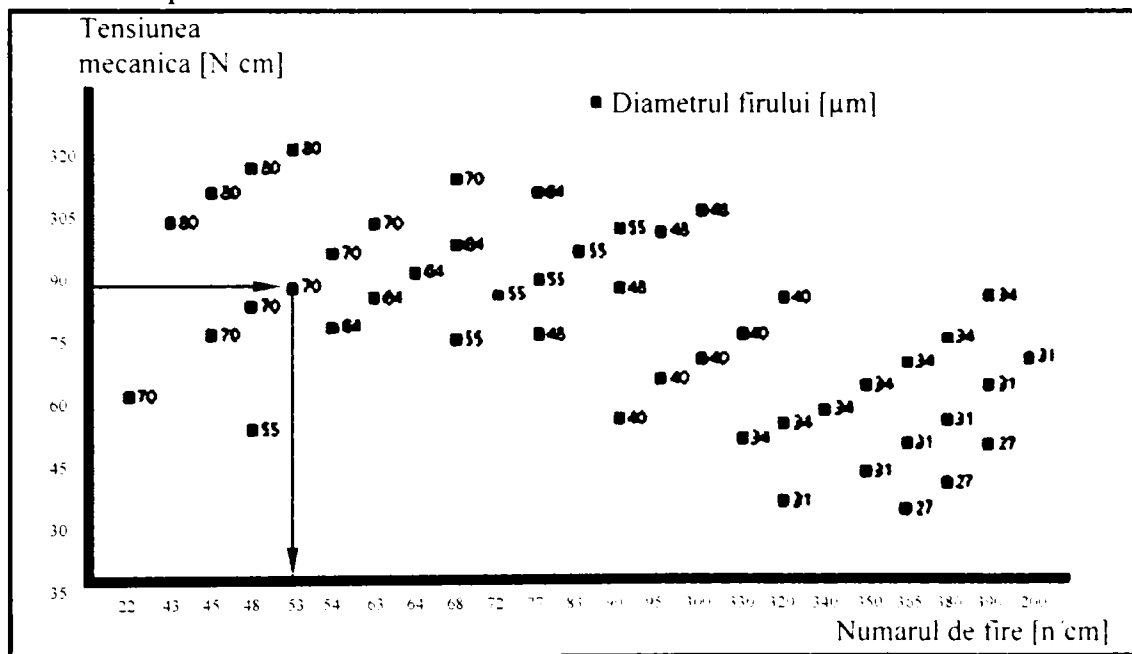


Fig. 3.6 Dependenta tensiune-finete tesatura

Datorita faptului ca panza serigrafica poate fi deformata plastic / ireversibil la colturi in timpul tensionarii s-a ales solutia panzei in cruce (v.fig. 3.7).

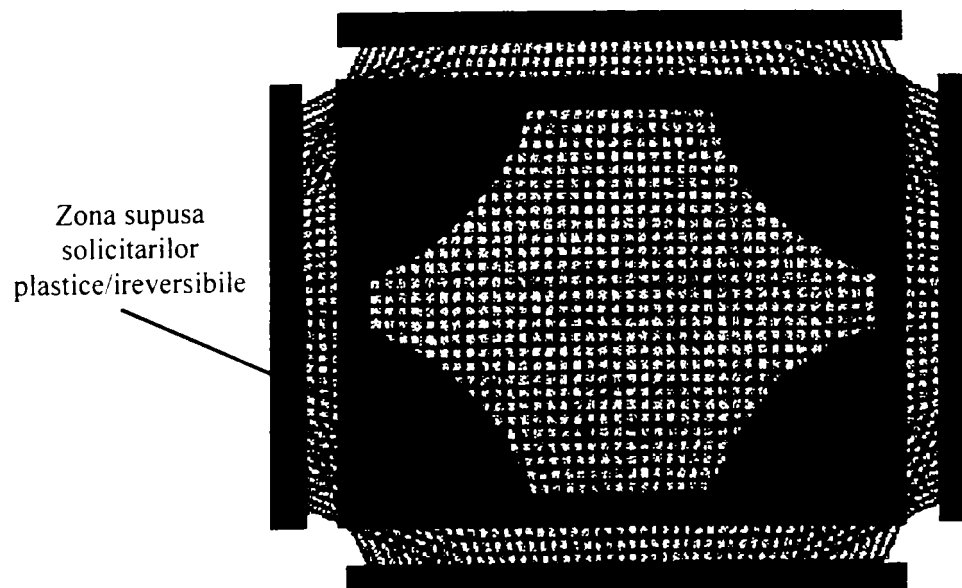


Fig. 3.7 Panza cu tesatura in cruce

Panza în cruce montată pe stand, având caracteristicile amintite mai sus, este prezentată în fig. 3.8.



Fig. 3.8 Panza în cruce montată pe stand

Figura 3.9 prezintă principalele caracteristici ale diverselor tipuri de panze produse de firma Sefar AG Elveția.

24.02.2005 26		<b>SEFAR® PET 1000</b> Hochmoduliges Gitter aus Monofilament-Polyester   High modulus mesh of monofilament polyester Tissu haut module de polyester monofilament   Tela de alto módulo a partir de monofilamentos de poliéster Tessuto ad elevata modularità con poliestere monofilamento   Tejidos de poliéster monofilamento de alto módulo												
Carecristiche Range of finish Caratteristiche Caractéristiques Características	Design Type Legamento Armatura Legamento	Federazione Federazione Federazione	Tolleranza di mesh count Tolleranza di mesh count Tolleranza di mesh count	Numero di fili Numero di fili Numero di fili	Numero di fili Numero di fili Numero di fili	Misura Misura Misura	Quantità di fili Quantità di fili Quantità di fili	Apertura Apertura Apertura	Standard Standard Standard	Diametro Diametro Diametro	Chiaro Chiaro Chiaro	Chiaro Chiaro Chiaro	Chiaro Chiaro Chiaro	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
PET 1000	32-70W PW 83-70W PW	1.1	1.0	240	70	58.7	117	6	68.7	37	●	●	●	
PET 1000	32-70Y PW 83-70Y PW	1.1	1.0	240	70	58.7	117	6	68.7	37	●	●	●	
PET 1000	32-100W PW 83-100W PW	1.1	1.0	209	100	44.5	162	8	72.1	75	●	●	●	
PET 1000	32-100Y PW 83-100Y PW	1.1	1.0	209	100	44.5	162	8	72.1	75	○	○	○	
PET 1000	32-120W PW 83-120W PW	1.1	1.0	191	120	37.2	210	11	78.0	108	○	○	○	
PET 1000	36-90W PW 92-90W PW	1.1	1.0	183	90	43.3	150	8	64.9	68	●	●	●	
PET 1000	36-100W PW 92-100W PW	1.1	1.0	174	100	39.1	160	8	62.6	84	●	●	●	
PET 1000	36-100Y PW 92-100Y PW	1.1	1.0	174	100	39.1	160	8	62.6	84	○	○	○	
PET 1000	40-80W PW 103-80W PW	1.1	1.0	166	80	44.1	133	7	58.6	60	●	●	●	
PET 1000	43-80W PW 110-80W PW	1.1	1.0	149	80	40.8	130	7	53.0	64	●	●	●	
PET 1000	43-80Y PW 110-80Y PW	1.1	1.0	149	80	40.8	130	7	53.0	64	○	○	○	
PET 1000	43-90W PW 110-90W PW	1.1	1.0	136	90	34.0	150	8	51.0	82	○	○	○	
PET 1000	45-70W PW 115-70W PW	1.1	1.0	150	70	45.7	115	6	52.6	52	●	●	●	
PET 1000	45-80W PW 115-80W PW	1.1	1.0	138	80	38.7	130	7	50.3	67	○	○	○	
PET 1000	48-55W PW 123-55W PW	1.1	1.0	151	55	52.8	90	5	47.5	34	●	●	●	
PET 1000	48-55Y PW 123-55Y PW	1.1	1.0	151	55	52.8	90	5	47.5	34	○	○	○	
PET 1000	48-70W PW 123-70W PW	1.1	1.0	133	70	41.0	110	6	45.1	55	●	●	●	
PET 1000	48-70Y PW 123-70Y PW	1.1	1.0	133	70	41.0	110	6	45.1	55	○	○	○	
PET 1000	48-80W PW 123-80W PW	1.1	1.0	122	80	34.5	130	7	44.8	72	○	○	○	
PET 1000	48-80Y PW 123-80Y PW	1.1	1.0	122	80	34.5	130	7	44.8	72	○	○	○	

Fig. 3.9 Caracteristici ale panzilor Sefar

### 3.2.2. Sistemul de tensionare

Sistemul de tensionare este realizat cu ajutorul unui mecanism surub piulita de tip menghina (piulita fixa, surub mobil) care asigura deplasarea cadrului si implicit tensionarea panzei serigrafice (v.fig. 3.10).

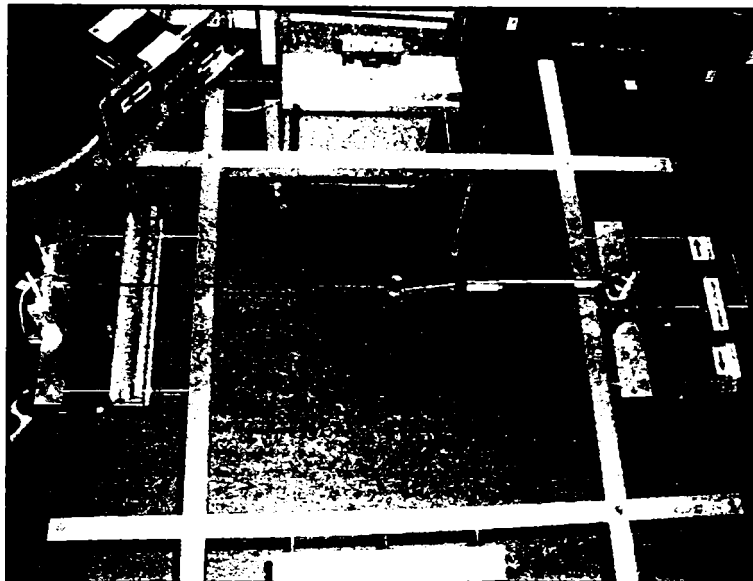


Fig. 3.10 Sistemul de tensionare

Datorita actionarii manuale si a fortelor de tensionare relativ reduse, dimensionarea ansamblului surub-piulita se realizeaza constructiv, adoptandu-se surubul M 8 ( $p = 3$ ).

### 3.2.3. Traductorul de forta

Pentru masurarea fortelor de pretensionare se utilizeaza traductoare de forta de tip electric (cu semnal de iesire de tip electric) sub forma unor capsule dinamometrice (v.fig. 3.11).

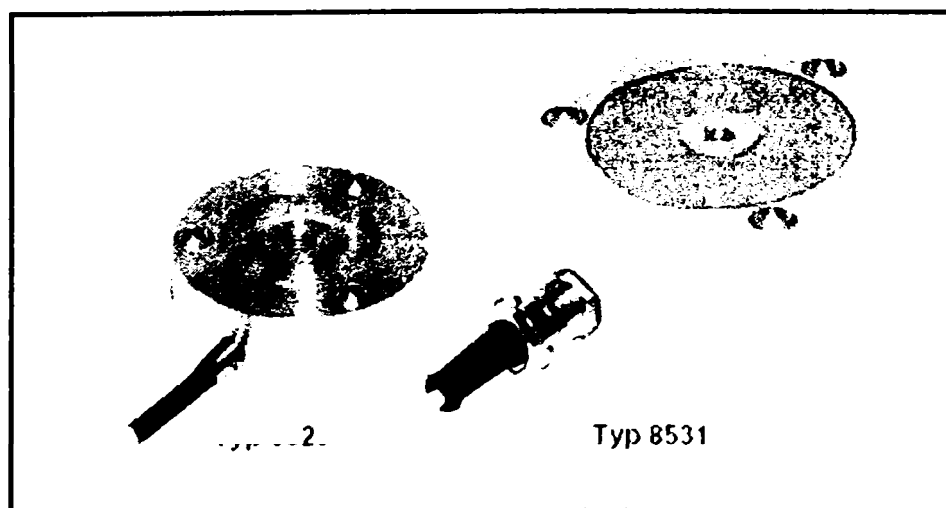


Fig. 3.11 Traductoare de forta

Montarea traductorului de forta in locul de masurare se realizeaza cu ajutorul unei piulite incorporate (M 8), de la care forta de masurat este transmisa elementului sensibil (de tip membrana) pe care sunt montate timbrele tensiometrice in punte completa care furnizeaza semnalul electric de iesire proportional cu forta aplicata.

Principalele caracteristici tehnice ale acestor traductoare de forta sunt prezentate in Tab. 3.1.

Traductoare de forta – caracteristici

Tab. 3.1

Tip traductor	Domeniul de masurare [N]	Precizia [%]	Alimentare [V]	Dimensiuni		
				$\phi D$	H [mm]	G [kg]
8523-20	0 – 20	$\leq \pm 0,5$	5	54,5	36	0.35
8523-50	0 – 50	$\leq \pm 0,5$	30	54,5	36	0.35
8523-300	0 – 300	$\leq \pm 0,5$	30	54,5	36	0.35
8523-200	0 – 200	$\leq \pm 0,2$	30	54,5	36	0.35
8533-5000	0 – 5000	$\leq \pm 0.35$	30	99,5	30	0.35

Dimensiunile geometrice ale traductorului sunt prezentate in fig. 3.12.

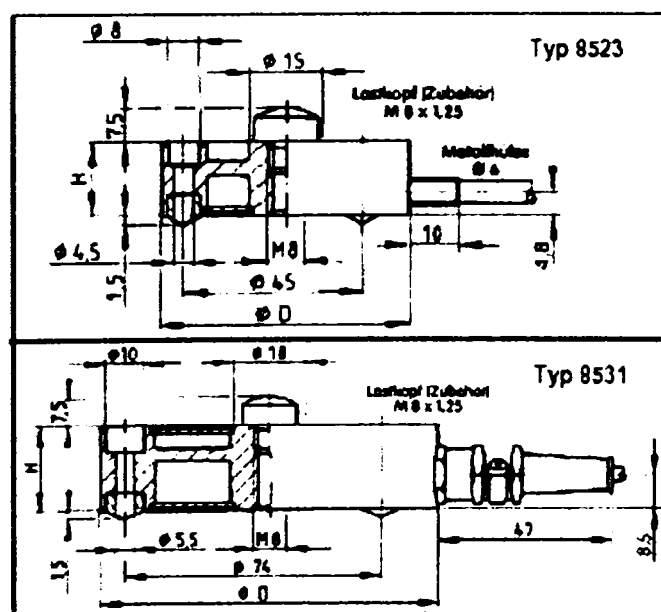


Fig.3.12 Traductorul de forta – dimensiuni geometrice

Pentru a obtine rezultate de masurare adecvate cu erori de masurare cat mai mici, este necesar ca forta sa fie aplicata pe directia axiala a traductorului (v.fig. 3.13).



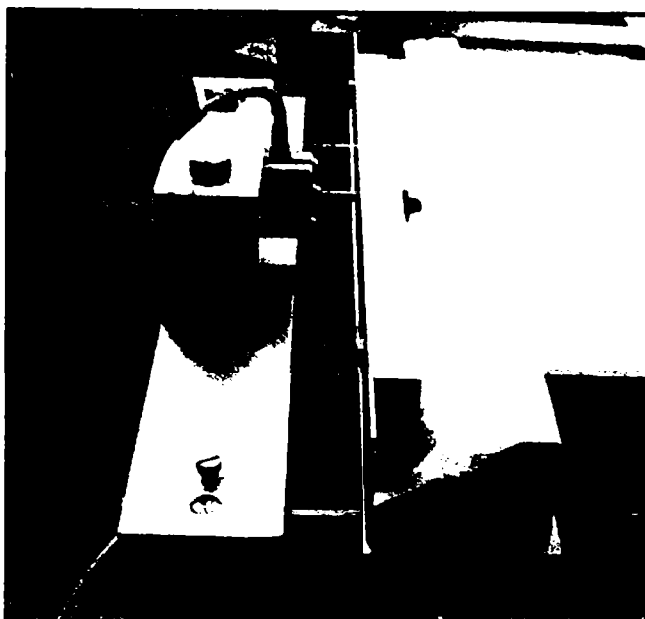


Fig. 3.13 Traductorul de forta montat pe stand

Aceste tipuri de traductoare pot fi utilizate pentru masurarea fortelor de intindere sau compresiune in regim static sau cvasistatic permitand o incarcare maxima de 330 % din valoarea nominala a domeniului de masurare (in regim static).

### 3.2.4. Sistemul de afisare

Este de tip 9380 al firmei Burster care permite racordarea senzorilor de forta, presiune, moment de torsiune sau a senzorilor de temperatura (Pt 300).

Sistemul de afisaj este de tip digital, cu cinci cifre, avand o precizie de masurare de 0,3% , afisand simultan valoarea curenta masurata (partea superioara a afisajului) cat si valoarea maxima masurata (in partea inferioara a afisajului).

Forma constructiva a sistemului de afisare este redada in fig. 3.14.

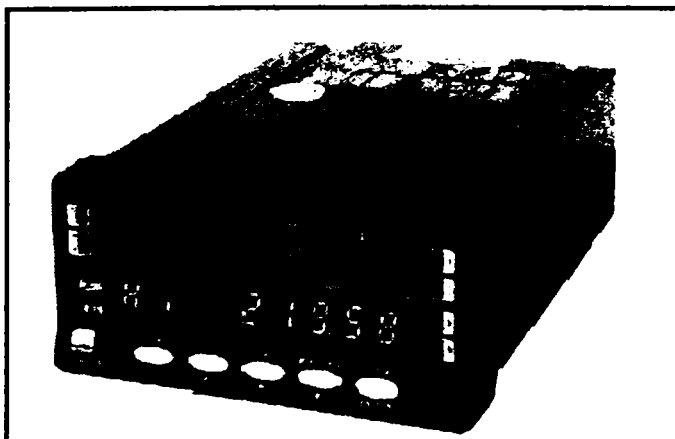


Fig. 3.14 a Sistemul de afisare

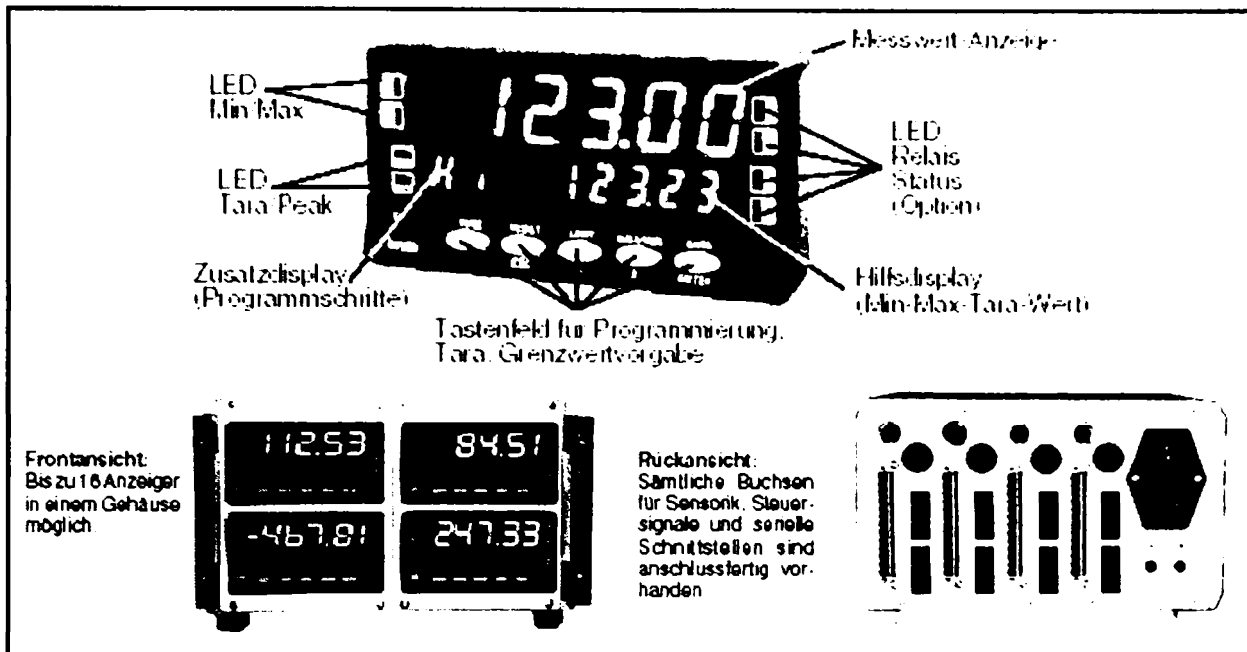


Fig. 3.14 b Sistemul de afisare - detalii constructive

Sistemul permite de asemenea prelucrarea semnalelor de tip electric de  $\pm 3V/30V/0\dots 3mA, 0(4)\dots 20mA$ , optional dispune de interfata seriala RS 232 (sau RS 485), in primul caz fiind necesar si un convertor pentru achizitia si transmiterea semnalelor catre calculator (v.fig. 3.15).

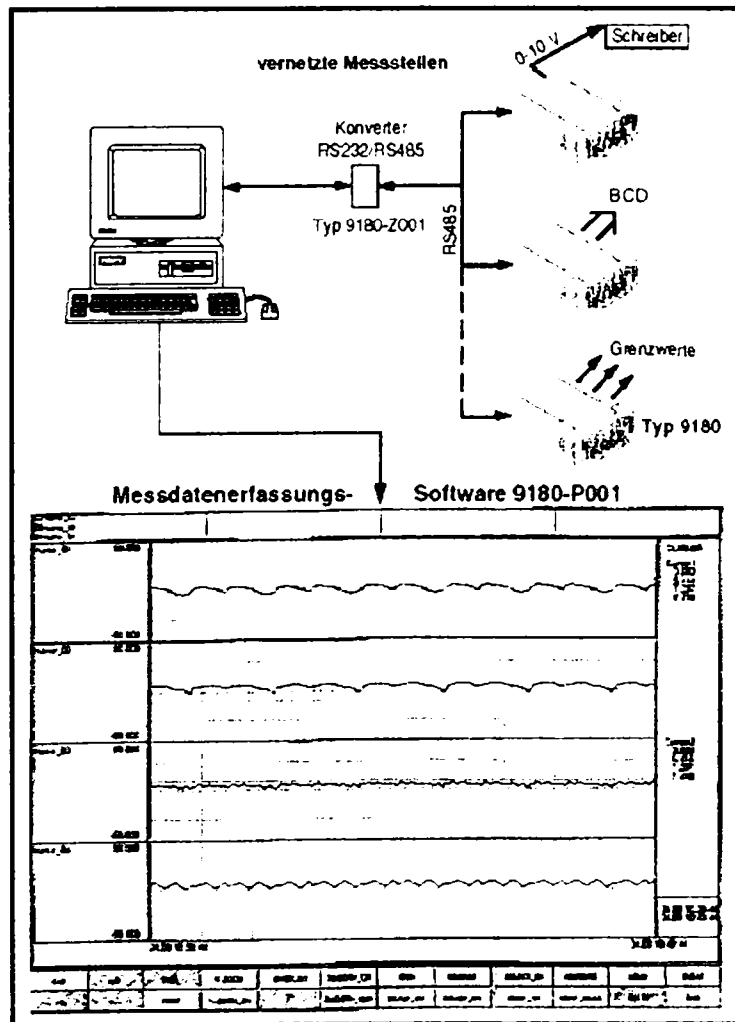


Fig. 3.15 Achizitionarea si transmiterea semnalului - schema de principiu

Sistemul permite arhivarea datelor în format ASCII, prelevează și afișează simultan până la 33 semnale/curbe de variație stabilind minimul, maximum și media pentru fiecare curbă și este dotat și cu funcție de imprimare directă.

Sistemul de afișare încorporat în standul de etalonare este prezentat în fig. 3.16.

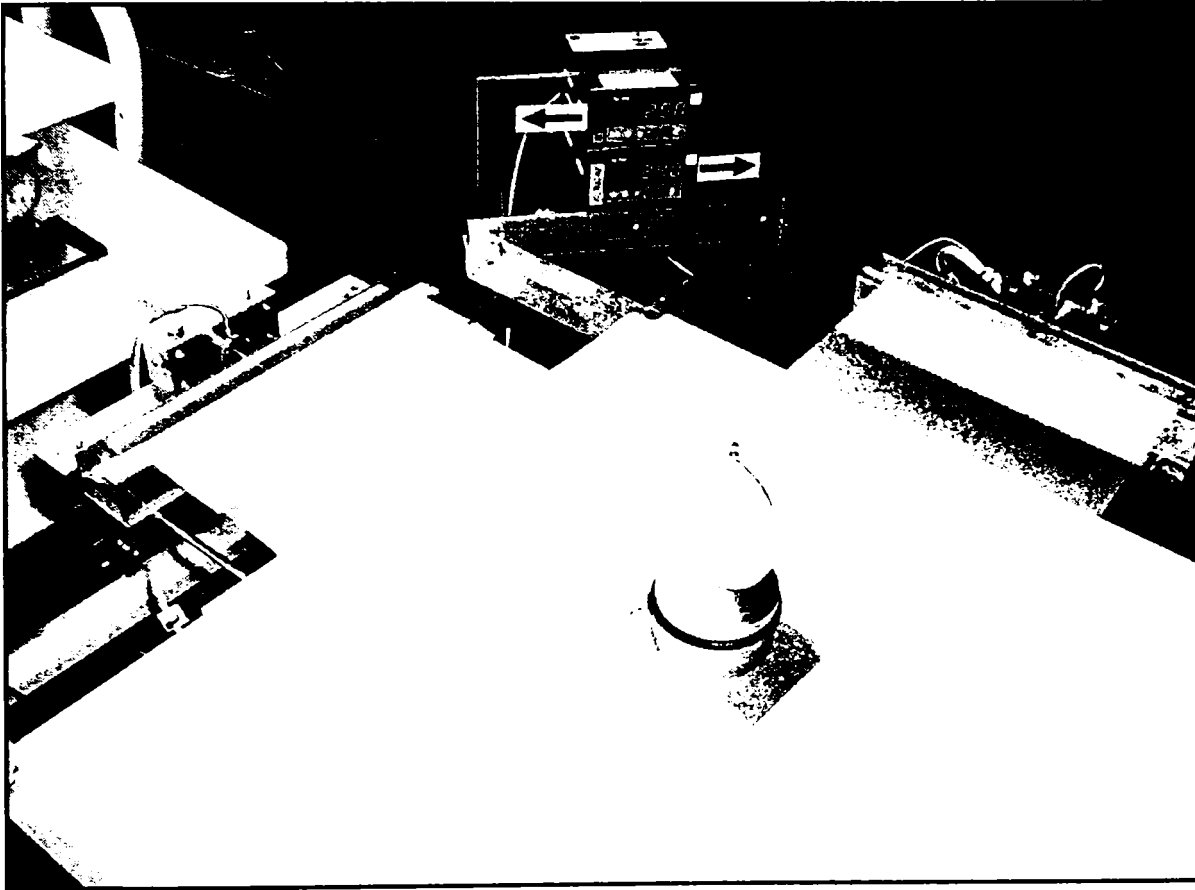


Fig. 3.16 Sistemul de afișare montat pe stand

### 3.2.5. Interfata

Pentru adaptarea semnalului furnizat de traductoarele de forță la sistemul de calcul se va utiliza o interfata tip 9223 al fabricantului Bruster (v.fig.3.17).

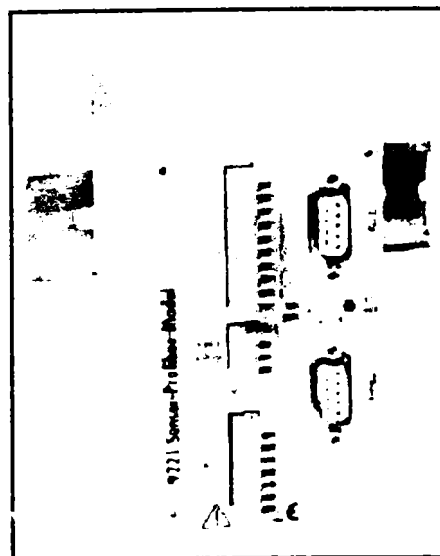


Fig. 3.17 Interfata

Sistemul permite prelucrarea simultana a diferitelor tipuri de semnale analogice furnizate de traductoare de forta, presiune, moment de torsiune sau a unor semnale standard de intrare de  $\pm 0...30$  V cu rata de esantionare de pana la 3 KHz pe 34 biti.

### 3.2.6. Sistemul de calcul si softul

Pentru rularea aplicatiei de masurare si prelucrarea/vizualizarea datelor se utilizeaza un P.C portabil, softul specializat fiind de tipul GM 80-LV al firmei Lorenz Messtechnik, fereastra de lucru a aplicatiei fiind prezentata in fig. 3.18.

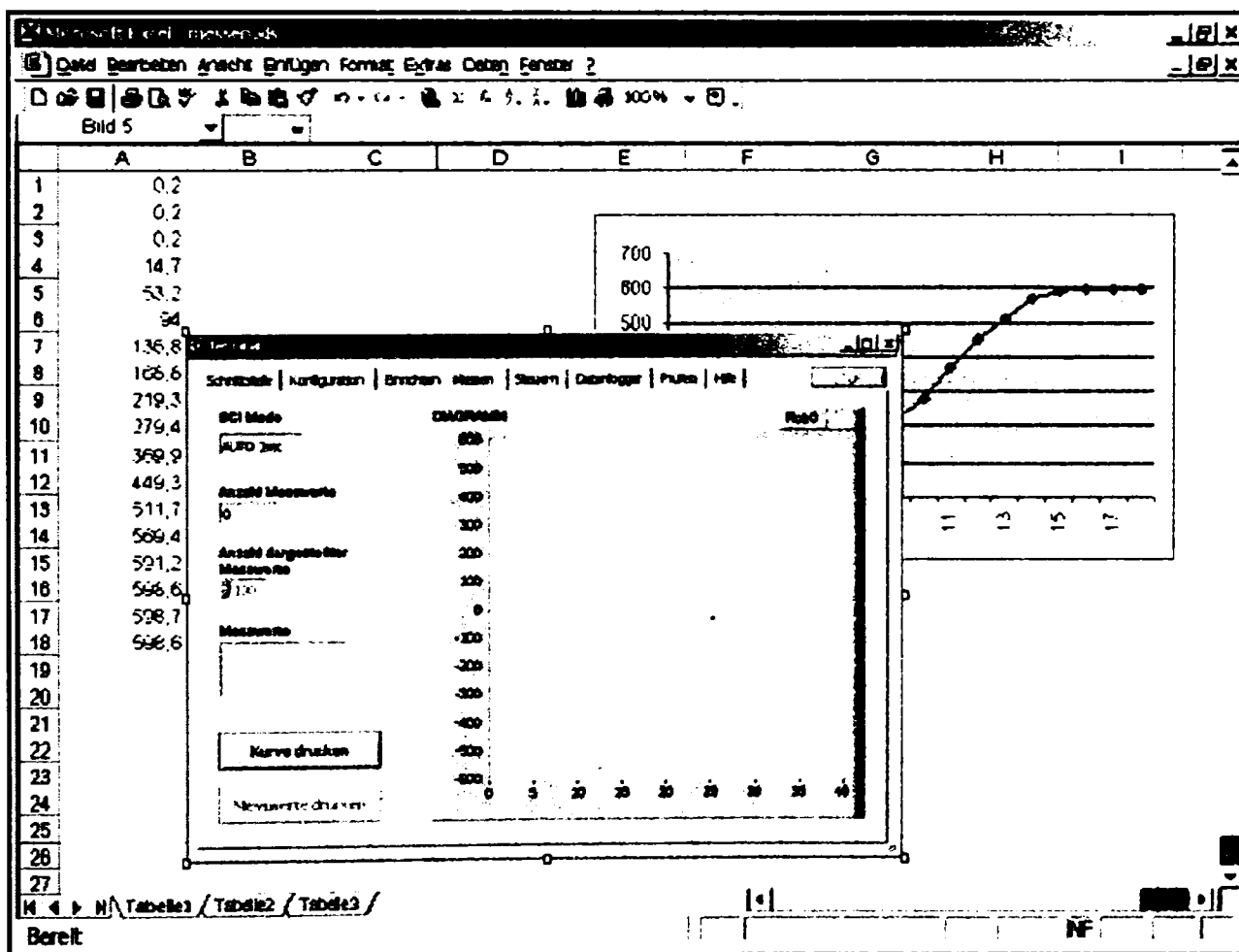


Fig. 3.18 Fereastra de lucru a softului de masurare

Softul ruleaza sub sistemul de operare Windows si utilizeaza mediul de programare si arhivare Excel permitand vizualizarea datelor sub forma grafica, fiind posibila efectuarea a max. 300 de masurari pe secunda.

### 3.3 Etalonarea/calibrarea tensiometrelor. Metode de etalonare

Pentru efectuarea masurarii corecte a tensiunilor din panzele serigrafice este necesara o etalonare / ajustare a aparatelor de masura (tensiometrelor) utilizate.

Metoda de etalonare cea mai utilizata la ora actuala este **etalonarea cu ajutorul ramelor de etalonare**, care poate fi de doua tipuri:

- a) etalonare directa (tensiunea se determina tabelar in functie de tensionarea ramei citita pe o rigla atasata acesteia);
- b) etalonare indirecta (se tensioneaza rama de etalonare, valoarea tensiunii se determina cu ajutorul unui mijloc de masurare etalon).

**Etalonarea directa** are la baza determinari experimentale centralizate tabelar, in care la valoarea cotei de tensionare (mm) corespunde o tensiune mecanica (N/cm) in functie de materialul panzei si caracteristicile acestuia. Un exemplu uzual al tabelului de etalonare este prezentat in Tab 3.2. Se observa ca fiecarei cote de tensionare citite, ii corespunde o valoare a tensionarii in functie de materialul si grosimea panzei folosite, de ex. S, T, HD.

Tab.3.2 Tabel de etalonare

MOnyl				MONOlen				METALEN	
Newton/cm				Newton/cm				Newton/cm	
No. per cm	S	T	HD	No. per cm	S	T	HD	No. per cm	S/T
12- 21	15	16	17	10- 30	16	17	18	48- 73	18-20
24- 32	14	15	16	32- 48	15	16	17	77- 95	16-18
34- 54	13	14	15	51- 85	14	15	16	100-140	15-17
58- 68	12	13	14	90-120	13	14	15	150-185	14-16
73- 95	12	13	14	130-195	12	13	14		
100-120	11,5	12,5	13,5						
130-200	11	12	13						

Überdehnung ist schädlich

Tipul ramei de tensionare utilizate in cadrul acestei metode este prezentata in fig. 3.18, detaliul referitor la cota de tensionare fiind prezentat in fig. 3.19.

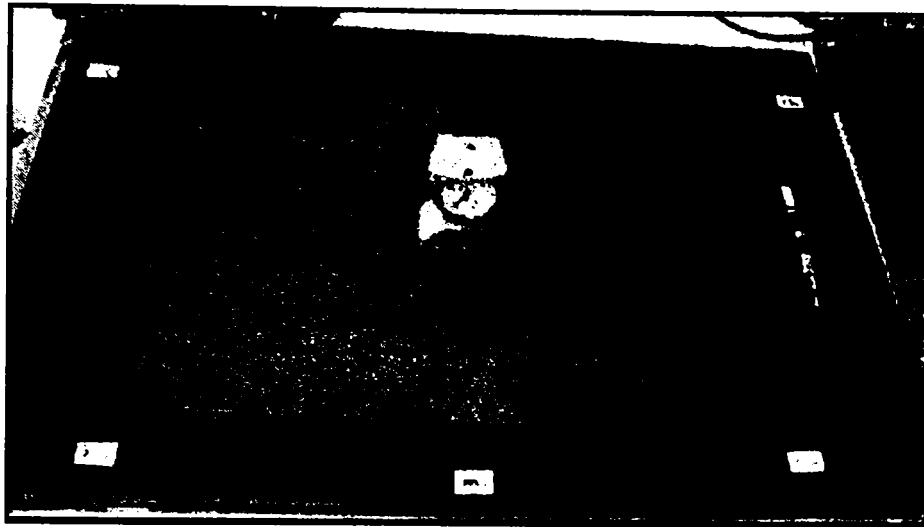


Fig.3.18 Rama de tensionare

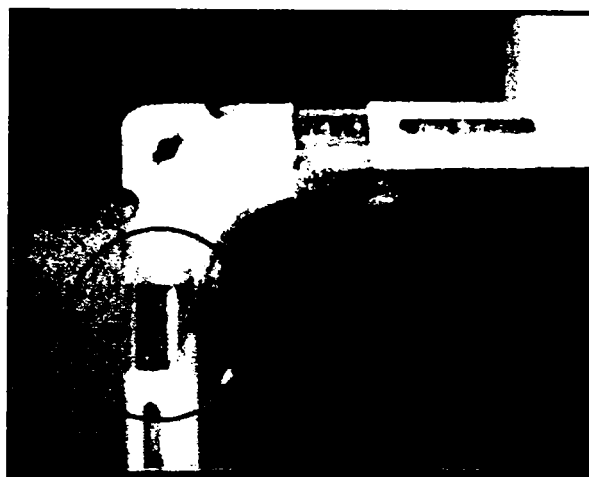


Fig.3.19 Cota de tensionare - detaliu

Metoda de etalonare prezentata are dezavantajul major ca nu poate acoperi intreg domeniul de masurare al aparatului (tensiometrului), adica nu se pot realiza tensionari mai mari de 24,5 N/cm - vezi certificatul de etalonare din fig.3.20.

In practica curenta exista la ora actuala doua metode de tensionare a ramelor de etalonare: tensionarea rapida si tensionarea standard. Metodele s-au dezvoltat datorita faptului ca panza tensionata pierde o mare parte din tensionare (15-45 % in functie de timp). Aceasta pierdere necesita evident un factor compensator. In cazul metodei standard se efectueaza o tensionare pana la valoarea dorita, dupa care se asteapta un interval de timp de ca. 3 min, si se reia tensionarea. Caracteristica obtinuta in urma acestei tensionari este prezentata in fig.3.22.

Meßprotokoll vom 01.02.2005 <i>Calibration record</i>		Seite/page 2 von/of 3		Kalibrierzeichen <i>Calibration mark</i>	05020035
Gegenstand <i>Object.....:Gewebespannungsmeßgerät</i>		Auftrags Nr. <i>Order No.....:501071</i>		CAL ISO 9000 82223	next Cal 02/2006
Modell <i>Model.....:TEN Tensiometer 75 S</i>		Kal.Schein <i>Certificate No...:05020035</i>			
Hersteller <i>Manufacturer:H. Mantel AG</i>		Kalibrierzyklus <i>Cal. interval...:12 Mon.</i>			
Serien Nr. <i>Serial No...:TS75S-D80</i>		Luftfeuchtigkeit <i>Humidity.....:45%</i>			
Kal.Index <i>Cal.Index...:B</i>		Temperatur <i>Temperature.....:20`C</i>			
Verwendete Kalibriereinrichtungen: <i>Used equipment and standards:</i>					
PN-Nummer	Hersteller	Modell	Gegenstand	Prüfer	Kal.-Nr. nächst. Kal.
Bereich	Sollwert	Istwert	Spezifik.	Abweichung	
<i>range</i>	<i>nominal value</i>	<i>measured value</i>	<i>specification</i>	<i>differenc</i>	
=====					
Auswertung nach DIN 16 611					
Mittelwerte aus 10-Messungen <i>Average of 10-measured values</i>					
Spannung in N/cm <i>Tension</i>					
	8,0	8,0	±3+,0 %		
	12,0	12,2	±3,0 %	1,667 %	
	16,0	16,3	±3,0 %	1,875 %	
	20,0	20,4	±3,0 %	2,000 %	
	24,0	24,5	±3,0 %	2,083 %	
<hr/>					
<b>esz Elektronik-Service GmbH</b>					
Servicezentrale · Messlabor · Kalibrierdienst					

Fig.3.20. Certificat de etalonare

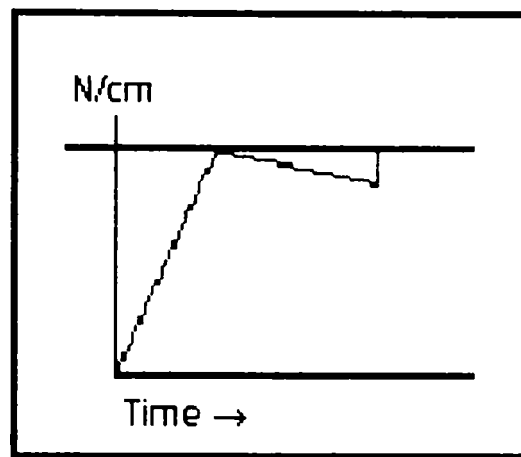


Fig. 3.21 Caracteristica obtinuta in cazul tensionarii standard

Tensionarea rapida consta intr-o tensionare initiala, superioara cu 15-40 % valorii dorite, dupa care se asteapta un interval de timp de ca. 5 min (pentru revenire prin fenomenul de curger / fluaj al panzei), dupa care se efectueaza masurarea tensiunii. Caracteristica obtinuta este redada in fig. 3.22.

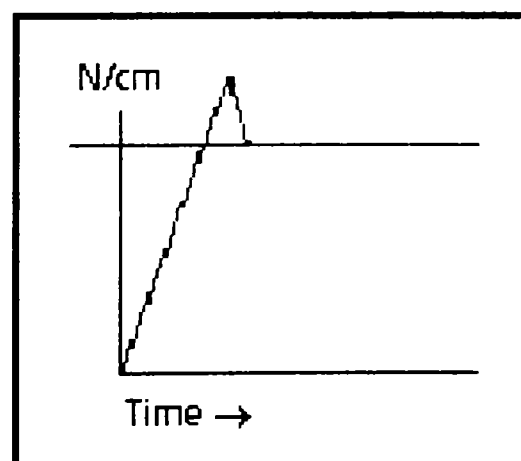


Fig. 3.22 Caracteristica obtinuta in cazul tensionarii rapide

Utilizarea acestei metode nu este indicata datorita preciziei scazute a controlului tensionarii initiale.

Metodologia de etalonare, indiferent de tipul de etalonare, este cuprinsa in certificatul de etalonare intocmit cu ocazia realizarii etalonarii. In ceea ce urmeaza se prezinta doua certificate de etalonare ale firmelor Strech Devices si Seritechnica GmbH, care utilizeaza metoda directa de etalonare.



Primul descrie procedeul de tensionare a ramei cu metodologia inregistrarii timpului si a tensiunii masurate. (v.fig. 3.23 ).

### Newman Roller Frame®

#### Mesh Calibration Chart for Frames with 4 Rollers

*for initial screen tension*

Frame Model & Size \_\_\_\_\_

Mesh count \_\_\_\_\_

Starting Position: Roller # 1 & 2 \_\_\_\_\_

Starting Position: Roller # 3 & 4 \_\_\_\_\_

All bolts torqued to \_\_\_\_\_ ft. lbs. before tensioning

Insert mesh beginning with roller #3 or #4 (long rollers) — use 2 Alignment Clips™.

Go to opposite roller — use 3 Alignment Clips™, unless reverse curve is required. (Consult deflection chart for frame model, size & tension loads.)

Is reverse curve required?    No    Yes

If no, proceed to next step.

If yes, how much? \_\_\_\_\_ (use 5 Alignment Clips™ and indicate on diagram below.)

Proceed to 1st short roller #1 — use 2 clips.  
2nd short roller #2 — use 3 clips.

Use marker or pencil against inside edge of roller to draw a line approx. 3" long, at end of roller.

Soften corners as required.

Tension screen, turning rollers as indicated.

At the corner of frame, use marker or pencil on mesh to make a time and tension chart.

	1st	2nd	3rd
time			
tension			

Wait 30 minutes before retensioning.

Complete a mesh calibration chart for each mesh count and each frame size.

Stretch Devices, Inc. • Philadelphia, PA, USA • 1-800-523-3694 • (215) 739-3000 • Fax (215) 739-3011 • Page 15

Fig. 3.23 Certificat de etalonare

Cel de al doilea certificat prezintă calibrarea unui tensiometru cu domeniul de măsurare de 0-50 N/cm, evaluând tensiunea înregistrată și câmpul de toleranță aferent (v.fig. 3.24).

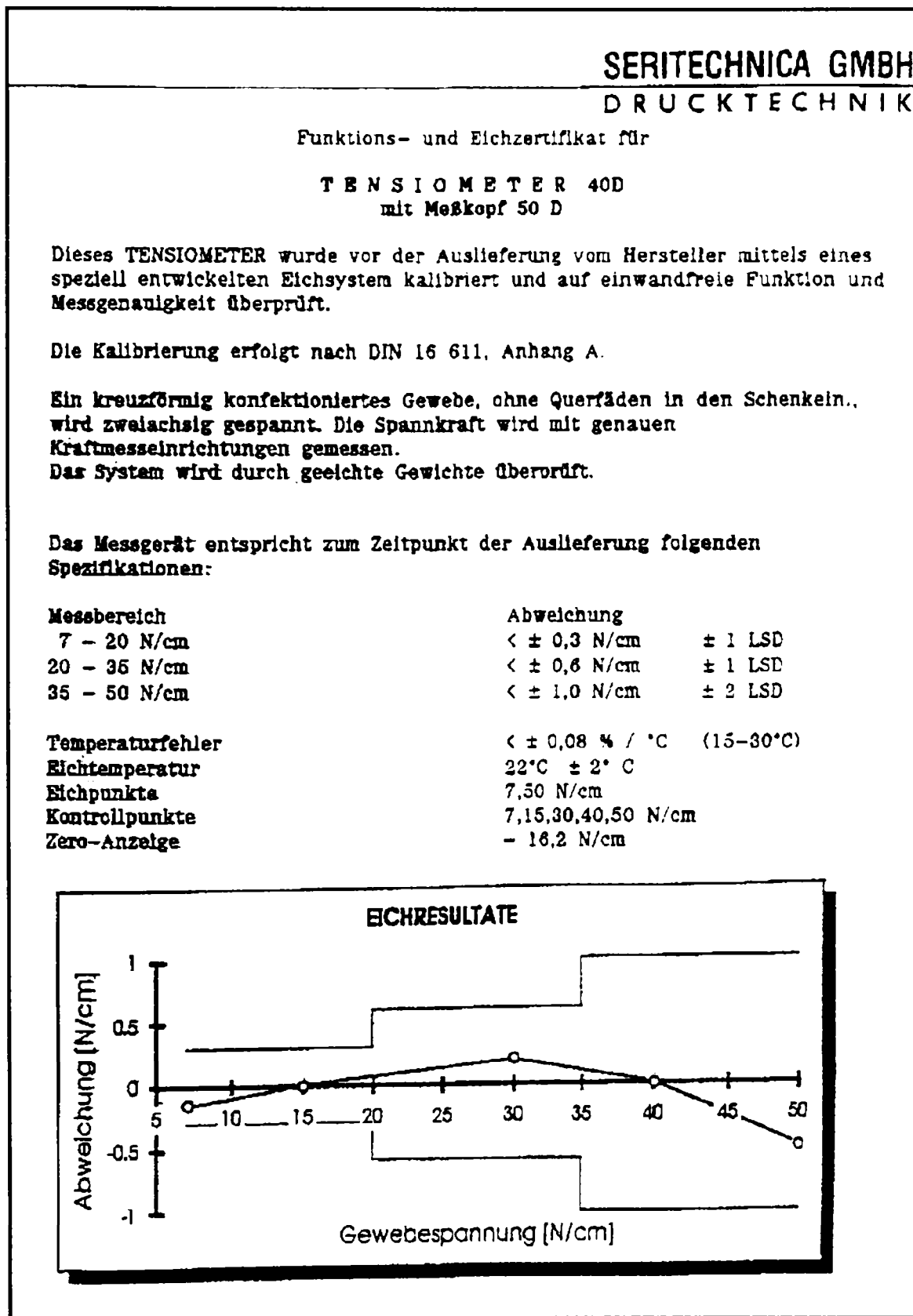


Fig. 3.24 Certificat de etalonare

Dupa cum se observa, metodele de etalonare directa au o precizie scazuta, bazandu-se in general pe date anterioare, centralizate tabelar, fiind necesare rame de tensionare speciale (dotate cu rigle, care genereaza erori de citire).

**Metoda indirecta de etalonare (comparativa)** are la baza masurarea tensiunii mecanice (cu mijloace de masurare etalon) dupa tensionarea panzei ramei de etalonare. Aceasta metoda permite acoperirea intregului domeniu de masurare datorita constructiei ramei.

Datorita variatiei neliniare a tensiunii indicate in functie de tensiunea reala (v.fig. 3.27) este necesara o etalonare a tensiometrelor pe intreg domeniul de masurare (pentru obtinerea punctelor A si B in vederea stabilirii alurii caracteristicii statice a tensiometrului).

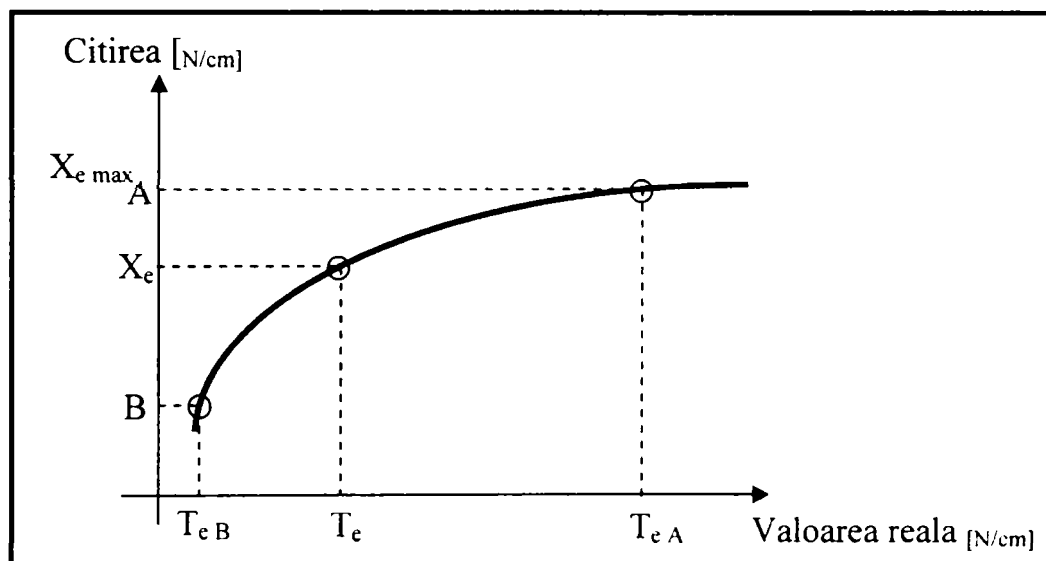


Fig. 3.27 Caracteristica indicatia aparatului (deviatia) - tensiune reala (caracteristica scalei)

Etalonarea indirecta are avantajul acoperirii intregului domeniu de masurare dar necesita un timp de etalonare mai indelungat, dezavantaj eliminabil prin mijloacele de prelevare si prelucrare digitala a semnalului.

Aceasta metoda permite acoperirea intregului domeniu de masurare datorita constructiei ramei, dar necesita un timp de etalonare mai indelungat, dezavantaj eliminabil prin mijloacele de prelevare si prelucrare electrica/electronica a semnalului.

### 3.4 Analiza critica a metodelor de etalonare/calibrare

Metoda de etalonare directa prezinta urmatoarele avantaje:

- este simpla si usor de implementat;
- nu necesita mijloace de masurare specifice;
- este rapida;
- are un cost redus.

Principalele dezavantaje ale metodei directe pot fi:

- este aplicabila doar la tensionari reduse (45 N/cm);
- se bazeaza pe rezultate empirice determinate anterior (tabele de etalonare);
- are o precizie scazuta (functie de modul de operare);
- nu permite automatizarea masurarii si prelucrarea datelor.

Metoda de etalonare indirecta (comparativa) are urmatoarele avantaje:

- permite acoperirea intregului domeniu de tensionare (pana la 80 N/cm);
- are o precizie de masurare cuantificabila (in functie de precizia tensiometrului) si elimina erorile de operare;
- exista posibilitatea automatizarii masurarii, a prelevarii datelor si a arhivarii acestora.

Printre dezavantajele metodei de etalonare indirecte se pot mentiona:

- necesita realizarea unui stand de etalonare;
- necesita timp mai indelungat;
- are costuri de implementare, exploatare si mentenanta mai ridicate;
- influenta tensiunii pe o directie de catre cea de pe directie perpendiculara.

Analizand cele doua metode de etalonare se constata ca pentru a realiza o etalonare corespunzatoare cu o precizie cuantificabila este indicata utilizarea metodei de etalonare indirecte, chiar daca implementarea acestuia necesita realizarea unui stand si existenta unor mijloace de masurare si prelucrare a datelor, costul acestora fiind justificat de necesitatea factorilor de calitate/precizie impuse.

Avand in vedere aceste considerente si mai ales posibilitatea acoperirii intregului domeniu de masurare se realizeaza standul de etalonare (v.fig.3.26) bazat pe metoda indirecta de etalonare, stand care permite o tensionare controlata a ramei serigrafice,

tensionare care in unele cazuri poate avea valori diferite pe directia celor doua axe (X si Y), avand urmatoarele caracteristici tehnice principale:

- domeniul de masurare: 0...80 N/cm;
- Eroarea maxima raportata:  $\pm 0,3 \%$  (tensiometru);
- panza serigrafica de orice tip;
- dimensiuni maxime ale panzei: 830 x 450 mm.

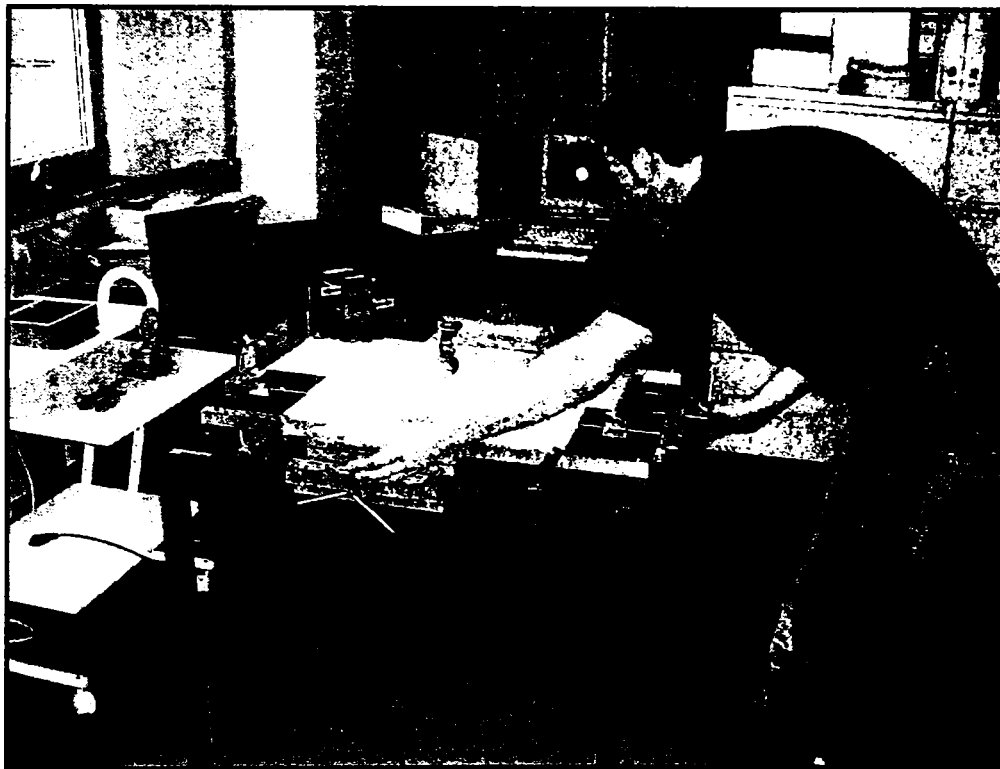


Fig. 3.26 Standul de etalonare realizat

Datorita fixarii in cruce a panzei pe stand (vezi fig. 3.26) in timpul tensionarii pe directii transversale se produce abaterea de la perpendicularitate a fibrajului panzei (alungirea), care va fi determinata in cele ce urmeaza.

Datorita solicitarii panzei se produce o deformatie (alungire) a panzei, concomitent cu o abatere de la starea normala, astfel apare sageata panzei pentru cele doua directii considerate (a,b, c, d din fig. 3.27).

Daca consideram panza tensionata in cruce (fig. 3.27) atunci alungirea specifica pe fiecare directie este proportionala cu raportul dintre alungirea  $\Delta L$  si lungimea totala  $L$  :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (3.1)$$

Lungimea totala a panzei  $L$  se poate considera ca fiind suma dintre lungimea exterioara ( $L_e$ ) si lungimea de la centru ( $L_c$ ):

$$L = 2L_e + L_c$$

Pornind de la aceste considerente pentru sistemul tensionat dupa directiile X si Y (v.fig. 3.27) se scriu alungirile specifice pe directiile mentionate determinandu-se fortele care soliciata panza intr-un anumit punct dupa directiile X si Y ( $F_{Ax}$  si  $F_{Ay}$ ,  $F_{Bx}$  si  $F_{By}$ , etc).

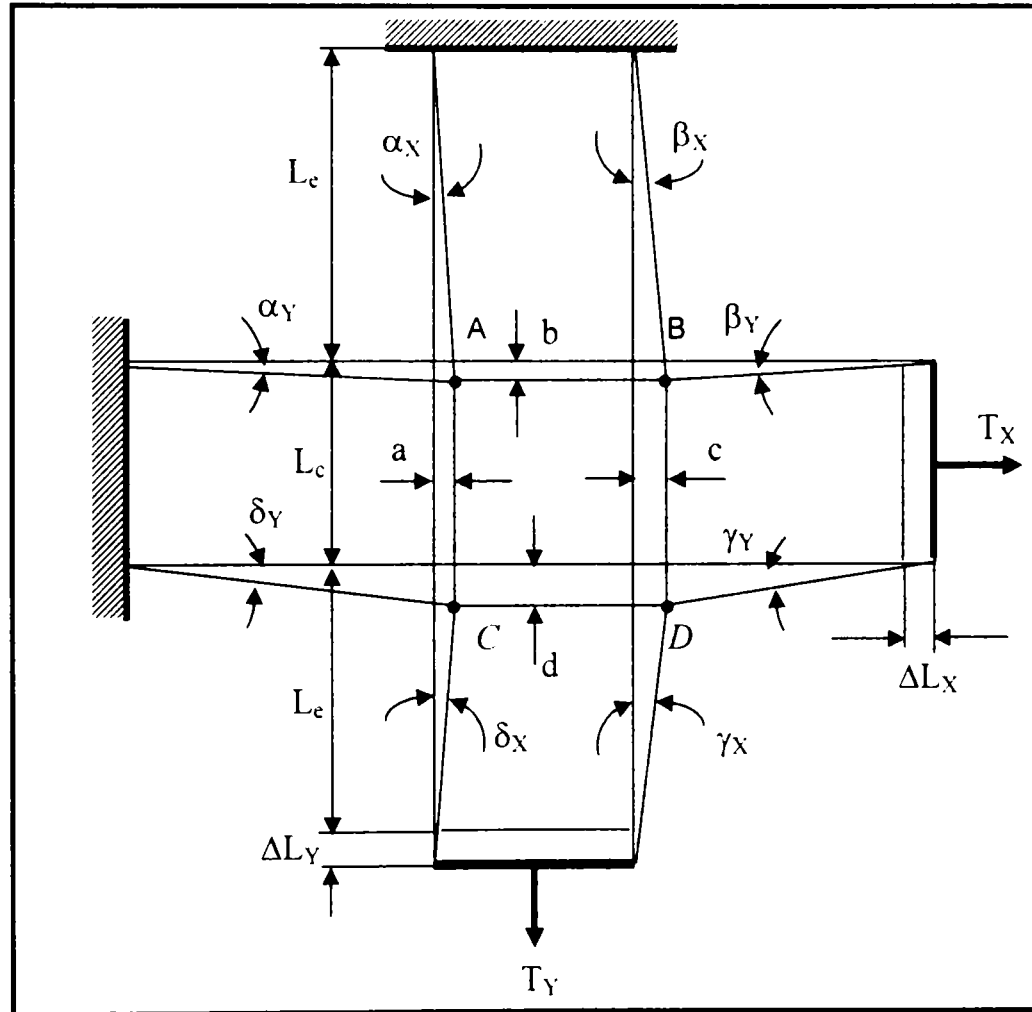


Fig. 3.27 Panza tensionata pe cele doua directii si deformatia acesteia

$$\begin{aligned} L &= 2L_e + L_c \\ L_e &= \eta \cdot L \\ L_c &= \gamma \cdot L \end{aligned} \quad (3.2)$$


---

posibil:  $\eta = \gamma = 1/3$

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta L_x}{L_x}; \quad \varepsilon_y = \frac{\Delta L_y}{L_y} \quad (3.3)$$

Deformatiile corespunzatoare:

$$\begin{aligned} a &= \varepsilon_x \cdot L_e = \varepsilon_x \cdot \eta \cdot L \\ c &= \varepsilon_x (L_e + L_c) = \varepsilon_x (\eta + \gamma) L \\ b &= \varepsilon_y \cdot L_e (= a) \\ d &= \varepsilon_y (L_e + L_c) (= c) \end{aligned} \quad (3.4)$$

Unghiurile corespunzatoare deformatiilor

$$\operatorname{tg}\alpha_X = \frac{a}{L_c + b} = \frac{\varepsilon_X \cdot L_c}{L_c + \varepsilon_Y \cdot L_c} = \frac{\varepsilon_X}{1 + \varepsilon_Y} \quad (3.5)$$

$$\operatorname{tg}\beta_X = \frac{c}{L_c + b} = \frac{\varepsilon_X (L_c + L_c)}{L_c + \varepsilon_Y \cdot L_c} = \frac{\varepsilon_X (L_c + L_c)}{(1 + \varepsilon_Y)L_c} = \frac{\varepsilon_X}{1 + \varepsilon_Y} \frac{(\eta + \gamma)}{\eta} = \frac{\varepsilon_X}{1 + \varepsilon_Y} \left(1 + \frac{\gamma}{\eta}\right)$$

$$\operatorname{tg}\alpha_Y = \frac{b}{L_c + a} = \frac{\varepsilon_Y \cdot \eta \cdot L}{\eta \cdot L + \varepsilon_X \cdot \eta \cdot L} = \frac{\varepsilon_Y}{1 + \varepsilon_X} \quad (3.6)$$

$$\operatorname{tg}\beta_Y = \frac{b}{L_c - c} = \frac{\varepsilon_Y \cdot \eta \cdot L}{\eta \cdot L - \varepsilon_X (\eta \cdot L + \gamma L)} = \frac{\varepsilon_Y \cdot \eta}{\eta(1 - \varepsilon_X) - \gamma \cdot \varepsilon_X} = \frac{\varepsilon_Y}{1 - \varepsilon_X - \frac{\gamma}{\eta} \varepsilon_X}$$

Daca se analizeaza sollicitarile din punctul A (v. fig. 3.28) atunci se poate scrie:

$$\begin{aligned} \Sigma F_X = 0: & \quad T_X - F_{AX} \cos \alpha_Y - F_{AY} \sin \alpha_X = 0 \\ \Sigma F_Y = 0: & \quad -T_Y + F_{AX} \sin \alpha_Y + F_{AY} \cos \alpha_X = 0 \end{aligned} \quad (3.7)$$

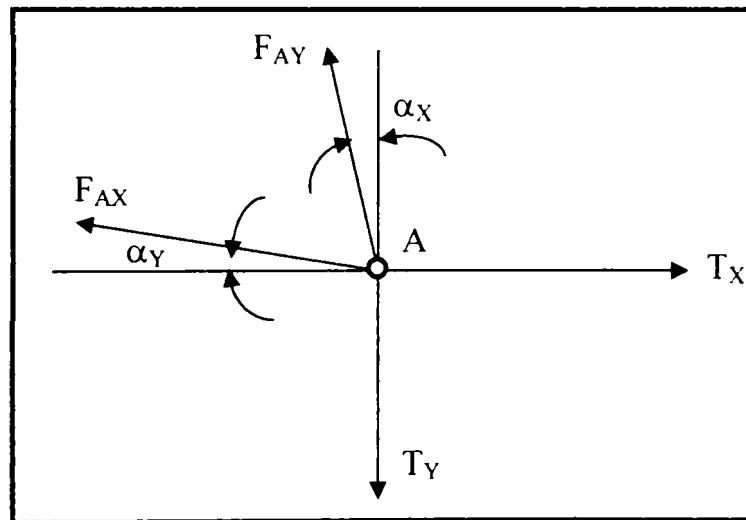


Fig. 3.28 Sistemul de forte din punctul A

Din (3.7) dupa operatiile matematice rezulta:

$$\begin{aligned} F_{AY} &= \frac{T_Y \cos \alpha_Y - T_X \sin \alpha_Y}{\cos(\alpha_X + \alpha_Y)} \\ F_{AX} &= \frac{T_X \cos \alpha_X - T_Y \sin \alpha_X}{\cos(\alpha_X + \alpha_Y)} \end{aligned} \quad (3.8)$$

Analog se pot determina fortele ce actioneaza in punctele B, C si D luand in considerare echilibrul fortelor din fiecare punct (v. fig. 3.29).

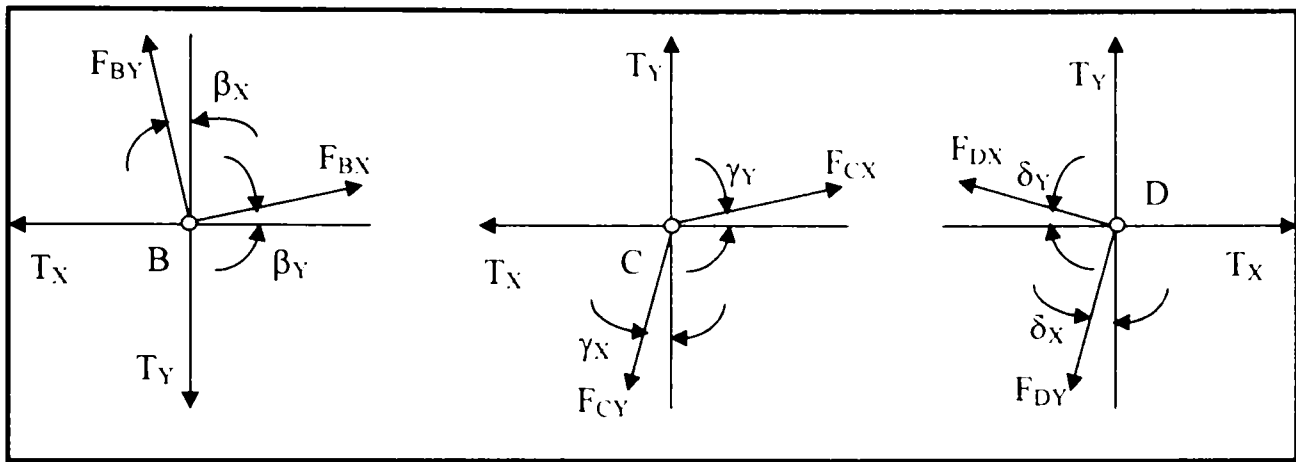


Fig. 3.29 Sistemul de forte din punctele B, C si D

Masurarea tensionarii panzei se realizeaza in centrul acesteia, din acest motiv se considera in continuare doar firele centrale din panza (v. fig. 3.30) solicate dupa directiile X si Y.

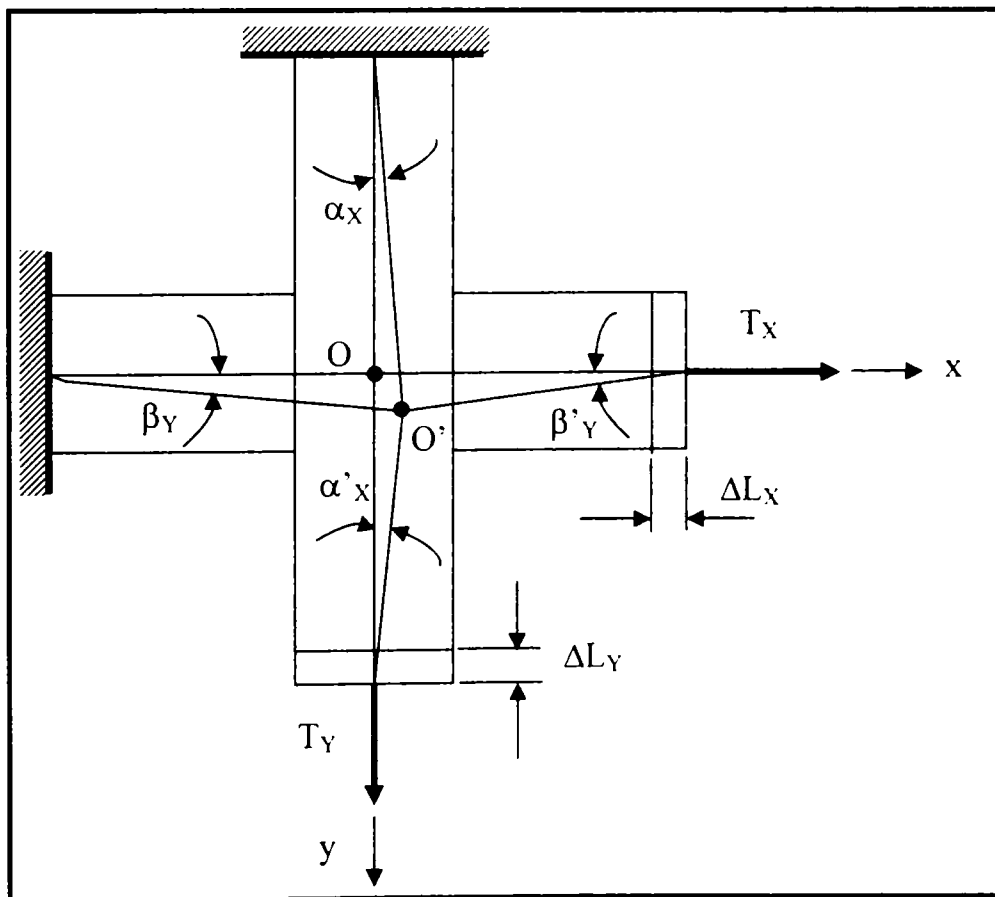


Fig. 3.30 Firul median supus tensionarii dupa directiile X si Y

Datorita tensionarii se va produce migrarea punctului central O in punctul O'. In cele ce urmeaza se va determina coordonata punctului O' (definit de unghiurile  $\alpha_x$  si  $\alpha'_x$ ).



Pentru sistemul din fig. 3.30 se poate scrie:

$$\begin{aligned} X_{0'} &= \varepsilon_X \frac{L_X}{2} \\ Y_{0'} &= \varepsilon_Y \frac{L_Y}{2} \end{aligned} \quad (3.9)$$

Expresiile unghiurilor care definesc pozitiile firelor deformate dupa cele doua directii vor fi:

$$\operatorname{tg} \alpha_x = \frac{X_{0'}}{\frac{L_Y}{2} + Y_{0'}} = \frac{\varepsilon_X \frac{L_X}{2}}{\frac{L_Y}{2} + \varepsilon_Y \frac{L_Y}{2}} = \frac{\varepsilon_X}{1 + \varepsilon_Y} \frac{L_X}{L_Y} \quad (3.10)$$

$$\operatorname{tg} \alpha'_x = \frac{X_{0'}}{\frac{L_Y}{2} - Y_{0'}} = \frac{\varepsilon_X}{1 - \varepsilon_Y} \frac{L_X}{L_Y}$$

$$\operatorname{tg} \beta_Y = \frac{Y_{0'}}{\frac{L_X}{2} + X_{0'}} = \frac{\varepsilon_Y \frac{L_Y}{2}}{\frac{L_X}{2} + \varepsilon_X \frac{L_X}{2}} = \frac{\varepsilon_Y}{1 + \varepsilon_X} \frac{L_Y}{L_X} \quad (3.11)$$

$$\operatorname{tg} \beta'_Y = \frac{\varepsilon_Y}{1 - \varepsilon_X} \frac{L_Y}{L_X}$$

$$\begin{aligned} \text{Pentru: } L_X = L_Y = L \quad \text{rezulta} \quad \operatorname{tg} \alpha_x &= \frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon}; \quad \operatorname{tg} \alpha'_x = \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} \\ \text{si } \varepsilon_X = \varepsilon_Y = \varepsilon \quad \operatorname{tg} \beta_Y &= \frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon}; \quad \operatorname{tg} \beta'_Y = \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} \end{aligned} \quad (3.12)$$

Pentru datele constructive ale standului alungirea specifica in centrul panzei va fi:

$$\varepsilon_{\max} = \frac{\Delta L}{L} = \frac{27 \text{ mm}}{830 \text{ mm}} \cong 0,032 \quad \left| \begin{array}{l} \alpha_x = \beta_Y \\ \alpha'_x = \beta'_Y \end{array} \right|$$

pentru  $F = 2000 \text{ N}$

In cazul simetriei:

$$\begin{aligned} \alpha_{X \max} &= \operatorname{arctg} \frac{0,032}{1,032} = \beta_{Y \max} = \operatorname{arctg} 0,0310077 = 1,777^\circ \\ \alpha'_{X \max} &= \operatorname{arctg} \frac{0,032}{0,968} = \beta'_{Y \max} = \operatorname{arctg} 0,033057851 = 1,89^\circ \end{aligned} \quad (3.13)$$

Reprezentand sistemul de forte ce actioneaza in centrul panzei (O) – v.fig. 3.31 si scriind ecuatiile de echilibru a sistemului avem:

$$\left( \overline{F}_X + \overline{F}_Y \right) + \left( \overline{F}'_X + \overline{F}'_Y \right) = 0 \rightarrow \text{cu } F_Y = F_X \quad \text{si} \quad F'_X = F'_Y \quad \text{datorită simetriei}$$

rezultă:

$$\frac{F'_X}{F_X} = \frac{F'_Y}{F_Y} = \frac{\cos \alpha_X + \sin \alpha_X}{\cos \alpha'_X - \sin \alpha'_X} \text{ și}$$

$$\left( \frac{F'_X}{F_X} \right)_{\max} = \left( \frac{F'_Y}{F_Y} \right) = 1.06 \quad (3.14)$$

adică o asimetrie maxima de cca. 6% in distributia fortelor din fire pe fiecare directie.

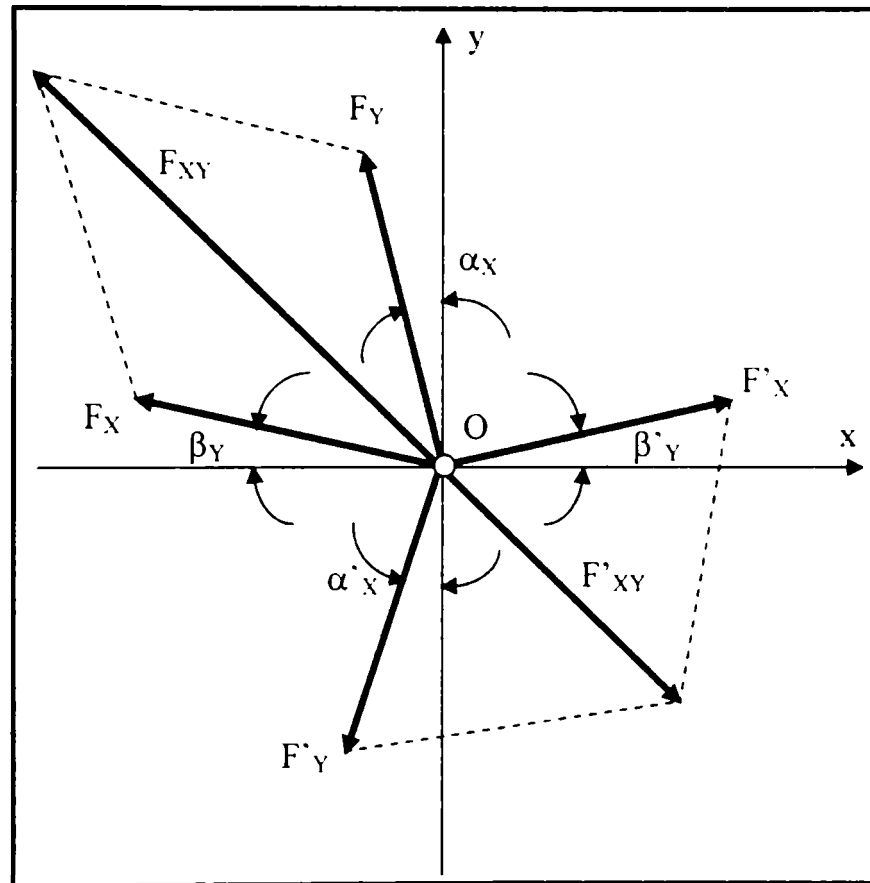


Fig. 3.31 Sistemul de forte din centrul panzei

Din relatiile (3.13) si (3.14) se observa ca sollicitarile si deformatiile pe cele doua directii nu sunt egale ( $F_X \neq F'_X$  respectiv  $\alpha_X \neq \alpha'_X$ ).

In cele ce urmeaza se va prezenta modul de lucru pe standul realizat si rezultatele obtinute cu ocazia determinarilor efectuate.

### 3.5 Modul de lucru pe stand

Utilizand standul de etalonare realizat (v.fig.3.26) se va realiza etalonarea unui tensiometru cu afisaj digital 75 S prezentat in fig. 3.32.

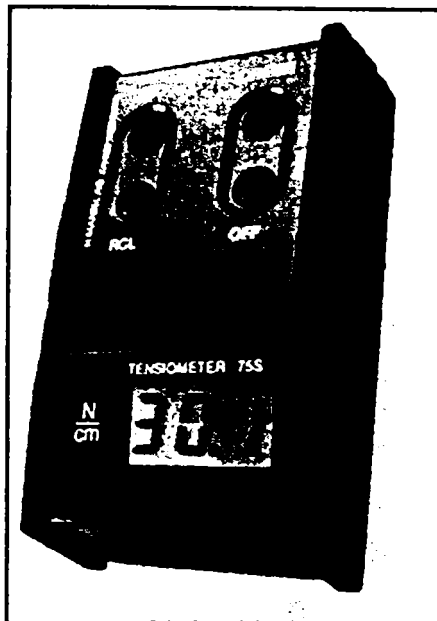


Fig. 3.32 Tensiometrul 75 S supus etalonarii

Principalele caracteristici metrologice si tehnice ale tensiometrului supus etalonarii sunt:

- domeniul de masurare : 7 - 75 N/cm;
- rezolutia: 0,1 N/cm;
- eroarea raportata:  $\pm 3 \%$ ;
- posibilitatea memorarii de pana la 30 de valori
- interfata cu calculatorul (RS 434)

Caracteristicile metrologice ale mijloacelor de masurare ce intra in componenta standului (capsulele dinamometrice si sistemul de afisare a fortelor) de etalonare sunt:

- domeniul de masurare: 0 – 4000 N
- eroarea raportata:  $\pm 0,15 \%$
- rezolutia sistemului de afisare:  $\pm 0,1 \%$

Conditiiile atmosferice specifice in timpul procesului de etalonare au fost:

- temperatura: 40° C
- umiditatea: 45 %

Etalonarea se va realiza prin incarcarea progresiva pornind de la limita inferioara a

domeniului de masurare (0 N, respectiv 0 N/cm), tensionarea realizandu-se uniform fara socuri in trepte de 400 N pana la a doua treime a domeniului de masurare al tensiometrului etalonat (50-75 N/cm) fara a atinge valoarea maxima a domeniului de masurare pentru prevenirea deteriorarii mijlocului de masurare supus etalonarii.

Se vor realiza zece masurari in fiecare punct de incercare inregistrand valoarea medie a datelor experimentale.

Tensionarea se va realiza pe cele doua directii consemnand valoarea minima si maxima a tensiunii masurate, datele obtinute fiind centralizate in certificatul de etalonare prezentat in fig.3.34.

Reprezentand grafic variatia tensiunii obtinute pe cele doua directii de tensionare in functie de tensiunea aplicata se constata o crestere liniara a tensiunii din panza serigrafica in functie de cresterea fortei aplicate (v.fig.3.33 a).

F [N]	T [N/cm]		Er. rel %
	Val.conv.adev.	Val. mas.	
0	0	0	0
200	8	8.1	1.23
400	16	16.2	1.23
600	24	24.3	1.23
800	32	32.2	0.62
1000	40	40.1	0.24
1200	48	47.9	-0.2
1400	56	56.8	1.4
1600	64	64.7	1.08
1800	72	72.4	0.55

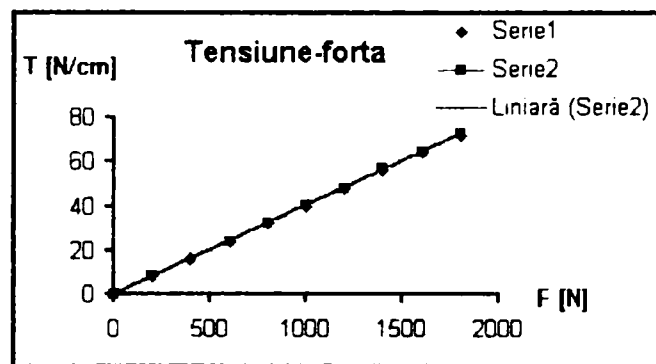


Fig. 3.33 a Caracteristica de etalonare a tensiometrului 75 S

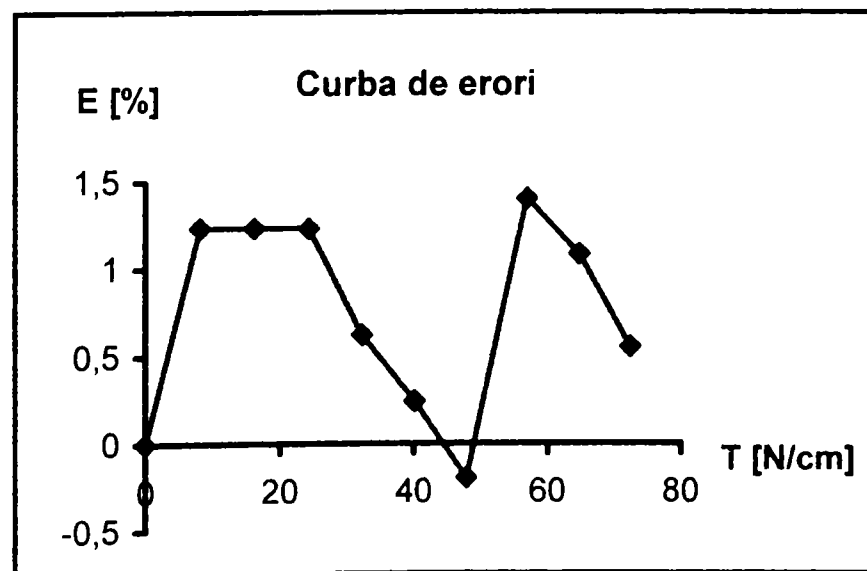


Fig. 3.33 b Curba de erori

Analizand curba de erori (fig.3.33 b) obtinuta se observa ca eroarea relativa este in limitele 0 – 1,4 %, adica tensiometrul analizat are o rezerva de precizie de cca. 1,6%.

		Kalibrierzeichen Calibration mark		05020032	
		CAL		ISO 9000 52223	
		next Cal		02/2006	

Meßprotokoll vom 01.02.2005 Seite 2 von 3

Gegenstand.: Gewebespannungsmeßgerät      Auftrags Nr.....: 501076  
 Modell.....: Tensiometer 75 S      Kal. Schein.....: 05020032  
 Hersteller.: H. Mantel AG      Kalibrierzyklus.: 12 Monate  
 Serien Nr.: TS75S-C51      Luftfeuchtigkeit.: 45%  
 Kal. Index.: A      Temperatur.....: 20°C  
 KALIBRIERUNG      Kal. nach.....: Vorschrift

Verwendete Kalibriereinrichtungen:

PM-Nummer	Hersteller	Modell	Gegenstand	Prüfer	Kal -Nr	nächst	Kal
KL22072	Mantel AG	Tensiometer75S	Gewebespannungsmeßgerät	DKD	04090135	09/2006	
KL33040	burster	9162-V0100	Prozesswertanzeiger	Burster		08/2005	
KL33041	burster	8435-6001	Zug-Druck Kraftsensor	Burster		05/2005	
KL33042	burster	9162-V0100	Prozesswertanzeiger	Burster		08/2005	
KL33043	burster	8435-6001	Zug-Druck Kraftsensor	Burster		05/2005	
KL13034	HP	972A	DMM	DKD-K-18201	04120130	12/2005	

Bereich	Sollwert	Istwert	Spezifik	Abweichung	Messuns	Min Wert	Max Wert
=====							

Auswertung nach DIN 16 611

Mittelwerte aus 10-Messungen.

Spannung bezogen auf 25 cm Länge.

Kraft [N]	Spannung [N/cm]						
200	8,0	8,1	±3,0 %	0,1	±0,1	7 76	8 24
400	16,0	16,2	±3,0 %	0,2	±0,1	15 52	16 48
600	24,0	24,3	±3,0 %	0,3	±0,1	23 28	24 72
800	32,0	32,2	±3,0 %	0,2	±0,1	31 04	32 96
1000	40,0	40,1	±3,0 %	0,1	±0,1	38 80	41 20
1200	48,0	47,9	±3,0 %	-0,1	±0,1	46 56	49 44
1400	56,0	56,8	±3,0 %	0,8	±0,1	54 32	57 68
1600	64,0	64,7	±3,0 %	0,7	±0,1	62 08	65 92
1800	72,0	72,4	±3,0 %	0,4	±0,1	69 84	74 16

**esz Elektronik-Service GmbH**  
Servicezentrale · Messlabor · Kalibrierdienst

Fig. 3.34 Certificatul de etalonare al tensiometrului 75 S

## Cap. 4. Determinari experimentale

Cu ajutorul standului de etalonare proiectat si realizat se vor efectua testari asupra diverselor tipuri de panze serigrafice urmarind variatia principalilor parametri ai panzelor in functie de tensionarea aplicata.

De asemenea se urmareste stabilirea caracteristicii  $T = T(F)$  – caracteristica tensionare-fora.

Parametri de baza ai panzelor serigrafice (v.cap. 1) sunt:

1. distanta dintre fire  $W$  [ $\mu\text{m}$ ];
2. diametrul firului  $d$  [ $\mu\text{m}$ ];
3. finetea panzei  $n$  (nr. de fire / cm) sau Mesh (nr.de fire / toli);
4. aria libera procentuala  $A_0$ .

In cele ce urmeaza se va urmari variatia acestor parametri de baza in cazul diverselor tipuri de panze utilizand standul de etalonare propus, cateva din rezultatele experimentale semnificative obtinute fiind prezentate in continuare.

### 4.1 Variatia parametrilor de baza ai panzei in functie de tensionare

#### 4.1.1 Variatia diametrului firului

In aplicatiile practice de serigrafie este important de cunoscut variatia diametrului firului tesaturii in functie de tensionarea aplicata deoarece o variatie semnificativa a acestuia in timpul procesului de tensionare poate conduce la modificarea ariei libere si implicit la modificarea volumului teoretic de incarcare a panzei, ceea ce poate influenta calitatea imprimarii.

Pe parcursul procesului de tensionare, teoretic are loc o alungire a firelor panzei serigrafice, ceea ce poate conduce la ovalizarea firului, deci la modificarea diametrului acestuia (teoretic se obtin doua diametre diferite pe cele doua axe – v.fig. 4.1).

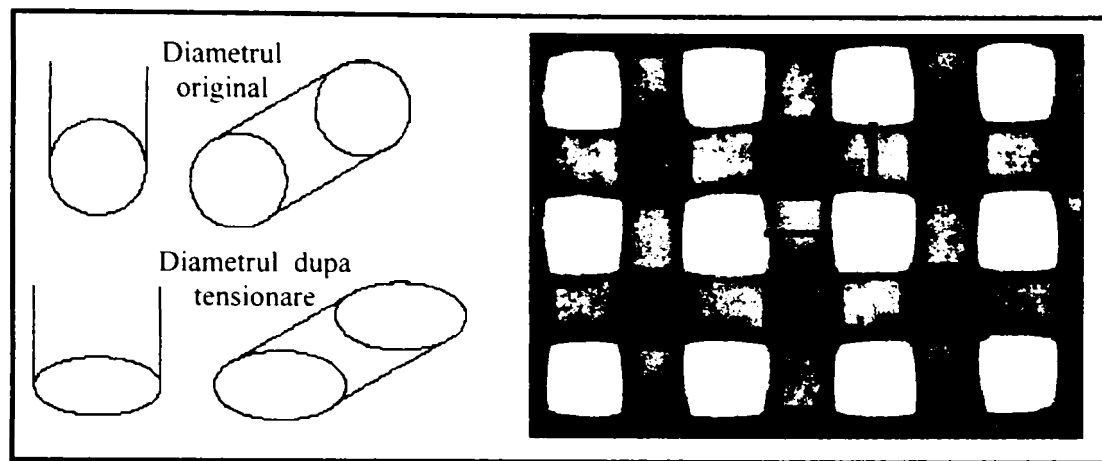


Fig. 4.1. Variatia teoretica a diametrului firelor tensionate

Testarea variatiei diametrului firului panzei serigrafice in functie de tensionare s-a realizat cu o panza tip PA 1000 90-44W-PW cu diametrul initial al firului de  $44 \mu\text{m}$ , prin efectuarea a zece masuratori pe cele doua directii de tensionare, rezultatele din fiecare punct de tensionare reprezentand media celor zece determinari (v.fig 4.2).

Din examinarea variatiei diametrului firului in functie de tensionarea aplicata (fig.4.2) se observa ca in intervalul  $0 - 25 \text{ N/cm}$  are loc o usoara crestere de diametru (axa mare) dupa o directie de deformare respectiv dupa depasirea pragului de  $25 \text{ N/cm}$  diametrul firului (axa mare) ramane nemodificat(a).

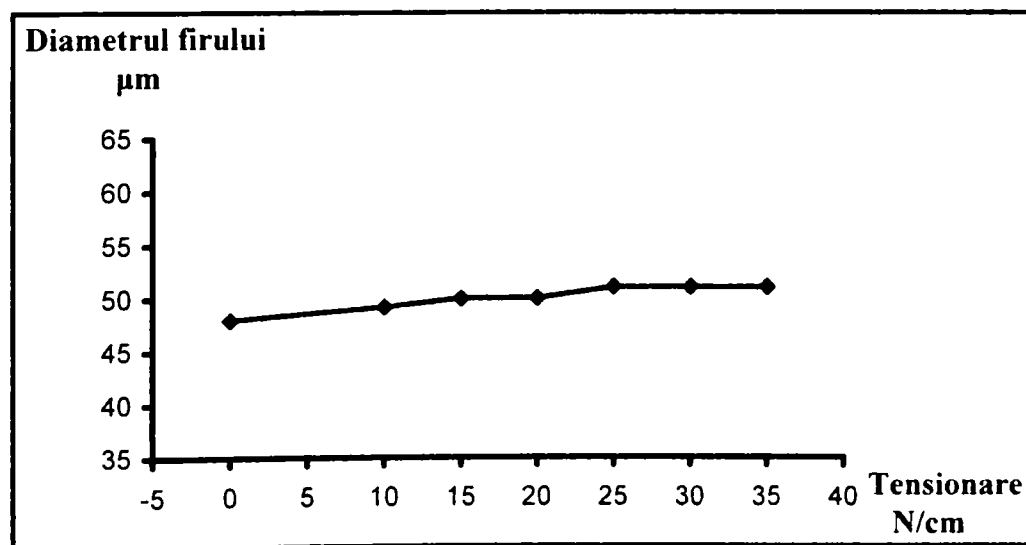


Fig. 4.2 Variatia diametrului firului in functie de tensionare

Ca si concluzie generala se poate afirma ca pe parcursul tensionarii (in intervalul uzual de tensionare) nu are loc o variatie semnificativa a diametrului firului.

Pentru verificarea repetabilitatii determinarii variatiei diametrului firului in functie de tensionare s-au considerat cinci sectiuni din aceasi panza, determinand diametrul mediu

in fiecare punct de tensionare (rezultat ca media dintre trei masurari ale diametrului pe cele doua directii) – v.fig. 4.3.

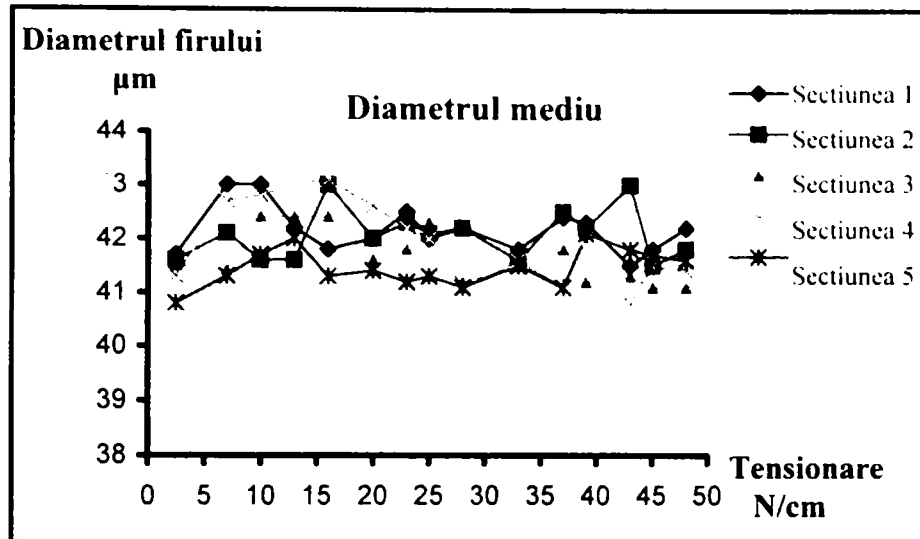


Fig. 4.3 Variatia diametrului mediu in functie de tensionare – Repetabilitatea masurarilor

Din fig. 4.3 se poate observa ca diametrul mediu prezinta o variatie de pana la 2  $\mu\text{m}$  in domeniul de tensionare de pana la 50 N/cm, respectiv se constata tendinta de scadere a variatiei diametrului mediu cu cresterea tensionarii.

#### 4.1.2 Variatia ariei libere

Odata cu cresterea tensionarii panzei serigrafice are loc si o variatie a ariei libere a tesaturii. Determinarile s-au realizat pentru acelasi tip de panza PA 1000 90-44W-PW rezultatul fiind prezentat in fig. 4.4.

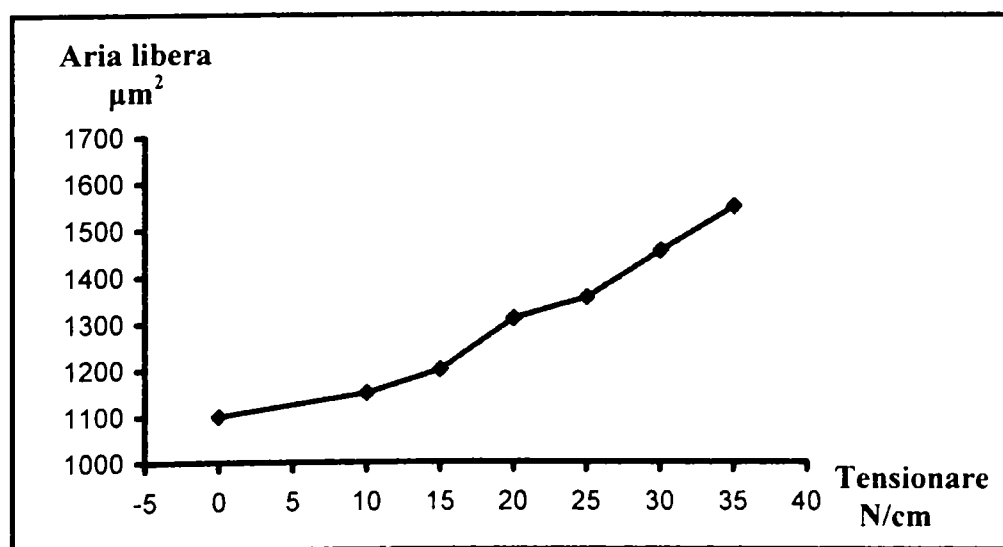


Fig. 4.4 Variatia ariei libere in functie de tensionare



Se poate constata (v.fig. 4.4) o crestere a ariei libere odata cu crestere a tensionarii panzei serigrafice.

Aceasta crestere a ariei libere este ilustrata si de imaginea marita a panzei tensionate (PA 1000 90-44W-PW la o tensionare de 35 N/cm) obtinuta cu ajutorul unui stereomicroscop de marire (x189) –v. fig.4.5 a si b, peste imaginea marita fiind suprapusa aria libera initiala specificata de fabricant (pentru panza netensionata).

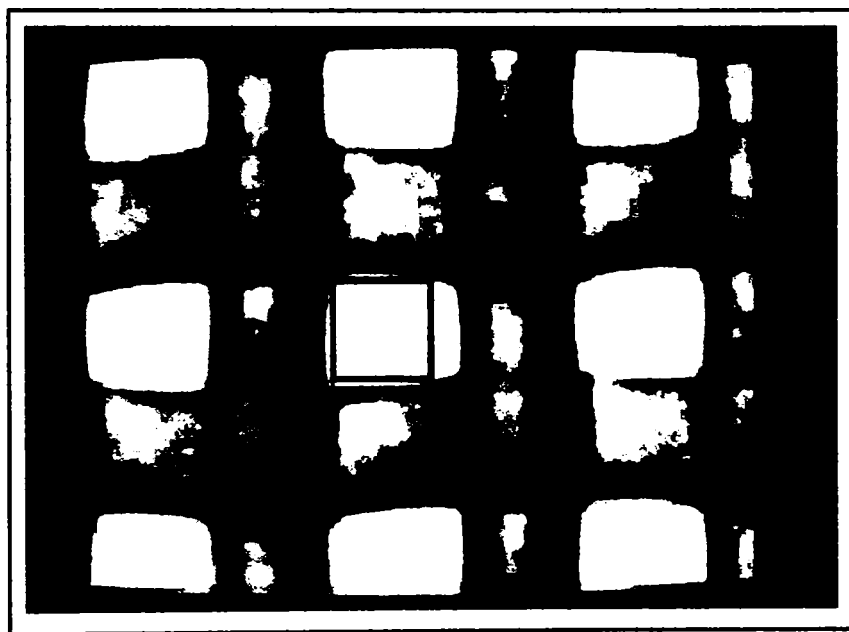


Fig.4.5 a Imaginea marita a panzei tensionate – variatia ariei libere si aria libera initiala suprapusa



Fig. 4.5 b Stereomicroscop pentru vizualizarea imaginii marite a ariei libere

Pentru o vizualizare mai facila si prelucrarea datelor sistemul optic de masurare este conectat la un calculator electronic (v.fig. 4.6).

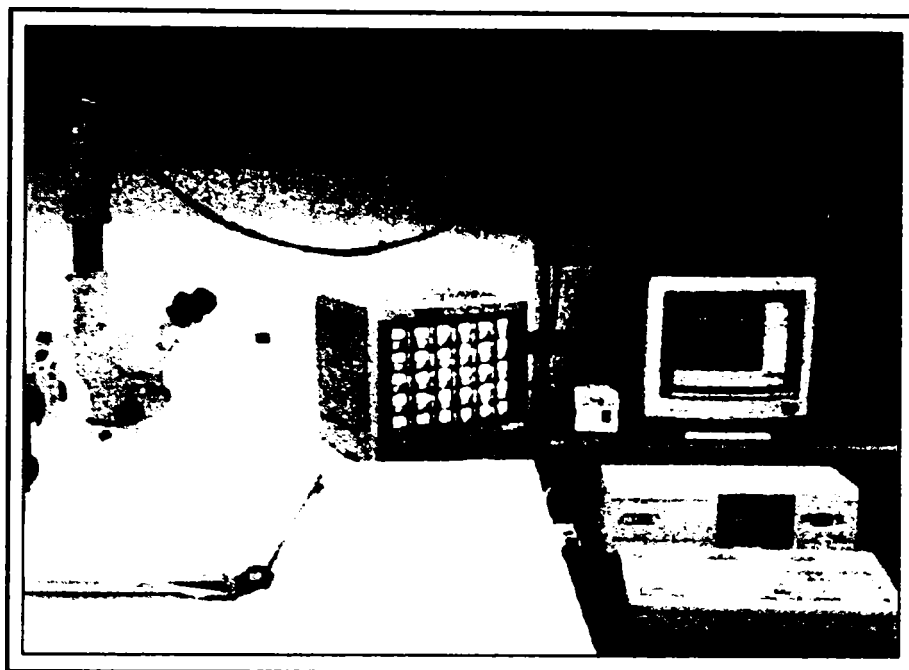


Fig. 4.6 Sistemul de masurare a caracteristicilor panzelor

Evaluarea ariei libere, pe langa metoda de masurare cu stereomicroscopul, mai poate fi realizata si prin metode de masurare fara contact mecanic, cum ar fi metoda Fraunhofer (v. Cap. 2.2) care se bazeaza pe iluminarea monocromatica a panzei tensionate cu ajutorul unei surse monocromatice (Emitator), pe partea opusa aflandu-se o camera CCD (Receptor) cu posibilitatea conectarii la un monitor pe care se pot vizualiza franjele rezultate. Franjele sunt echidistante la aceasi tensionare dar vor fi decalate in cazul unei tensinari diferite a panzei, adica se obtin distante de interfranje  $\Delta y$  diferite. Acest fapt va fi ilustrat in continuare pentru panza libera (netensionata) respectiv pentru panza tensionata.

Pentru panza analizata, cu diametrul firului  $d_f = 0,08$  mm si distanta dintre centrele a doua fire consecutive  $d = 0,12$  mm in stare netensionata se determina distanta dintre doua fire consecutive (v.fig. 4.7).

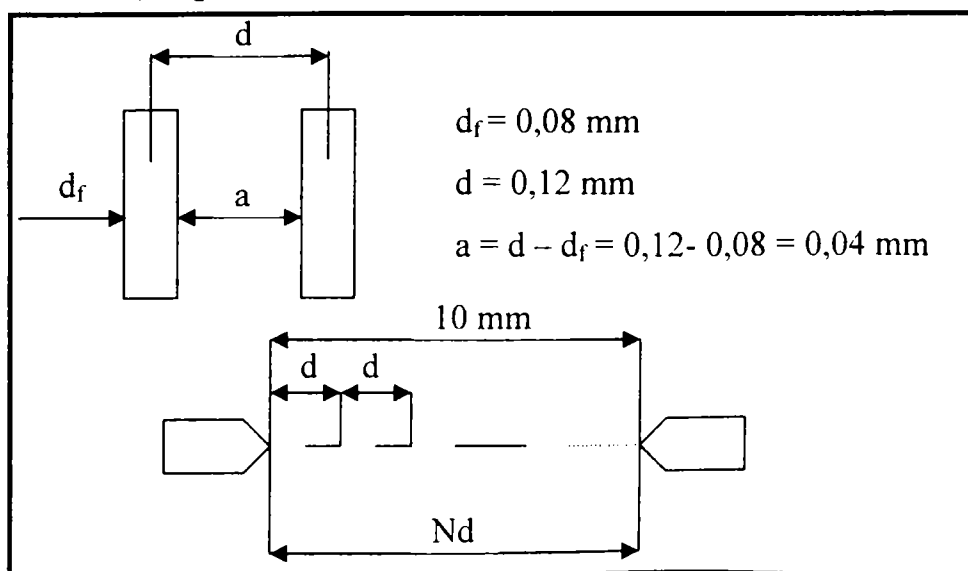


Fig. 4.7 Elemente de forma ale panzei

Pentru starea netensionata se determina numarul liniilor de interferenta:

$$N = \frac{10}{d} = \frac{10}{0,12} \approx 83 \text{ linii / 10 mm}$$

Pentru lumina naturala ( $\lambda = 5500 \text{ \AA}$ ) se determina raportul:

$$\frac{\lambda}{d} = \frac{5500}{0,12 \cdot 10^3 \cdot 10^3 \cdot 10} = 0,004583333$$

Pentru panza tensionata se poate scrie:

$$d' = d + \varepsilon \cdot d = (1 + \varepsilon)d = \left(1 + \frac{5}{100}\right)d = \frac{105}{100}d = 0,126 \text{ mm}$$

$$a' = d' - d_f = 0,126 - 0,08 = 0,046 \text{ mm}$$

$$N = \frac{10}{d'} = \frac{10}{0,126} \approx 79 \text{ linii / 10 mm}$$

$$\frac{\lambda}{d'} = \frac{5500}{0,126 \cdot 10^6 \cdot 10} = 0,004365079$$

Se observa faptul ca pentru panza tensionata raportul  $\lambda / d$  este mai mic decat in cazul panzei netensionate, deci prin aceasta metoda (difractia Fraunhofer) se poate masura tensionare panzelor serigrafice.

In tab. 4.1 se prezinta cateva rezultate pentru panza tensionata respectiv panza ne tensionata in functie de rangul franjei de interferenta (m)

**Tab. 4.1. Analiza comparativa pentru panza libera si panza tensionata**

m	Panza netensionata			Panza tensionata		
	$\Theta^\circ$	$\Delta\Theta^\circ$	y[mm]/ $\Delta y$ [mm]	$\Theta^\circ$	$\Delta\Theta^\circ$	y [mm] / $\Delta y$ [mm]
1	0,26260657	0,262605755	0,45833814	0,25010141	0,25010141	0,436512095
			0,45833814			0,436512095
2	0,52521866	0,262612092	0,91670518	0,50020760	0,25010618	0,783049143
			0,45836703			0,436537048
3	0,78841794	0,262623127	1,37512999	0,75032332	0,250115716	1,309636105
			0,45842481			0,436586962
4	1,05048147	0,262639681	1,83364151	1,00045333	0,250130016	1,746297956
			0,45851151			0,436661850
5	1,31314323	0,262661759	2,29226866	1,25060242	0,250149087	2,183059692
			0,45862715			0,436761735

Se observa ca variatia unghiului  $\Theta$  si variatia distantei intre doua franje consecutive este o constanta care difera in functie de starea de tensionare a panzei.

Analizand doua panze serigrafice de acelasi tip (diametrul firului si arie libera identice) provenind de la producatori diferiti se poate constata o diferenta semnificativa a variatiei ariei libere ale celor doua panze la aceeasi tensionare (v.fig.4.8), ceea ce impune necesitatea standardizarii procesului de productie a panzelor si a controlului calitatii panzelor utilizate.

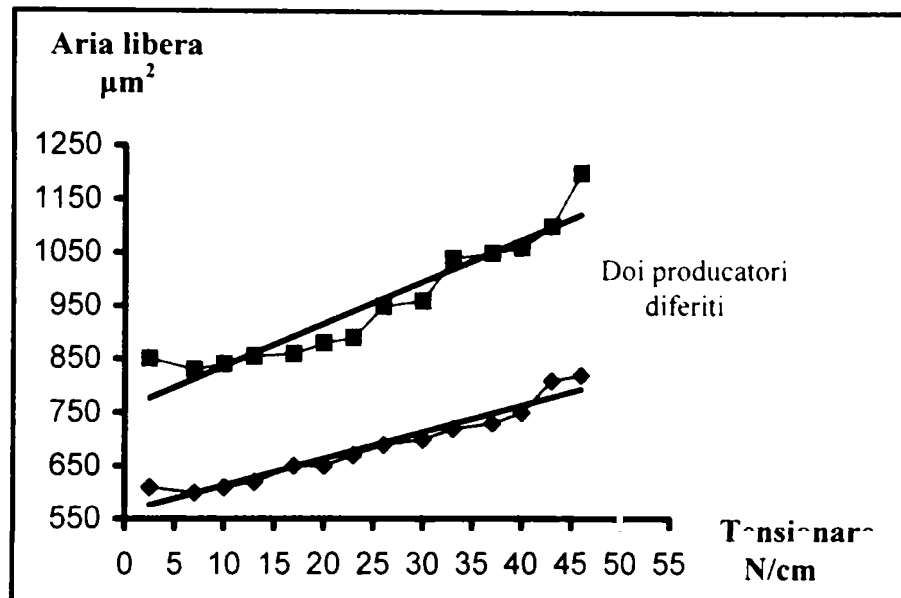


Fig. 4.8 Variatia ariei libere in functie de tensionare pentru doi producatori diferiti

Verificarea repetabilitatii masurarilor s-a realizat cu ajutorul aceleiasi panze analizand cinci sectiuni ale acesteia, rezultatul fiind prezentat in fig. 4.9

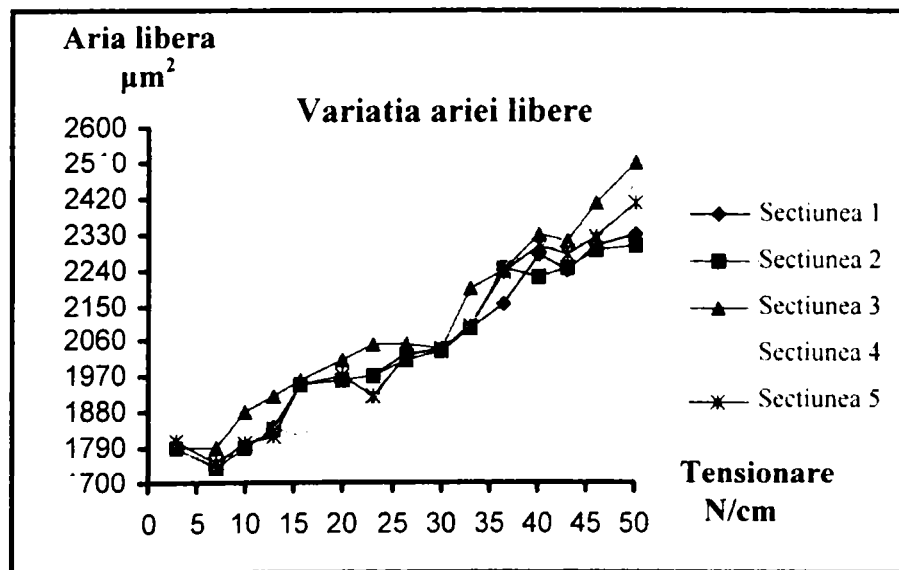


Fig.4.9 Repetabilitatea variatiei ariei libere

Din analiza rezultatelor (fig.4.9) se constata acelasi caracter de crestere a ariei libere in functie de tensionare in fiecare sectiune analizata a panzei.

### 4.1.3 Variatia finetei panzei

Prin modificarea ariei libere in functie de tensionare se va modifica si finetea panzei in functie de tensionarea aplicata. Determinarea finetei panzei (nr. de fire/cm sau nr.de fire/toli) se realizeaza cu ajutorul unui microscop de masurare (de regula cu marirea x 60) cu o arie definita de vizualizare in care se realizeaza contorizarea numarului de fire. Un astfel de microscop de numarare este prezentat in fig. 4.10.

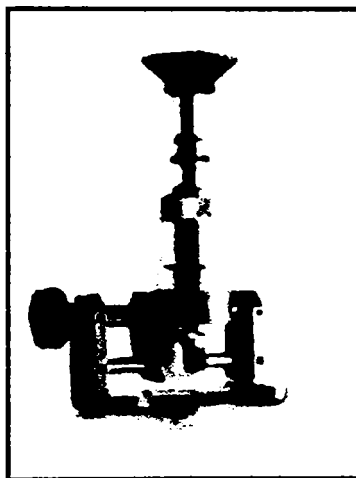


Fig.4.10 Microscop de numarare pentru determinarea finetei panzei

Mijlocul de masurare prezentat ofera rezultate in fire/cm, factorul de conversie dintr-o unitate de masura in cealalta fiind :

$$\text{fire de tesaturi/inch} \times 0,394 = \text{fire de tesaturi/cm}$$

$$\text{respectiv: fire de tesaturi/cm} \times 2,45 = \text{fire de tesaturi/inch}$$

Variatia finetei panzei in functie de tensionare s-a testat tot pe panza PA 1000 90-44W-PW obtinand rezultatul din fig. 4.11.

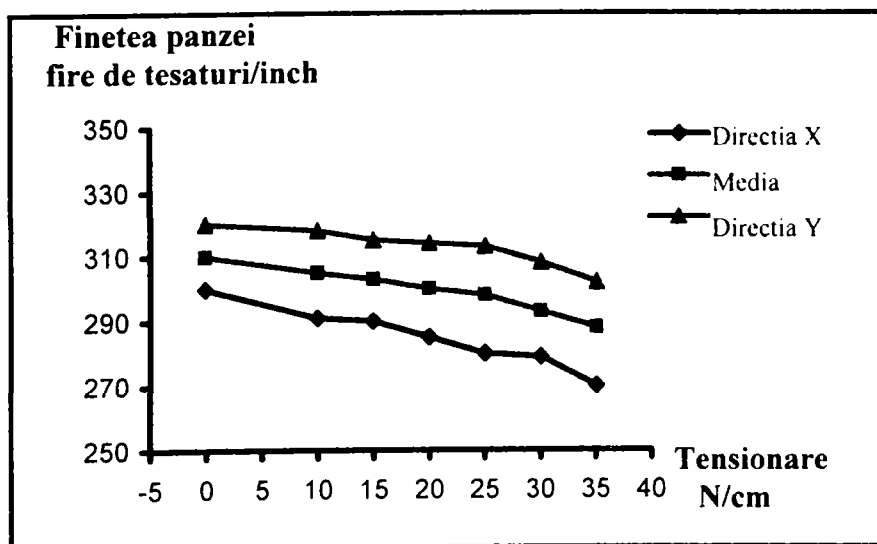


Fig. 4.11 Variatia finetei panzei in functie de tensionare

Pentru proba efectuata se constata o scadere a finetei panzei (a numarului de fire de tesaturi / inch) odata cu cresterea tensionarii (v.fig. 4.11).

Repetabilitatea variatiei finetei panzei in functie de tensionare s-a realizat in mod identic ca si la ceilalti parametri (s-au considerat cinci sectiuni din panza analizata) obtinand rezultatele din fig.4.12.

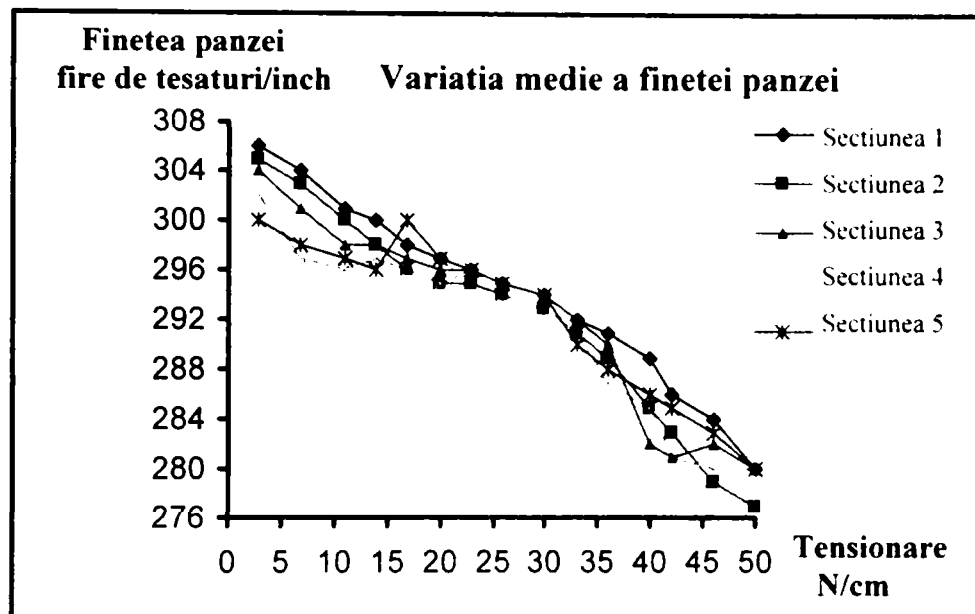


Fig. 4.12 Repetabilitatea variatiei finetei panzei

Se constata pastrarea tendintei de scadere a finetei panzei odata cu cresterea tensionarii (v.fig. 4.12).

#### 4.1.4 Variatia grosimii panzei

Grosimea panzei serigrafice poate fi considerata intr-o prima aproximare ca fiind dublul diametrului firului panzei. Daca insa se realizeaza o sectiune imaginara prin panza (v.fig. 4.13 a) prin care se observa modul de infasurare a firului se poate admite ca grosimea panzei ( $h$ ) este mai mica decat dublul diametrului firului. Datorita tensionarii panzei se obtine o modificare a grosimii acesteia ( $h'$  - v.fig. 4.13 b).

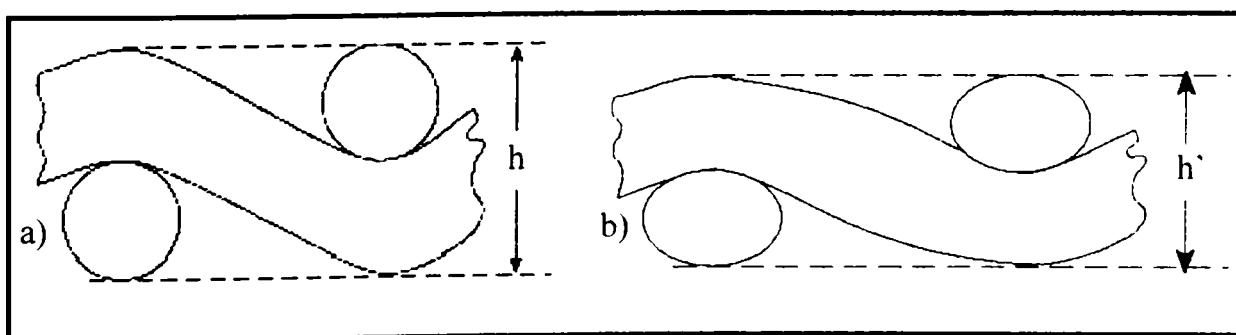


Fig. 4.13 Grosimea panzei

a) in stare netensionata, b) in stare tensionata

Pentru masurarea grosimii panzei s-au realizat diverse mijloace de masurare specifice, cel mai utilizat fiind asa numitul "Deltascop". Acest instrument de masura functioneaza pe principiul inducției magnetice (conform normei DIN 50981). Un astfel de aparat, este prezentat in fig. 4.14 a.

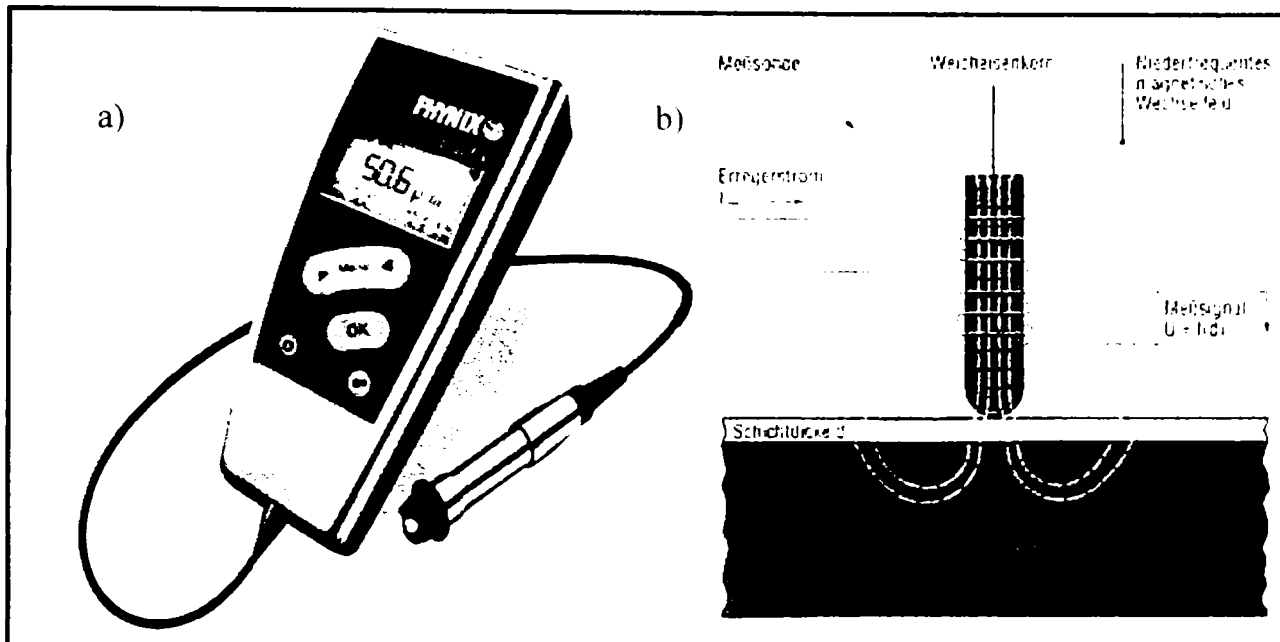


Fig. 4.14 a) Mijloc de masurare a grosimii panzei b) Principiul de functionare

Grosimea se masoara prin intermediul unei sonde axiale care se pozitioneaza pe panza. In sonda este incorporata o bobina de curent alternativ de joasa frecventa (ca. 100 Hz). Astfel ia nastere un camp magnetic care se modifica la contactul cu panza, in functie de grosimea acesteia, care reprezinta un intrefier (v.fig. 4.14 b). Prin intermediul intensitatii cimpului magnetic se deduce grosimea panzei masurata in  $\mu\text{m}$ .

Utilizand mijlocul de masurare prezentat s-a efectuat masurarea variatiei grosimii unei panze PA 1000 90-44W-PW in functie de tensionare obtinand rezultatele din fig. 4.15.

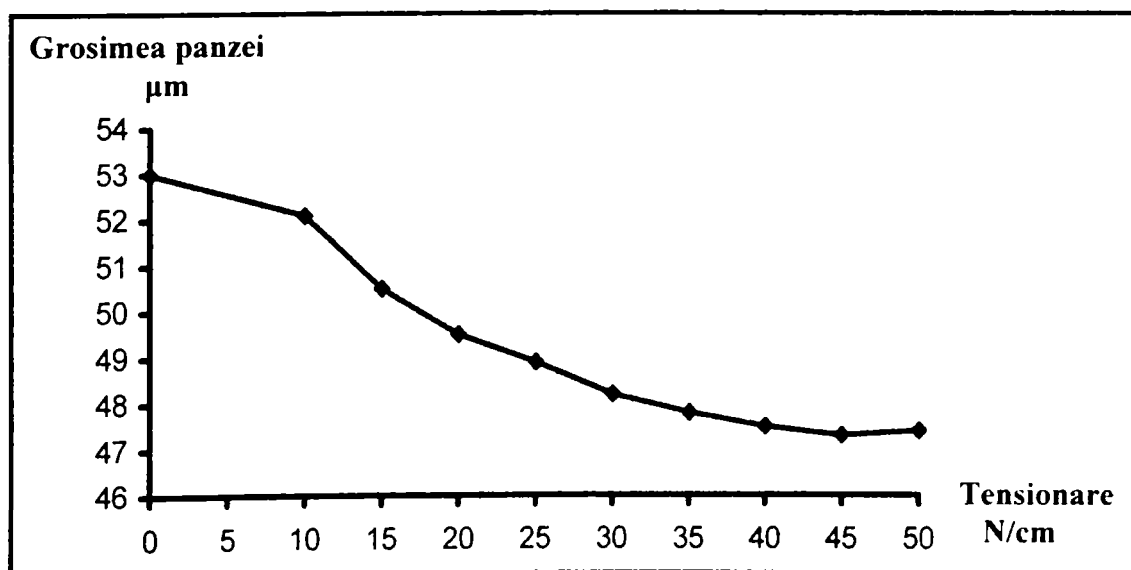


Fig. 4.15 Variatia grosimii panzei in functie de tensionare

Din rezultatele obtinute s-a constatat o scadere a grosimii panzei odata cu cresterea tensionarii. Verificarea repetabilitatii masurarilor s-a realizat considerand cinci sectiuni din panza analizata, rezultatele fiind prezentate in fig. 4.16.

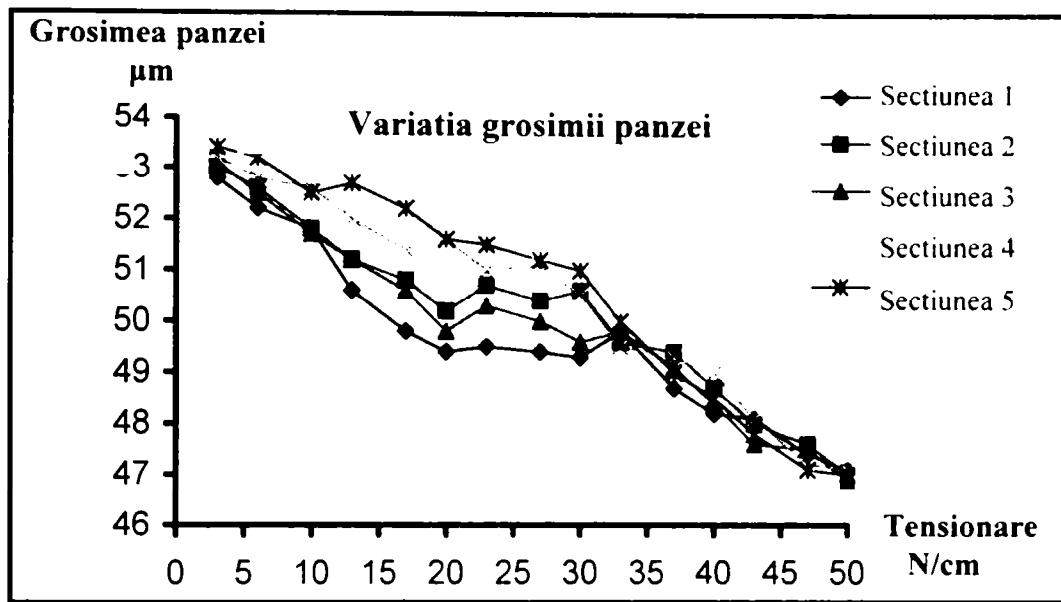


Fig. 4.16 Repetabilitatea variatiei grosimii panzei

Se constata pastrarea tendintei de scadere a grosimii panzei odata cu cresterea tensionarii (v.fig. 4.16).

## 4.2 Fluajul panzei tensionate

Fluajul panzei serigrafice reprezinta scaderea tensionarii acesteia in timp.

In fig. 4.17 se prezinta caracteristica de fluaj a unei panze de polyester 120 T, masurata in decurs de 7 zile.

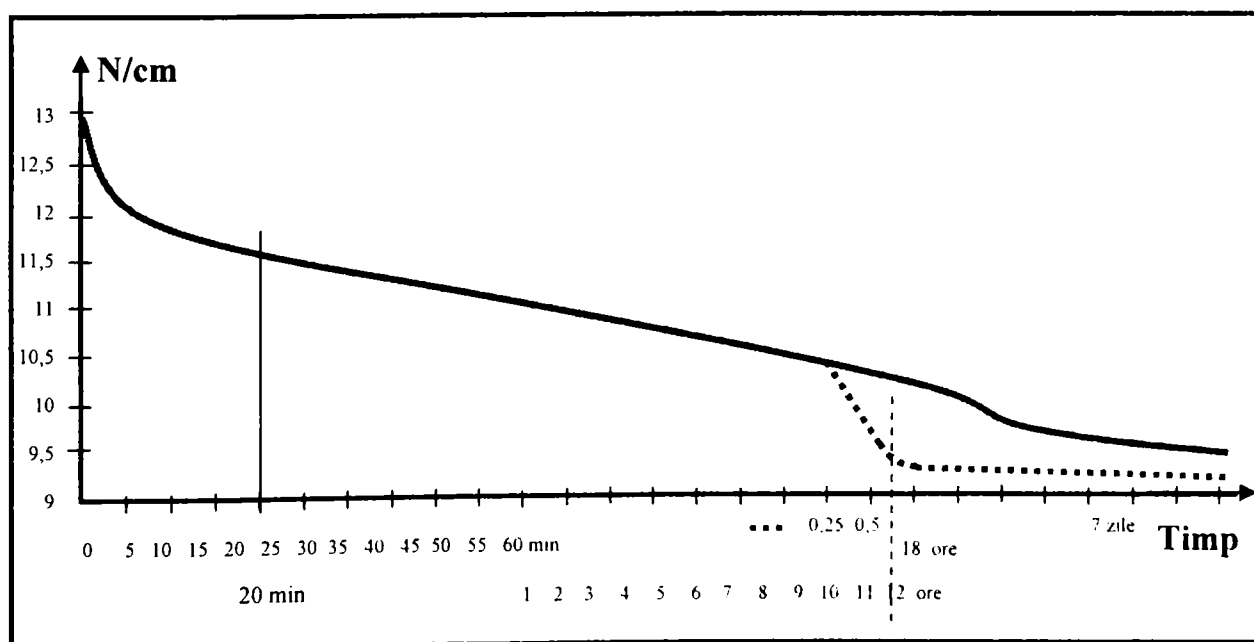


Fig. 4.17 Fluajul panzei tensionate pentru firul de panza 120 T



Pentru panza testata (48-70W PW), fluajul a fost determinat de la tensionarea initiala de 25N/cm in functie de timp si perioada de relaxare (5min – 30min).

Perioda de relaxare este durata de timp de la prima tensionare a panzei (de ex la 25 N/cm) la a doua tensionare (de ex dupa 30 min) pentru a se ajunge din nou la 25 N/cm datorita fluajului. Dupa a doua pretensionare incepe masurarea fluajului timp de 48 de ore.

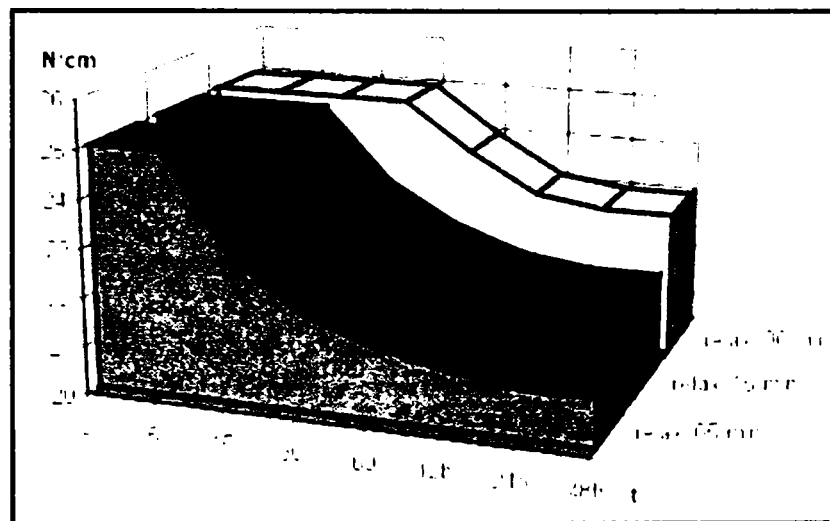


Fig. 4.18 Caracteristica de fluaj a panzei tensionate

Se observa importanta timpului de relaxare intre doua masurari succesive a fluajului (v.fig. 4.18).

### 4.3 Caracteristica de etalonare

Un obiectiv important al cercetarii experimentale il constituie obtinerea caracteristicii de etalonare a standului, adica a dependentei tensiunii din panza serigrafica in functie de forta aplicata ( $T = T(F)$ ).

Caracteristica de etalonare s-a obtinut prin tensionarea panzei serigrafice din polyester tipul 48-70W PW, cu diametrul firului  $D = 70\mu\text{m}$ , tensiunea maxima admisa 90 N/cm si finetea tesaturii de 51 fire/cm, de la firma Sefar Elvetia.

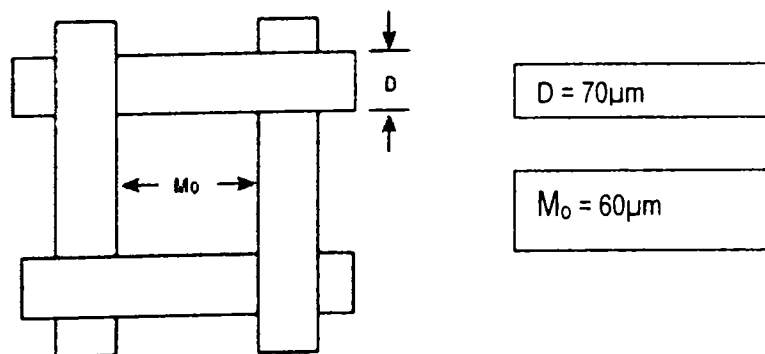


Fig. 4.19 Caracteristicile geometrice ale panzei

Tab. 4.1 Dependenta tensiune-forța

Forța [N]	Tensiunea [N/cm]
0	0.0
100	4.0
200	8.1
300	12.1
400	16.2
500	19.5
600	23.3
700	26.8
800	30.2
900	33.7
1000	37.1
1100	40.4
1200	43.9
1300	47.1
1400	50.8
1500	53.9
1600	58.7
1700	61.7
1800	65.5
1900	68.7
2000	71.4

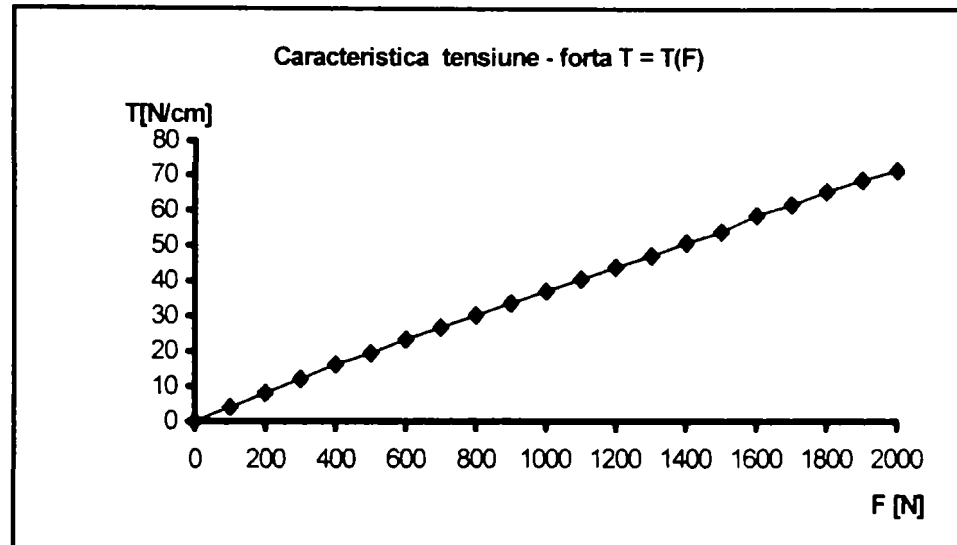


Fig. 4.20 Caracteristica tensiune forța a standului

Prin dotarea standului cu un mijloc de masurare a lungimilor (comparator de cursa lunga) s-a putut pune in evidenta si deplasarea ramei de tensionare (alungirea panzei) in functie de tensiunea aplicata. Principiul sistemului de masurare utilizat este prezentat in fig. 4.21.

- Forța masurată cu un traductor de forța 2000N /1N
- Tensiunea masurată cu un Tensiometru 75N/cm / 0,1N/cm
- Deplasarea masurată cu un comparator 50mm / 0,01mm

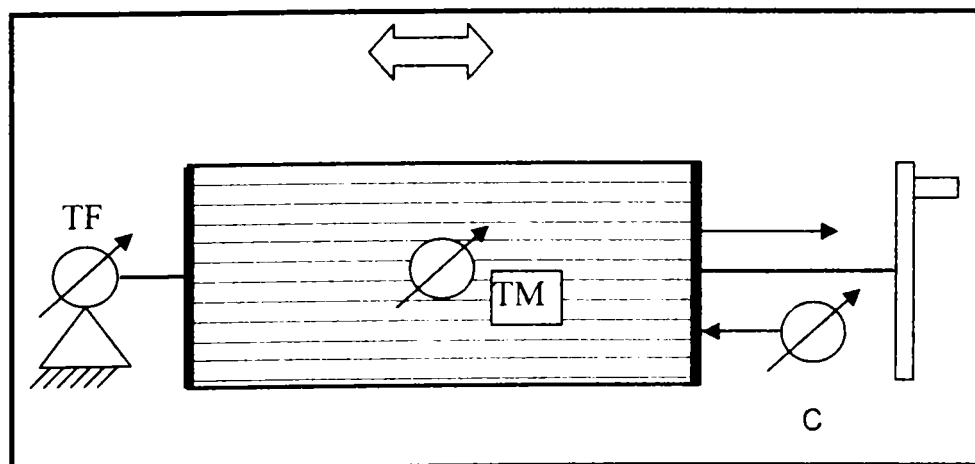


Fig. 4.21 Principiul de masurare a deplasarii ramei de tensionare (alungirea panzei)

TF – traductor de forța, C – comparator, TM -tensiometru

Sistemul de masurare pentru evidentierea deplasarilor (comparatorul) montat pe stand este prezentat in fig. 4.22.

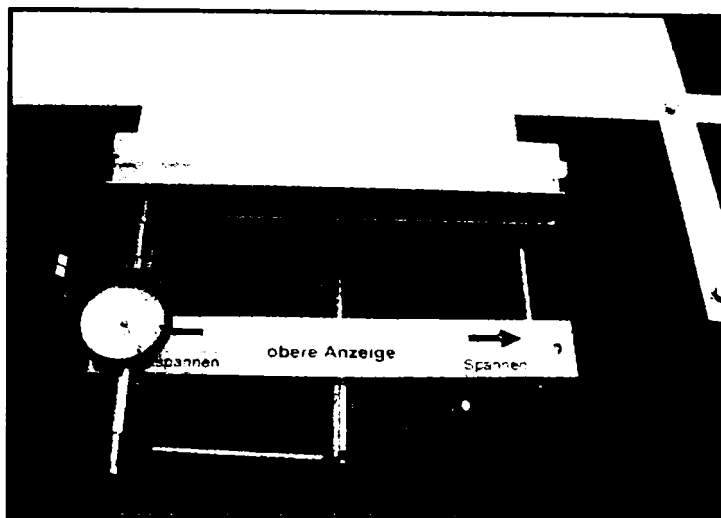


Fig.4.22 Comparatorul montat pe stand

Rezultatele obtinute (dependenta alungire-forta) sunt centralizate in Tab. 4.2 respectiv in fig. 4.23.

Tab. 4.2 Dependenta alungire forta

Forta [N]	Alungirea [mm]
0	0
100	2.51
200	4.24
300	6.02
400	7.95
500	9.84
600	11.12
700	13.05
800	15.01
900	16.48
1000	18.61
1100	19.58
1200	21.22
1300	22.54
1400	23.82
1500	24.79
1600	25.13
1700	25.68
1800	26.32
1900	26.81
2000	27.12

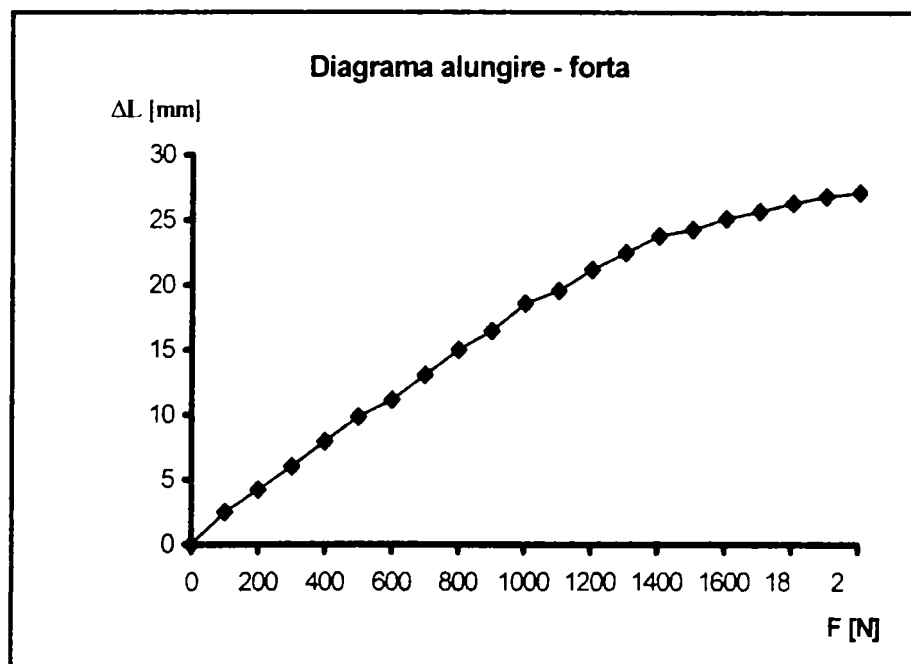


Fig.4.23 Dependenta alungire-forta

Tendinta de variatie a deplasarii ramei in functie de tensionare este deasemenea liniara (v. linia de tendinta din fig. 4.23).

In cap. 2.3 s-a dedus expresia sagetii (deformatiei) panzei in functie de tensionare (v. rel. 2.24) si s-a realizat reprezentarea grafica a acestei dependente (v fig.2.22) utilizand datele constructive ale tensiometrului analizat. In continuare se propune verificarea experimentală a variatiei sagetii in functie de indicatie montand tensiometrul intr-o masina de masurat lungimi (v. fig. 4.24) si inregistrand valorile indicatiei in functie de deplasarea aplicata (v. Tab. 4.3).

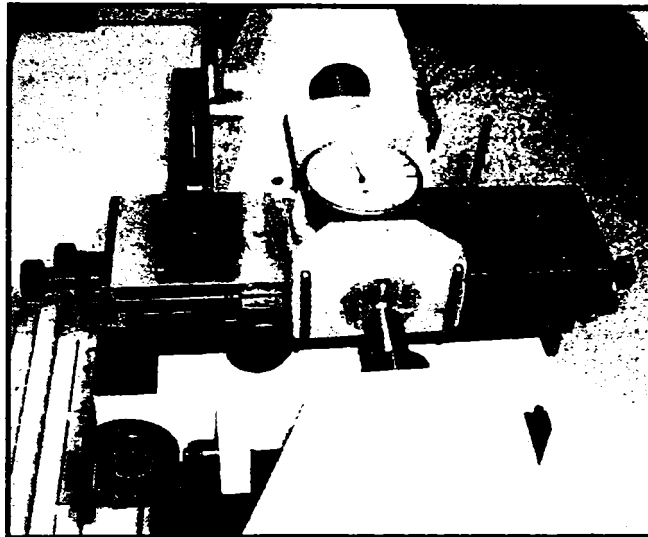


Fig.4.24 Tensiometrul montat pe masina de masurat lungimi

Tab. 4.3

Indicatie (Deviatie ac indicator) T [N/cm]	Sageata f [mm]
0	0
6	0.163
7	0.234
8	0.3
10	0.413
13	0.531
15	0.586
17	0.632
20	0.678
24	0.725
30	0.781
34	0.802
40	0.834
50	0.873

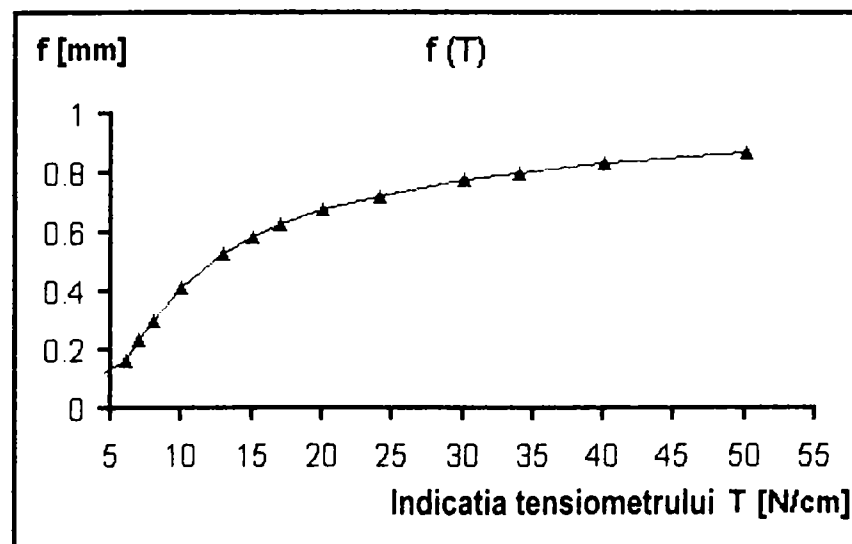


Fig. 4.25 Dependenta indicatiei tensiometrului in functie de deplasarea palpatorului lui (sageata f) determinata experimental

Se constata o variatie neliniara a deformatiei in functie de tensionare, fapt stabilit si prin deducerea relatiei de variatie si reprezentarea acestuia (fig. 2.22), cele doua caracteristici (cea teoretica si cea experimentală) fiind comparabile pe domeniul de masurare.

#### 4.4 Analiza rezultatelor. Concluzii

Din analiza rezultatelor experimentale obtinute se pot concluziona urmatoarele:

- diametrul firului panzei serigrafice nu se modifica semnificativ in functie de tensionare (fig.4.2);
- diametrul mediu prezinta o variatie de pana la 2  $\mu\text{m}$  in domeniul de tensionare de pana la 50 N/cm. (v.fig. 4.3);
- se poate constata (v.fig. 4.4) o crestere a ariei libere odata cu cresterea tensionarii;
- se impune necesitatea standardizarii procesului de productie a panzelor si a necesitatii controlului calitatii panzelor utilizate. (v.fig.4.8);
- cresterea ariei libere in functie de tensionare este independenta de sectiunea analizata (v.fig.4.9);
- se constata o scadere a finetei tesaturii (a numarului de fire / inch) odata cu cresterea tensionarii (v.fig. 4.11);
- se constata o scadere a grosimii tesaturii odata cu cresterea tensionarii (v.fig. 4.15);
- la o tensionare indelungata se constata o pierdere a tensionarii (fluajul panzei – fig.4.17);
- este important timpul de relaxare intre doua tensionari la masuratori de lunga durata (v.-fig. 4.18);
- caracteristica tensiune-fora (caracteristica de etalonare) prezinta o dependenta liniara (v.fig. 4.20) pe domeniul de masurare.
- in cazul unui tensiometru standard dependenta  $f(T)$  este neliniara, variatia teoretica si cea experimentală fiind comparabile pe domeniul de masurare (v.fig. 2.22 si fig. 4.25).

## Cap. 5. Estimarea caracteristicilor metrologice ale standului

Standul experimental proiectat si realizat are ca obiectiv masurarea tensiunii din panza serigrafica, care este dependenta de forta cu care se realizeaza tensionarea panzei. Este vorba deci de un sistem de masurare in cazul caruia parametrul de intrare este forta de tensionare (F), care produce o tensionare a panzei (T), obiectivul principal fiind stabilirea dependentei  $T = T(F)$ , adica a caracteristicii statice.

In cazul standului realizat se poate considera ca parametrul global cel mai reprezentativ din punct de vedere metrologic este sensibilitatea sa.

Sensibilitatea este capacitatea mijlocului de masurare de a sesiza micile variatii ale marimii de masurat (masurandului), fiind o caracteristica metrologica de baza. Din punct de vedere matematic sensibilitatea statica ( $K$ )<sup>1</sup> a unui mijloc de masurare este determinabila ca raportul dintre variatia marimii de iesire ( $x_e$ ) in raport cu marimea de intrare ( $x_i$ ):

$$K = \frac{dx_e}{dx_i} \frac{[U.M.x_e]}{[U.M.x_i]} \quad (5.1)$$

Se observa ca sensibilitatea este o marime dimensionala, unitatea sa de masura rezultand din raportul unitatilor de masura a marimii de iesire (U.M. $x_e$ ) si a celei de intrare (U.M. $x_i$ ).

In general se prefera sistemele de masurare cu sensibilitate statica constanta pe intreg domeniul de masurare, adica sisteme cu o caracteristica statica liniara.

### 5.1. Determinarea sensibilitatii standului

Din determinarile experimentale efectuate pe standul propus (v.fig. 4.24) s-a constatat ca, la o crestere cu 100 N a fortei de tensionare (marimea de intrare) se obtine o crestere a tensiunii in panza serigrafica (marimea de iesire) de 4 N/cm, rezultate valabile pe intreg domeniul de masurare (0-2000 N).

---

<sup>1</sup> Notatia consacrata a sensibilitatii este S, in cadrul tezei s-a adoptat notația K pentru a nu se crea confuzii cu abaterea medie patratica experimentală (S) utilizata in estimarea incertitudinii

Corectitudinea rezultatelor obtinute sunt confirmate si de certificatul de etalonare al tensiometrului utilizat (v.-fig.3.10).

Datorita tendintei de evolutie cu un factor constant (4 N/cm) a tensiunii din panza in functie de forta de tensionare (variabila din 100 in 100 N) se observa ca sensibilitatea standului este constanta pe intreg domeniul de masurare, valoarea numerica a acestuia fiind:

$$K = \frac{x_e}{x_i} = \frac{4}{100} = \frac{80}{2000} = 0,04 \frac{\text{N/cm}}{\text{N}}$$

Pentru determinarea preciziei sensibilitatii determinate se va realiza o estimare a incertitudinii asupra sensibilitatii sistemului de masurare.

## 5.2. Estimarea incertitudinii asupra sensibilitatii

Principalele elemente componente ale standului sunt:

- rama serigrafica (masa de etalonare);
- panza serigrafica;
- sistemul de tensionare si de masurare a fortei de tensionare (dinamometrul);
- sistemul de afisare a fortei;
- mijlocul de masurare a tensiunii din panza (tensiometrul).

Pentru estimarea incertitudinii asupra sensibilitatii se emit ipotezele simplificatoare privind rama si panza serigrafica (rama serigrafica are o stabilitate termica si mecanica corespunzatoare, panzele utilizate avand caracteristici omogene) neavand date pentru estimarea incertitudinii asociate acestor marimi si avand in vedere faptul ca, conform standardului SR 13434 (Ghid pentru evaluarea si exprimarea incertitudinii de masurare), estimarea incertitudinii se realizeaza tinand cont de datele/informatiile aflate la dispozitia utilizatorului. Deasemenea se considera eliminate erorile de operare (citire si manipulare) avand in vedere existenta personalului calificat si a mijloacelor de masurare cu afisaj digital.

Considerand masurarea tensiunii din panza serigrafica ca un proces oarecare de masurare a unei marimi fizice, rezultatului brut al masurarii (valoarea medie a masurarilor) i se asociaza in general o corectie globala (unica) care provine din urmatoarele tipuri de corectii:

- Corectii datorate specificului metodei de masurare ( $C_1$ );

- Corectii datorate mijlocului de masurare utilizat ( $C_2$ );
- Corectii datorate factorilor perturbatori ( $C_3$ ).

Determinand corectia globala ( $C$ ) ca fiind suma corectiilor aplicate ( $C_i$ ):

$$C = \sum C_i \quad (5.2)$$

se determina apoi rezultatul corectat al masurarii ( $R_C$ ), ca fiind:

$$R_C = \bar{x} + C \quad (5.3)$$

Pentru estimarea limitelor erorii de masurare (a incertitudinii) prin care se poate aprecia precizia masurarii respectiv a metodei de masurare (a sensibilitatii in acest caz) se estimeaza incertitudinea globala a masurarii ( $U$ ), rezultatul masurarii (cel mai apropiat de valoarea conventional adevarata, cu o probabilitate statistica data) fiind exprimabil prin relatia:

$$R = R_C \pm U \quad (5.4)$$

Avand in vedere ca sensibilitatea este constanta pe intreg domeniul de masurare avand valoarea:

$$S = 0,040 \text{ cm}^{-1}$$

estimarea incertitudinii asupra sensibilitatii se va realiza pentru un singur punct al domeniului de masurare considerand ca rezultatul obtinut este valabil pentru intregul domeniu de masurare.

Se va admite ca punct de estimare a incertitudinii un punct critic din domeniul de masurare, acest punct fiind caracterizat de sollicitarile maxime (forta de tensionare si tensiune mecanica maxime), cu valorile 1800 N si 72 N/cm.

Pentru acest punct critic (punctul cel mai defavorabil) se vor executa o serie de 20 de determinari obtinand valorile din Tab.5.1 respectiv fig. 5.1.

Avand in vedere ca sensibilitatea este o functie de doua variabile (o marime compusa), pentru estimarea incertitudinii acesteia se va utiliza legea de compozitie a variantei care are expresia generala:

$$u^2(y) = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \frac{\partial f}{\partial x_i} \cdot \frac{\partial f}{\partial x_j} \cdot u(x_i, x_j) \quad (5.5)$$

unde:



$u_c$  este incertitudinea compusa:

$f$  este o relatie functionala dintre marimea de iesire si marimea de intrare (sensibilitatea in cazul de fata)

Pentru cazul concret de estimare a incertitudinii relatia functionala dintre marimea de iesire si cea de intrare este chiar sensibilitatea in punctul critic considerat:

$$K = \frac{x_e}{x_i} = \frac{\bar{T}}{\bar{F}} \frac{\text{N/cm}}{\text{N}} \quad (5.6)$$

unde:  $\bar{T}$  si  $\bar{F}$  sunt valorile medii ale tensiunii si ale fortei in punctul critic (rezultatele brute ale masurarii celor doua marimi – v.Tab. 5.1).

Tab. 5.1 Valori experimentale

F [N]	T [N/cm]
1800	72
1799.5	71.8
1798	71.7
1799	72
1800	72.1
1798	71.8
1799.5	72
1800	71.8
1800	72
1798	71.9
1800	72
1799	71.9
1798	71.8
1799	72
1800	71.9
1800	72
1798	71.8
1800	72.1
1800	72
1800	71.9
<b>Media</b>	
1799.3	71.925
<b>Ab. med.experim. (S)</b>	
0.849148	0.1118034

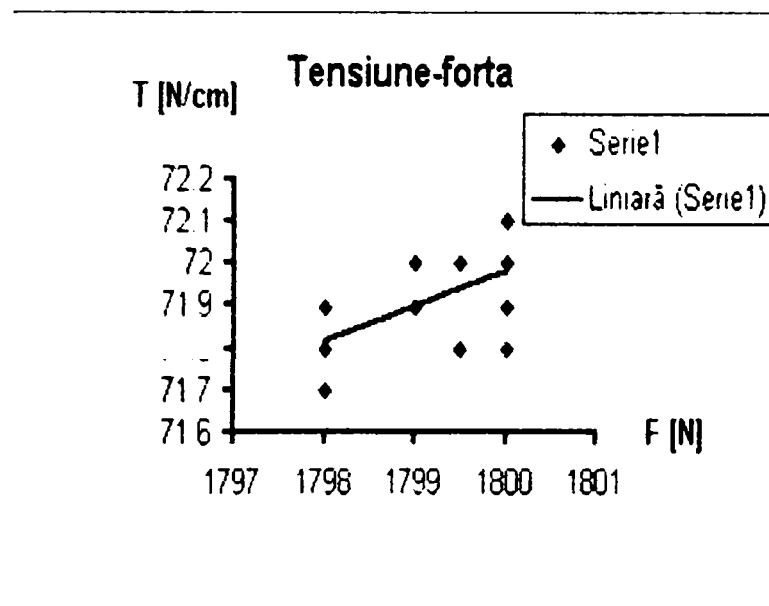


Fig.5.1 Variatia tensiunii in functie de forta aplicata in punctul critic

Pentru cazul nostru relatia (5.5) devine (prin derivarea relatiei (5.6) si neglijand termenii aferenti covariantei):

$$u_k^2 = \left(-\frac{\bar{T}}{F^2}\right)^2 \cdot u_k^2 + \left(\frac{1}{F}\right)^2 \cdot u_f^2 \quad (5.7)$$

Deci pentru estimarea incertitudinii asupra sensibilitatii este necesara estimarea incertitudinii asupra tensiunii ( $u_T$ ) si a fortei de tensionare ( $u_F$ ),

Avand in vedere componenta standului si consideratiile privind ipotezele simplificatoare elementele care intervin in estimarea incertitudinii vor fi:

- temperatura la care se efectueaza determinarile experimentale;
- mijlocul de masurare a fortei (dinamometrul);
- sistemul de afisare a fortei;
- mijlocul de masurare a tensiunii din panza (tensiometrul).

Pentru determinarea incertitudinilor se au in vedere urmatoarele consideratii:

Componenta de tip A a incertitudinii (care provine din posibilele erori aleatorii datorate repetarii masurarii) se poate exprima cu ajutorul relatiei:

$$u_A = \pm \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (5.8)$$

in care: S este abaterea medie patratica experimentală;

$$S = \pm \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5.9)$$

n – numarul masurarilor efectuate;

$x_i$  – valoarea curenta masurata

In cazul in care in procesul de masurare exista componente de tip A cat si de tip B incertitudinea compusa ( $u_c$ ) se poate determina cu ajutorul relatiei:

$$u_c = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^k u_k^2} \quad (5.10)$$

care este valabila in cazul variabilelor necorelate,  $u_k$  fiind incertitudinea (de tip A sau si de tip B) asociata fiecarei corectii.

Incetitudinea compusa este determinabila deci cu ajutorul relatiei:

$$u_c = \pm \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (5.11)$$

Tinand cont de aceste considerente pentru cazul metodei propuse, pentru punctul critic considerat, se obtine:

Incertitudinea asupra fortei aplicate:

- valoarea medie a fortei aplicate  $\bar{F} = 1799,30 \text{ N}$
- numarul de determinari  $n = 20$
- abaterea medie patratica experimentală  $S = 0,849148$

Factorii care intervin in bilantul de incertitudine a fortei:

- temperatura  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,1$

Considerand incinta termostata se adopta o lege de variatie sinusoidala a incertitudinii asupra temperaturii, aceasta avand expresia:

$$u_t = \pm \frac{0,1}{\sqrt{2}} = \pm 0,070 \text{ }^\circ\text{C}$$

- dinamometrul utilizat are precizia de  $\pm 0,15\%$  din citire pe domeniul de masurare 0-2000 N (conform certificatului de etalonare a producatorului)

Considerand distributia incertitudinii ca fiind echiprobabila pe intreg domeniul de masurare incertitudinea aferenta dinamometrului va fi:

$$u_d = \pm \frac{2,69}{\sqrt{3}} = \pm 1,55 \text{ N}$$

- sistemul de afisaj al fortei are precizia de  $\pm 0,1 \%$  din citire pe domeniul de masurare 0-2000 N (conform certificatului de etalonare a producatorului)

Considerand distributia incertitudinii ca fiind echiprobabila pe intreg domeniul de masurare, incertitudinea aferenta dinamometrului va fi:

$$u_a = \pm \frac{1,79}{\sqrt{3}} = \pm 1,03 \text{ N}$$

Incertitudinea compusa va avea valoarea:

$$u_{C1} = \pm \sqrt{u_t^2 + u_d^2 + u_a^2} = \pm \sqrt{4,9 \cdot 10^{-3} + 2,40 + 1,06} = \pm 1,86 \text{ N}$$

Incertitudinea asupra fortei:

$$u_F = \pm \sqrt{\frac{S^2}{n} + u_{C1}^2} = \pm \sqrt{\frac{0,849148^2}{20} + 1,86^2} = \pm 1,86 \text{ N}$$

Incertitudinea asupra tensiunii masurate:

- valoarea medie a tensiunii masurate  $\bar{T} = 71,92 \text{ N/cm}$
- numarul de determinari  $n = 20$
- abaterea medie patratica experimentală  $S = 0,1118034$

Factorii care intervin in bilantul de incertitudine a tensiunii:

- temperatura  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,1$

Considerand incinta termostata se adopta o lege de variatie sinusoidala a incertitudinii asupra temperaturii, acesta avand expresia:

$$u_t = \pm \frac{0,1}{\sqrt{2}} = \pm 0,070 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- tensiometrul utilizat are precizia de  $\pm 3\%$  din citire pe domeniul de masurare 0-75 N/cm (conform certificatului de etalonare a producatorului)

Considerand distributia incertitudinii ca fiind echiprobabila pe intreg domeniul de masurare incertitudinea aferenta tensiometrului va fi:

$$u_M = \pm \frac{2,15}{\sqrt{3}} = \pm 1,24 \text{ N/cm}$$

Incertitudinea compusa va avea valoarea:

$$u_{C2} = \pm \sqrt{u_t^2 + u_M^2} = \pm \sqrt{4,9 \cdot 10^{-3} + 1,24^2} = \pm 1,24 \text{ N/cm}$$

Incertitudinea asupra tensiunii masurate:

$$u_T = \pm \sqrt{\frac{S^2}{n} + u_{C2}^2} = \pm \sqrt{\frac{0,1118034^2}{20} + 1,24^2} = \pm 1,24 \text{ N/cm}$$

Incertitudinea asupra sensibilitatii (conform relatiei 5.7) va fi:

$$u_K = \pm \sqrt{\left(\frac{T}{F^2}\right)^2 \cdot u_F^2 + \left(\frac{1}{F}\right)^2 \cdot u_T^2} = \pm \sqrt{\left(\frac{71,92}{1799,3^2}\right)^2 \cdot 1,86^2 + \left(\frac{1}{1799,3}\right)^2 \cdot 1,24^2} = \pm 0,69 \cdot 10^{-3} \frac{\text{N/cm}}{\text{N}}$$

Astfel sensibilitatea standului realizat are valoarea:

$$K = (40 \pm 0,7) \cdot 10^{-3} \frac{\text{N/cm}}{\text{N}}$$

### 5.3. Clasa de precizie a standului

Clasa de precizie a unui sistem de masurare este definita de eroarea raportata a marimii masurate, in cazul nostru a tensionarii T. Adica expresia erorii raportate (care va determina clasa de precizie a standului) va fi:

$$\varepsilon = \frac{\Delta T}{T_{\max}} \cdot 100 \text{ } \% \quad (5.12)$$

Tensionarea fiind o marime compusa determinabila prin relatia:  $T = F / l$  , (5.13)  
unde F este forta de tensionare si l lungimea de incastrare a panzei

Aplicand regula de compunere a erorilor in cazul marimilor derivate, pentru cazul tensionarii rezulta, prin derivarea relatiei (5.13):

$$\Delta T \leq \left| \frac{\partial T}{\partial F} \cdot \Delta F \right| + \left| \frac{\partial T}{\partial l} \cdot \Delta l \right| = \frac{1}{l} \cdot \Delta F + \frac{F}{l^2} \cdot \Delta l, \quad (5.14)$$

unde:

$\Delta F$  - eroarea absoluta de masurare a fortei

$\Delta l$  - eroarea absoluta de masurare a lungimii de incastrare

Pentru cazul analizat se cunosc:  $F=1800$  N,  $T_{\max}=72$  N/cm,  $l = 25$  cm (date standard),  
 $\Delta F = 0,15$  N,  $\Delta l = 0,3$  mm.

Inlocuind in relatia (5.14) se obtine:

$$\Delta T = \frac{1}{l} \cdot \Delta F + \frac{F}{l^2} \cdot \Delta l = \frac{1}{25} \cdot 0,15 + \frac{1800}{625} \cdot 0,03 = 0,092 \text{ N/cm}$$

Prin inlocuire in relatia (5.12) se obtine clasa de precizie a standului ca fiind:

$$\varepsilon = \frac{\Delta T}{T_{\max}} \cdot 100 = \frac{0,092}{72} \cdot 100 \approx 0,13\%$$

## **Cap.6. Consideratii si concluzii finale, contributii**

### **6.1 Concluzii finale**

Teza propune o metoda care sa permita masurarea simultana atat a tensiunilor de intindere aplicate panzei serigrafice cat si a tensiunilor interne din panza pentru optimizarea acestora in vederea cresterii calitatii produselor obtinute prin serigrafie, standul propus permitand etalonarea sau calibrarea aparatelor de masurare a tensiunii mecanice.

Lucrarea, ca un tot unitar, este rezultatul unei activitati mai indelungate a autorului si aduce o serie de contributii teoretice si practice in domeniul masurarii tensionarii panzelor serigrafice. Pe baza acestei activitati, se pot enumera concluzii directionate astfel:

1. diametrul firului panzei serigrafice nu se modifica semnificativ in functie de tensionare (v.fig.4.2);
2. diametrul mediu al firului panzei de tip PA 1000 90-44W-PW prezinta o variatie de pana la 2  $\mu\text{m}$  (4,5 %) in domeniul de tensionare de pana la 50 N/cm. (v.fig. 4.3);
3. se poate constata o crestere a ariei libere procentuale (v.fig. 4.4) odata cu cresterea tensionarii (estimativ 15 %);
4. pentru evitarea unor caracteristici calitative diferite la acelasi tip de panza se impune necesitatea standardizarii procesului de productie si controlul calitatii acestuia (v.fig.4.8). Parametrii esentiali pentru controlul calitatii panzelor sunt: distanta dintre fire, diametrul firelor, finetea panzei, aria libera, grosimea panzei, deformatia specifica, volumul de incarcare;
5. se constata ca pentru toate sectiunile din panza alese in mod aleator are loc o crestere a ariei libere in functie de tensionare (v.fig.4.9);
6. se constata o scadere a finetei panzei (a numarului de fire / inch), estimativ de 15 % odata cu cresterea tensionarii (v.fig. 4.11), datorita fenomenului de curgere (fluaj) si al deformarii;
7. se constata o scadere a grosimii panzei (11 %) odata cu cresterea tensionarii (v.fig. 4.15);
8. la o tensionare indelungata (dupa un interval de timp de 18 ore) se constata o pierdere a tensionarii (25%) datorita fenomenului de fluaj (v.fig.4.17);

9. este important timpul de relaxare intre doua tensionari la masuratori de lunga durata (48 de ore) dupa cum reiese din fig. 4.18. Se constata ca pentru durate de relaxare diferite intre doua tensionari (5, 15 si 30 min.), se obtin valori ale fluajului de 20, 14 si 8%;
10. caracteristica tensiune-fora (caracteristica de etalonare) prezinta o dependenta liniara (v.fig. 4.20) pe domeniul de masurare.
11. caracteristica scalei gradate a unui tensiometru  $f(T)$  este neliniara, variatia teoretica si cea experimentală fiind comparabile pe domeniul de masurare (v.fig. 2.22 si fig. 4.25), din acest motiv tensiometrele mecanice cu redare analogica au scala gradata neliniara (v.fig. 2.29).

## 6.2 Contributii personale

Pornind de la cele expuse anterior, contributiile personale ale tezei pot fi sintetizate dupa cum urmeaza :

- 1) Analiza si sistematizarea materialului bibliografic in domeniul tehnicii serigrafice si a metodelor de masurare a tensiunilor mecanice;
- 2) Analiza critica a metodelor de etalonare existente identificand avantajele si dezavantajele acestora ;
- 3) Propunerea unor solutii constructive de standuri de etalonare si analiza constructiv-functionala a acestora ;
- 4) Analiza critica a solutiilor constructive propuse, proiectarea si realizarea standului de etalonare;
- 5) Efectuarea determinarilor experimentale pe standul propus, prelucrarea si analiza rezultatelor;
- 6) Determinarea caracteristicilor metrologice a standului realizat si estimarea preciziei metodei propuse;
- 7) Implementarea rezultatelor obtinute in procesul de productie, teza constituind obiectul unui brevet de inventie ;
- 8) Participare la targuri si expozitii in domeniu.

Autorul a participat la mai multe targuri internationale de specialitate contactand cele mai importante firme din domeniul serigrafic respectiv metrologic in vederea studiului posibilitatilor implementarii in practica a cercetarilor efectuate.

Astfel se pot mentiona urmatoarele manifestari de specialitate :

- Die Control – Internationale Fachmesse fur Qualitätssicherung – conferinta anuala organizata de firma P.E. Shall GmbH in domeniul sistemelor de masurare.
- 2<sup>nd</sup> International Trade Fair for Automation Assembly – Robotics – Vision – intalnirea celor mai importanti factori de productie din domeniul roboticii, sistemelor de masurare, automatizare, prelucrarea imaginilor industriale.
- Productronica Neue Messe Munchen – conferinta organizata cu o periodicitate din doi in doi ani a producatorilor sistemelor de comunicatii – industriasilor din domeniul electronicii cu obiective si produse tinta din domeniul serigrafiei, constructia de masini, industria transporturilor, aeronautica, mecanica fina, aparate optice, electronica medicala, etc.

Pe langa participarea la targuri si expozitii in vederea realizarii cercetarilor au fost contactate si firme de specialitate pentru sisteme de masurare, subansambluri necesare realizarii standului experimental si a prelucrarii datelor experimentale.

Astfel se pot mentiona firmele :

- SEFAR Elvetia producator de panze serigrafice;
- Koenen GmbH producator de panze serigrafice si tensiometre;
- Seritechnica GmbH producator de rame si panze serigrafice;
- Mantel AG Elvetia producator de tensiometre;
- Burster AG producator de traductoare de forta si sisteme de afisare.



## Bibliografie

### Carti. Manuale:

- [1] BABEU, T. - Rezistenta materialelor. Lito. U.P.Timisoara, 1981.
- [2] BARON, T. - Calitate si fiabilitate. manual practic, Bucuresti, 1998.
- [3] BOBOC, S. - Aparate electronice pentru masurarea maselor, fortelor si cuplurilor. Editura Tehnica, Bucuresti, 1971.
- [4] BONFIG, K. - Sensoren und Sensorsysteme. Expert Verlag, Ehningen, 1991.
- [5] BÖHM, D. - Computergesteuerte Messtechnik. 2. Aufl., Stuttgart, 1986.
- [6] CAIUS, IACOB - Mecanica teoretica. E.D.P. Bucuresti, 1971.
- [7] CIUREA, S. - Managementul calitatii, 1995.
- [8] CRISAN, S. - Masurari si traductoare, curs, Centrul de multiplicare al U.P.Timisoara, 1993.
- [9] DAVIDESCU, A. - Metrologie generala. Ed. Politehnica, Timisoara, 2001.
- [10] DODOC, P. - Metrologie generala. Ed. Didactica si pedagogica, Bucuresti. 1979.
- [11] DOLGA, V. - Actionarea robotilor industriali si a manipuloarelor. Editura Mirton, Timisoara, 1996.
- [12] DOLGA, V. - Constructia traductoarelor si senzoriilor. Centrul de multiplicare al U.P. Timisoara, 1992.
- [13] GHEORGHIU, N. - Organe de masini. Indrumator de lucrari de laborator. Lito U.P.Timisoara, 1982.
- [14] HART, H. - Einführung in die Messtechnik. VEB Verlag Technik, Berlin, 1989.
- [15] HART, H. - Messung und Auswertung - Messdatenerfassung und Elektronik: Physikalisch-technisches Mess- und Prüfwesen. Teubner Verlag, Stuttgart, 1996.
- [16] HEGEDUS, A. - Mecanica. Teorie si aplicatii. Vol.1, Lito U.P.Timisoara, 1993.
- [17] HERING, J. - Qualitätssicherung für Ingenieure. Fachbuchverlag, Leipzig, 1990.
- [18] HOFMANN, D. - Handbuch Messtechnik und Qualitätssicherung. Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1983.
- [19] IGNEA, A. - Masurarea electrica a marimilor neelectrice. Ed. de Vest, Timisoara, 1996.
- [20] IGNEA, A. - Masurari in procese industriale. Centrul de multiplicare U.P. Timisoara, 1995.
- [21] JURCA, T. - Instrumentatie de masurare. Structuri si circuite. Ed. de vest, Timisoara. 1996.
- [22] KAMKE, D. - Physikalische Grundlagen der Maßeinheiten. Teubner Verlag, Stuttgart, 1977.
- [23] KAUTSCH, R. - Meßelektronik nichtelektrischer Größen. Teil 1,2,3, Holzmann Verlag KG, Bad Hörishofen, 1971.

- [24] KOCH, W. - Meßsystem und Sensortechnik. Univ. Vorlesung/Skriptum für Studenten, Technische Universität München, 1997.
- [25] MATIES, V. – Mecatronica. Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1998.
- [26] KUNZE, H. - Physikalische Messmethoden, eine Einführung in Prinzipien klassischer und moderner Verfahren. Teubner Verlagsgesellschaft, Stuttgart-Leipzig, 1986.
- [27] MERES, M. - Stadiul actual al realizarilor in domeniul aparatelor pentru masurarea tensiunilor mecanice la elemente de tip panza si a metodelor si mijloacelor pentru calibrarea acestora. Referatul nr. 1 din cadrul pregatirii pentru doctorat, Univ. Politehnica, Fac. Mecanica, Timisoara 2004.
- [28] MERES, M. - Mijloace si metode pentru etalonarea tensiometrelor. Studiu de solutii. Referatul nr. 2 din cadrul pregatirii pentru doctorat, Univ. Politehnica, Fac. Mecanica, Timisoara 2005.
- [29] MERES, M. - Calculul si constructia unui stand pentru calibrarea tensiometrelor si evaluarea calitatilor metrologice. Referatul nr. 3 din cadrul pregatirii pentru doctorat, Univ. Politehnica, Fac. Mecanica, Timisoara 2005.
- [30] MILEA, A. - Cartea metrologului; metrologie generala. Editura Tehnica, Bucuresti, 1985.
- [31] MOISIL, G. – Fizica pentru ingineri. Ed. Tehnica, Bucuresti, 1967.
- [32] OLTEANU, C. - Aparate si sisteme de masurare mecanice. Lito Univ. Transilvania, Brasov, 1986.
- [33] PERJU, D. - AMC. Metrologie. Ed. Orizonturi Universitare, Timisoara, 2001.
- [34] PERJU, D. - Aparate si sisteme de masurare mecanice. Indrumar de laborator, Lito U.P.Timisoara, 1993.
- [35] PERJU, D. - Masurari mecanice. Vol. 1, Ed. Politehnica, Timisoara, 2001.
- [36] PERJU, D. - Mecanisme pentru mecanica fina. Vol. I, II, Lito U.P.Timisoara, 1990.
- [37] POPOVICI, V., NICOARA, I. - Sisteme optice laser. Componente. Materiale. Tehnologie. Editura Mirton, Timisoara, 1998.
- [38] SILAS, G. GROSANU, I. - Mecanica. E.D.P, Bucuresti, 1981.
- [39] STOICU, D. - Metrologie, calitate, fiabilitate. Vol. I, II, Centrul de multiplicare al U.P. Timisoara, 1995.
- [40] VALCOVICI, V. BALAN, S. - Mecanica teoretica. Ed. Tehnica, Bucuresti, 1963.
- [41] VOGEL, J. - Grundlagen der elektrischen Antriebstechnik mit Berechnungs-beispielen. VEB Verlag Technik, Berlin, 1983.
- [42] VOINEA, R. VOICULESCU, D. - Introducere in mecanica solidului cu aplicatii in inginerie. Ed. Acad. Romane, Bucuresti, 1989.

**Standarde. Documentatie tehnica:**

- [43] DIN 16611 - Meßgrößen für den Siebdruck.
- [44] DIN-Taschenbuch - Einheiten und Begriffe für physikalische Größen.  
DIN/Beuth-Verlag, Berlin, 1993.
- [45] DIN 1319-T2 - Grundbegriffe der Messtechnik: Begriffe für die Anwendung von Messgeräten. DIN/Beuth-Verlag, Berlin, 1993.
- [46] DIN 1319-T3 - Grundbegriffe der Messtechnik: Auswertung von Messungen einer einzelnen Messgröße. DIN/Beuth-Verlag, Berlin, 1993.
- [47] DIN 1319-T4 - Grundbegriffe der Messtechnik : Auswertung von Messungen, Messunsicherheit, DIN/Beuth-Verlag, Berlin, 1993.
- [48] DKD-3 - Angabe der Messunsicherheit bei Kalibrierungen Herausgegeben von der Akkreditierungsstelle des Deutschen Kalibrierdienstes (DKD) bei der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB). Copyright © 2002.
- [49] EA-4/02 - "Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration" requirements document <http://www.european-accreditation.org>
- [50] GUM - "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement" ISO, Geneva, 1993/1995.
- [51] GUM - Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen - SN ENV 13005.  
DIN/Beuth-Verlag, Berlin, 1995.
- [52] SCHNEIDER, J. - Verfahren und Vorrichtung zum Prüfen der Siebspannung.  
Brevet de inventie Nr. 2304934, Germania, 1994.
- [53] VDI/VDE 3711, Blatt 5.2 - Siebdruck. Copyright ©, Germania, 2001.
- [54] SR 13434 - Ghid pentru evaluarea si exprimarea incertitudinii de masurare.
- [55] \*\*\* - Prospecte ale firmei Burster, Germania, Zug-Druck-Kraftsensoren.
- [56] \*\*\* - Catalog Digitalanzeiger für DMS, Potentiometer und Normsignale, firma Burster.
- [57] \*\*\* - Prospecte ale firmei Kistler AG, Germania, Digitalanzeiger für DMS, Potentiometer, DC/DC - Sensoren und Normsignale.
- [58] \*\*\* - Prospecte ale firmei Hottinger Baldwin Messtechnik (HBM), Germania.
- [59] \*\*\* - Catalog de panze serigrafice, SEFAR AG, Elvetia.
- [60] \*\*\* - Catalog de panze si echipamente serigrafice, Koenen GmbH, Germania.
- [61] \*\*\* - Documentatie tehnica, Tensiometru 75 S, Mantel AG, Elvetia.

**Adrese Internet:**

- [62] <http://www2.din.de> - Deutsches Institut für Normung eV.

- [63] <http://www.bopp.ch> - Siebdruckmessgeräte, Verarbeitung von Geweben/Siebdruckmg.
- [64] <http://www.burster.de> - Sensorik, Meß- und Kalibriertechnik.
- [65] <http://depatistnet.dpma.de> - Deutsches Patent- und Markenamt.
- [66] <http://www.der-siebdruck.de> - Das europäische Magazin für Technik & Siebdruck.
- [67] <http://de.espacenet.com> - Europe`s Network of patent databases.
- [68] <http://www.dkd.ptb.de> - Der Deutsche Kalibrierdienst(DKD).
- [69] <http://www.farben-frikell.de> - Siebspanndienst.
- [70] [www.hilger-kern.com](http://www.hilger-kern.com) - Trummeter, Instrumente zum Messen der Riemenspannung.
- [71] <http://www.iso.org> - International Organization for Standardization.
- [72] <http://www.graficaindia.com> - Printing Machine Manufacturer.
- [73] <http://www.esz-gmbh.de> - etalonare si calibrare.
- [74] <http://www.koenen.de> - Siebdrucktechnik / Siebdruckmessgeräte.
- [75] <http://www.osim.ro> - Oficiul roman de brevete si marci
- [76] <http://www.peters.de> - Siebdruck für die Leiterplattenfertigung.
- [77] <http://www.qm-world.de> - Qualitätsmanagement / Quality Management.
- [78] <http://www.quality.de> - Qualität, DIN EN ISO 9000 ff., Total Quality Management (TQM).
- [79] <http://www.sefar.com> - Gewebe für Siebdruck / Siebdruckmessgeräte.
- [80] <http://www.seritechnica.de> - Siebdrucktechnik.
- [81] <http://www.siebdruck-stucke.de> - Siebdrucktechnik.
- [82] <http://www.siebdruckpartner.de> - Siebdruck.
- [83] <http://www.stockhausen-siebgewebe.de> - Sieb- und Filtrationstechnologien.
- [84] <http://www.unc.edu/~rowlett/units/Signatures> - Messtechnische Einheiten.
- [85] <http://www.vde-verlag.de> - Vorschriften der Elektrotechnik.
- [86] <http://www.vdi.de> - VDI Verein Deutscher Ingenieure.

**Alte surse:**

- [87] Participare la seminarii, congrese, simpozioane, targuri si expozitii in domeniul serigrafiei si metrologiei.
- [88] Comunicare prin Internet cu firme de specialitate in domeniu.