

6. Presuoti sujungimai

Presuotuose sujungimuose elementai sujungiami cilindriniais arba kūginiais paviršiais su tam tikra įvarža. Sujungimo patikimumas priklauso nuo įvaržos dydžio $\Delta = d^+ - d_-$ (6.1 pav.).

Presuotųjų jungčių *privalumai*:

1. Paprasta gamybos technologija.
2. Geras jungiamų detalių centravimas (bazavimas).
3. Gali atlaikyti pakankamai dideles statines, ciklines, reversines bei smūgines apkrovas.

Presuotųjų jungčių *trūkumai*:

1. Sunku įpresuoti ir išpresuoti detales esant didelės įvaržoms.
2. Didelė suleidžiamų paviršių pažeidimo tikimybė išpresuojant.
3. Sumažėja atsparumas nuovargiui dėl įtempimų koncentracijos.
4. Didelė vienodo suleidimo sujungimų atsparumo sklaida, nes skiriasi trinties koeficientas ir tolerancijos lauko ribose yra nevienodi sujungiamų detalių matmenys.

Presuoto sujungimo lietimosi paviršiuje susidaro kontaktinis slėgis. Jis išilgai sujungimo ašies pasiskirsto netolygiai (6.2 pav., a). Tačiau inžineriniuose skaičiavimuose laikoma, kad kontaktinis slėgis išilgai sujungimo ašies pasiskirsto tolygiai (6.2 pav., b).

Kontaktinis slėgis apskaičiuojamas taip:

$$p_k = \frac{\Delta_{nom}}{d K}; \quad (6.1)$$

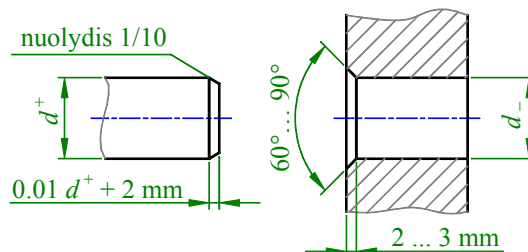
čia Δ_{nom} – nominalinė įvarža; $K = \frac{1}{E_1} \left(\frac{d^2 + d_1^2}{d^2 - d_1^2} - \nu_1 \right) + \frac{1}{E_2} \left(\frac{d_2^2 + d^2}{d_2^2 - d^2} + \nu_2 \right)$; E_1 ir E_2 – atitinkamai veleno (gaubiamosios

detalės) ir stebulės (gaubiančiosios detalės) medžiagų tamprumo moduliai (plienui $E = (2.0 \dots 2.1) \cdot 10^5$ MPa, ketui – $E = (0.8 \dots 1.5) \cdot 10^5$ MPa); ν_1 ir ν_2 – atitinkamai veleno ir stebulės medžiagų Puasono koeficientai (plienui $\nu = 0.24 \dots 0.30$, ketui $\nu = 0.23 \dots 0.27$); d , d_1 ir d_2 – skersmenys parodyti 6.2 pav., b.

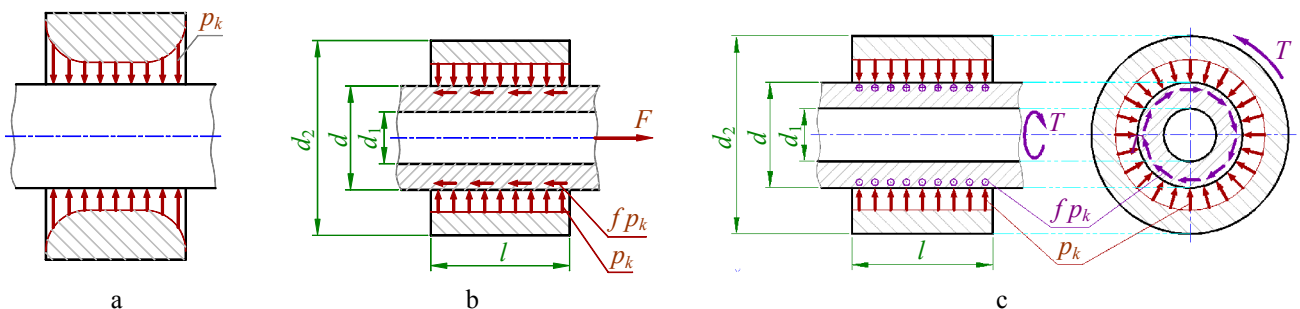
Sujungimą veikiančios išorinės apkrovos turi būti atsvertos trinties jėgų, susidarantių tarp elementų.

Sujungimo nejudamumo sąlyga, veikiant ašinei jėgai F :

$$p_k \geq \frac{s_H F}{\pi d l f}, \quad (6.2)$$



6.1 pav. Įpresuojamų detalių nuožulos



6.2 pav. Apkrauta presuota jungtis (pavaizduotas tik kontaktinis slėgis veikiantis veleną): a – realiai veikiantis kontaktinis slėgis; b ir c – skaičiavimams naudojamas kontaktinio slėgio pasiskirstymas veikiant ašinei jėgai (b) ir sukimo momentui (c)

o veikiant sukimo momentui T –

$$p_k \geq \frac{2 s_H T}{\pi d^2 l f}; \quad (6.3)$$

čia $s_H = 1.5 \dots 2.2$ – atsargos koeficientas (mažiausio reikšmės imamos statinei apkrovai, o didžiausios kintančiai pagal simetrinį ciklą); d ir l – jungties skersmuo ir ilgis; f – trinties koeficientas tarp veleno ir stebulės (žr. 6.1 lentelę).

Kai presuotą sujungimą veikia ašinė jėga F ir sukimo momentas T , nejudamumo (darbingumo) sąlyga:

$$p_k \geq \frac{s_H \sqrt{F^2 + (2T/d)^2}}{\pi d l f}. \quad (6.4)$$

Presuotą sujungimą gali veikti ir lenkimo momentas M (6.4 pav.). Tokiu atveju laikoma, kad įpresuotas elementas sukasi apie tašką O (6.4 pav., a) ir pusė lenkimo momento tenka viršutinės sujungimo dalies deformavimui, o kita pusė – apatinės dalies deformavimui. Lenkimo momento M sukeltas maksimalus kontaktinis slėgis p_{kM} yra:

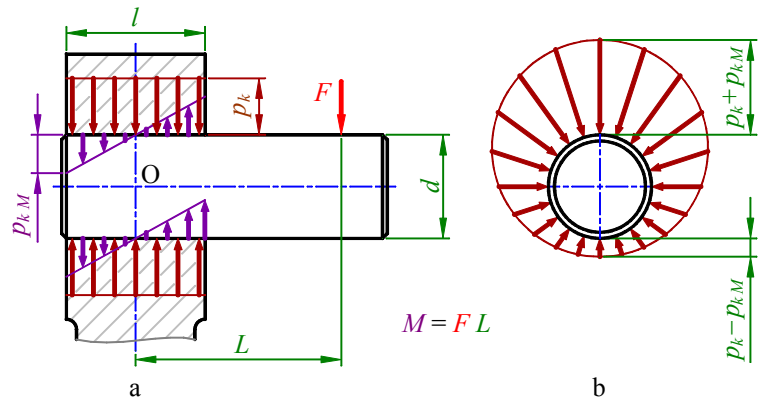
$$p_{kM} = \frac{4}{\pi} \frac{M}{2W} = \frac{12}{\pi} \frac{M}{d l^2};$$

čia $4/\pi$ – daugiklis įvertinantis netolygų kontaktinio slėgio pasiskirstymą veikiant lenkimo momentui (6.3 pav.); $W = d l^2 / 6$ – stačiakampio skerspjūvio $d \times l$ ploto atsparumo momentas.

Lenkiamo presuoto sujungimo darbingumo kriterijus yra paviršių prigludimas, kas atitinka $p_k > s_H \cdot p_{kM}$ sąlygą. Tada nejudamumo sąlyga:

$$p_k \geq \frac{12 s_H M}{\pi d l^2}. \quad (6.5)$$

Kai presuotą jungtį veikia ašinė jėga F ir (ar) sukimo momentas T bei lenkimo momentas M , tai kontaktinis slėgis, reikalingas jungties darbingumui užtikrinti, apskaičiuojamas pagal (6.4) ir (6.5) priklausomybes. Tolimesniems skaičiavimams imama didesnė iš apskaičiuotų reikšmių.



6.4 pav. Lenkimo momentu apkrautos presuotos jungties skaičiavimo schema

Nustatysime daugklį, įvertinantį netolygų kontaktinio slėgio pasiskirstymą vien nuo lenkimo momento. Priimame, kad išilgai kontakto ašies slėgis pasiskirsto tolygiai ir kontaktinio slėgio amplitudė \hat{p}_k kintant kampui φ pasiskirsto pagal sinuso dėsnį, t.y. $\hat{p}_k = p_{kmax} \sin(\varphi)$ (6.3 pav.). Tada vienai, pavyzdžiui viršutinei, veleno daliai galios lygybė:

$$p_{k\ vid} d = \int_0^\pi p_k(\varphi) \cdot \frac{d}{2} \cdot d\varphi;$$

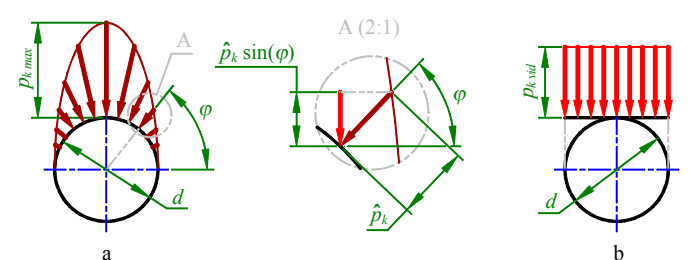
čia $p_{k\ vid} = \frac{M}{2W} = \frac{6M}{d l^2}$; $p_k(\varphi) = \hat{p}_k \cdot \sin(\varphi) = p_{kmax} \cdot \sin^2(\varphi)$.

Taigi gauname:

$$p_{k\ vid} d = \int_0^\pi p_k(\varphi) \cdot \frac{d}{2} \cdot d\varphi = \frac{d}{2} \int_0^\pi p_{kmax} \cdot \sin^2(\varphi) \cdot d\varphi = \frac{d}{4} p_{kmax} [\varphi - \sin(\varphi) \cos(\varphi)]_0^\pi = \frac{p_{kmax} d \pi}{4}.$$

Daugiklis, įvertinantis netolygų kontaktinio slėgio pasiskirstymą vien nuo lenkimo momento bus lygus didžiausio ir vidutinio kontaktinių slėgių santykiui, t.y.:

$$\frac{p_{kmax}}{p_{k\ vid}} = \frac{4}{\pi}.$$



6.3 pav. Kontaktinio slėgio, nuo lenkimo momento, tikrasis pasiskirstymas (a) ir pasiskirstymas priimamas inžineriniuose skaičiavimuose (b)

6.1 lentelė. Trinties koeficiento reikšmės presuotose jungtyse, kai gaubiamosios detalės (veleno) medžiaga yra plienas

Gaubiančios detalės (stebulės) medžiaga	Paviršiaus būvis	Surinkimo būdas	f
plienas	nepadengtas	temperatūrinis	0.14
		įpresavimas	0.08 ... 0.12
plienas	velenas cementuotas arba įzotintas	temperatūrinis	0.28
		įpresavimas	0.25
plienas	korundo milteliai	temperatūrinis	0.45
ketus	nepadengtas	temperatūrinis	0.13
		įpresavimas be tepimo	0.09
		įpresavimas su tepimu	0.08
žalvaris, bronz	nepadengtas	temperatūrinis	0.05
		įpresavimas	0.05
aliuminio lydiniai	nepadengtas	temperatūrinis	0.045
		įpresavimas be tepimo	0.03

Įvertinus eksploataavimo sąlygas mažiausia sujungimo įvarža, užtikrinanti darbingumą, yra:

$$\Delta_{min} \geq \Delta_{nom} + U_R + U_t + U_\omega; \quad (6.6)$$

čia U_R – įvertina įvaržos sumažėjimą dėl sujungiamų paviršių mikro nelygumų nuglemžimo (nukirpimo) surinkimo metu; U_t – įvertina įvaržos sumažėjimą dėl detalių įkaitimo arba atšalimo darbo metu; U_ω – įvertina dideliu greičiu besisukančių detalių įvaržos sumažėjimą;

$$U_R = 0.8 (Rz_1 + Rz_2); \quad (6.7)$$

čia Rz_1 ir Rz_2 – suleidimo paviršių šiurkštumai;

$$U_t = d [\alpha_2 (t_2 - t_0) - \alpha_1 (t_1 - t_0)]; \quad (6.8)$$

čia d – suleidžiamų paviršių skersmuo; α_1, α_2 – veleno ir stebulės medžiagų linijiniai temperatūros plėtimosi koeficientai; t_1, t_2 ir t_0 – vidutinės veleno, stebulės ir aplinkos darbinės temperatūros;

$$U_\omega = \frac{\rho \omega^2}{E} d (d_2^2 - d_1^2) (3 + \nu); \quad (6.9)$$

čia ρ – stebulės medžiagos tankis; ω – kampinis greitis; E ir ν – stebulės medžiagos tamprumo modulis ir Puasono koeficientas; d, d_1 ir d_2 – skersmenys parodyti 6.2 pav., b.

Didžiausia leistina įvaržos reikšmė nustatoma iš sąlygos, kad veikiant kontaktiniam slėgiui elementai nepradėtų deformuotis plastiškai. Ribinio įtempimų būvio nustatymui plačiai taikoma maksimalių tangentinių įtempimų stiprumo teorija, t.y. $\sigma_{yt} \leq \sigma_1 - \sigma_3$ (arba $\sigma_{yt} \leq \sigma_t - \sigma_r$; čia σ_t – didžiausi žiediniai įtempimai; σ_r – didžiausi radialiniai įtempimai).

Pagal maksimalių tangentinių įtempimų stiprumo teoriją didžiausios leistinos įvaržos velenui ir stebulei:

$$\Delta_{max1} \leq \frac{\sigma_{yt1}}{s_p} \cdot \frac{K (d^2 - d_1^2)}{2d} + U_R + U_t + U_\omega; \quad (6.10, a)$$

$$\Delta_{max2} \leq \frac{\sigma_{yt2}}{s_p} \cdot \frac{d K (d_2^2 - d^2)}{2d_2^2} + U_R + U_t + U_\omega; \quad (6.10, b)$$

čia Δ_{max1} ir Δ_{max2} – atitinkamai didžiausios leistinos įvaržos velenui ir stebulei; σ_{yt1} ir σ_{yt2} – atitinkamai veleno ir stebulės medžiagų takumo ribos; K – žr. (6.1) formulės paaiškinimus; $s_p = 1.2$ – atsargos koeficientas; d, d_1 ir d_2 – skersmenys parodyti 6.2 pav., b.

Sujungimo leistina didžiausia įvarža yra mažesnė iš Δ_{max1} ir Δ_{max2} reikšmių, t.y. $\Delta_{max} = \min(\Delta_{max1}; \Delta_{max2})$. Jei velenas yra pilnaviduris ($d_1 = 0$), tai $\Delta_{max} = \Delta_{max2}$.

Projektinis presuoto sujungimo skaičiavimas (surandamas reikiamas suleidimas) atliekamas sekančia tvarka:

- pagal duotas apkrovas paskaičiuojame reikiamą kontaktinį slėgį p_k (6.4) arba (6.5) formulės;
- apskaičiuojame nominalinę įvaržą Δ_{nom} pagal (6.1);
- pagal (6.6) ir (6.10) apskaičiuojame leistiną minimalią Δ_{min} ir maksimalią Δ_{max} įvaržą. Jei $\Delta_{min} > \Delta_{max}$, tai sujungimas yra nedarbingas ir reikia keisti jungiamų elementų matmenis, medžiagas arba paviršiaus šiurkštumus.
- pagal Δ_{min} ir Δ_{max} parenkame standartinį suleidimą, taip, kad jo „tikrosios“ įvaržos $\Delta_{min T} = ei - ES$ ir $\Delta_{max T} = es - EI$ tenkintų sąlygas: $\Delta_{min} \leq \Delta_{min T}$ ir $\Delta_{max T} \leq \Delta_{max}$. Jei nepavyksta parinkti standartinio sujungimo, tai rekomenduojama keisti jungiamų elementų matmenis, medžiagas ar paviršiaus šiurkštumus. Išimtiniais atvejais galima naudoti nerekomenduojamus suleidimus.

Patikrinamasis presuoto sujungimo skaičiavimas (surandama leistina apkrova) atliekamas sekančia tvarka:

- apskaičiuojamos suleidimo įvaržos $\Delta_{min} = ei - ES$ ir $\Delta_{max} = es - EI$;
- pagal (6.10) apskaičiuojame ribinę leistiną maksimalią įvaržą $\Delta_{max adm}$. Turi būti tenkinama sąlyga $\Delta_{max} \leq \Delta_{max adm}$. Jei pastaroji netenkinama, tai sujungimas yra nedarbingas ir reikia keisti jungiamų elementų matmenis, medžiagas, paviršiaus šiurkštumus arba suleidimą;
- pagal Δ_{min} ir (6.6) apskaičiuojama nominalioji įvaržą Δ_{nom} ;
- pasinaudojus (6.1) išraiška apskaičiuojamas minimalus kontaktinis slėgis p_k sujungime;
- pagal p_k ir (6.4) ar (6.5) formulės nustatoma leistinoji išorinė apkrova.

Presuotiems sujungimams, naudojant skylės suleidimų sistemą, rekomenduojami suleidimai yra: H6/p5, H6/r5, H6/s5, H7/p6, H7/r6, H7/s6, H7/t6, H7/s7, H7/u7, H8/s7, H8/u8, H8/x8 ir H8/z8.

Presuotiems sujungimams, naudojant veleno suleidimų sistemą, rekomenduojami suleidimai yra: P6/h5, P7/h6, R7/h6, S7/h6, T7/h6 ir U8/h7.

Presuoti sujungimai gali būti surenkami įpresuojant arba keičiant sujungiamų elementų temperatūrą: įkaitinama stebulė arba atšaldomas velenas.

Įpresavimo (išpresavimo) jėga:

$$F_{ip(is)} = \pi p_{kmax} d l f. \quad (6.11)$$

čia p_{kmax} – didžiausias galimas kontaktinis slėgis presuotame sujungime; p_{kmax} apskaičiuojamas pagal (6.1), vietoje Δ_{nom} įstačius Δ_{max} .

Reikiamos presuoto sujungimo surinkimo temperatūros apskaičiuojamos sekančiais:

$$\text{velenui (gaubiamam elementui)} \quad t_1 = t_0 - \frac{\Delta_{max} + s_{min}}{\alpha_1 d}; \quad (6.12, a)$$

$$\text{stebulei (gaubiančiam elementui)} \quad t_2 = t_0 + \frac{\Delta_{max} + s_{min}}{\alpha_2 d} \quad (6.12, b)$$

čia t_0 – darbinės aplinkos temperatūra; Δ_{max} – maksimali įvaržą; s_{min} – minimalus tarpelio dydis, kurio užtenka laisvam surinkimui, paprastai imamas lygus veleno matmens tolerancijai, t.y. $s_{min} \approx es - ei$; d – nominalinis jungiamų elementų skersmuo; α_1 ir α_2 – atitinkamai veleno ir stebulės medžiagų linijinis temperatūrinis plėtimosi koeficientas.

Vidutinės α reikšmės yra: plienams $12 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$, ketui $10.5 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$, bronzoms $17 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$, aliuminio lydiniams $23 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$.

Taikant temperatūrinį presuoto sujungimo surinkimą pirmenybė teikiama gaubiamojo elemento atšaldymui.

Gaubiamojo elemento atšaldymui naudojamas sausas ledas (garavimo temperatūra -79°C) arba skystas azotas (garavimo temperatūra -196°C).

Gaubiančiojo elemento įkaitinimo temperatūra paprastai neturėtų viršyti atleidimo temperatūros (plienams $+150^\circ\text{C} \dots +250^\circ\text{C}$). Priešingu atveju gali būti sumažintas elemento kietumas ir stiprumas.