

Opruge kao funkcionalni elementi

Opruge su mehanički funkcionalni elementi sposobni da se pod dejstvom spoljašnjeg opterećenja elastično deformišu i da apsorbovanu energiju ponovo pretvore u mehanički rad.

Sposobnost opruga može da se poveća primenom visukoelastičnih materijala i odgovarajućim konstrukcionim izvođenjem.

Osnovne veličine koje utiču na izbor materijala i oblik opruge su zahtevana sila i deformacioni put opruge, kao i raspoloživi prostor, težina i temperatura.

Područja primene opruga

- kao akumulatori energije (kod časovnika, igračka, oružja),
- za prigušenje udarnih i oscilatornih opterećenja (kod vozila i transportnih sredstava),
- za povratno kretanje (kod ventila, kočnica, spojnica i mernih instrumenata),
- za merenje sile (kod mernih uređaja),
- za raspodelu opterećenja.

Klasifikacija opruga

prema vrsti materijala od kog su izrađene

- metalne,
- nemetalne.

Klasifikacija opruga prema obliku opruge

- lisnate,
- tanjiraste,
- prstenaste,
- zavojne.

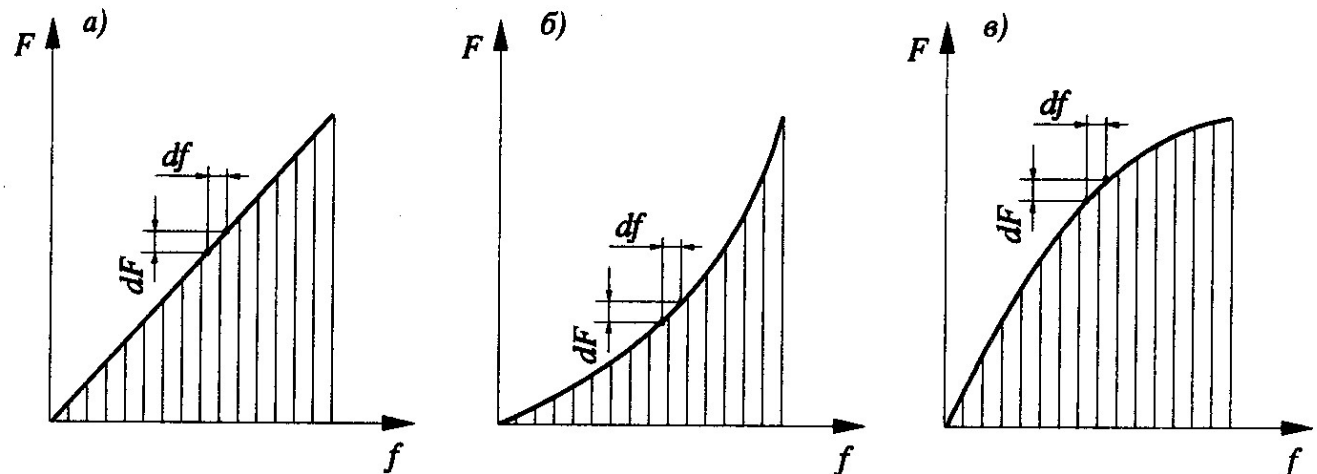
Klasifikacija opruga prema vrsti naprezanja

- zatezno-pritisne,
- fleksione,
- torziona.

Karakteristike opruga

Zavisnost između opterećenja F i deformacije opruge f :

- linearna,
- progresivna,
- regresivna.



Opruge kao funkcionalni elementi

Karakteristike opruga

Krutost opruge predstavlja odnos između spoljašnjeg opterećenja (sila F , moment savijanja M , moment uvijanja T) i jedinične deformacije (ugib f , uglovi φ i ψ).

$$c_f = \frac{dF}{df}$$

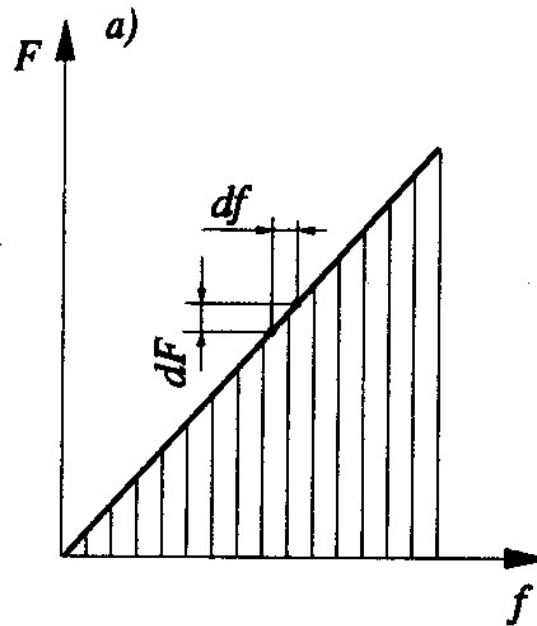
$$c_\varphi = \frac{dM}{d\varphi}$$

$$c_\psi = \frac{dT}{d\psi}$$

Karakteristike opruga

Ukoliko je karakteristika opruge linearna, onda je krutost opruge konstanta:

$$c = \frac{F_1}{f_1} = \frac{F_2}{f_2}$$



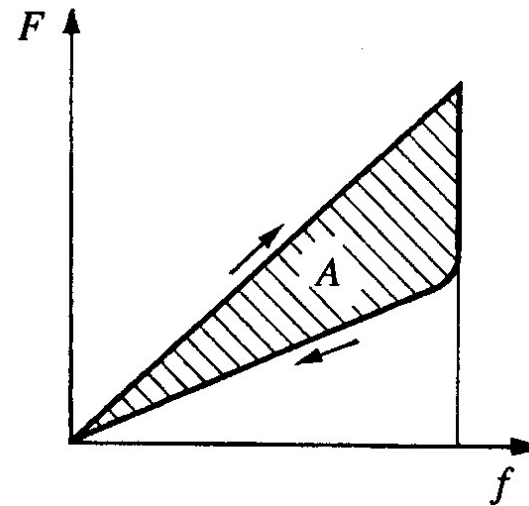
Karakteristike opruga

Deformacioni rad je rad potreban da bi se izvršila odgovarajuća deformacija (sila F , moment savijanja M , moment uvijanja T , ugib f , uglovi deformacije φ i ψ):

$$A = \frac{F \cdot f}{2}$$

$$A = \frac{M \cdot \varphi}{2}$$

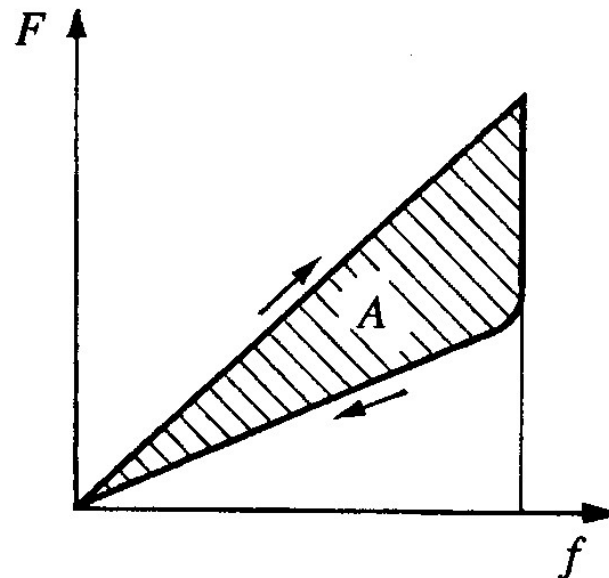
$$A = \frac{T \cdot \psi}{2}$$



Karakteristike opruga

Zbog prigušenja u materijalu linija opterećenja opruge se ne poklapa sa linijom rasterećenja, odnosno deo mehaničke energije se pretvara u toplotu.

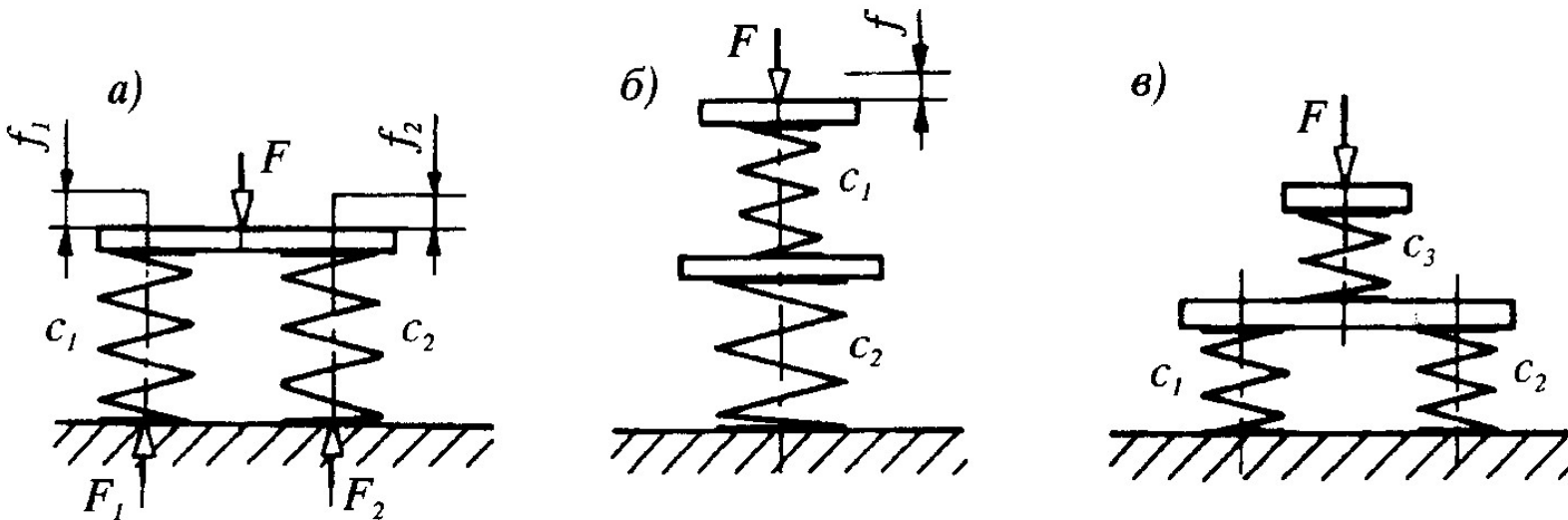
Kod amortizacije udara i vibracija efekat prigušenja je pozitivan.



Opruge kao funkcionalni elementi

Sistemi opruga

Primena samo jedne opruge u mnogim slučajevima ne može da ispuni konstrukcione zahteve u pogledu potrebne sile i deformacije. Zbog toga se koriste više redno ili paralelno povezanih opruga, odnosno koriste se sistemi opruga.

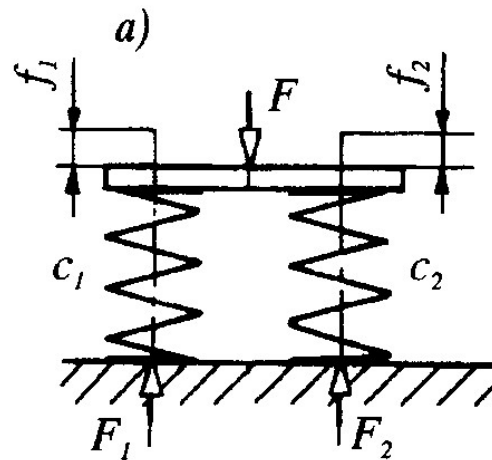


Sistemi opruga

Deformacije *paralelno vezanih opruga* su iste, a opterećenje se deli na sve opruge u vezi:

$$F = c_1 \cdot f_1 + c_2 \cdot f_2 = c_u f$$

pa je krutost ovakvog sistema opruga: $c_u = c_1 + c_2$

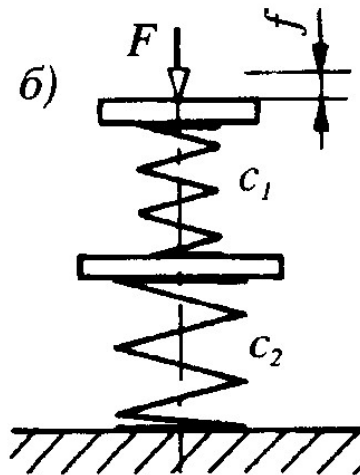


Sistemi opruga

Opterećenje *redno vezanih opruga* je isto, a deformacije opruga se sabiraju:

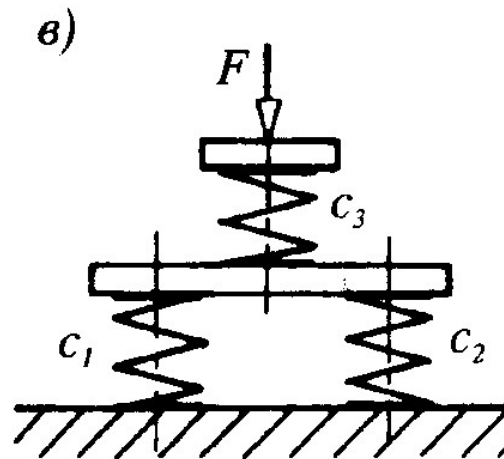
$$f = \frac{F_1}{c_1} + \frac{F_2}{c_2} = \frac{F}{c_u}$$

pa je krutost ovakvog sistema opruga: $\frac{1}{c_u} = \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2}$



Sistemi opruga

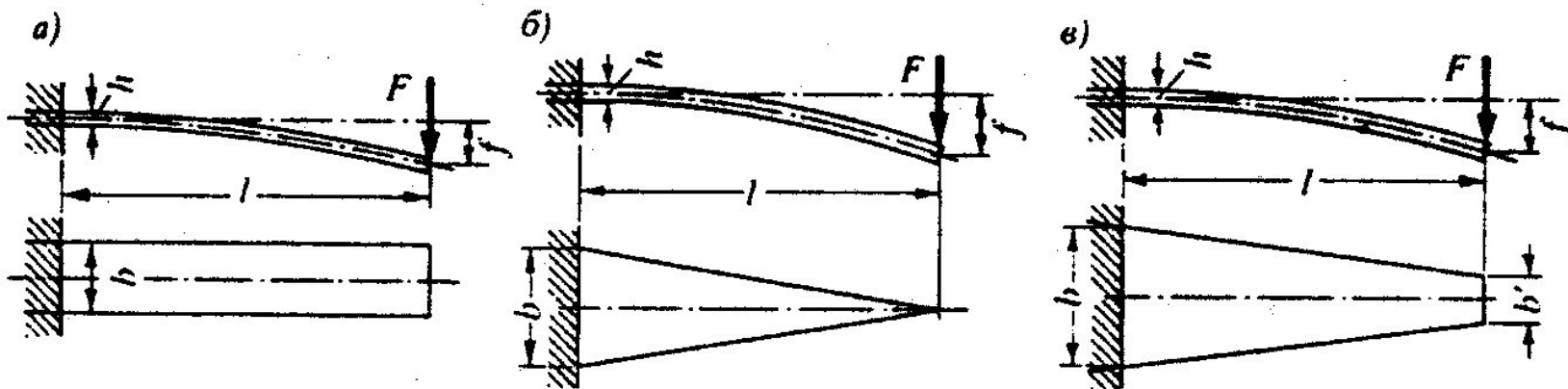
Za kombinovanu redno-paralelnu vezu opruga sa slike:



krutost ovakvog sistema opruga je:
$$\frac{1}{c_u} = \frac{1}{c_1 + c_2} + \frac{1}{c_3}$$

Lisnate opruge

Jednostavne pravougaone lisnate opruge mogu se predstaviti kao konzola opterećena na slobodnom kraju silom F koja izaziva ugib f na slobodnom kraju:

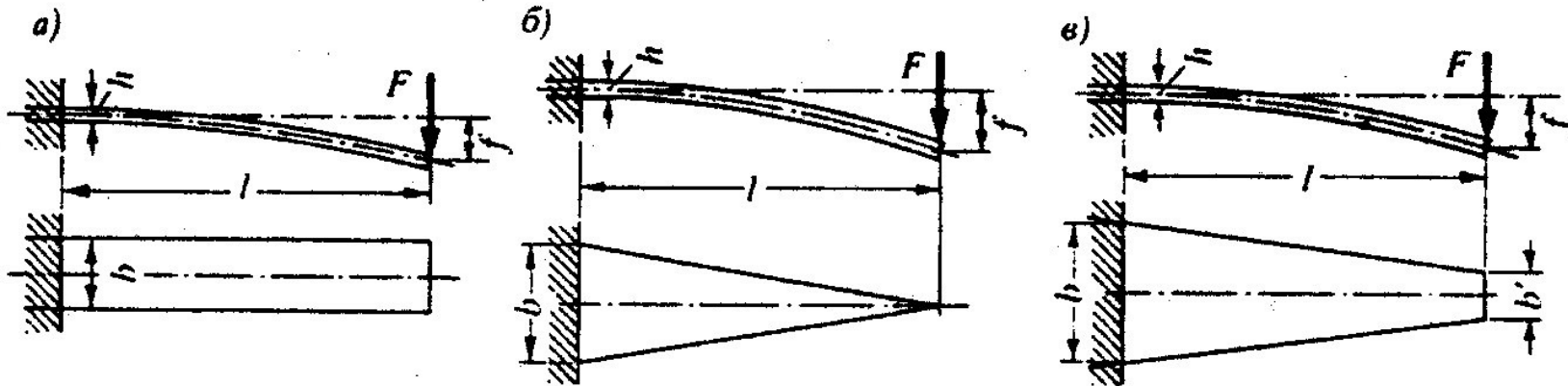


Lisnate opruge

Proračun lisnatih opruga sastoji se u proveru napona savijanja u uklještenju opruge:

$$\sigma_f = \frac{M}{W} = \frac{6Fl}{bh^2} \leq \sigma_{fdoz}$$

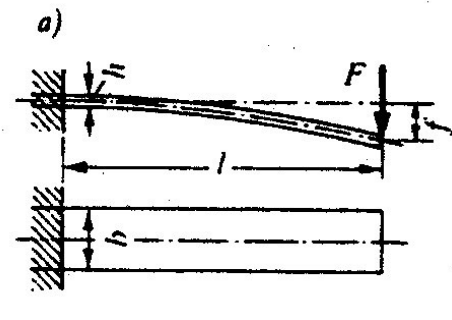
odakle sledi maksimalno opterećenje opruge: $F_{max} = \frac{bh^2}{6l} \sigma_{fdoz}$



Lisnate opruge

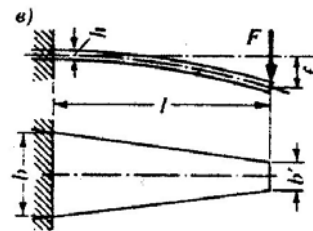
Deformacija opruge, tj. ugib na kraju konzole za lisnatu oprugu konstantnog poprečnog preseka iznosi:

$$f = \frac{Fl^3}{3EI} = 4 \frac{l^3}{bh^3} \frac{F}{E}$$



Deformacija opruge, tj. ugib na kraju konzole za oprugu trapeznog poprečnog preseka iznosi:

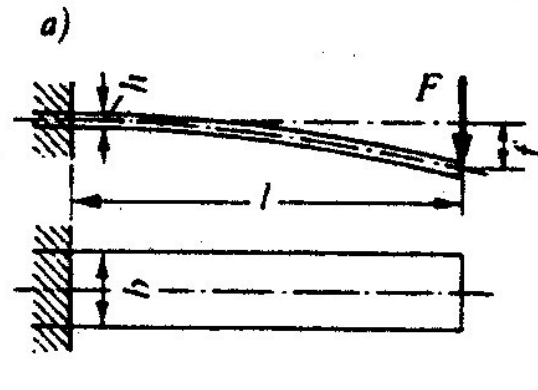
$$f = 4 \frac{3}{2 + \frac{b'}{b}} \frac{l^3}{bh^3} \frac{F}{E}$$



Lisnate opruge

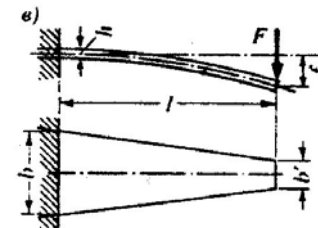
Maksimalni ugibi opruga dobijaju se za opterećenje F_{\max} i iznose:
za oprugu konstantnog poprečnog preseka

$$f_{\max} = \frac{2 l^2 \sigma_{fdoz}}{3 h E}$$



za oprugu trapeznog poprečnog preseka

$$f_{\max} = \frac{2}{3} \frac{3}{2 + \frac{b'}{b}} \frac{l^2 \sigma_{fdoz}}{h E}$$



Opruge kao funkcionalni elementi

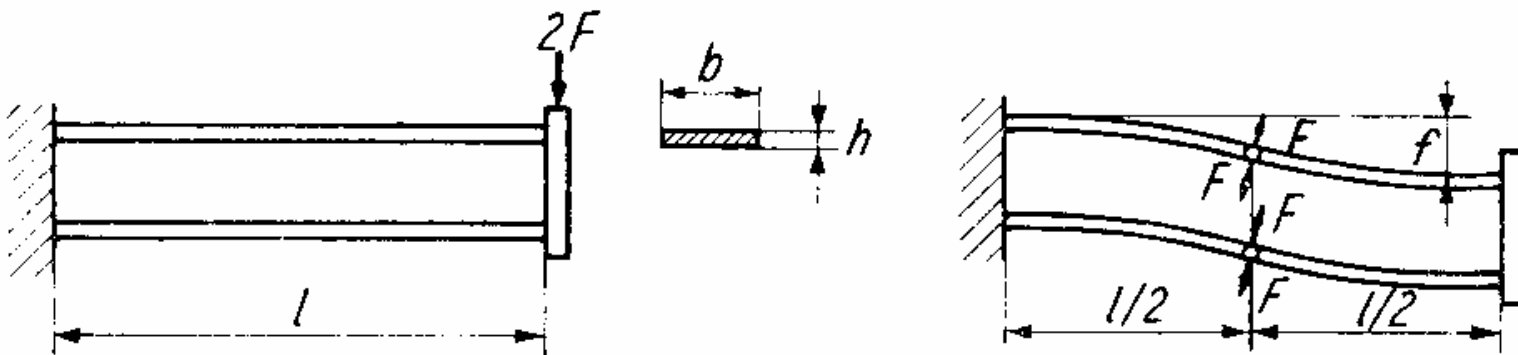
Lisnate opruge

Maksimalni deformacioni rad lisnatih opruga iznosi:

$$A_{\max} = \frac{F_{\max} f_{\max}}{2}$$

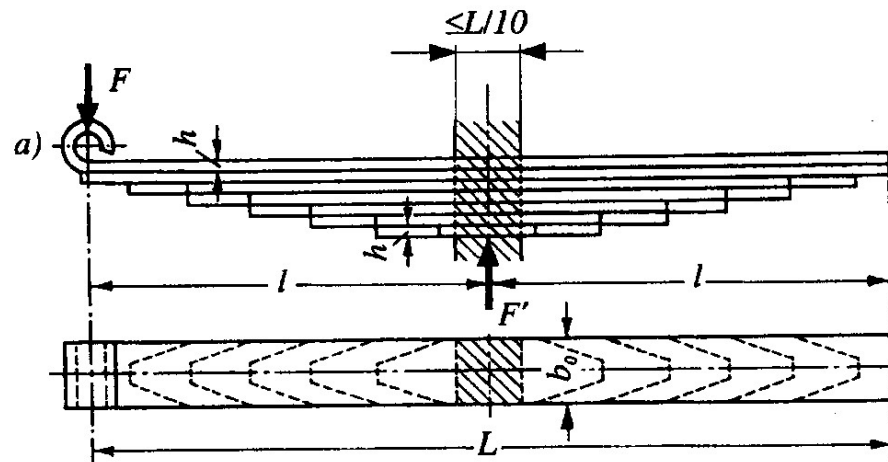
Lisnate opruge

Paralelne lisnate opruge:



Gibnjevi

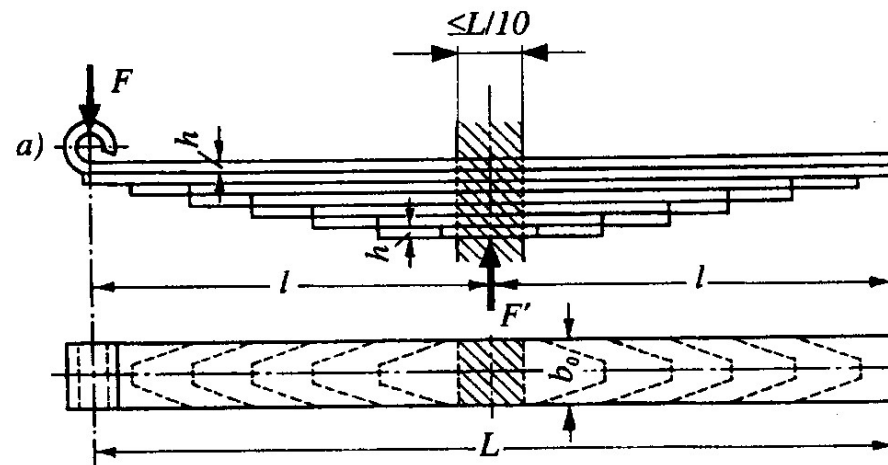
Veći broj lisnatih opruga trapeznog oblika povezanih u jednu celinu čine gibanj. Naime, za veća opterećenja i veće deformacije pojedinačne lisnate opruge ne mogu da zadovolje konstruktione zahteve. Lisnate opruge iste širine, ali različite dužine tako su povezane da je list najveće dužine postavljen sa gornje strane i najčešće ima savijene krajeve (za šinska vozila).



Opruge kao funkcionalni elementi

Gibnjevi

Ispod ovog lista nalazi se još jedan list iste dužine, a ostali kraći listovi prema svojoj dužini poređani su ispod i na sredini povezani najčešće zavrtnjevima. Gibnjevi se najčešće primenjuju kod teretnih, putničkih i šinskih vozila.



Gibnjevi

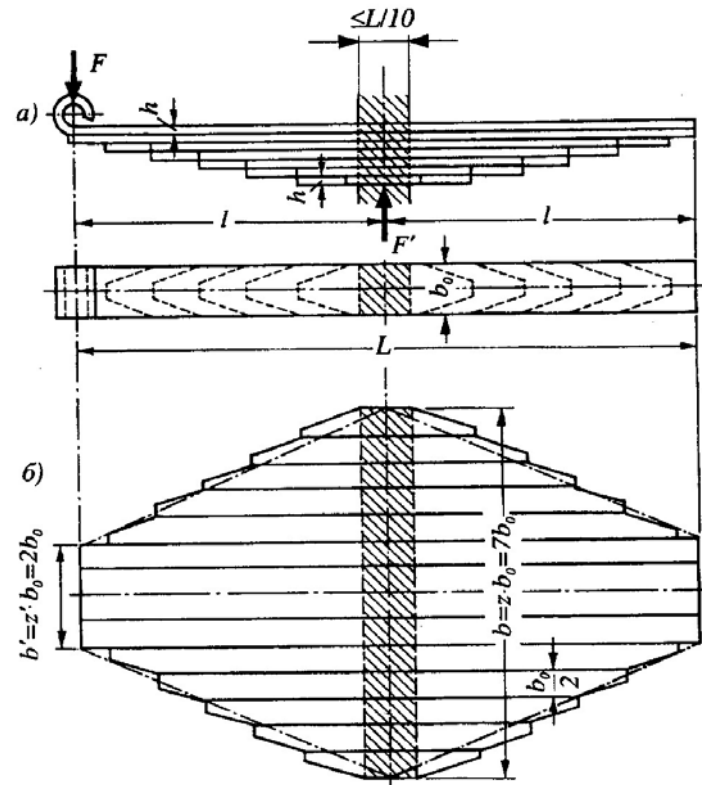
Kada se listovi gibnja poređaju jedan pored drugog, onda se dobija dvostruka konzola trapeznog oblika, jer je gibanj uklješten na sredini. Ugib gibnja iznosi:

$$f = 4 \frac{3}{2 + \frac{z'}{z}} \frac{l^3}{bh^3} \frac{F}{E}$$

$$f_{\max} = \frac{2}{3} \frac{3}{2 + \frac{z'}{z}} \frac{l^2}{h} \frac{\sigma_{fdoz}}{E}$$

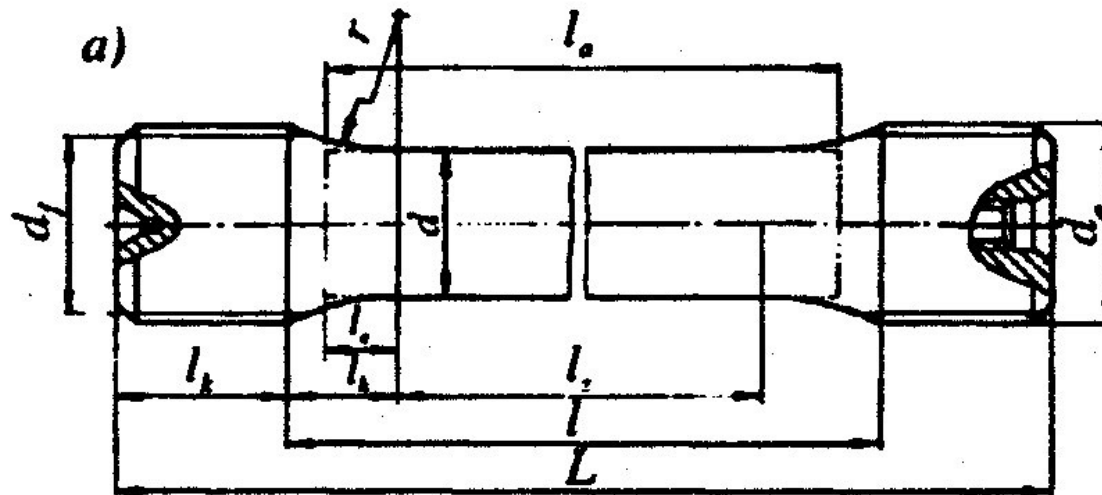
z – ukupan broj listova

z' – broj listova iste dužine



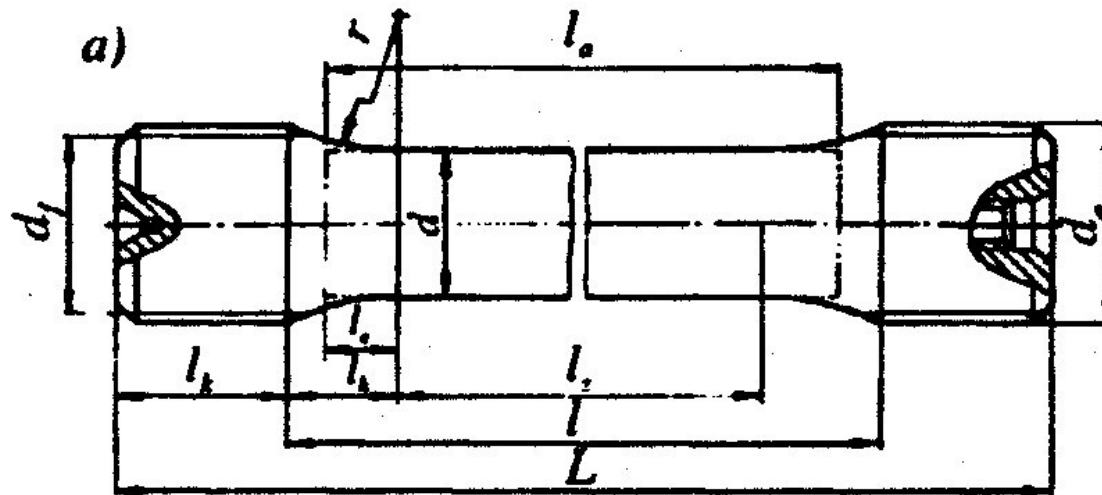
Proste torziona opruge

Proste torziona opruge su najčešće okrugli štapovi sa kvalitetnom površinskom obradom, izrađeni od toplo valjanog čelika za poboljšanje predviđenog za torziona naprezanja (Č4830, 50CrV4). Jedan kraj ovakvog štapa je fiksiran, dok je drugi tako uležišten da može da se okreće oko svoje ose.



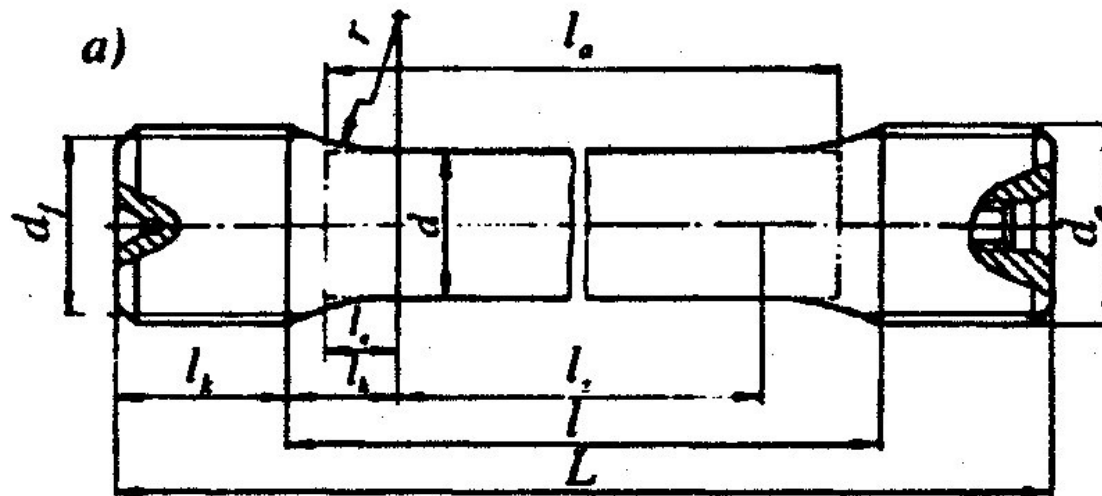
Proste torziona opruge

Ako na slobodni kraj štapa deluje moment uvijanja T , onda dolazi do njegovog elastičnog uvijanja na aktivnoj dužini l_a prečnika d . Radi smanjenja koncentracije napona i iskorišćenja materijala prelaz između krajeva i aktivnog radnog dela štapa se izvodi preko odgovarajućih prelaznih zaobljenja.



Proste torziona opruge

Proste torziona opruge primenjuju se kod elastičnih spojnika, kao noseće opruge kod teretnih vozila, kao i za merenje obrtnog momenta kod dinamometarskih ključeva. Nedostatak ovih opruga je što zbog svoje dužine zahtevaju prostor za ugradnju.



Proste torzione opruge

Proračun statički opterećenih prostih torzionih opruga sastoji se u proveru tangentskih napona uvijanja:

$$\tau_u = \frac{T}{W_p} = \frac{16T}{\pi d^3} \leq \tau_{udoz}$$

Za materijale čija je zatezna čvrstoća: $1600 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < R_m < 1800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

dozvoljeni statički napon uvijanja:

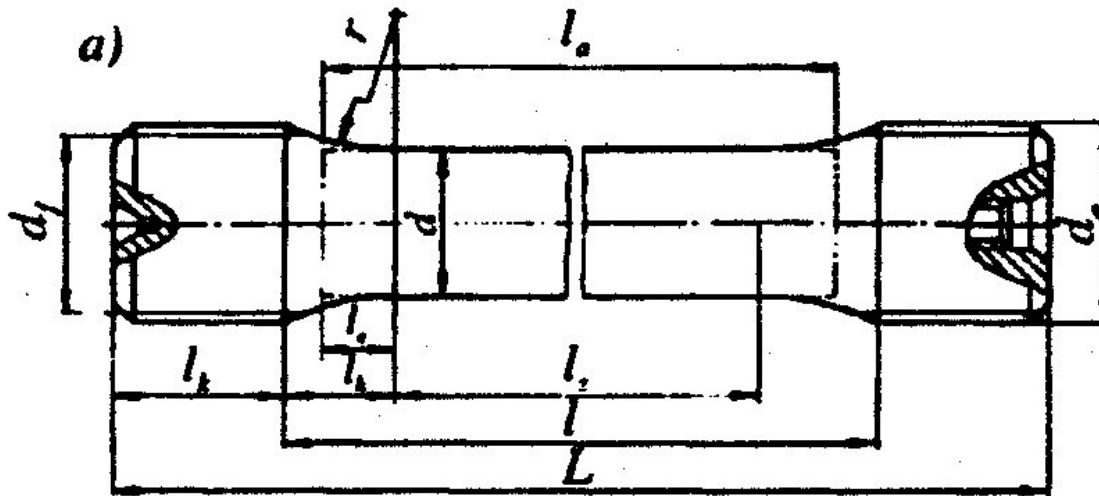
za opruge bez prednaprezanja: $\tau_{udoz} = 700 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

za opruge sa prednaprezanjem: $\tau_{udoz} = 1020 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Proste torziona opruge

Kod dinamički opterećenih prostih torzionih opruga torzioni moment menja se u granicama $\Delta T = T_2 - T_1$, pa je za proračun merodavan napon τ_h koji treba da bude manji od dinamičke izdržljivosti τ_H :

$$\tau_h = \frac{16\Delta T}{\pi d^3} \leq \tau_H$$

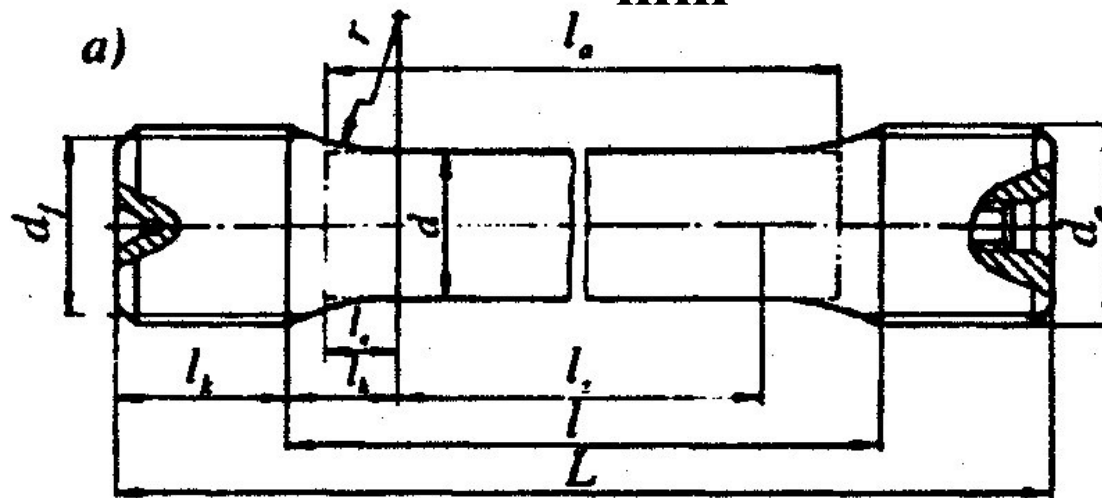


Proste torziona opruge

Ugao deformacije: $\psi = \frac{Tl_a}{I_p G}$

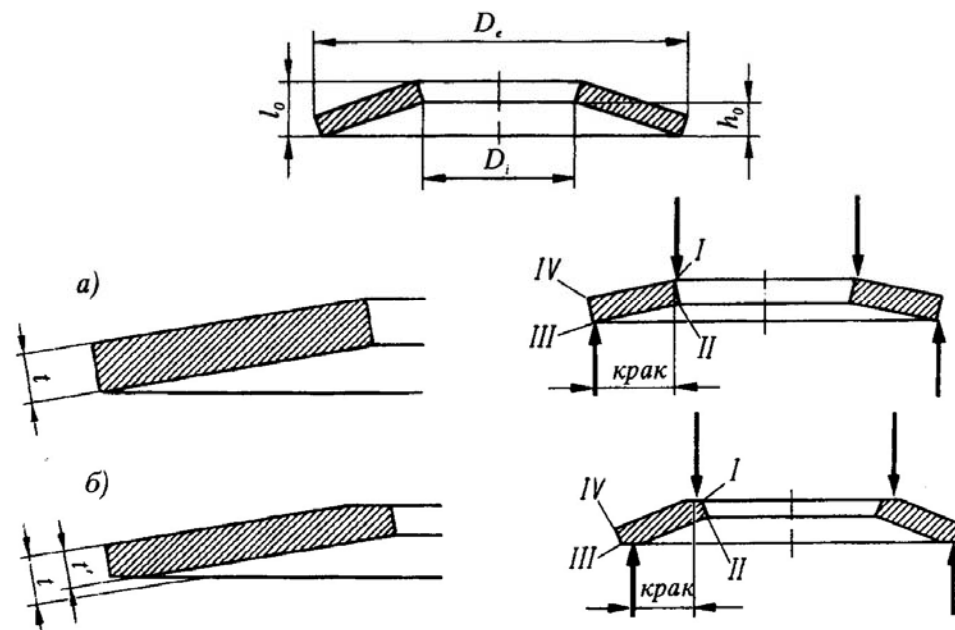
$$I_p = \frac{d^4 \pi}{32}$$

$$G = 78500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$



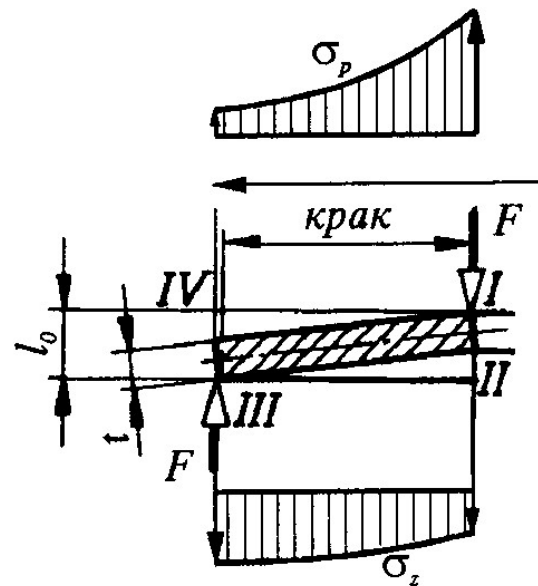
Tanjiraste opruge

Tanjiraste opruge su konusnog oblika (konusne ljuske), koje se najčešće koriste kao slogovi (paketi) sastavljeni od većeg broja opruga istih prečnika.



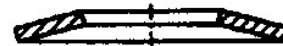
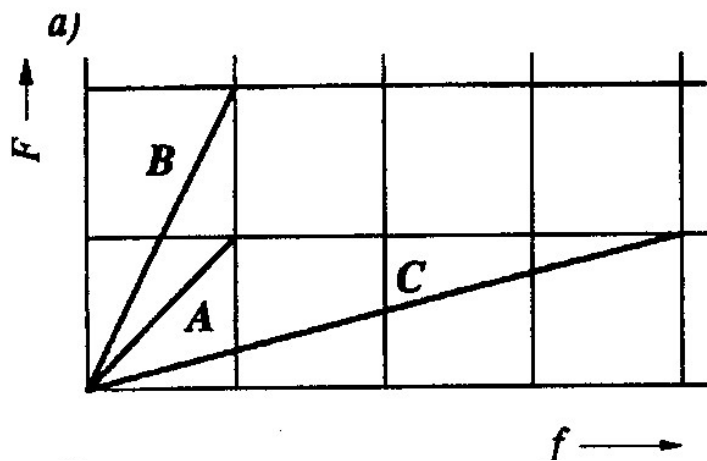
Tanjiraste opruge

Primenjuju se kod statičkih i jednosmerno promenljivih opterećenja. Opterećenje se prenosi po spoljašnjem i unutrašnjem obimu ljuske i dovodi do složenog naponskog stanja, gde dominiraju normalni naponi savijanja.

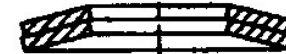


Tanjiraste opruge

Karakteristike tanjirastih opruga kod pojedinačne primene, u paketu i u slogu



A



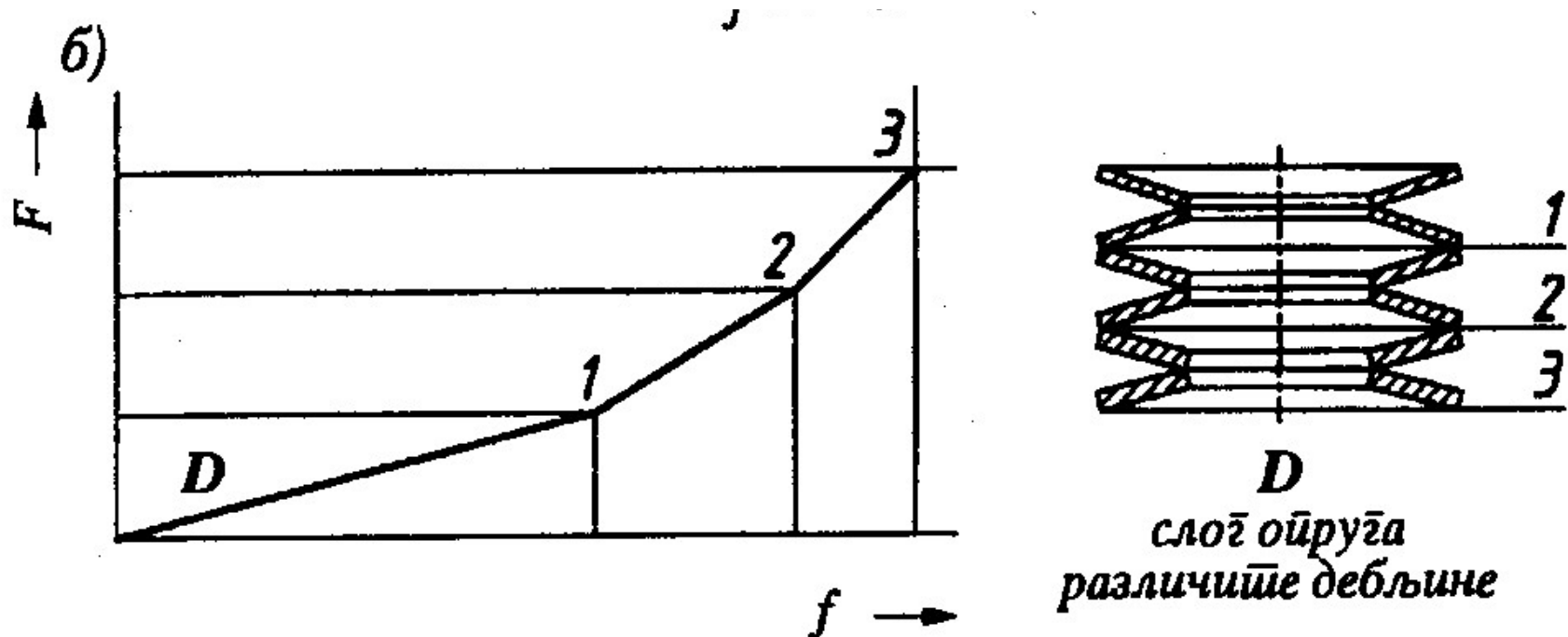
B
їакейї
ойруїа



C
слоїї
ойруїа

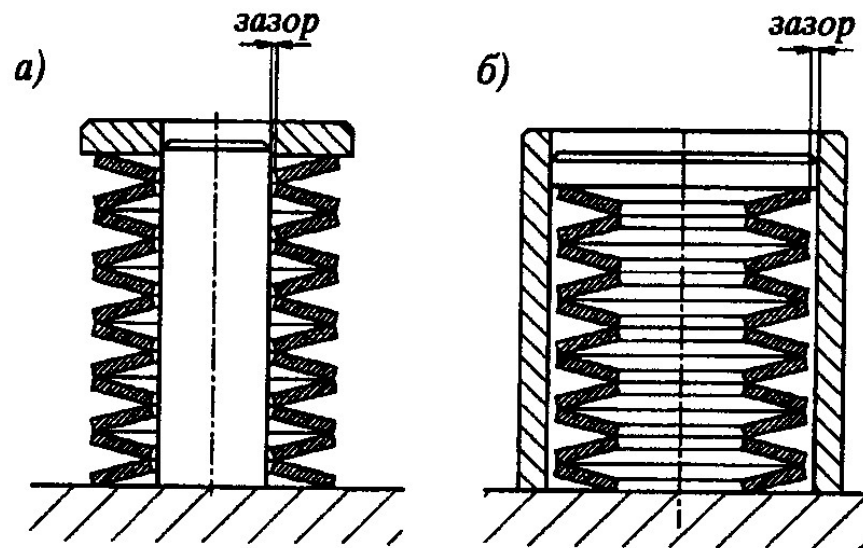
Tanjiraste opruge

Slog tanjirastih opruga različite debljine sa progresivnom karakteristikom



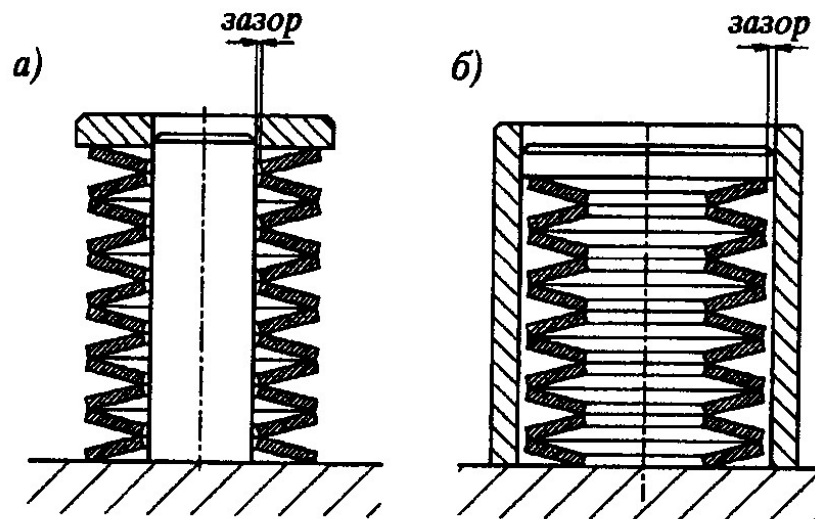
Tanjiraste opruge

Slogovi tanjirastih opruga mogu imati unutrašnje vođenje (sa osovinicom) ili spoljašnje vođenje (unutar cilindra). Pogodnije je unutrašnje vođenje.



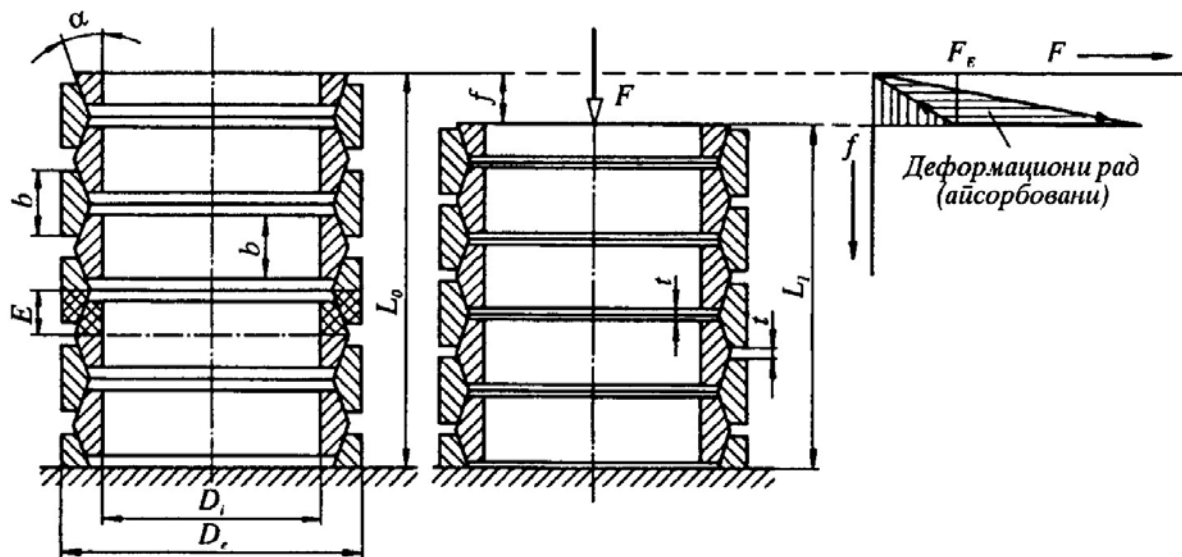
Tanjiraste opruge

Osovinica za vođenje i dodirne površine tanjirastih opruga trebaju biti cementirani i brušeni. Prva i poslednja tanjirasta opruga u slogu treba biti sa poravnatim ivicama, radi dobijanja dovoljne površine za prenošenje opterećenja.



Prstenaste opruge

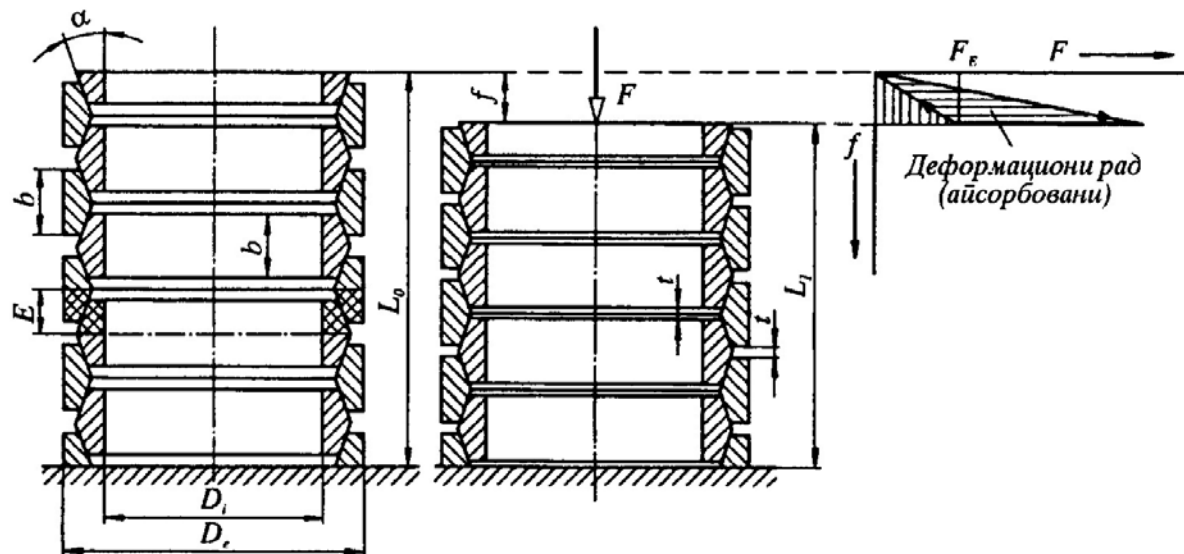
Opterećenje kod ovih opruga je ravnomerno po celoj dužini, tako da je ovde iskorišćenje materijala veoma povoljno, odnosno s obzirom na opterećenje koje prenose, ovo su opruge veoma kompaktne konstrukcije.



Opruge kao funkcionalni elementi

Prstenaste opruge

Prstenasta opruga sastoji se od zatvorenih spoljašnjih i unutrašnjih prstenova sa duplim konusnim površinama koje klize jedna po drugoj. Aksijalna pritisna sila preko konusnih dodirnih površina prstenova napreže spoljašnje prstenove na zatezanje, a unutrašnje na pritisak.



Opruge kao funkcionalni elementi

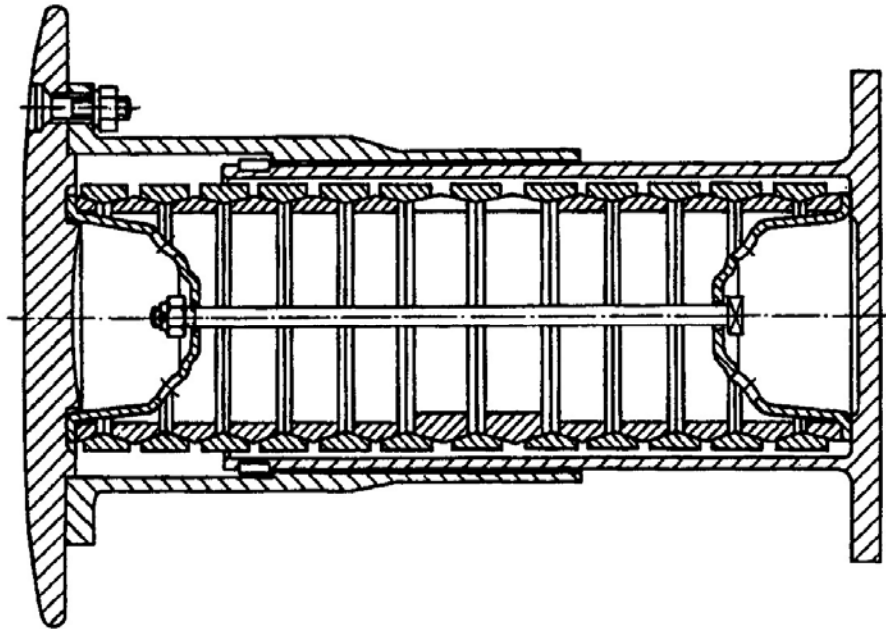
Prstenaste opruge

Prstenasta opruga ima znatno prigušenje, tako da je sila rasterećenja 3 puta manja od sile opterećenja. Zbog prigušenja znatan deo mehaničke energije pretvara se u toplotu (i do 70% kod dobrog podmazivanja dodirnih površina).



Prstenaste opruge

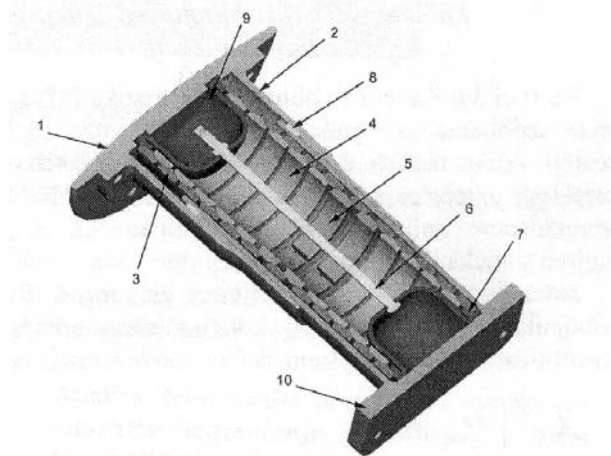
Zbog toga se ove opruge koriste kao amortizeri udara kod odbojnika železničkih vozila, kod teških presa, čekića i raznih alata, gde je neophodan prijem visoke energije na malom prostoru.



Opruge kao funkcionalni elementi

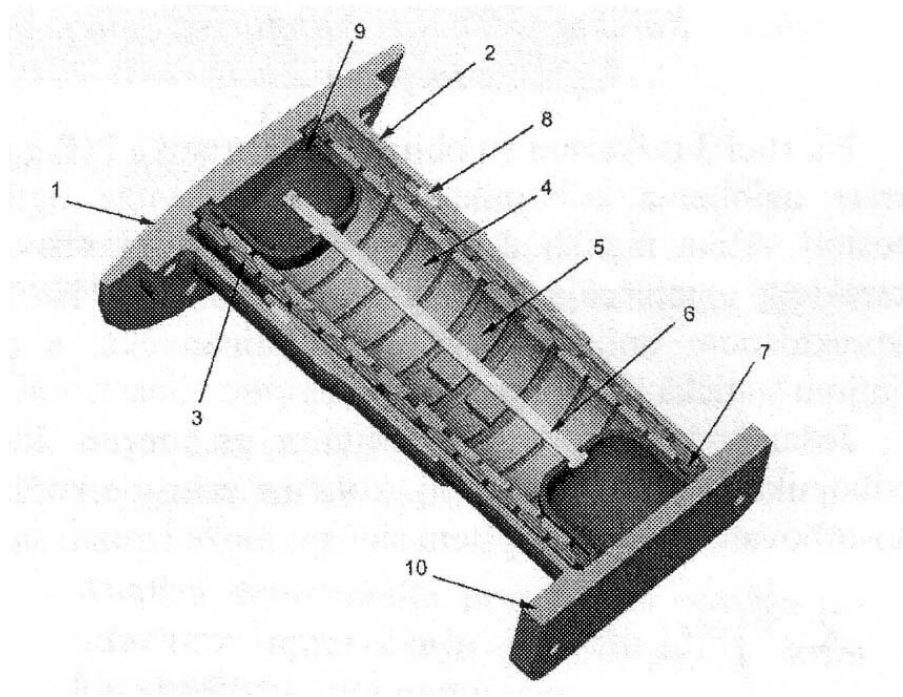
Funkcije odbojnika kod železničkih vozila

- za međusobno povezivanje vagona i vagona sa lokomotivom,
- za održavanje određenog rastojanja između vozila u vozila u VOZU,
- za predaju i smanjenje intenziteta vučnih i odbojnih sila, koje se javljaju kod vuče vozova ili kod manevrisanja kolima.



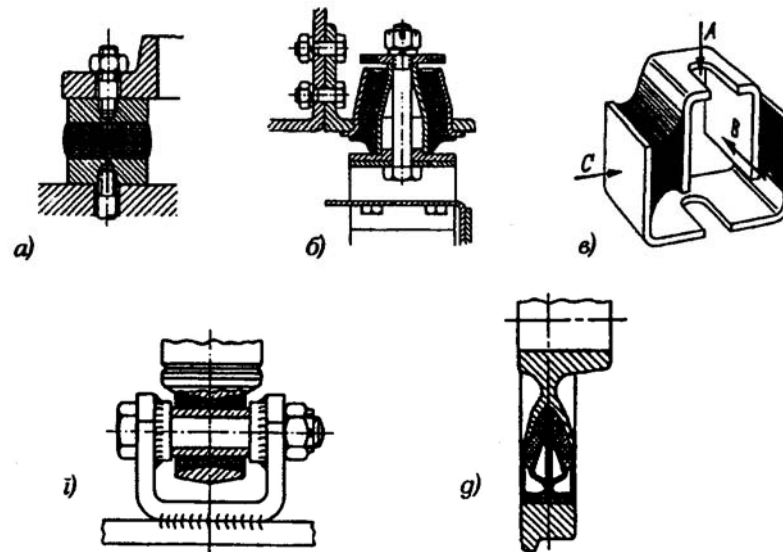
Opruge kao funkcionalni elementi

Odbojnici sa prstenastom oprugom



Gumeni elastični elementi

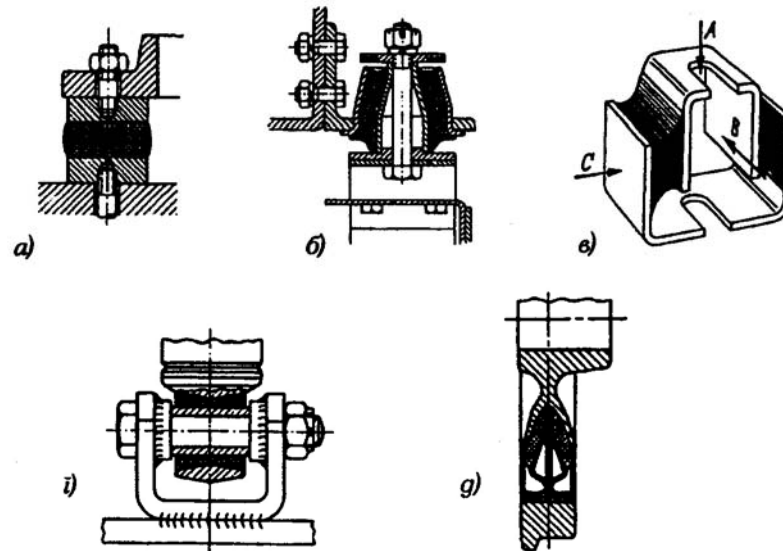
Primenjuju se prvenstveno kao elastični spojevi za prigušenje udarnih i vibracionih opterećenja. Gumeni elastični elementi se konstrukciono izvode tako što se metalna ploča ili prsten, odnosno metalna cev spaja sa gumom. Takvi delovi u radu su napregnuti na pristisak i smicanje, odnosno uvijanje.



Opruge kao funkcionalni elementi

Gumeni elastični elementi

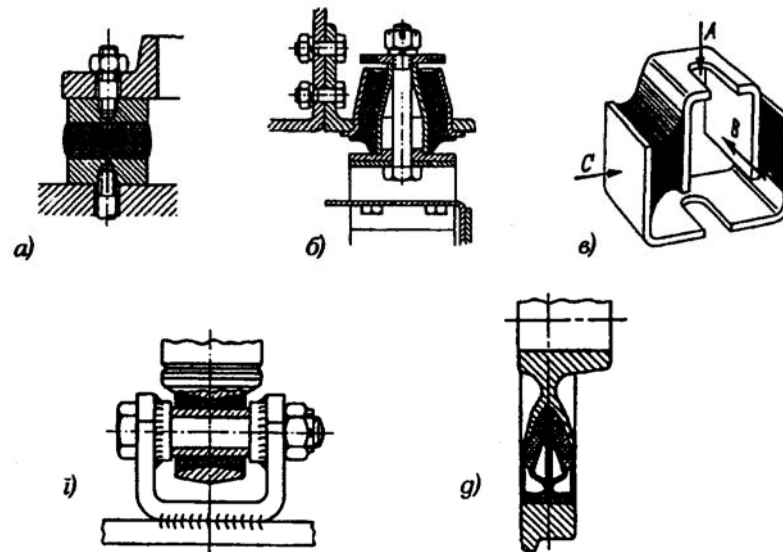
Osnovna svojstva gume koja se koristi za elastične elemente su tvrdoća, čvrstoća, elastičnost, prigušenje, postojanost na temperaturi, postojanost u odnosu na starenje, otpornost u odnosu na ulje, benzin i sl.



Opruge kao funkcionalni elementi

Gumeni elastični elementi

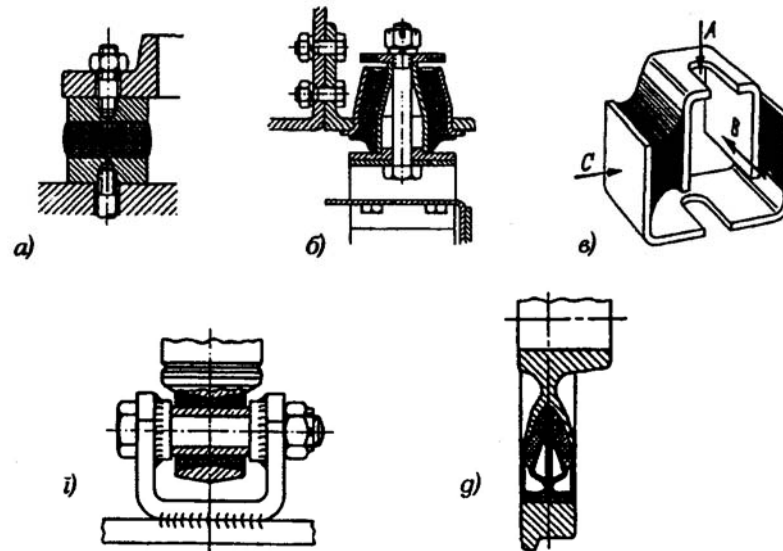
Od velikog značaja za praktičnu primenu je spoj gume sa čeličnim delovima preko kojih se elastični elementi opterećuju. Spoj se ostvaruje procesom vulkanizacije preko odgovarajućih metalnih površina, koje često svojim reljefnim oblikom zalaze u gumu.



Opruge kao funkcionalni elementi

Gumeni elastični elementi

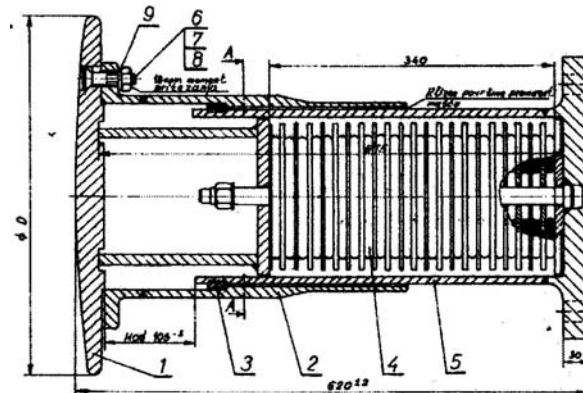
Gumeni elastični elementi primenjuju se za prigušenje udarnih i vibracionih opterećenja i smanjenje buke, pre svega kod vešanja motora kod motornih vozila, kao elastični oslonci i spojevi kod mašina, kao elastični elementi kod spojnika itd.



Opruge kao funkcionalni elementi

Odbojnici sa metalogumenom oprugom

Gumeno-metalni elementi su konstruktivni delovi koji se izrađuju od prirodnih i sintetičkih kaučuka u spoju sa metalnim nosačima. U njima su sadržane prednosti oba sastavna elementa: **visoke sposobnosti ugiba i amortizacije gume** i **velika površinska opterećenja** koja podnosi **metalni deo**. Upravo takvi zahtevi se postavljaju kod ogibljenja železničkih vozila (lokomotive, vozovi, manevarska vozila i vagoni).

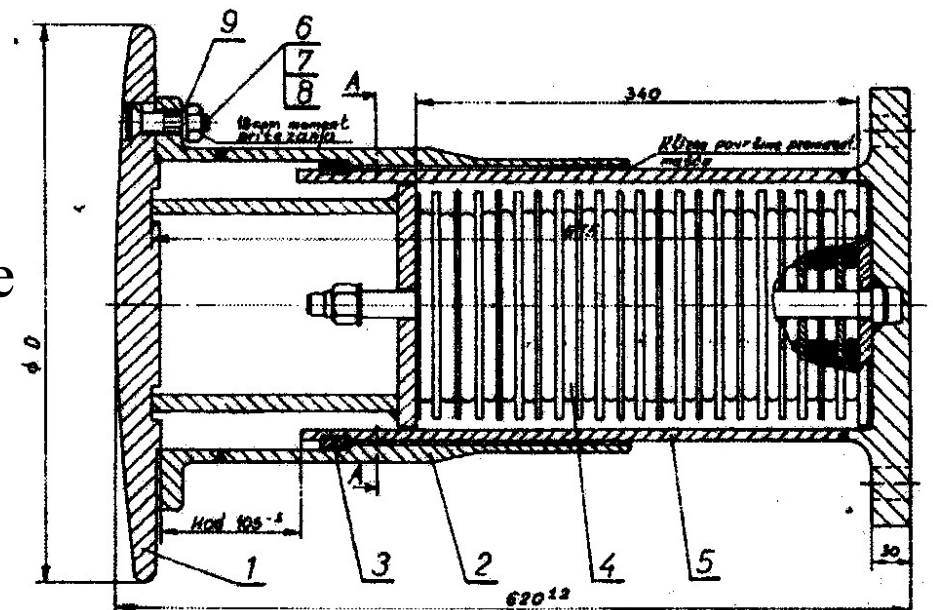


Opruge kao funkcionalni elementi

Odbojnici sa metalogumenom oprugom

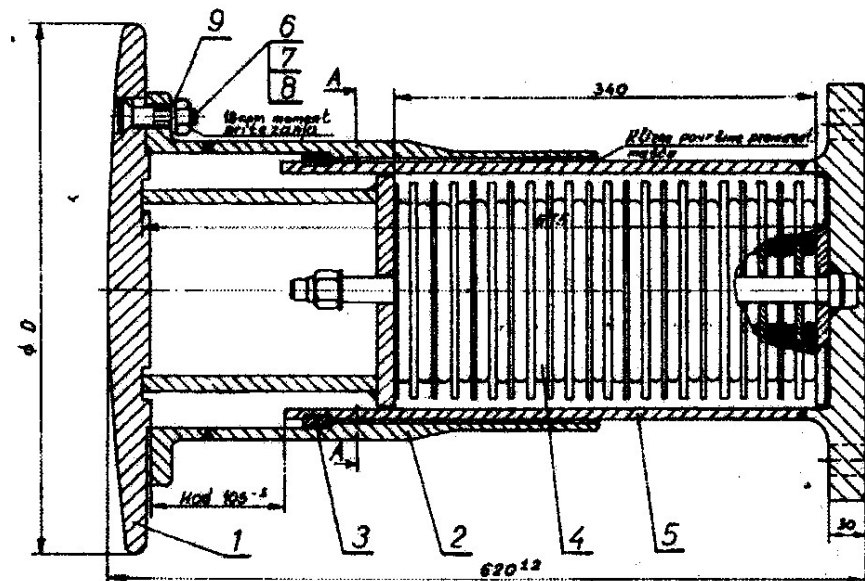
Osnovne prednosti odbojnika sa metalogumenim oprugama u odnosu na odbojnice sa prstenastom oprugom:

- niža cena,
- laka ugradnja,
- nemogućnost blokiranja opruge



Odbojnici sa metalogumenom oprugom

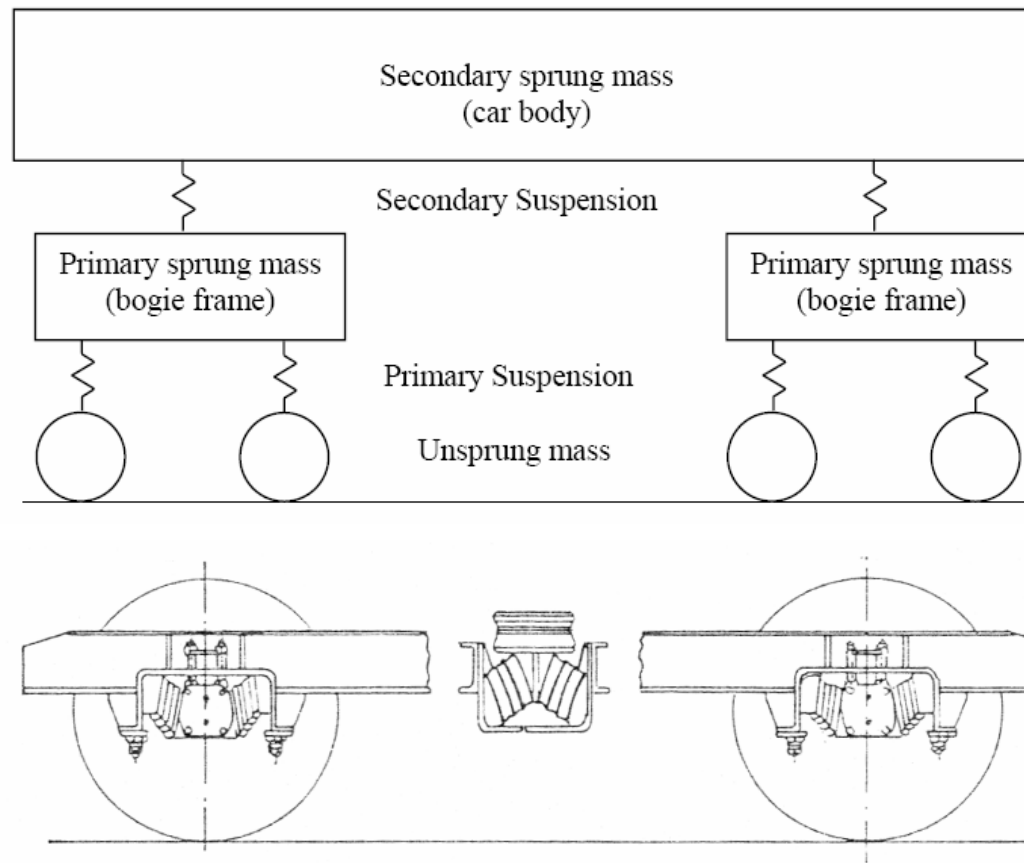
Gumeno-metalni elementi se izrađuju sa metalnim delovima u obliku ploča, prstenova ili čaura, koji se vezuju sa gumom postupcima vulkanizacije ili presovanjem, obezbeđujući pre svega kod ugljeničnih čelika, visoke čvrstoće spoja, uglavnom veće od same čvrstoće gume



Opruge kao funkcionalni elementi

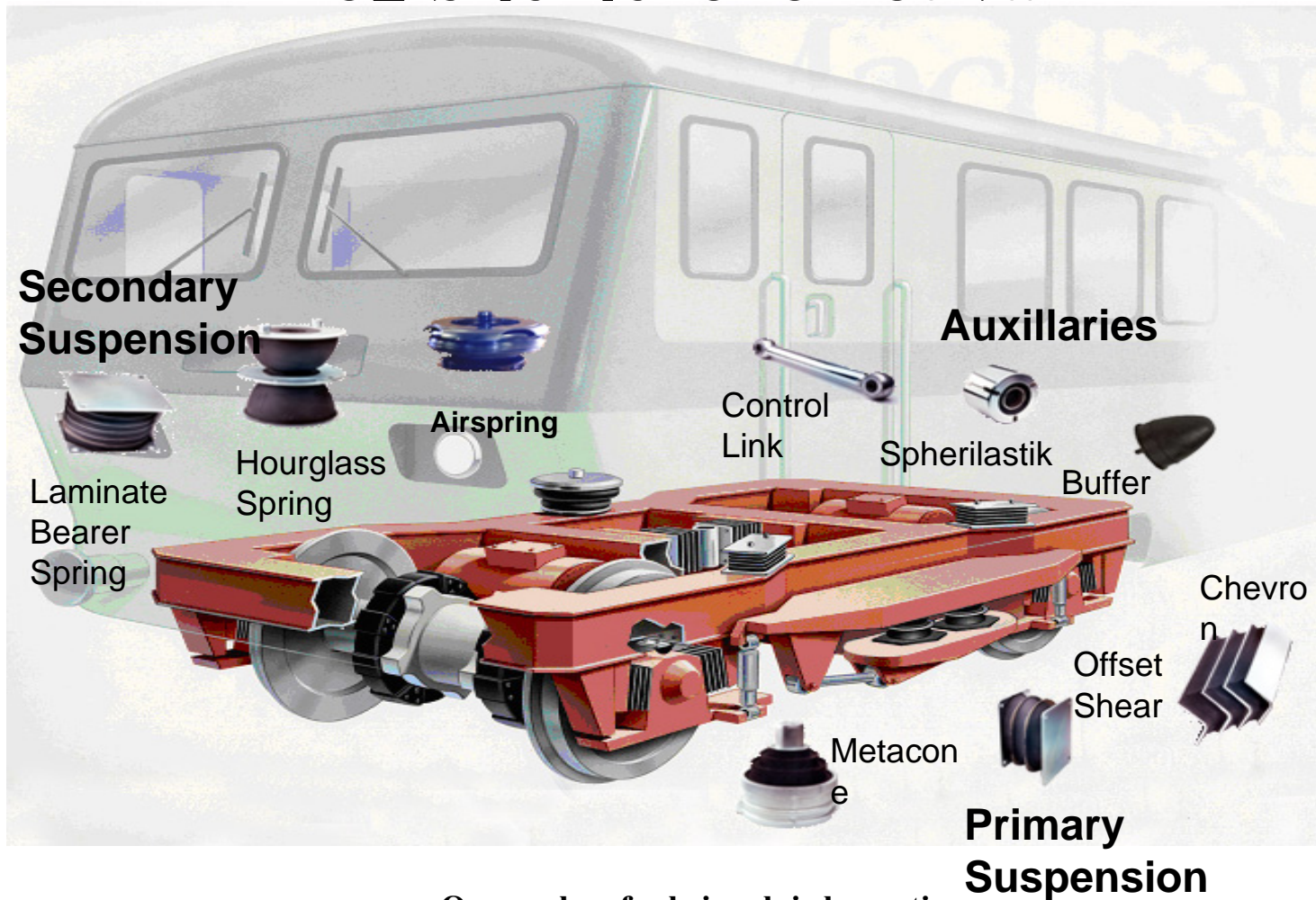


Gumeno-metalni elementi za primarno ogibljenje lokomotiva



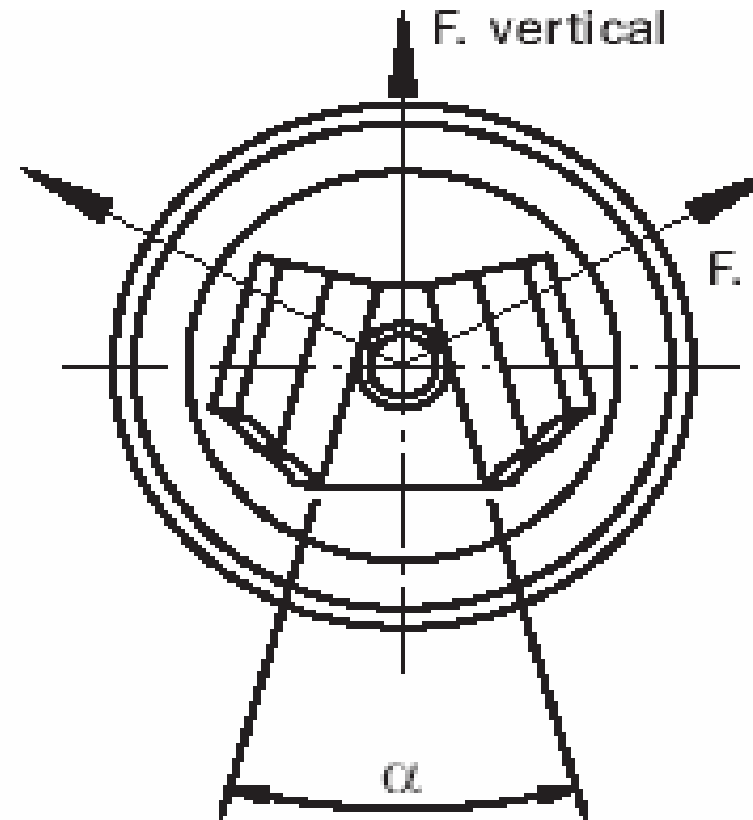
Opruge kao funkcionalni elementi

Gumeno-metalni elementi za primarno ogibljenje lokomotiva

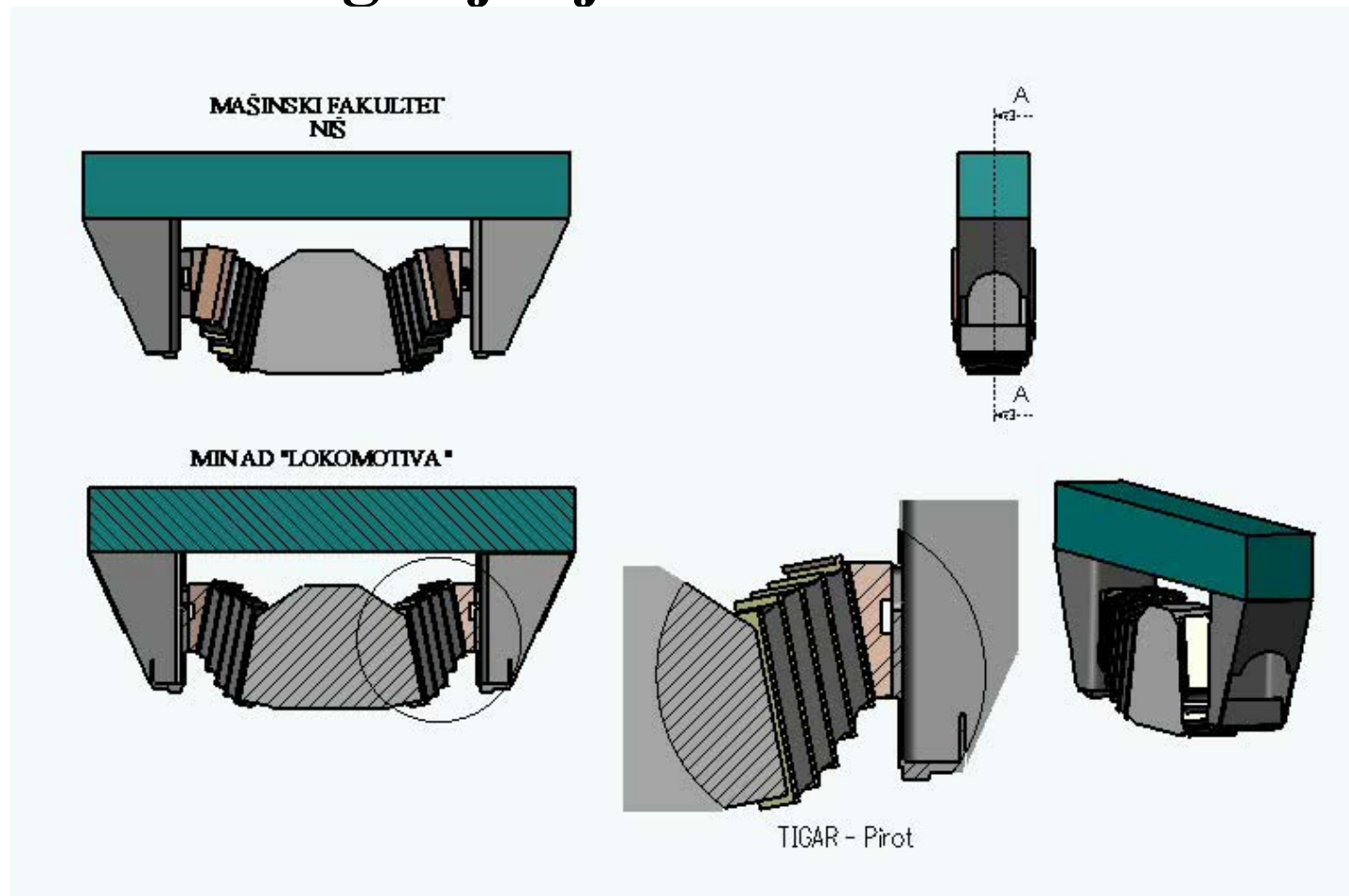


Opruge kao funkcionalni elementi

Gumeno-metalni elementi za primarno ogibljenje lokomotiva

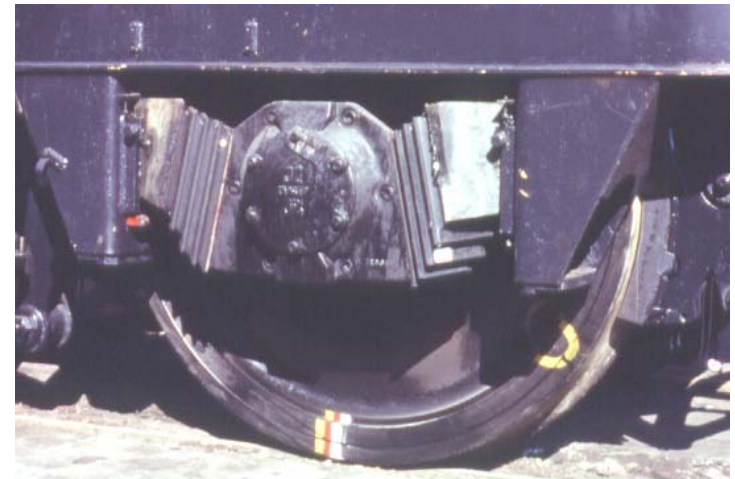
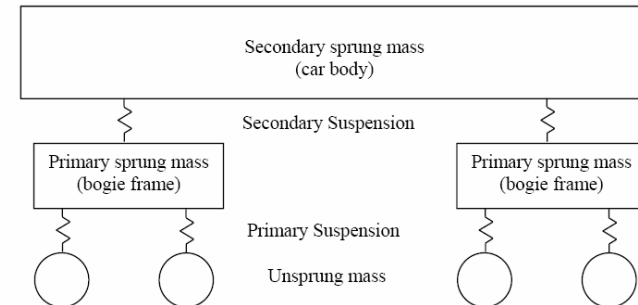
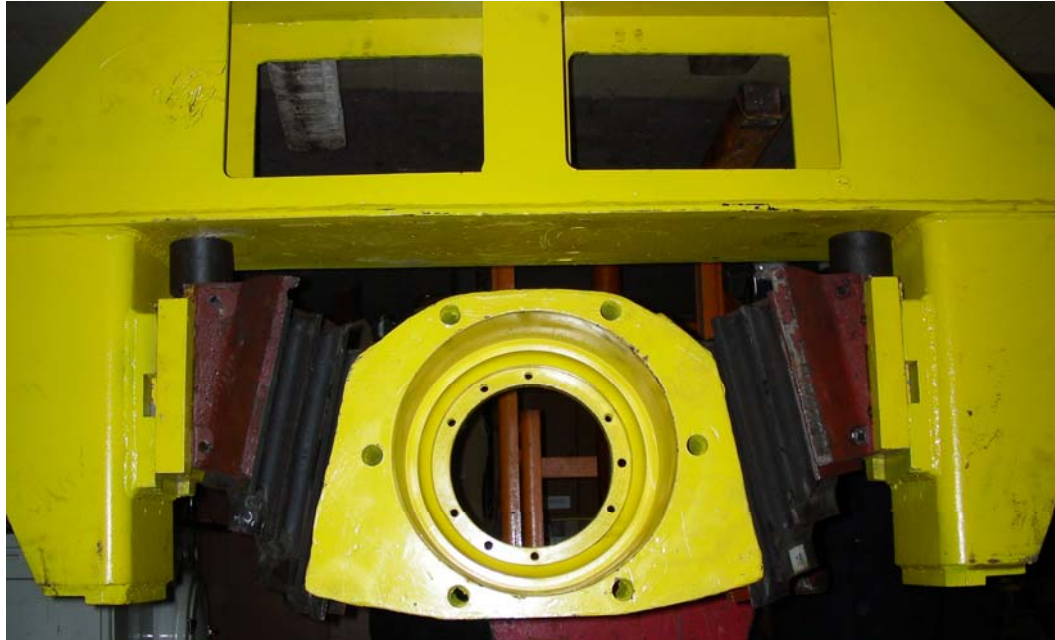


Gumeno-metalni elementi za primarno ogibljenje lokomotiva



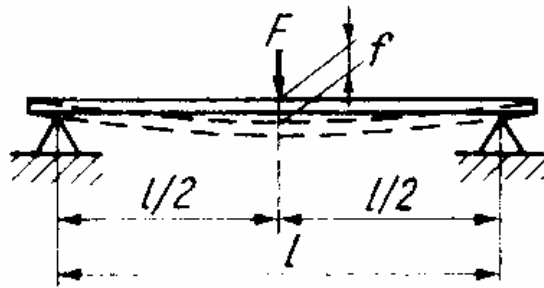
Opruge kao funkcionalni elementi

Gumeno-metalni elementi za primarno ogibljenje lokomotiva



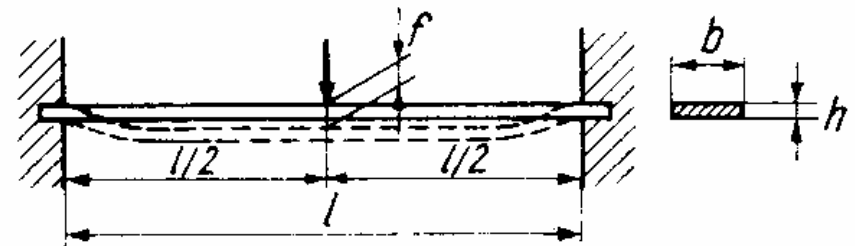
Specijalne opruge

Opruge u obliku grede



a)

Obostrano oslonjena

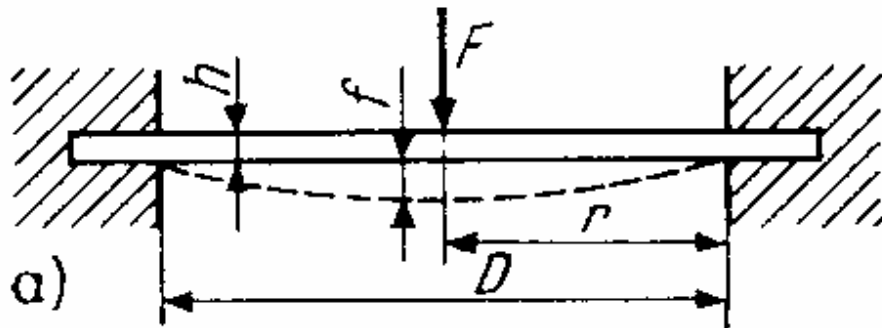


b)

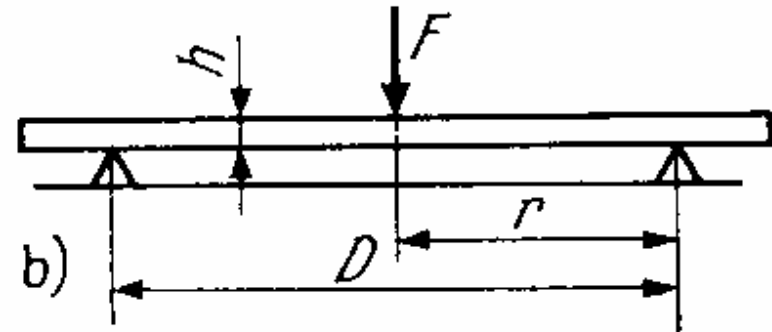
Obostrano uklještena

Specijalne opruge

Opruge u obliku ploče (membranske opruge)



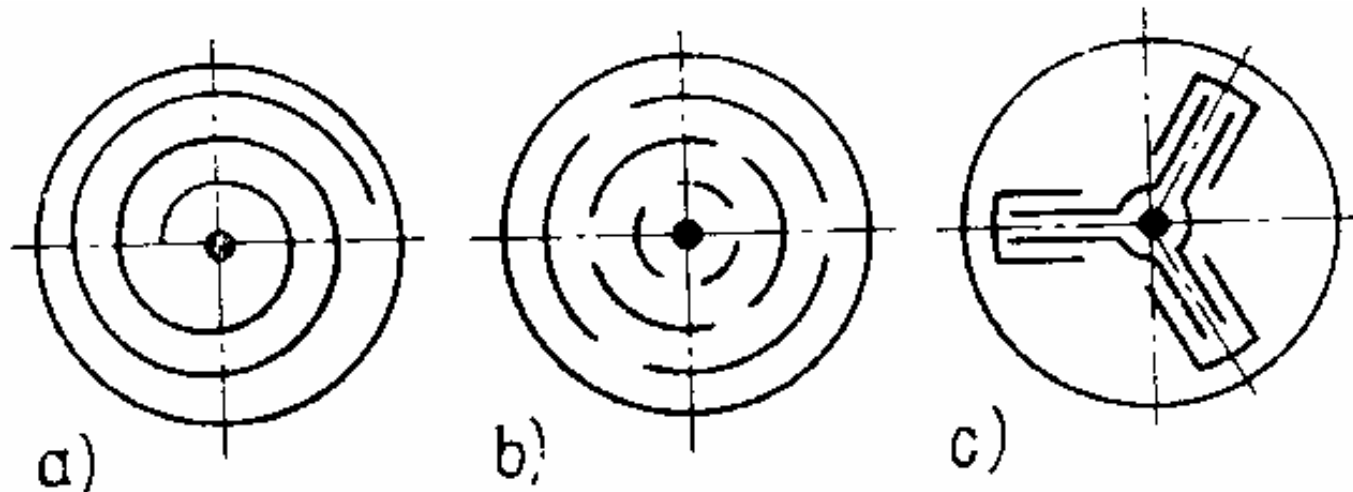
Po obodu uklještena



Po obodu oslonjena

Specijalne opruge

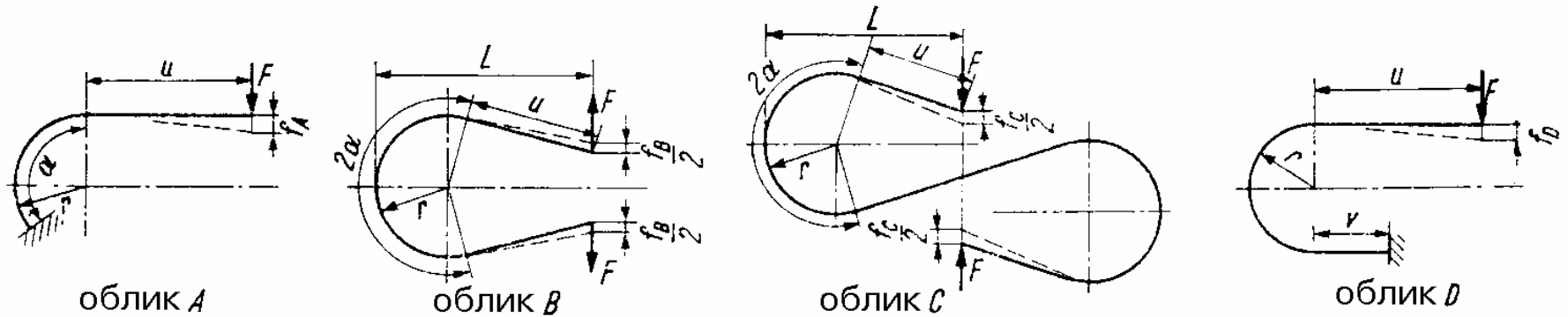
Opruge u obliku ploče (membranske opruge)



Manja krutost opruga se ostvaruje rasecanjem membrane.
Time se ostvaruje veća deformacija opruga.

Specijalne opruge

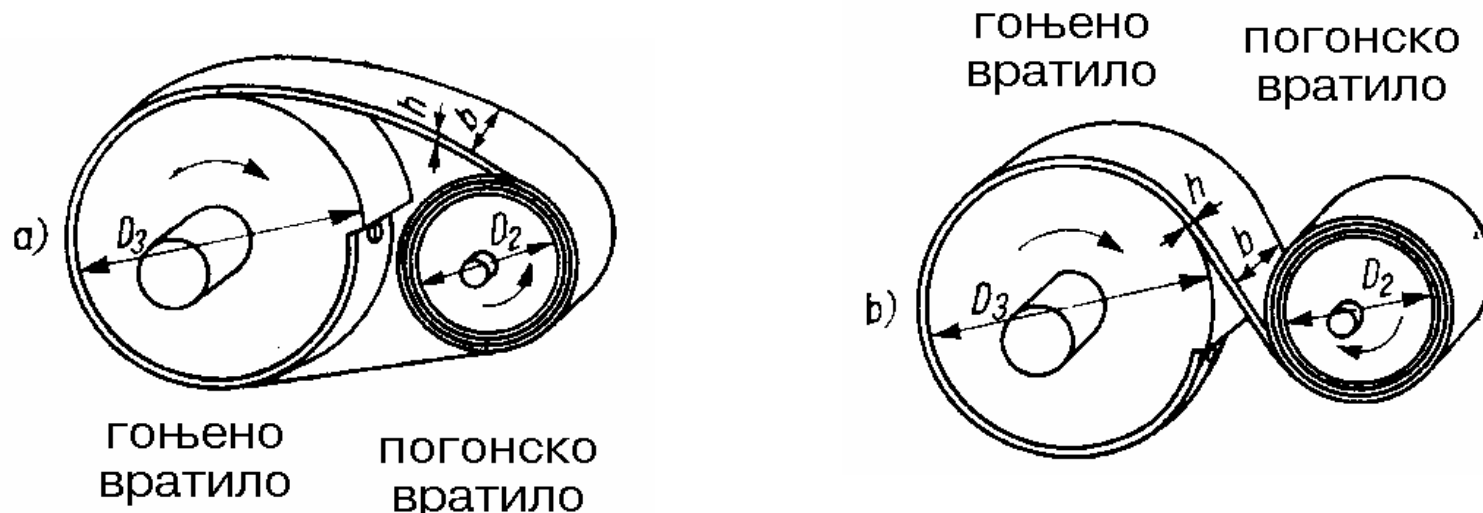
Savijene opruge



Specijalne opruge

Opruge u obliku rolni

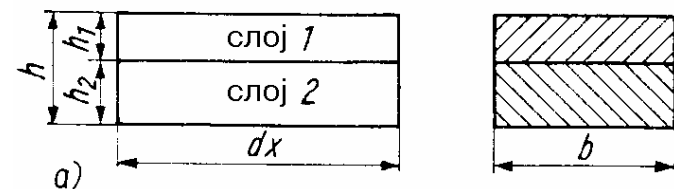
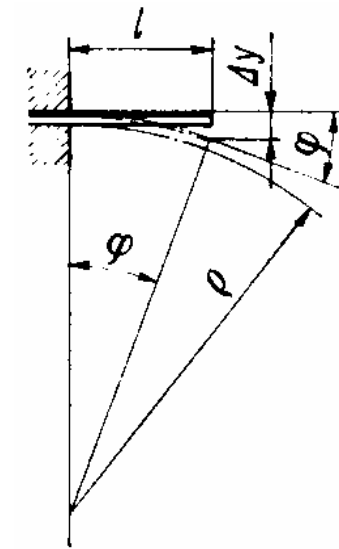
Za akumuliranje i ostvarivanje znatnih obrtnih momenata primenjuju se opruge u obliku rolni, koje su namotane na dva paralelna vratila. Pritom se opružna traka premotava i napreže sa jednog vratila na drugo. Zbog veće deformacije elastičnog elementa, izvođenje na slici b) daje veće obrtne momente.



Specijalne opruge

Bimetalne opruge

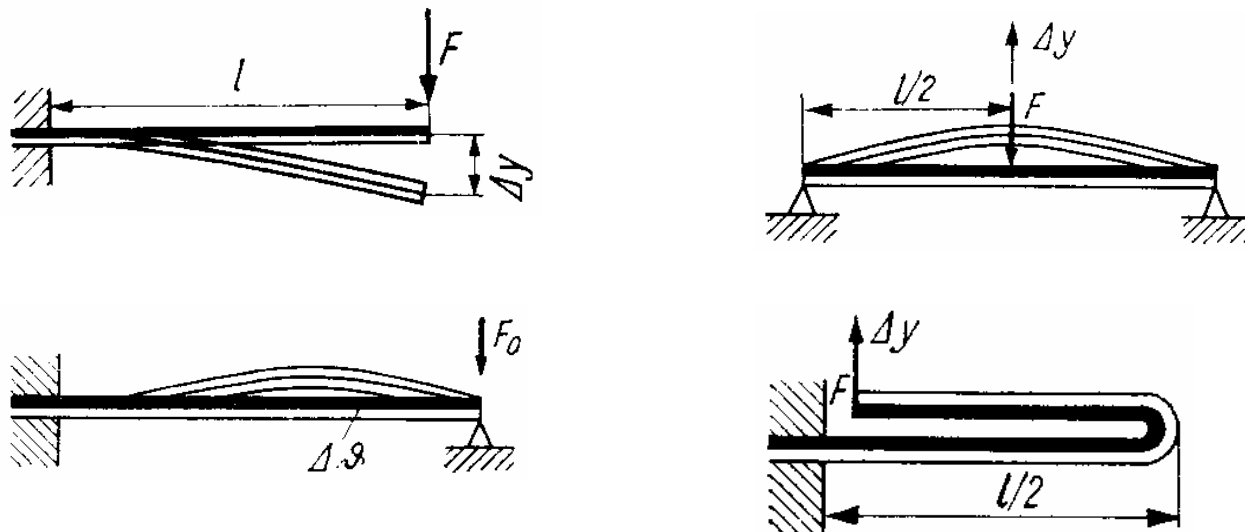
Pod bimetralima se podrazumevaju metalni poluproizvodi u obliku limenih tabli ili traka koji se sastoje iz dva međusobno čvrsto spojena metalna sloja čiji su temperaturni koeficijenti linearnog širenja međusobno različiti. Pri promeni temperature, zbog različitih koeficienata termičkog širenja slojeva, nastaje različito izduženje traka, koje prouzrokuje zakrivljenje bimetalala.



Specijalne opruge

Bimetalne opruge

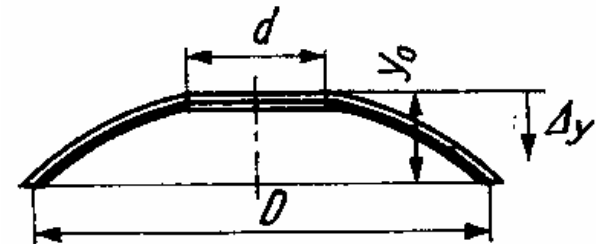
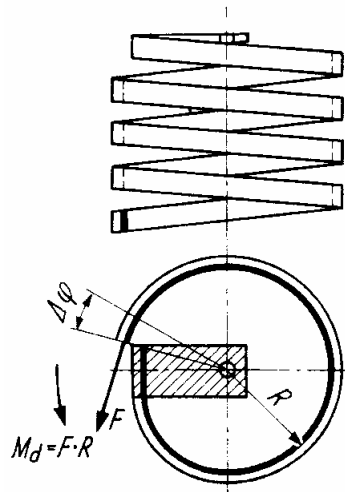
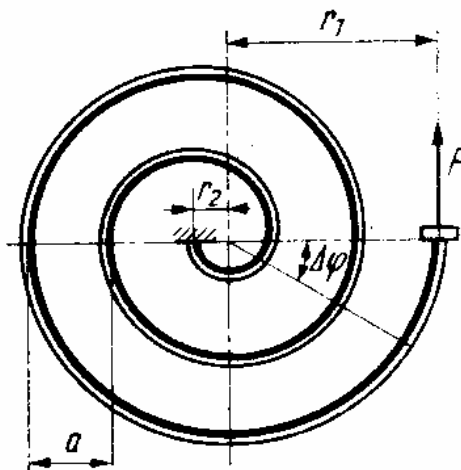
Osnovni zadatak pri konstruisanju bimetalala je ostvarivanje što veće sile potrebne za deformaciju uključno-isključnog elementa ili što većeg ugiba, kao parametra merene temperature, što se može ostvariti različitim načinima oslanjanja bimetalala.



Specijalne opruge

Bimetalne opruge

U cilju smanjenja ugradnog prostora i povećanja izduženja pri datoj temperaturi, umesto prethodno navedenih osnovnih izvođenja, koriste se bimetalne spirale ili bimetalna pločica sa otvorom.

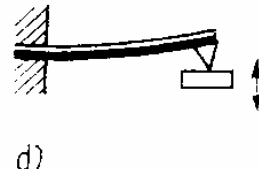
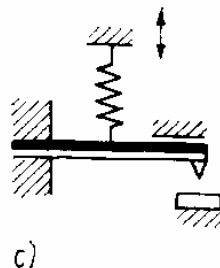
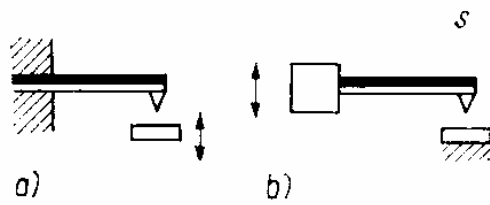


Specijalne opruge

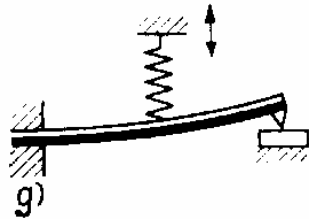
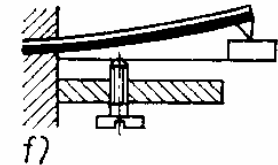
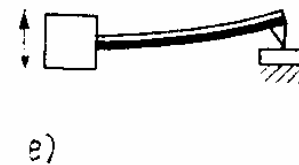
Bimetalne opruge

Primena bimetalnih elemenata za merenje kontinualnih temperaturnih promena predstavlja osnovnu primenu bimetala (bimetalni termometri). Najčešće se bimetali koriste kao uključno-isključni elementi (termoreleji).

мирни контакти



остваривање радног контакта



Specijalne opruge

Bimetalne opruge

U cilju kompenzacije temperature okoline pri merenju termičkog efekta prolaska struje kroz provodnik (zaštitni termoreleji motora), primenjuju se kompenzacioni kontakti elementi u paralelnoj ili rednoj sprezi. Pod dejstvom temperature okoline obe bimetalne trake se jednako deformišu, tako da se rastojanje kontaktnih površina ne menja. Promena kontaktnog rastojanja isključivo nastaje termičkim dejstvom usled prolaska struje kroz navoj.

