

1. ELEMENTE PENTRU ACUMULAREA ENERGIEI ȘI TRADUCEREA SEMNALELOR

1.1. Generalități. Clasificare

În cadrul elementelor pentru acumularea energiei și traducerea semnalelor sunt incluse toate elementele elastice în rândul cărora cele mai răspândite sunt arcurile metalice. Aceste elemente sunt caracterizate de deformații elastice mari sub acțiunea unui semnal exterior (forță, moment, presiune, temperatură) revenind la forma lor inițială după încetarea semnalului.

Acumulând energie în timpul deformațiilor elementele elastice sunt utilizate în diverse domenii:

- ca elemente motoare prin redarea energiei pe care au înmagazinat-o în timpul deformațiilor (Fig. 1.1.1);

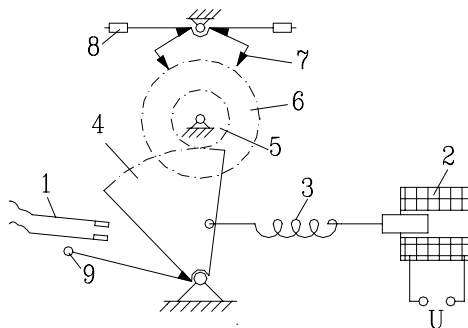


Fig. 1.1.1

Contactele electrice "1" trebuie să fie închise cu o anumită întârziere dictată de un anumit process. Din acest motiv mișcarea elementului "9" trebuie să fie uniformă.

Sectorul dințat “4” (care este rigidizat cu elementul “9”) este cuplat cu electromagnetul “2” prin intermediul arcului elicoidal “3”. În momentul acționării electromagnetului, arcul “3” este deformat și acumulează o energie potențială. Această energie este consumată pentru punerea în mișcare a mecanismului de temporizare [7.1].

- ca elemente pentru convertirea semnalelor;

Presiunea “P” (Fig. 1.1.2) de măsurat determină deformația membranei elastice “1”. În acest mod mărimea fizică “P” este convertită într-o mărime fizică de o altă natură (deformație). Această deformație este convertită într-un semnal electric prin intermediul mecanismului cu pârgă “2” și circuitul electric “3”.

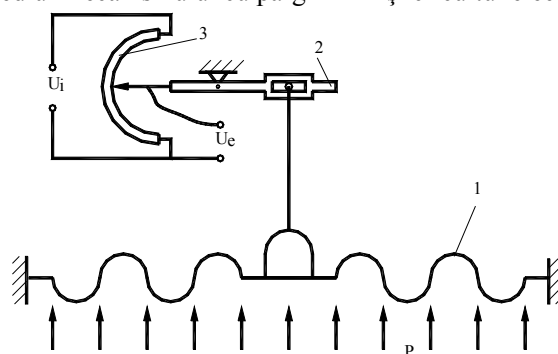


Fig. 1.1.2

Un exemplu asemănător este oferit de arcurile bimetalice. Deformația arcului bimetallic “1” este o măsură a curentului electric din circuitul tensiunea U_i . Funcție de această deformație, adică la o anumită valoare a curentului, se realizează închiderea contactelor “2” (Fig. 1.1.3).

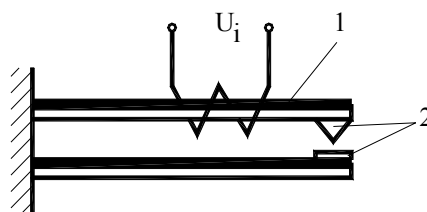


Fig. 1.1.3

În Fig. 1.1.4 se prezintă schema constructivă a unui microcontact electric. Arcul lamelar “1” și arcul lamelar curbat “2” trec dintr-o stare în alta funcție de semnalul mecanic exterior.

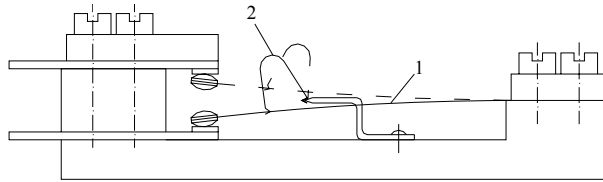


Fig. 1.1.4

- ca elemente pentru amortizarea șocurilor și vibrațiilor (Fig. 1.1.5);

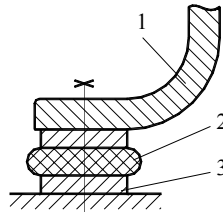


Fig. 1.1.5

Suportul “1” este conectat prin intermediul arcului “2” din cauciuc la carcasa “3”. În acest mod sunt amortizate vibrațiile sau șocurile care s-ar transmite spre carcasa echipamentului electronic.

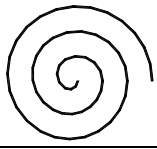

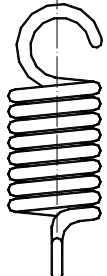

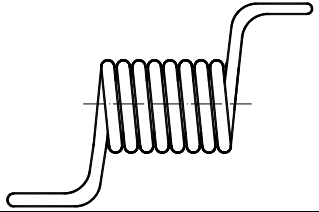

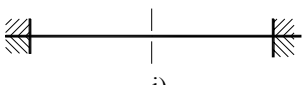
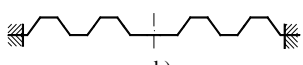
- ca elemente pentru asigurarea unei îmbinări elastice dintre două sau mai multe elemente constructive.

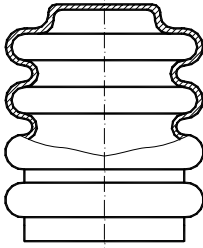
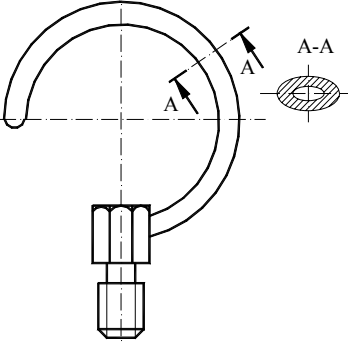
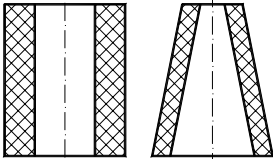
Elementul mobil “1” este ținut în contact permanent cu elementul fix “2” prin intermediul arcului lamelar “3”. Se realizează *prin forță* o cuplă cinematică sferică (de clasa a III-a).

Criteriul cel mai sugestiv pentru *clasificarea* elementelor elastice este cel constructiv (Tab. 1.1.1).

Tab. 1.1.1

	Tipul	Varianta	Aspectul
A	Lamelare	Simple drepte	
B		Simple curbate	
C		În foi multiple	

D	Spirale plane		
E	Bare de torsiune		
F	Elicoidale	De întindere	
G		De compresiune	
H		Flexionale	
I	Bimetalice		
J	Membrane	Plane	
K		Gofrate	

L	Tuburi ondulate		
M	Tuburi manometrice		
N	Din cauciuc		

1.2. Materiale. Tehnologie

La alegerea materialelor pentru elementele elastice trebuie să se țină cont de următoarele criterii mai importante:

- stabilitatea în timp a caracteristicilor,
- rezistență la rupere,
- coeficient de dilatare liniară,
- conductivitate electrică (pentru arcurile din electrotehnică),
- rezistență la coroziune.

Pe lângă oțelul special pentru arcuri (OLC ** A) ca materiale se mai utilizează:

- metale neferoase: bronzul (pe bază de zinc, siliciu, beriliu), alama, aliajele cu beriliu, aliajele cu nichel, aliajele argint-paladiu, argint-nichel, argint-cadmium;
- cauciuc.

În Tab. 1.2.1 sunt prezentate câteva dintre materialele utilizate în construcția arcurilor și recomandări privind domeniul de utilizare.

Tab. 1.2.1

Materialul	Domeniu de utilizare
Alamă (Cu 67; Zn 33)	solicitări mici conductivitate electrică bună
Bronz cu staniu (Cu 90; Sn 0.8)	solicitări mai mari decât la alamă cerințe de bună conductivitate electrică
Bronz cu siliciu (Cu 97.5; Si 2.5)	idem bronz cu siliciu
Bronz cu beriliu (Cu 98, Be 2)	solicitări mecanice mari cerințe de foarte bună conductivitate electrică rezistență la coroziune
Monel (Ni 66; Cu 31; Al 3)	solicitări mecanice mari până la temperaturi de 230 °C rezistență la coroziune amagnetice până la – 100 °C
Iconel (Ni 76; Cr 16; Fe 8)	solicitări mecanice mari până la temperaturi de 370 °C rezistență la coroziune amagnetice până la – 40 °C

Procesele de fabricație ale elementelor elastice se pot împărți în două etape:

- obținerea formei (prin ștanțare, ambutisare, îndoire, răsucire etc.)
- obținerea proprietăților necesare de lucru; operațiile de asamblare ale elementului elastic cu celelalte reperi ale aparatelor, nu trebuie să modifice forma și proprietățile acestuia; asigurarea stabilizării elementelor elastice (lucrul numai în zona deformațiilor elastice) se obține prin încărcări succesive

În funcție de importanța elementelor elastice în echipamentul realizat, controlul și verificarea arcurilor are un rol deosebit. De exemplu pentru arcurile spirale plane folosite în construcția aparatelor de măsură controlul se referă la aspectul exterior al arcului, culoare, lipsa loviturilor, corecta așezare a spirelor etc. Controlul și sortarea arcurilor după caracteristica mecanică este de asemenea una din cele mai importante operații. Pentru arcurile elicoidale controlul presupune verificarea aspectului exterior, verificarea geometriei, verificarea caracteristicilor.

1.3. Parametrii de bază

Parametrii de bază ai elementelor elastice sunt:

- încărcarea arcului: forță, moment sau presiune;
- săgeata - deformația arcului (liniară – f - sau unghiulară - φ) pe direcția încărcării;
- caracteristica arcului;
- rigiditatea;
- constanta arcului;
- lucrul mecanic acumulat;
- erorile de caracteristică.

Caracteristica arcului se exprimă printr-una din ecuațiile :

$$P = P(f) \tag{7.3.1}$$

$$M = M(\varphi) \tag{7.3.2}$$

și are aspectul celor prezentate în Fig. 1.3.1 (a – liniară; b – dură; c – moale).

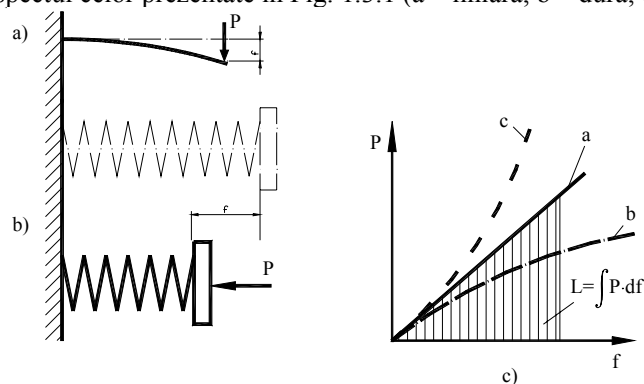


Fig. 1.3.1

Raportul “ c ” (sau “ c' ”) definit prin relația:

$$c = \frac{\Delta P}{\Delta f} \tag{7.3.3}$$

$$c' = \frac{\Delta M}{\Delta \varphi} \tag{7.3.4}$$

se numește *rigiditatea arcului*. Dacă “ c ” (sau “ c' ”) are valoare constantă se vorbește despre *constanta arcului*.

Posibilitățile energetice ale arcurilor sunt puse în evidență de *lucrul mecanic acumulat* echivalent valoric cu mărimea suprafeței delimitată de caracteristica arcului și axa absciselor (Fig. 1.3.1).

Datorită fenomenului de histereză (nesuprapunerea curbei de încărcare și a celei de descărcare) și a fenomenului de relaxare elastică (elementul continuă să se deformeze după încetarea semnalului exterior) funcționarea elementelor elastice este afectată de erori de caracteristică (Fig. 1.3.2).

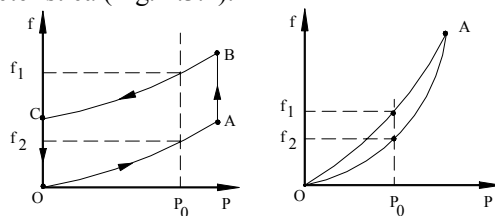


Fig. 1.3.2

Pentru a compara diversele soluții constructive se utilizează parametrii indicatori:

- *coeficientul de formă* k_f – indică influența formei constructive și a solicitării asupra înmagazinării lucrului mecanic;
- *coeficientul de utilizare volumetrică* $K_V (= L / V)$ - dă indicii privind folosirea volumului pentru înmagazinarea lucrului mecanic;
- *coeficientul de utilizare gravimetrică* $K_G (= L / G)$ – dă indicii privind utilizarea greutateii arcului din punctul de vedere al înmagazinării lucrului mecanic.

1.4. Elemente elastice

1.4.1. Arcuri lamelare simple și drepte

Arcurile lamelare simple și drepte sunt alcătuite dintr-o singură lamelă care în lipsa semnalului exterior – forță, moment, presiune – are forma dreaptă. Acestea sunt folosite ca lamele de contact în diferite aparate electrice : la rele, contactoare, la mecanisme cu clichet etc.

Forma geometrică a acestor arcuri este în majoritatea cazurilor dreptunghiulară (Fig. 1.4.1 a) dar poate fi și trapezoidală (Fig. 1.4.1 b) sau triunghiulară (Fig. 1.4.1 c).

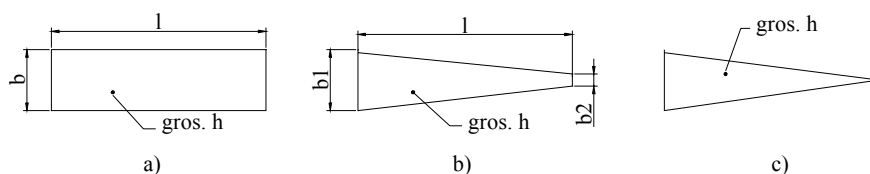


Fig. 1.4.1

Arcurile pot fi fixate la un capăt (și încărcate la celălalt) sau fixate la ambele capete (și încărcate la mijloc).

Fie un arc lamelar simplu drept încastrat la un capăt și încărcat la celălalt capăt de forța “P” (Fig. 1.4.2).

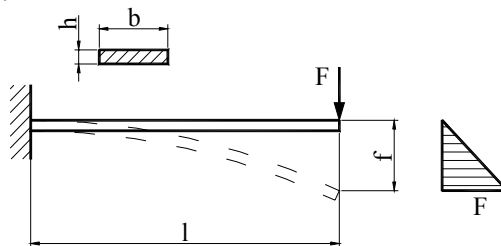


Fig. 1.4.2

Solicitarea în elementul elastic este de încovoiere. Efortul maxim în zona de încastrare este dat de relația:

$$\sigma_{max} = \frac{M_i}{W} = \frac{6 \cdot P \cdot l}{b \cdot h^2} \leq \sigma_a \quad (7.4.1)$$

unde “W” este modulul de rezistență al secțiunii transversale a arcului.

Săgeata arcului la capătul liber este:

$$f = \frac{P \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I} = \frac{4 \cdot P \cdot l^3}{E \cdot b \cdot h^3} \quad (7.4.2)$$

unde “I” este momentul de inerție al secțiunii.

Arcurile lamelare, din construcția unor echipamente ce lucrează într-un mediu vibratoriu, se montează pretensionat (Fig. 1.4.3). Săgeata de pretensionare “ f_0 ” este de sens opus celui de acționare a forței “P”. Relația de legătură dintre săgeata de pretensionare, săgeata de lucru “ f_1 ” și forțele de acționare este:

$$\frac{f_0}{f_0 + f_1} = \frac{F_0}{F_{max}} \quad (7.4.3)$$

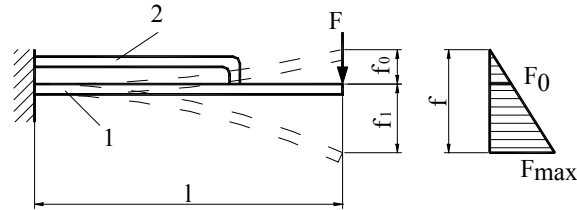
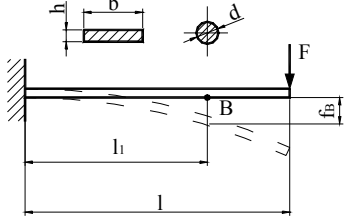
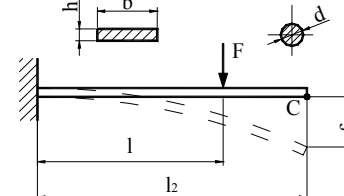


Fig. 1.4.3

Formulele de calcul ale săgeții pentru diverse cazuri de încărcare și puncte de măsurare a săgeții sunt prezentate în Tab. 1.4.1 pentru două secțiuni transversale ale arcului lamelar (dreptunghiulară și rotundă).

Tab. 1.4.1

Cazul de încărcare	Formula de calcul a săgeții
	$f_A = \frac{4 \cdot F \cdot l^3}{b \cdot h^3 \cdot E}$ $f_A = \frac{64 \cdot F \cdot l^3}{3\pi \cdot d^4 \cdot E}$

	$f_B = \frac{2 \cdot F \cdot l_1 \cdot (3 \cdot l - l_1)}{b \cdot h^3 \cdot E}$ $f_B = \frac{32 \cdot F \cdot l_1^2 \cdot (3 \cdot l - l_1)}{\pi \cdot d^4 \cdot E}$
	$f_B = \frac{3 \cdot F \cdot l^2 \cdot (3 \cdot l_2 - l)}{b \cdot h^3 \cdot E}$ $f_B = \frac{32 \cdot F \cdot l^2 \cdot (3 \cdot l_2 - l)}{\pi \cdot d^4 \cdot E}$

Sistemul de fixare al arcului cel mai frecvent folosit este cel prin șuruburi. Eventual fixarea poate fi realizată și cu un singur șurub și o asigurare împotriva rotirii printr-o imprimare (Fig. 1.4.4) (1 – arc lamelar, 2 – suport pentru rezemare, 3 – șurub).

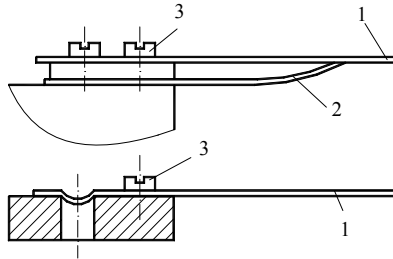


Fig. 1.4.4

La arcurile electrice de contact este necesar ca acestea să fie izolate atât între ele, cât și față de suprafața metalică. În Fig. 1.4.5 se prezintă o astfel de soluție. Poziția arcurilor este asigurată prin imprimarea în puncte.

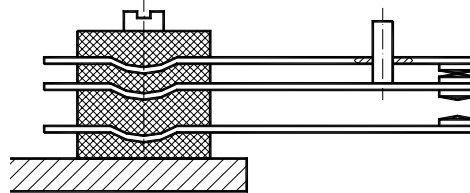


Fig. 1.4.5

Elementele izolante trebuie astfel amplasate și dimensionate încât să existe o distanță de siguranță necesară între elementele componente străbătute de curent. Mărimea acestei distanțe depinde de valoarea tensiunii electrice din circuitul respectiv. Trebuie să se țină cont în același timp și de influența umezelii și a depunerilor de praf.

Arcurile lamelare fixate la un capăt (arcuri pentru contactoare, relee) se execută în general cu aceeași lățime pe toată lungimea. Arcurile lamelare trapezoidale au o masă mai redusă decât cele dreptunghiulare ceea ce este avantajos la frecvențe de lucru mari. Dacă lățimea activă a arcului nu poate fi redusă, la capătul liber se poate obține același efect adoptându-se forma din Fig. 1.4.5. La arcurile pentru contacte, siguranța în funcționare se poate mări prin contacte duble. Arcul trebuie să fie în acest caz crestat la capătul liber pentru ca fiecare contact să lucreze independent de cel învecinat (Fig. 1.4.6). Uneori este necesar ca în apropierea capătului liber să fie prevăzute orificii de trecere pentru butoane de acționare.

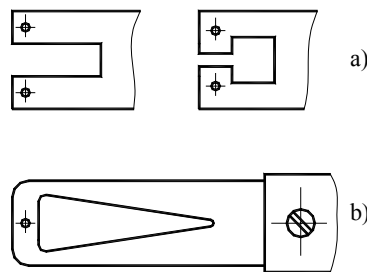


Fig. 1.4.6

Datorită variantelor constructive și funcționale multiple, calculul acestor elemente constructive se încadrează în general în una dintre situațiile:

- Se cere verificarea rezistenței arcului dacă se cunosc sarcina exterioară, dimensiunile și materialul arcului;
- Se cere determinarea parametrilor constructivi și funcționali ai arcului dacă se cunosc sarcina exterioară și materialul acestuia;
- Se cere să se determine sarcina maximă admisă de arc lamelar dacă se cunosc dimensiunile și materialul acestuia.

O abordare practică a acestor aspecte sunt prezentate în continuare prin câteva exemple.

1.4.1.1. Problema 7.1

Un arc lamelar drept este încastrat la unul din capete și solicitat de o forță $P = 1\text{ N}$ la celălalt capăt liber (Fig. 1.4.7). Săgeata realizată la forța dată este de $f = 7.5\text{ mm}$. Să se determine parametrii secțiunii dreptunghiulare a arcului, lățimea "b" și grosimea "h". Se cunosc:

- modulul de elasticitate al materialului $E = 12 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$;
- rezistența admisibilă a materialului $\sigma_{ai} = 320 \text{ N/mm}^2$;
- coeficientul de siguranță $c = 1.2$;
- lungimea arcului $l = 40 \text{ mm}$;

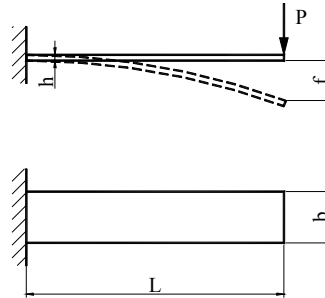


Fig. 1.4.7

Soluție

Luând în considerare coeficientul de siguranță impus, rezistența admisibilă a materialului care se va lua în calcul este:

$$\sigma'_{ai} = \frac{\sigma_{ai}}{c} = \frac{320}{1.2} = 266.66 \text{ N/mm}^2 \quad (7.4.4)$$

Din relația de calcul a săgeții arcului (Tab. 1.4.1) se determină expresia pentru grosimea arcului:

$$h = \frac{2 \cdot l^2 \cdot \sigma'_{ai}}{3 \cdot f \cdot E} = \frac{2 \cdot 40^2 \cdot 266.66}{3 \cdot 7.5 \cdot 12 \cdot 10^4} = 0.31 \text{ mm} \quad (7.4.5)$$

Se adoptă $h = 0.35 \text{ mm}$.

Din condiția de rezistență la încovoiere a arcului se determină lățimea acestuia:

$$b = \frac{6 \cdot P \cdot l}{h^2 \cdot \sigma_{ai}} = \frac{6 \cdot 1 \cdot 40}{0.35^2 \cdot 266.66} = 7.347 \text{ mm} \quad (7.4.6)$$

Se adoptă $b = 7.35 \text{ mm}$.

1.4.1.2. Problema 7.2

Un arc lamelar drept intră în construcția unui arc contactor (Fig. 1.4.8). Forța de pretensionare a arcului este $P_0 = 0.5 \text{ N}$. Forța de realizare a contactului este de $P = 2 \text{ N}$ la o cursă a contactului $f = 2.5 \text{ mm}$. Arcul lamelar este confecționat din alamă (Cu 67, Zn 33) cu următoarele caracteristici:

- rezistența admisibilă la rupere la tracțiune: $\sigma_{rt} = 800 \text{ N/mm}^2$;
- modulul de elasticitate longitudinal $E = 10.5 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$;

Presupunând cunoscută lungimea totală a arcului $L = 40 \text{ mm}$ și parametrul

geometric de aplicare a forței exterioare P , $l = 20 \text{ mm}$ se cere determinarea lățimii și grosimii arcului lamelar.

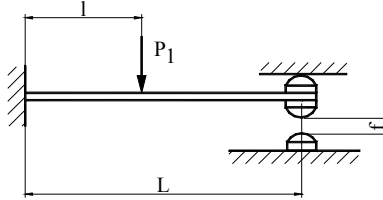


Fig. 1.4.8

Soluție

Considerând un coeficient de siguranță $c = 3$, rezistența admisibilă la încovoiere pentru materialul arcului este:

$$\sigma_{ai} = \frac{\sigma_{rt}}{c} = \frac{800}{3} = 266.66 \text{ N/mm}^2 \quad (7.4.7)$$

Forța de lucru a arcului, cea care trebuie să asigure săgeata "f", este:

$$P = P_1 - P_0 = 2 - 0.5 = 1.5 \text{ N} \quad (7.4.8)$$

Săgeata totală a arcului se determină în mod corespunzător din Fig. 1.4.3:

$$f_1 = f_0 + \Delta f = \Delta f \cdot \left(1 + \frac{P_0}{P}\right) = 2.5 \cdot \left(1 + \frac{0.5}{1.5}\right) = 3.33 \text{ mm} \quad (7.4.9)$$

Grosimea arcului se determină din relația de calcul a săgeții:

$$h = \frac{\sigma_{ai}}{E} \cdot \left(L - \frac{l}{3}\right) \cdot \frac{l}{f_1} = \frac{266.66}{10.5 \cdot 10^4} \cdot \left(40 - \frac{20}{3}\right) \cdot \frac{20}{3.33} = 0.5084 \approx 0.5 \text{ mm} \quad (7.4.10)$$

Lățimea arcului se determină ca fiind:

$$b = \frac{6 \cdot P_1 \cdot l}{h^2 \cdot \sigma_{ai}} = \frac{6 \cdot 2 \cdot 20}{0.5^2 \cdot 266.66} = 3.6 \text{ mm} \quad (7.4.11)$$

1.4.1.3. Problema 7.3

Se consideră contactul reprezentat schematic în Fig. 1.4.9 și realizat din două arcuri lamelare încastrate la un capăt și libere la celălalt. Contactele sunt realizate din cupru aurit cu rezistența admisibilă $\sigma_{ac} = 200 \text{ N/mm}^2$. Arcurile sunt montate pretensionat astfel să se realizeze o forță de contact inițială $P_0 = 0.55 \text{ N}$. Materialul din care sunt confecționate arcurile este tabla de alamă ($E = 9.5 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$). Se mai cunosc următorii parametri: lățimea $b = 8 \text{ mm}$, $h = 0.5 \text{ mm}$, $l = 20 \text{ mm}$, $L = 30 \text{ mm}$

Se cere:

- aria de contact dintre contacte;

- forța P care asigură desfacerea contactului și separarea acestuia la o distanță $\Delta = 1.5 \text{ mm}$.

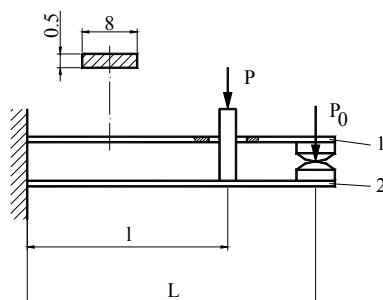


Fig. 1.4.9

Soluție.

Aria de contact este:

$$A = \frac{P_0}{\sigma_{ac}} = \frac{0.55}{200} = 2.75 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^2 \quad (7.4.12)$$

Săgeata de pretensionare a arcului 1 este:

$$f_0 = \frac{4 \cdot P_0 \cdot L^3}{E \cdot b \cdot h^3} = \frac{4 \cdot 0.55 \cdot 30^3}{9.5 \cdot 10^4 \cdot 8 \cdot 0.5^3} = 0.625 \text{ mm} \quad (7.4.13)$$

Pentru separarea contactelor la distanța de $\Delta = 1.5 \text{ mm}$, săgeata la capătul liber al arcului trebuie să aibă valoarea:

$$f_2 = f_0 + \Delta = 0.625 + 1.5 = 2.125 \text{ mm} \quad (7.4.14)$$

Forța P , care produce această deformație, este dată de relația (vezi Tab. 1.4.1):

$$P = \frac{E \cdot b \cdot h^3 \cdot f_2}{2 \cdot l^2 \cdot (3 \cdot L - l)} = \frac{9.5 \cdot 10^4 \cdot 8 \cdot 0.5^3 \cdot 2.125}{2 \cdot 20^2 \cdot (3 \cdot 30 - 20)} = 3.6 \text{ N} \quad (7.4.15)$$

1.4.2. Arcuri lamelare în foi multiple

În unele condiții impuse de gabarit sau de valoarea forței necesară a fi realizată, arcul lamelar simplu drept nu poate fi utilizat. Se utilizează în aceste cazuri arcurile lamelare în foi multiple. Pentru unghiuri $\alpha < 30^\circ$ principala solicitare a arcurilor din pachet este cea de încovoiere. Forța care solicită arcurile la încovoiere este :

$$F_1 = F \cdot \cos \alpha \quad (7.4.16)$$

Pentru unghiuri $\alpha > 30^\circ$ este necesar să fie luată în considerare și solicitarea de compresiune, ca rezultat a acțiunii forței:

$$F_2 = F \cdot \sin \alpha \quad (7.4.17)$$

La aceste arcuri în pachet este necesar ca fiecare lamelă individuală să aibă toată libertatea de mișcare. Acest lucru se poate realiza prin spații intermediare adecvate

(Fig. 1.4.10 a) prin polizarea înclinată când arcurile se desfac la o apăsare pe un element de bază (Fig. 1.4.10 b) sau prin rotunjirea muchiilor (Fig. 1.4.10 c).

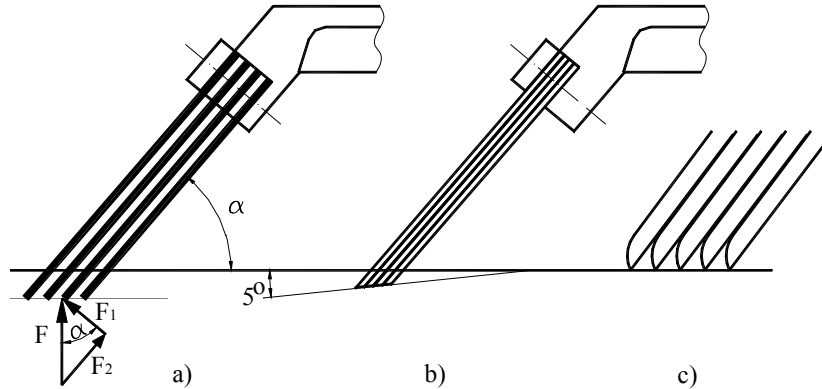


Fig. 1.4.10

La fixarea arcurilor lamelare solicitate la un capăt, este necesar ca muchiile suprafeței de bază, peste care se încovoiaie arcul la o solicitare exterioară, să fie suficient rotunjite. Dacă arcul este fixat prin șuruburi, diametrul găurilor de fixare nu trebuie să reprezinte mai mult de 0.3...0.5 din lățimea arcului, pentru ca arcul să nu fie slăbit prea mult [7.2].

Din considerente de gabarit sau funcționale arcul lamelar poate să difere de la forma dreaptă primind diverse forme curbate. În acest fel efectul arcului nu este modificat, dacă se face abstracție de modificarea de structură a materialului care poate fi produsă eventual prin deformare.

În Fig. 1.4.11 se prezintă soluția principală de utilizare a arcului lamelar curbat “1” în construcția unui detector cu piezocristal. Cu ajutorul șurubului de reglaj “2” se poate regla încovoierea arcului și deci presiunea de contact.

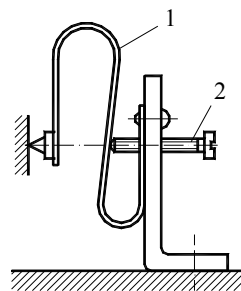


Fig. 1.4.11

În Fig. 1.4.12 echipajul mobil al unui aparat de măsură (galvanometru) este suspendat prin intermediul unui arc lamelar curbat. Arcul curbat "1" este fixat la ambele capete. Față de soluția clasică (un singur capăt fixat) în acest caz, partea centrală a arcului, care poartă știftul benzii de suspendare "2", se deplasează riguros axial.

La arcurile de contact se utilizează de obicei forma din Fig. 1.4.13. Se urmărește o atingere de contact cât mai uniformă posibil. Arcurile sunt astfel pretensionate unul față de celălalt, încât se ating pe suprafețele de contact în poziția de repaus.

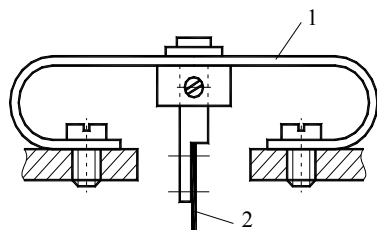


Fig. 1.4.12

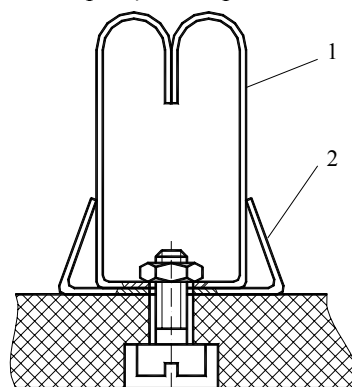


Fig. 1.4.13

Arcurile lamelare se execută frecvent și ca arcuri cu efect dublu (la ambele capete). Arcul e fixat corespunzător la mijloc și este încărcat la ambele capete.

În această categorie intră și cele mai multe șaibe elastice (mai ales de forma șaibei elastice curbate) (Fig. 1.4.14).

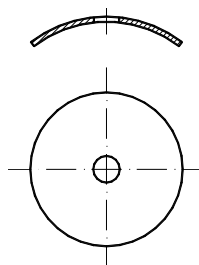


Fig. 1.4.14

Dacă diametrul găurii devine relativ mare, așa încât să se poată considera un inel elastic, este recomandabil să se aplice mai multe curburi, care să fie repartizate uniform

pe contur.

Rezistența admisibilă de calcul pentru materialul arcului se admite $(0.7\dots 0.8) \cdot \sigma_{ai}$.

Săgeata la capătul liber în punctul A_1 are valoarea (Fig. 1.4.15) [7.3]:

$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (7.4.18)$$

unde:

$$f_x = \frac{12 \cdot P}{b \cdot h^3 \cdot E} \cdot (\pi \cdot L \cdot R^2 + 2 \cdot R^3) \quad (7.4.19)$$

$$f_y = \frac{12 \cdot P}{b \cdot h^3 \cdot E} \cdot \left(\frac{L^3}{3} + \pi \cdot L^2 \cdot R + 4 \cdot L \cdot R^2 + \frac{\pi \cdot R^3}{2} \right) \quad (7.4.20)$$

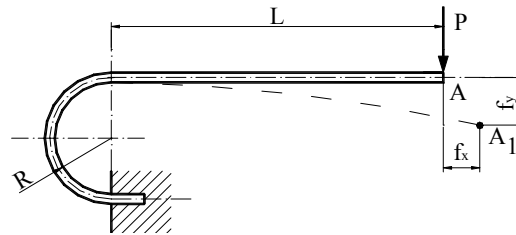


Fig. 1.4.15


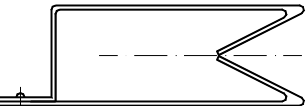
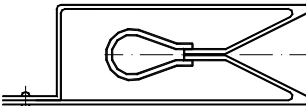
La arcurile de încovoiere curbate, secțiunea dreptunghiulară este cea mai frecvent utilizată. Acest lucru se explică prin faptul că mobilitatea în toate direcțiile a sârmei elastice (conferită de secțiunea rotundă) nu este în general dorită. În afară de aceasta, fixarea unui arc de din sârmă este de obicei mai puțin simplă decât la un arc lamelar.

Într-un contact demontabil se deosebesc două elemente: unul cuprins – contact “tată” (Tab. 1.4.2) și unul cuprinzător – contact “mamă” (Tab. 1.4.3). Formele constructive ale acestora sunt dintre cele mai diverse. O mare parte dintre acestea pot fi asimilate din punct de vedere teoretic cu arcurile lamelare simple drepte sau curbate.

Tab. 1.4.2

Contact cuprins (“tată”)	Forma contactului
Pin cilindric cu cap conic	
Pin cilindric cu cap sferic	
Pin paralelipipedic	

Tab. 1.4.3

Contact cuprinzător (“mamă”)	Forma contactului
Formă cilindrică executată din material cu proprietăți elastice, cu 2...4 tăieturi longitudinale	
Formă executată din bandă de material cu proprietăți elastice, care asigură forța de contact	
Forța de contact este asigurată suplimentar prin arcul curbat central	

Tendența actuală de miniaturizare a elementelor constructive de contact, concomitent cu creșterea numărului de contacte se va menține și în viitor astfel că o analiză funcțională a acestora se impune pentru specialistul din domeniu.

Fiabilitatea funcțională a conecatoarelor este din ce în ce mai dificil de realizat în comparație cu cea a componentelor electronice propriu-zise. Acest lucru se datorează faptului că în conecatoare se găsesc componente solicitate puternic din punct de vedere mecanic și supuse implicit fenomenului de oboseală și uzare.

Rezistența electrică de contact de valori reduse în condițiile concrete de utilizare este o condiție obligatorie pentru asigurarea fiabilității contactorului. Rezistența electrică de contact este determinată în primul rând de forța de apăsare între cele două componente ale contactului.

Cercetările experimentale au arătat că la forțe reduse de contact – situația conecatoarelor miniaturizate – o reducere mică a forței de contact conduce la creșteri semnificative a rezistenței electrice de contact și implicit la o înrăutățire a performanțelor. În același timp o mărire a forței de contact peste o valoare limită nu produce efecte sesizabile a valorii rezistenței electrice de contact. Dar forțele de contact de valori ridicate vor cauza o degradare a acoperirii de protecție din zona de contact și ca urmare în timp o creștere a valorii rezistenței electrice.

Avînd în vedere cele expuse se poate conluziona că există pentru fiecare conector un domeniu bine definit pentru valoarea forței de contact, impus prin factorii specifici constructivi și tehnologici.

Elementele elastice confecționate din bandă au o rigiditate mai redusă și pentru realizarea forței de contact, ele se montează pretensionat. Asupra caracteristicii reale a arcului au influențe hotărâtoare câmpurile de toleranțe referitoare la abaterile de poziție ale suprafețelor de contact ΔT (“tată” și respectiv “mamă”) (cauzate de execuție și montaj), săgeții în domeniu elastic (Δf) și respectiv toleranța de rigiditate (Δc) [7.4].

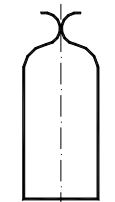
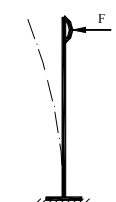
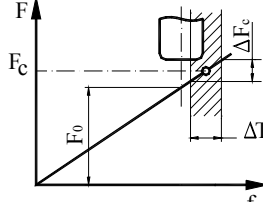
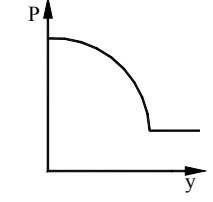
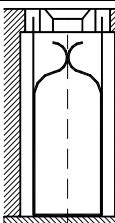
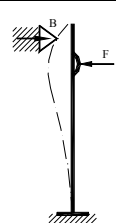
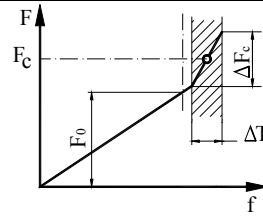
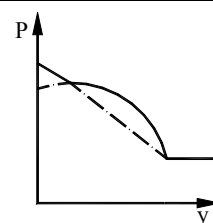
O posibilă soluție practică de reducere a intervalului de variație a forței de contact ΔF_c o constituie calibrarea prin utilizarea unei suprasolicitări. Arcul de calibrat

se introduce într-un dispozitiv cu dimensiunea mai mică (cu aprox. 0.15 mm) decât cel corespunzător din carcasa conectorului. Pentru calibrare se utilizează un dorn cu dimensiunea mai mare (cu aprox. 0.3 mm) decât cea a pinului de contact. După câteva “conectări” cu dornul de calibrare, relaxarea materialului este destul de mică. La montarea în conectorul real, deoarece locașul de montaj este mai larg, rezultă o micșorare a forței de pretensionare F_0 și o variație redusă a forței nominale de contact.

Pentru proiectarea judicioasă a elementelor elastice ale contactelor, pe lângă menținerea unui domeniu îngust de variație a forței de contact, este necesară și corelarea caracteristicii arcului în raport cu comportarea la conectare – deconectare.

Trebuie menționat faptul că forțe reduse de introducere și de extragere micșorează uzura stratului de acoperire a contactului și în același timp măresc gradul de confort de operare sau permit mărirea numărului de contacte ale conectorului. În Tab. 1.4.4 sunt prezentate pentru configurații reale ale contactului modul de încărcare și caracteristicile corespunzătoare.

Tab. 1.4.4

Configurația contactului	Schema de încărcare	Caracteristica arcului	Caracteristica de cuplare
			
			

1.4.2.1. Problema 7.4

Echipajul mobil al unui aparat de măsurare electric este suspendat față de carcasă prin intermediul a două arcuri lamelare curbate- preformate identice (Fig. 1.4.16). Arcurile se realizează din bandă de bronz cu beriliu având caracteristicile: rezistența admisibilă $\sigma_{ai}=1000 \text{ N/mm}^2$; modulul de elasticitate $E=12 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$. Secțiunea transversală a arcului de dimensiuni $b=4 \text{ mm}$ și $h=0.25 \text{ mm}$. Forța de pretensionare este $P_0 = 0.75 \text{ N}$.

Se cere:

- să se determine săgeata de pretensionare a arcurilor lamelare curbate;
- săgeata totală;
- să se verifice la rupere săgeata cea mai periculoasă.

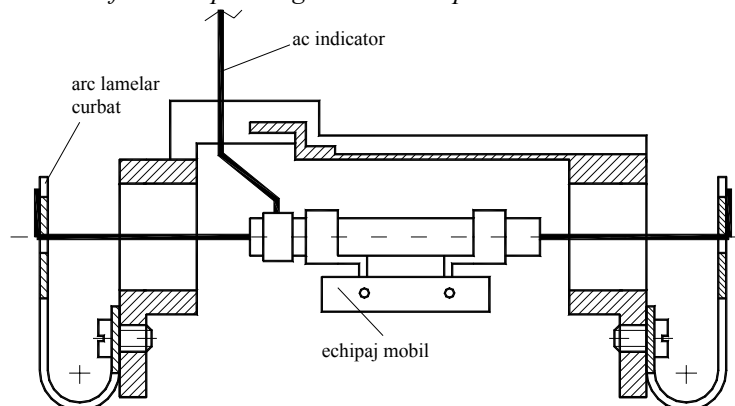


Fig. 1.4.16

Soluție

Săgeata totală a capătului liber a arcului și componentele sale sunt date de relațiile (7.4.18)-(7.4.20). Cele două componente ale săgeții au valorile:

$$f_x = \frac{12 \cdot 0.75}{4 \cdot 0.25^3 \cdot 12 \cdot 10^4} \cdot (\pi \cdot 5 \cdot 3^2 + 2 \cdot 3^3) = 0.2343 \text{ mm} \quad (7.4.21)$$

$$f_y = \frac{12 \cdot 0.75}{4 \cdot 0.25^3 \cdot 12 \cdot 10^4} \cdot \left(\frac{5^3}{3} + \pi \cdot 5^2 \cdot 3 + 4 \cdot 5 \cdot 3^2 + \frac{\pi \cdot 3^3}{2} \right) = 0.6 \text{ mm} \quad (7.4.22)$$

Săgeata totală este:

$$f = \sqrt{0.2343^2 + 0.6^2} = 0.644 \text{ mm} \quad (7.4.23)$$

Efortul unitar maxim este în punctul B (la distanța cea mai mare față de punctul de aplicație a forței $l = L + R$) (Fig. 1.4.17 și are valoarea:

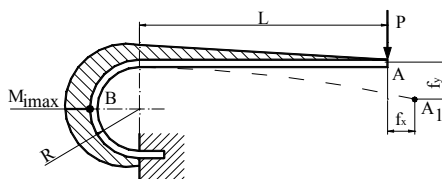


Fig. 1.4.17

$$\sigma_{i \max} = \frac{6 \cdot P \cdot l}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 0.75 \cdot 8}{4 \cdot 0.25^2} = 144 \text{ N/mm}^2 \ll \sigma'_{ai} = (0.7 \dots 0.8) \cdot 1000 = 700 \dots 800 \text{ N/mm}^2$$

1.4.3. Arcuri spirale

Dacă printr-un arc trebuie transmis un moment de torsiune asupra unui arbore, se utilizează un arc spiral.

Arcul spiral plan are la bază un număr de spire cu sau fără spațiu intermediar între ele, înfășurate în general după spirala lui Arhimede și mai rar după cea logaritmică. Întotdeauna capătul interior este fixat pe arbore. Secțiunea arcului spiral poate fi dreptunghiulară, circulară, eliptică. Cea mai utilizată este forma dreptunghiulară (Fig. 1.4.18).

Dacă capătul exterior se mișcă cu unghiul φ concentric față de axa de rotație, forța P care are brațul "R" crează un moment de torsiune $M_t = P \cdot R$. Acest aspect este indiferent dacă arcul se înfășoară sau se desfășoară.

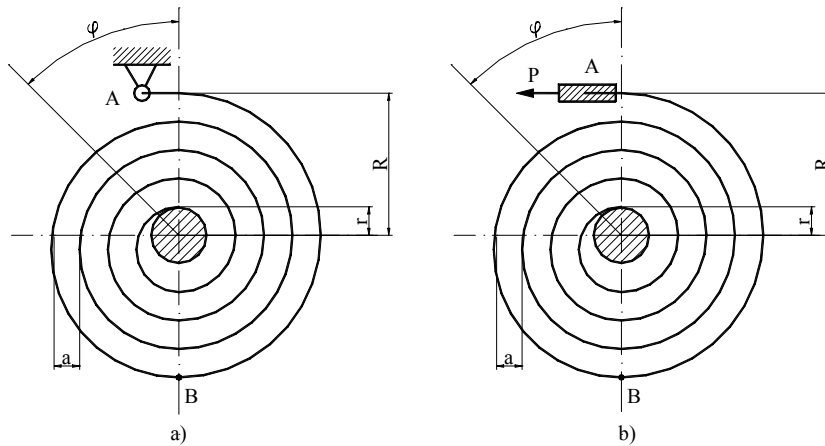


Fig. 1.4.18

Efectul acestei acțiuni asupra arcului este o solicitare de încovoiere a spirei arcului maximă ca valoare în punctul B. Pentru calcul sunt valabile următoarele formule:

$$M_i = M_t = \frac{b \cdot h^2}{6} \cdot \sigma_{ai} \quad (7.4.24)$$

$$f = R \cdot \varphi = \frac{12 \cdot P \cdot L \cdot R^2}{b \cdot h^3 \cdot E} = \frac{2 \cdot L \cdot R \cdot \sigma_{ai}}{h \cdot E} \quad (7.4.25)$$

$$L = n \cdot \pi \cdot (R + r) \quad (7.4.26)$$

$$a = \frac{\pi \cdot (R^2 - r^2)}{L} \quad (7.4.27)$$

în care “f” este săgeata la capătul liber A al arcului iar “L” este lungimea desfășurată a benzii de arc. Restul notațiilor au semnificația clasică.

Arcul spiral se caracterizează, în primul rând, prin faptul că acumulează o energie relativ mare într-un spațiu relativ redus. Aceste arcuri se folosesc în rol de element motor (de comandă) (în construcția unor relee electromagnetice, mecanisme de tip ceasornic etc.) și de element rezistent (pentru readucerea echipajului mobil al aparatelor de măsurat în poziție inițială).

Pentru fabricarea acestor arcuri se întrebuițează:

- benzi de oțel carbon pentru scule OSC 8, OSC10 cu grosimea $h = 0.08 \dots 1$ mm și lățimea $b = 1.5 \dots 8$ mm;
- aliaje speciale (40 % Co, 20 % Cr, 15 % Ni) dacă se impun proprietăți antimagnetice și anticorozive;
- bronz fosforos, bronz cu staniu și zinc, bronz cu beriliu, bronz cu cadmiu;

Forma constructivă a arcului spiral plan motor depinde în mare măsură, de locul de utilizare, putând lucra atât în stare liberă cât și în carcasă. Funcționarea în stare liberă se recomandă acolo unde nu există limită de gabarit. Funcționarea în carcasă micșorează gabaritul și permite lubrificarea, ceea ce are drept consecință o reducere a fercărilor dintre spire și deci o mărire a randamentului. Randamentul se situează în limita $\eta = 0.8 \dots 0.85$.

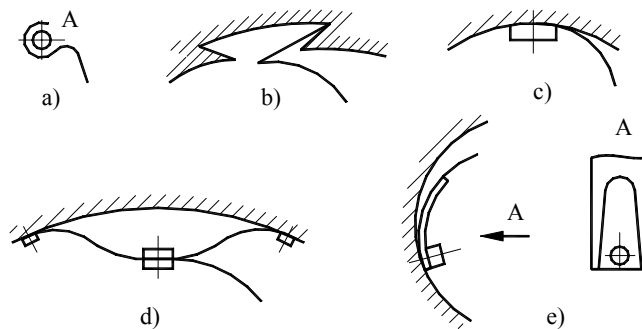


Fig. 1.4.19

În Fig. 1.4.19 se prezintă modalități de fixare ale arcului față de carcasă. La îmbinarea prin articulație (Fig. 1.4.19 a) după 2-3 rotiri apare o așezare excentrică, frecare și scăderea randamentului. Soluția cu capătul arcului în V (Fig. 1.4.19 b) este avantajoasă, simplă, dar în zona de îndoire se poate produce ruperea. Îmbinarea prin știft (Fig. 1.4.19 c) se folosește la arcuri cu benzi mai groase și reduce presiunea dintre spire. Soluția din Fig. 1.4.19 d asigură o poziție centrică, micșorând frecarea și măbind randamentul în condițiile unei construcții complexe. O poziție centrică se obține și la

îmbinarea prezentată în Fig. 1.4.19 e.

Fixarea capătului arcului pe arbore se poate realiza în diverse moduri: prin știft într-un locaș transversal al unei piese intermediare sau direct pe arbore, într-o creștătură practică pe arbore sau într-o piesă intermediară, prin șurub, prin lipire sau sudare pe o piesă suplimentară.

Arcurile spirale plane de rezistență pot servi și la transmiterea curentului electric de la echipamentul mobil al aparatului la cel fix. Din acest motiv arcul trebuie să îndeplinească, pe lângă condițiile obișnuite (caracteristică liniară, deformații remanente minime, coeficient termic de dilatare mic etc.), o serie de condiții suplimentare (lipsa proprietăților magnetice, rezistență electrică redusă). Capetele arcurilor spirale plane de rezistență pentru aparatele de măsurat se fixează prin lipire sau sudare. Rezistența electrică a acestui contact trebuie să fie cât mai redusă și constantă. Lipirea trebuie făcută cât mai rapid și cu o încălzire locală cât mai mică.

Arcul spiral, pentru un aparat electric de măsurat, trebuie astfel înfășurat încât spirele individuale să nu atingă. În acest scop după înfășurarea sa într-o formă adecvată, banda trebuie să fie supusă unui tratament de revenire, până când arcul la scoaterea sa din formă nu se mai desface brusc.

1.4.3.1. Problema 7.5

Pentru un aparat de măsurare electric momentul rezistent este produs de un arc spiral plan (Fig. 1.4.20). Mărimea de măsurat are ca efect o rotație a echipajului mobil cu unghi $\varphi=90^\circ$ la un moment activ $M = 0.2 \text{ Nmm}$. Se cere să se determine grosimea, lățimea, lungimea arcului, distanța dintre spire și numărul de spire.

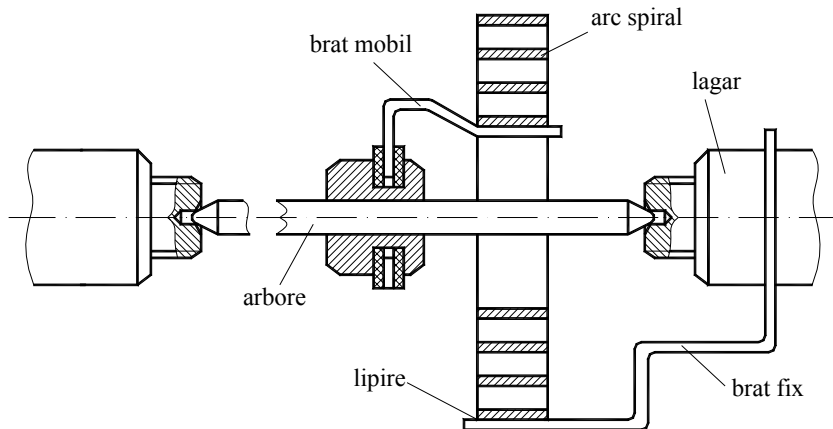


Fig. 1.4.20

Soluție

Se alege drept material pentru arc spiral bronzul fosforos cu următoarele

caracteristici: modulul de elasticitate $E = 11 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$, rezistența admisibilă de calcul $\sigma_{ai} = 100 \text{ N/mm}^2$.

Se admit în mod constructiv raza minimă a arcului $r = 2 \text{ mm}$, raza maximă $R = 5 \text{ mm}$ și numărul de spire active $n = 5$.

Lungimea arcului se determină ca fiind:

$$L = n \cdot \pi \cdot (R + r) = 5 \cdot \pi \cdot (5 + 2) = 109.9 \text{ mm} \quad (7.4.28)$$

Pe baza relației (7.4.25) se determină grosimea benzii de arc:

$$h = \frac{2 \cdot L \cdot \sigma'_{ai}}{\varphi \cdot E} = \frac{2 \cdot 109.9 \cdot 100}{\frac{\pi}{2} \cdot 11 \cdot 10^4} = 0.1272 \quad (7.4.29)$$

Se adoptă o grosime de $h = 0.15 \text{ mm}$.

Lățimea lamelei de arc va fi:

$$b = \frac{6 \cdot M}{h^2 \cdot \sigma'_{ai}} = \frac{6 \cdot 0.4}{0.15^2 \cdot 100} = 1.06 \text{ mm} \quad (7.4.30)$$

Se adoptă $b = 1 \text{ mm}$

Distanța dintre spire se calculează cu relația:

$$a = \frac{\pi \cdot (R^2 - r^2)}{L} = \frac{\pi \cdot (5^2 - 2^2)}{109.9} = 0.6 \text{ mm} \quad (7.4.31)$$

1.4.4. Arcuri elicoidale flexionale

Arcurile elicoidale flexionale se folosesc ca elemente de zăvorâre în construcția diverselor echipamente electronice. În Fig. 1.4.21 se prezintă principiul de lucru al arcului. Realizate din sârmă de diametru "d", arcurile elicoidale flexionale se obțin prin înfășurarea în mod elicoidal a acesteia pe un cilindru. Sârma este sollicitată la încovoiere iar efectul produs de arc este unul de torsiune.

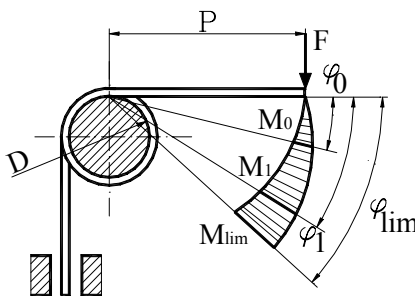


Fig. 1.4.21

În Fig. 1.4.22 sunt prezentate modalități de fixare ale capetelor arcului și de aplicare a solicitării exterioare.

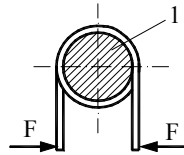


Fig. 1.4.22

Pentru a ghida în mod riguros arcul elicoidal, se recomandă ca acesta să fie astfel amplasat încât spirele să se poată roti liber în jurul unui miez cilindric “1” (Fig. 1.4.22). Acest miez servește de obicei și ca fus imobil pentru rotirea piesei care se găsește sub acțiunea arcului. O atenție deosebită trebuie acordată alegerii diametrului fusului imobil în raport cu diametrul interior al arcului. În timpul solicitării exterioare diametrul interior al arcului se reduce. În acest mod poate să apară situația ca arcul să se blocheze pe fus și datorită solicitării exterioare în continuare, să se producă deformații plastice ale sârmei arcului. Limita de rotire a capătului antrenat este reprezentată în Fig. 1.4.21 prin unghiul limită φ_{lim} . Altă soluție de fixare este prezentată în Fig. 1.4.23.

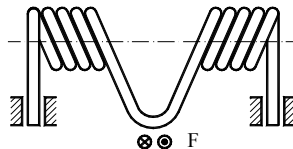


Fig. 1.4.23

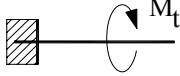
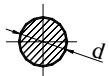
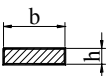
Arcurile flexionale se folosesc cu o pretensionare relativ mare (M_0 , φ_0). Este recomandabil ca montajul să fie astfel conceput încât cele două capete ale arcului să se așeze cât mai paralel posibil [7.3].

1.4.5. Arcul bară de torsiune

Arcul bară de torsiune sunt solicitate în timpul funcționării lor de un moment de torsiune. Se realizează din sârmă, bară cilindrică sau bandă de secțiune dreptunghiulară. Un capăt este încastrat iar la celălalt capăt liber se aplică solicitarea exterioară. O altă formă de realizare este încastrarea ambelor capete și aplicarea solicitării exterioare într-un punct oarecare de pe lungimea arcului.

Parametrii funcționali ai arcului și modul de determinare sunt prezentați în Tab. 1.4.5 în dependență de momentul de torsiune exterior sau rezistență admisibilă.

Tab. 1.4.5

		$\varphi = \frac{32 \cdot M_t \cdot L}{\pi \cdot G \cdot d^4}$	$\varphi \leq \frac{2 \cdot L}{G \cdot d} \cdot \tau_{at}$	$c = \frac{\pi \cdot d^4 \cdot G}{32 \cdot L}$																					
		$\varphi = \frac{M_t \cdot L}{\psi \cdot G \cdot b \cdot h^3}$	$\varphi \leq \frac{\eta \cdot L}{\psi \cdot h \cdot G} \cdot \tau_{at}$	$c = \frac{\psi \cdot b \cdot h^3 \cdot G}{L}$																					
	<table border="1"> <tr> <td>b/h</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>4</td> <td>8</td> <td>10</td> <td></td> </tr> <tr> <td>η</td> <td>0.208</td> <td>0.246</td> <td>0.282</td> <td>0.307</td> <td>0.313</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ψ</td> <td>0.140</td> <td>0.229</td> <td>0.281</td> <td>0.307</td> <td>0.313</td> <td></td> </tr> </table>	b/h	1	2	4	8	10		η	0.208	0.246	0.282	0.307	0.313		ψ	0.140	0.229	0.281	0.307	0.313				
b/h	1	2	4	8	10																				
η	0.208	0.246	0.282	0.307	0.313																				
ψ	0.140	0.229	0.281	0.307	0.313																				

- G – modulul de elasticitate transversal al materialului

- τ_{at} – rezistența admisibilă la torsiune a materialului

În calitate de materiale pentru aceste arcuri se folosesc: bronzul fosforos, cu beriliu, bronzul cu beriliu, cupru, argint sau aliaje speciale pe bază de platină.

Arcul bară de torsiune se utilizează printre altele, la suspendarea echipajului mobil a unor aparate de măsurare. Aceste arcuri asigură momentul antagonist pentru readucerea echipajului mobil în poziția inițială după dispariția semnalului exterior de măsurat. O astfel de aplicație a fost ilustrată în Fig. 1.4.16. Micile deplasări sunt transformate într-o mișcare de rotație unghiulară.

Utilizarea arcului bară de torsiune, ca și structură deformabilă, în construcția senzorilor de cuplu este de asemenea o aplicație des întâlnită.

În Fig. 1.4.24 se prezintă modul de fixare a arcului bară de torsiune “2” față de elementul fix “1”.

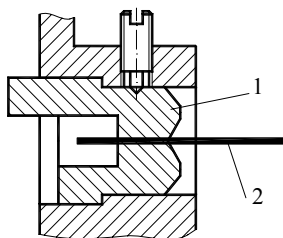


Fig. 1.4.24

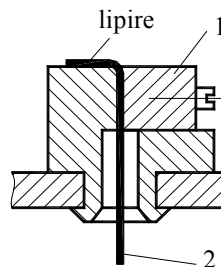


Fig. 1.4.25

În Fig. 1.4.25 arcul “2” este fixat prin lipire față de elementul “1”.

În Fig. 1.4.26 arcul bară de torsiune “1” este fixat prin lipire față de arcul lamelar curbat “2”.

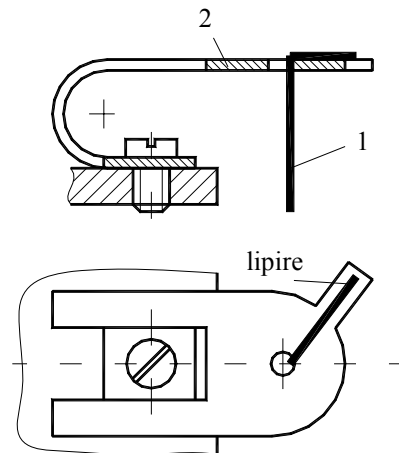


Fig. 1.4.26

1.4.6. Arcuri elicoidale de tracțiune - compresiune

Arcurile elicoidale de tracțiune – compresiune (solicitarea exterioară este axială și determină întinderea sau comprimarea arcului) prezintă o largă aplicabilitate în construcția de aparate datorită avantajelor deosebite: ocupă un spațiu relativ restrâns, realizează un efect relativ constant al forței la o cursă mare.

Aceste arcuri se execută din sârme sau bare de diferite secțiuni (circulară, pătrată, dreptunghiulară, eliptică etc.) prin înfășurare pe o suprafață directoare: cilindrică (Fig. 1.4.27 a), conică (Fig. 1.4.27 b), paraboloidală etc. Cele mai răspândite sunt arcurile elicoidale cilindrice cu secțiunea circulară sau dreptunghiulară.

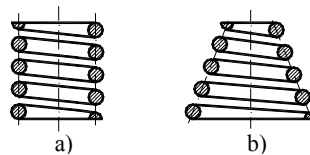


Fig. 1.4.27

Spira arcului este supusă unei solicitări de torsiune. Calcul arcului se face la fel atât în cazul variantei de tracțiune cât și în cazul celui de compresiune.

În Fig. 1.4.28 sunt prezentate formele constructive ale arcurilor elicoidale cilindrice de tracțiune (Fig. 1.4.28 a) și respectiv compresiune (Fig. 1.4.28 b) indicându-se și parametrii geometrici.

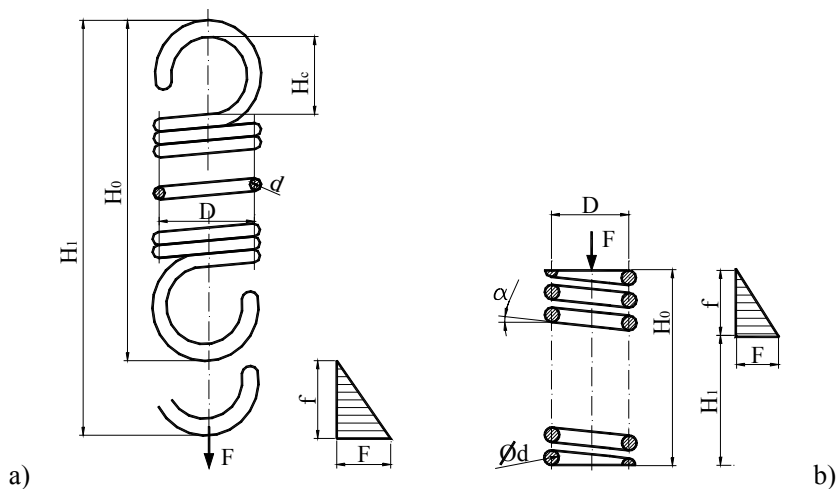


Fig. 1.4.28

Unghiul de înclinare a spirei se află în intervalul $\alpha = 6^{\circ} \dots 9^{\circ}$. La arcurile de tracțiune înfășurarea are loc spiră/spiră iar la arcurile de compresiune cu un pas impus practic de săgeata arcului (arcul de compresiune poate fi solicitat până la atingerea spirelor).

Se definește indicele arcului ca și raportul dintre diametrul mediu al arcului “D” și diametrul sârmei “d” :

$$i = \frac{D}{d} \quad (7.4.32)$$

La arcurile înfășurate la rece $i \in [4,16]$ iar la cele înfășurate la cald $i \in [4,10]$. Diametrul sârmei arcului se determină din condiția de rezistență la torsiune:

$$d = \sqrt{\frac{8 \cdot k \cdot F \cdot i}{\pi \cdot \tau_{at}}} \quad (7.4.33)$$

unde :

- k este factorul de formă al arcului $k = 1 + \frac{1.6}{i}$;
- F este forța de tracțiune – compresiune;
- τ_{at} este rezistența admisibilă pentru materialul arcului.

Materialele utilizate la execuția arcurilor elicoidale, în general, sunt oțelurile carbon și oțelurile aliate. În cazul arcurilor puțin pretențioase se utilizează și materiale neferoase. Pentru arcurile de precizie se recomandă alegerea rezistenței admisibile la torsiune cu 25 % mai mică decât cea indicată în general în literatură. Rezistențele admisibile la torsiune pentru materialele arcurilor de tracțiune, cu ochi de prindere, se

consideră cu 12 % mai reduse decât valorile din literatură.

Valoarea “d” obținută va fi corelată cu valorile existente pentru sârma necesară. Numărul de spire active pentru arc este :

$$n = \frac{G \cdot d^4 \cdot f}{8 \cdot D^3 \cdot F} \quad (7.4.34)$$

- f este săgeata arcului;
- G este modulul de elasticitate transversal al materialului;

În cazul în care arcul este montat cu pretensionarea F_0 , forța F din relația (7.4.34) se va înlocui cu $F = F_{max} - F_0$ iar săgeata “f” este săgeata de lucru.

Dimensiunile arcurilor elicoidale rezultă în general din calcul astfel că pentru realizarea formei acestora se mai iau în considerare numai soluțiile adoptate pentru capetele arcului.

La arcurile de compresiune pentru sârme subțiri nu este obligatorie prelucrarea capetelor arcului. Trebuie avut în vedere însă faptul că forțele exercitate pe capetele neprelucrate ale arcului pot conduce la o așezare înclinată a arcului. Dacă acest lucru nu este admis, se impune prelucrarea capetelor arcului prin polizare (Fig. 1.4.29 a) sau prin înfășurarea plană la capete (Fig. 1.4.29 b).

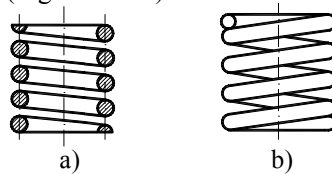


Fig. 1.4.29

Pentru rezemarea corectă a arcurilor de compresiune piesele de sprijin pot căpăta forme speciale (Fig. 1.4.30).

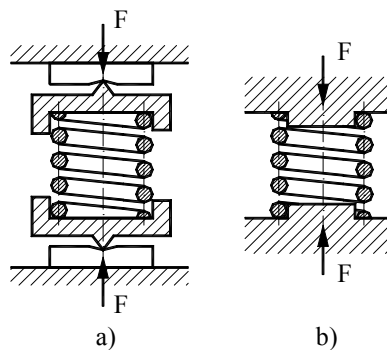


Fig. 1.4.30

La *arcurile de tracțiune* trebuie ca forțele exterioare să fie aplicate în direcție axială. În acest scop capetele arcului se prelucrează în general sub formă de ochiuri (Fig. 1.4.31). Raza de îndoire a ochiului trebuie să fie suficient de mare pentru a exclude pericolul ruperii la locul de îndoire. Ochiurile arcului se agață în general liber într-o gaură sau prin mijloace auxiliare (Fig. 1.4.31).

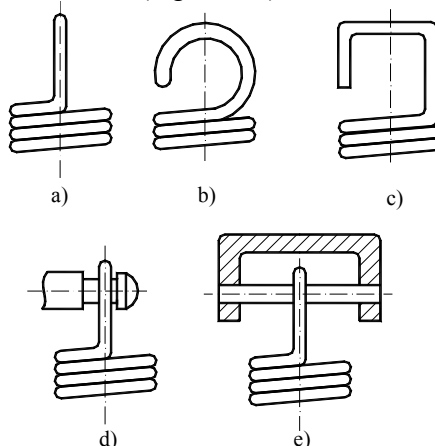


Fig. 1.4.31

1.4.6.1. Problema 7.6

Arcul elicoidal cilindric de compresiune 3 (Fig. 1.4.32) face parte din construcția unui traductor de deplasare inductiv (1- armătura fixă, 2- armătura mobilă, 3- arc de compresiune, 4 – ghidaj, 5 – cap de palpăre) și servește creării forței de măsurare dintr-o aplicație. Domeniul de variație al acestei forțe este de la $F_{min} = 3.5 \text{ N}$ până la $F_{max} = 4.5 \text{ N}$ corespunzător unei săgeți de lucru $f = 2 \text{ mm}$. Materialul arcului are următoarele caracteristici: rezistența admisibilă $\tau_{at} = 500 \text{ N/mm}^2$ și modulul de elasticitate al materialului $G = 80.000 \text{ N/mm}^2$.

Se cere să se determine:

- săgeata inițială f_0 a arcului și să se reprezinte caracteristica sa;
- diametrul sârmei arcului dacă se admite indicele arcului $i = 10$;
- numărul de spire active și total;
- elementele geometrice ale arcului;

Soluție

Caracteristica arcului are forma celei prezentate în Fig. 1.4.33. Pe baza acestei figuri și a notațiilor utilizate, săgeata inițială se calculează cu relația:

$$f_0 = \frac{F_{min}}{F_{max} - F_{min}} \cdot f = \frac{3.5}{4.5 - 3.5} \cdot 2 = 7 \text{ mm} \quad (7.4.35)$$

Factorul de formă al arcului are valoarea:

$$K = 1 + \frac{1.6}{i} = 1 + \frac{1.6}{10} = 1.16 \quad (7.4.36)$$

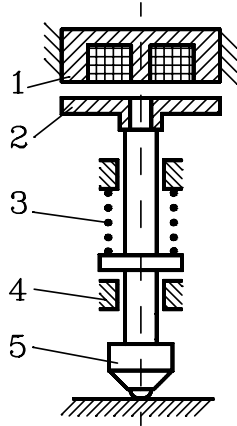


Fig. 1.4.32

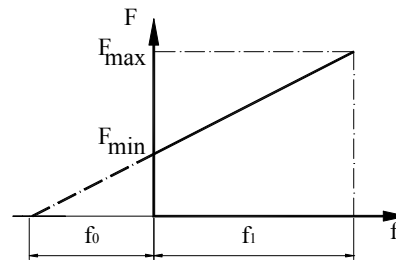


Fig. 1.4.33

Diametrul sârmei arcului este:

$$d = \sqrt{\frac{8 \cdot K \cdot F_{\max} \cdot i}{\pi \cdot \tau_{at}}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 1.16 \cdot 4.5 \cdot 10}{\pi \cdot 500}} = 0.515 \text{ mm} \quad (7.4.37)$$

Se admite pentru realizarea arcului o sârmă cu diametrul $d = 0.55 \text{ mm}$.

Diametrul mediu al spirei arcului are valoarea:

$$D = d \cdot i = 0.55 \cdot 10 = 5.5 \text{ mm} \quad (7.4.38)$$

Numărul de spire active ale arcului are valoarea (se are în vedere relația de calcul de pretensionare):

$$n = \frac{G \cdot d^4 \cdot f_1}{8 \cdot (F_{\max} - F_{\min}) \cdot D^3} = \frac{80 \cdot 10^3 \cdot 0.55^4 \cdot 2}{8 \cdot (4.5 - 3.5) \cdot 5.5^3} = 11 \text{ spire active} \quad (7.4.39)$$

Considerând capetele arcului realizate prin înfășurare plană, numărul total de spire va fi:

$$n_{\text{total}} = n + 1 = 11 + 1 = 12 \text{ spire} \quad (7.4.40)$$

Parametrii geometrici ai arcului vor fi:

$$\text{diametrul exterior } D_e = D + d = 5.5 + 0.55 = 6.05 \text{ mm} \quad (7.4.41)$$

$$\text{diametrul interior } D_i = D - d = 5.5 - 0.55 = 4.95 \text{ mm} \quad (7.4.42)$$

înălțimea arcului

$$H_0 = H + f_0 + f_1 = n_{\text{total}} \cdot d + n \cdot j_{\min} + f_0 + f_1 = 12 \cdot 0.55 + 11 \cdot 0.5 + 7 + 2 = 21.1 \text{ mm} \quad (7.4.43)$$

unde $j_{\min} = 0.5$ este jocul minim luat în considerare între spirele arcului la săgeata maximă;

$$L = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{total}}{\cos \alpha} = \frac{\pi \cdot 5.5 \cdot 12}{\cos 6^{\circ}} = 206.1 \text{ mm} \quad (7.4.44)$$

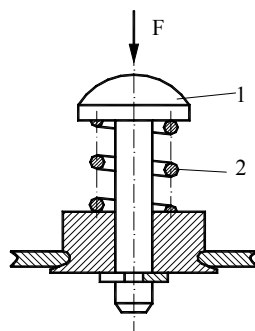


Fig. 1.4.34

În Fig. 1.4.34 se prezintă o altă două aplicație ale arcurilor elicoidale în construcția unei taste.

1.4.7. Arcuri bimetalice

Arcurile bimetalice sunt întâlnite într- serie de aplicații tehnice: dispozitive de conectare și protecție, termostate pentru controlul și reglarea temperaturii, aparate pentru măsurarea temperaturii, presiunii sau umidității, relee termoelectrice în telecomunicații etc.

Arcul bimetalic constă din două lamele metalice lipite sau sudate între ele. Cele două lamele sunt realizate cu coeficienți de dilatare liniară diferiți. Materialul cu coeficienți de dilatare liniară mai mare se numește activ iar cel de-al doilea se numeste pasiv.

La modificarea temperaturii ansamblului, cele două lamele tind să se dilate diferit astfel încât rezultă o încovoire a lamelelor înspre materialul pasiv. Această variație de temperatură, echivalentă unui semnal de intrare, determină un semnal care se poate echivala cu:

- mișcare (deplasare) datorită deformării;
- forță datorită tensiunilor interne, dacă forțe exterioare se opun producerii deformării.

În Fig. 1.4.35 se prezintă forma unui arc bimetalic curbat. Deplasările, pe două axe perpendiculare, a capătului liber și rotația acestuia sunt definite de ecuațiile:

$$\Delta x = \frac{2 \cdot a \cdot R}{h} \cdot (1 - \cos \varphi) \cdot \Delta t \quad (7.4.45)$$

$$\Delta y = \frac{2 \cdot a \cdot R^2}{h} \cdot (\varphi - \sin \varphi) \cdot \Delta t \quad (7.4.46)$$

$$\Delta \varphi = \frac{\Delta y}{R} \quad (7.4.47)$$

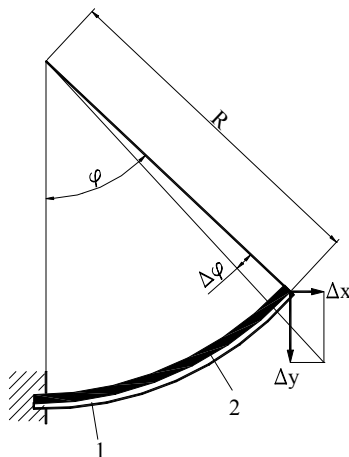


Fig. 1.4.35

sau

$$\Delta \varphi = \frac{2 \cdot a \cdot R}{h} \cdot (\varphi - \sin \varphi) \cdot \Delta t \quad (7.4.48)$$

unde semnificația mărimilor (în afara celor evidente din figură) este:

- $a = \frac{(\alpha_1 - \alpha_2) \cdot h}{2 \cdot h_n}$, depinde de coeficienții de dilatare liniară α_1 , α_2 , grosimea pachetului lamelar $h = h_1 + h_2$, distanța dintre axele neutre ale lamelurilor h_n ;
- Δt este variația de temperatură;

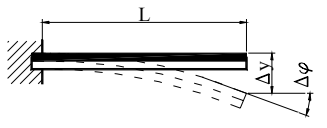
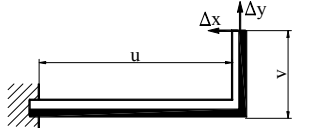
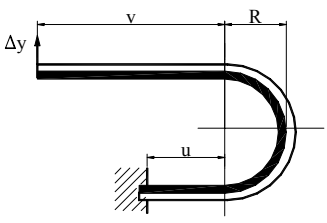
Relațiile de calcul pentru alte forme ale arcului bimetalic sunt prezentate în Tab. 1.4.6.

La alegerea materialelor pentru cele două lamele trebuie avut în vedere următoarele: coeficienții de dilatare să fie mult diferiți, să fie ușor maleabile sau să se lipească ușor, să aibă rezistență la încovoiere scăzută. În plus alegerea materialelor este determinată de condițiile în care va lucra arcul bimetalic: temperatura, modul de încălzire, mediul înconjurător etc.

Dintre materialele des utilizate în realizarea acestor arcuri, amintim:

- *Material pasiv* – invar (Ni+Co, Fe), oțel aliat
- *Materiale active* – oțel crom-nichel, oțel molibden-nichel;

Tab. 1.4.6

Forma	Δx	Δy	$\Delta \varphi$
	0	$\frac{a \cdot L^2}{h} \cdot \Delta t$	$\frac{2aL}{h} \Delta t$
	$\frac{a \cdot v(2 \cdot u + v)}{h} \cdot \Delta t$	$\frac{a \cdot u^2}{h} \cdot \Delta t$	-
	-	$\frac{a}{h} \left((v - u)^2 + 4R^2 + 2\pi Rv \right) \Delta t$	-

Condiția obținerii unei deformații maxime la arcul bimetalic este:

$$\frac{h_1}{h_2} = \sqrt{\frac{E_2}{E_1}} \quad (7.4.49)$$

unde E_1, E_2 sunt modulele de elasticitate longitudinală ale celor două materiale.

Formele constructive ale arcului bimetalic sunt diverse: lamelar drept (a, b), curbat, spiral, elicoidal, lamelar ondulat, rondelă (Fig. 1.4.36).

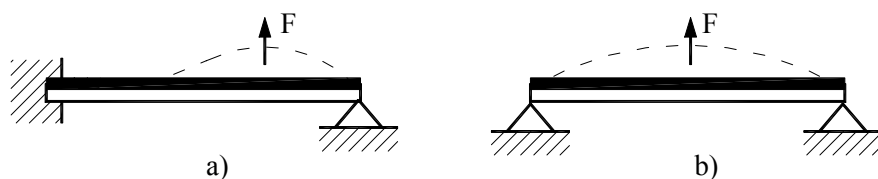


Fig. 1.4.36

Modificarea temperaturii arcului bimetalic se poate realiza fie datorită variației temperaturii mediului, fie prin acțiunea curentului electric în mod direct sau indirect.

Pentru ca temperatura mediului să nu influențeze funcționarea arcului bimetalic, deformația acestuia trebuie compensată. Acest lucru se realizează în general prin montarea contactelor pe arcuri bimetalice duble.

1.4.7.1. Problema 7.7

Un arc bimetalic lamelar este utilizat la realizarea unui termorelevu. Arcul este realizat din INVAR (material pasiv) - $E_1 = 1.5 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ - și oțel crom-nichel (material activ) - $E_2 = 2.2 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ - cu diferența medie a coeficienților de dilatare liniară $\alpha_1 - \alpha_2 = 18 \cdot 10^{-6} \text{ } / ^\circ\text{C}$, rezistivitatea electrică a materialului $\rho = 0.8 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$ și coeficientul de transmitere a căldurii $\lambda = 15 \cdot 10^{-6} \text{ } \frac{\text{J}}{\text{mm}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}}$. Parametrii geometrici ai arcului sunt: grosimea totală $h = h_1 + h_2 = 0.8 \text{ mm}$, lățimea $b = 6 \text{ mm}$ și lungimea $L = 45 \text{ mm}$.

Se cere:

- să se determine modulul de elasticitate echivalent al arcului și momentul de inerție;
- săgeata liniară a arcului la capătul liber în cazul unei variații a temperaturii $\Delta t = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$;
- săgeata liniară a arcului la capătul liber dacă încălzirea bimetalului se realizează prin încălzire directă datorată unui curent $I = 1.5 \text{ A}$.

Soluție

- Modulul de elasticitate echivalent se determină pe baza relației:

$$E = \frac{4 \cdot E_1 \cdot E_2}{(\sqrt{E_1} + \sqrt{E_2})^2} = \frac{4 \cdot 1.5 \cdot 10^5 \cdot 2.2 \cdot 10^5}{(\sqrt{1.5 \cdot 10^5} + \sqrt{2.2 \cdot 10^5})^2} = 1.8 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2 \quad (7.4.50)$$

Momentul de inerție va fi :

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{6 \cdot 0.8^3}{12} = 0.256 \text{ mm}^4 \quad (7.4.51)$$

- Săgeata la capătul liber este:

$$f = \frac{3}{4} \cdot \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{h_1 + h_2} \cdot L^2 \cdot \Delta t = \frac{3 \cdot 18 \cdot 10^{-6} \cdot 45^2 \cdot 20}{4 \cdot 0.8} = 0.683 \text{ mm} \quad (7.4.52)$$

- La regim termic stabilizat, energia electrică consumată de arc bimetalic pentru încălzire (este echivalent cu o rezistență electrică R) este egală cu căldura cedată de arc mediului înconjurător în unitatea de timp prin suprafața A :

$$\lambda \cdot A \cdot \Delta t = R \cdot I^2 = \frac{\rho \cdot L}{b \cdot h} \cdot I^2 \quad (7.4.53)$$

Diferența de temperatură rezultată va fi astfel:

$$\Delta t = \frac{\rho \cdot I^2}{b \cdot h \cdot \lambda \cdot 2 \cdot (b + h)} = \frac{0.8 \cdot 10^{-3} \cdot 4.5^2}{6 \cdot 0.8 \cdot 15 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot (6 + 0.8)} = 16.5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (7.4.54)$$

și atunci săgeata va avea valoarea:

$$f = \frac{3}{4} \cdot \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{h_1 + h_2} \cdot L^2 \cdot \Delta t = \frac{3 \cdot 18 \cdot 10^{-6} \cdot 45^2 \cdot 16.5}{4 \cdot 0.8} = 0.563 \text{ mm} \quad (7.4.55)$$

1.4.8. Arcuri din cauciuc

Cauciucul este utilizat atât pentru realizarea elementelor elastice cât și pentru utilizarea elementelor de amortizare.

Cauciucul pentru arcuri poate fi natural sau sintetic, combinat cu diverse materiale de adaos, în special negru de fum, agenți vulcanizatori etc. Trebuie menționate caracteristicile mecanice superioare ale cauciucului sintetic față de cel natural.

În cazul acestor elemente elastice interesează următoarele proprietăți:

- *elasticitatea* – care îl deosebește de celelalte materiale. Astfel dacă la oțel alungirea specifică la sarcinile de lucru este de ordinul procentelor, în cazul cauciucului aceasta poate ajunge până la 30 %. În același timp proprietățile fizico-chimice se pot deosebi într-o gamă largă chiar și pentru același lot de piese. Aceste aspecte determină dependența modulelor de elasticitate longitudinală “E” și transversală “G” de calitatea cauciucului
- *amortizarea energiei mecanice* – se produce datorită frecărilor interne. Caracteristica arcurilor din cauciuc este neliniară, cu un ciclu de histereză (Fig. 1.4.37). Energia internă acumulată este o mărime a ariei acestui ciclu de histereză. Urmare a fenomenului de histerezis, rezistența la oboseală a elementului din cauciuc este determinată de cantitatea de căldură generată de frecările interne și nu de rezistența mecanică.

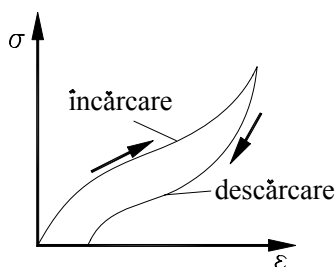


Fig. 1.4.37

- *montajul arcului* – are loc în general cu rame metalice de sprijin (Fig. 1.4.38). O durabilitate mai mare este oferită de asamblările cauciuc – metal. Se realizează o bună îmbinare a cauciucului cu oțelul cu conținut redus de carbon, cu alama, fonta sau aliajele de aluminiu. Rezultate mai puțin performante se obțin la fixarea cauciucului pe oțel inoxidabil, bronz sau aliaj de aluminiu. Ca procedeu de îmbinare se utilizează vulcanizarea directă a cauciucului pe materialul

metalic sau prin intermediul unui strat de alamă depus pe acesta din urmă, pe cale electrolitică.

Comparativ cu arcurile metalice, cele din cauciuc prezintă o serie de avantaje: formă constructivă simplă, greutate redusă, întreținere în exploatare ușoară, capacitate mare de disipare a energiei, montaj ușor etc.

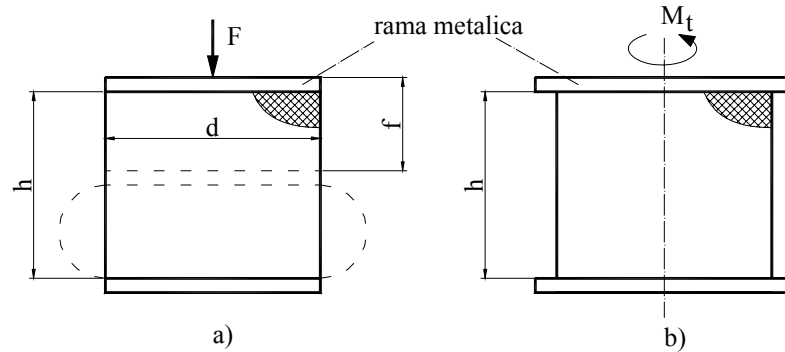


Fig. 1.4.38

Relațiile de calcul pentru principalele tipuri de bază ale arcurilor din cauciuc sunt prezentate în continuare.

- Formă paralelipipedică (Fig. 1.4.39) – solicitarea forfecare:

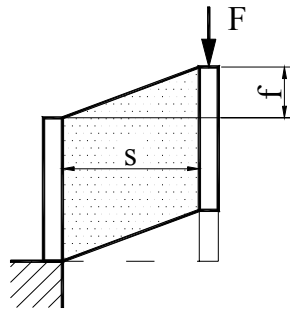


Fig. 1.4.39

- efortul de forfecare:

$$\tau_f = \frac{F}{A} \leq \tau_{af} \quad (7.4.56)$$

unde "A" reprezintă aria secțiunii de forfecare (identică cu aria ramei metalice)

comune).

- săgeata:

$$f = h \cdot \operatorname{tg} \frac{\tau_f}{G} \quad (7.4.57)$$

unde "G" este modulul de elasticitate transversal al cauciucului

- domeniul de valabilitate al relațiilor de calcul: $f \leq 0.35 \cdot s$

• *Formă cilindrică* (Fig. 1.4.40) – *solicitare de forfecare*

- efortul de forfecare:

$$\tau_{f \max} = \frac{F}{2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot h} \leq \tau_{af} \quad (7.4.58)$$

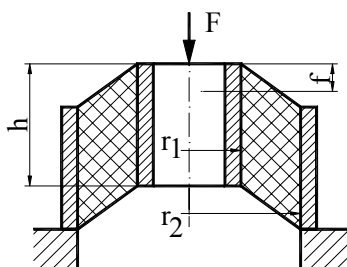


Fig. 1.4.40

- săgeata:

$$f = \frac{F}{2 \cdot \pi \cdot G \cdot h} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (7.4.59)$$

- domeniul de valabilitate: $f \leq 0.35 \cdot (r_2 - r_1)$

• *formă cilindrică, arc tubular din cauciuc* (Fig. 1.4.41), *solicitare de torsiune*:

- efortul maxim:

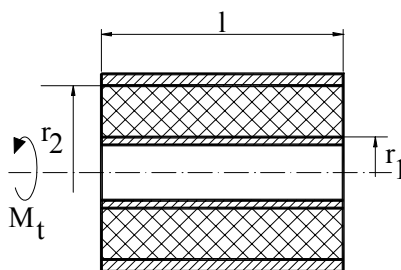


Fig. 1.4.41

$$\tau_{tmax} = \frac{2 \cdot M_t}{\pi \cdot h \cdot r_1^2} \leq \tau_{at} \quad (7.4.60)$$

- unghiul de răsucire:

$$\varphi = \frac{M_t}{\pi \cdot G \cdot h} \cdot \left(\frac{1}{d_1^2} - \frac{1}{d_2^2} \right) \quad (7.4.61)$$

- domeniul de valabilitate a relațiilor: $\varphi \leq 40^\circ$

- formă cilindrică, arc bucuță din cauciuc (Fig. 1.4.42), solicitare de torsiune:

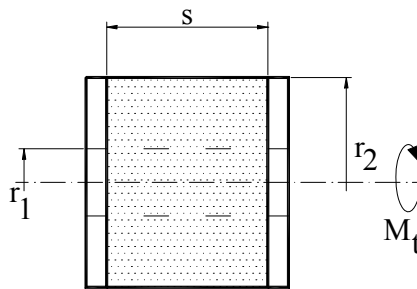


Fig. 1.4.42

- efortul maxim:

$$\tau_{tmax} = \varphi \cdot \frac{r_2}{h} \cdot G \leq \tau_{at} \quad (7.4.62)$$

- unghiul de răsucire:

$$\varphi = \frac{32 \cdot M_t}{\pi \cdot G} \cdot \frac{h}{d_2^4 - d_1^4} \quad (7.4.63)$$

- domeniul de valabilitate a relațiilor: $\varphi \leq 20^\circ$

În general, corespunzător diverselor domenii de utilizare, există forme constructive normalizate pentru aceste tipuri de arcuri.

1.5. Bibliografie

[7.1] Argeșanu, V., Dolga, V., Mocuța, G.E., *Elemente de inginerie mecanică în construcția echipamentelor electronice*, Editura Eurostampa, Timișoara, 1999

[7.2] Richter, O., Voss, R.V., Kozer, F., *Elemente constructive de mecanică fină*, Editura Tehnică, București, 1961

[7.3] Borisov, S.I., *Rascet i konstruirovanie mehaniceskih sistem priborov*, Masinostroenie, Moskva, 1981

[7.4] Pascu, A., *Structura mecanică a aparatelor electronice*, OIDCM,

București, 1992

[7.5] Demian, T., s.a., *Bazele proiectării aparatelor de mecanică fină*, vol.I, Editura Tehnică, București, 1984

[7.6] Demian, T., s.a., *Elemente constructive de mecanică fină. Aplicații*, Editura didactică și pedagogică, București, 1982

[7.7] Hildebrand, S., *Feinmechanische Bauelemente*, V.E.B, Verlag Technik, Berlin, 1980