

11. Kaištiniai sujungimai

Šie sujungimai atlaiko tik mažas apkrovas, todėl daugiausiai naudojamos prietaisų gamyboje. Kaiščiai į skylę įstatomi su įvarža, kad darbo metu neiškristų. Kaiščiai yra standartizuoti ir būna (11.1 pav., a):

- cilindriniai – paprastai vieno elemento skylėje kaištis suleidžiamas su įvarža (pvz., H7/m6), o kito elemento skylėje su tarpeliu (pvz. H8/e9). Taip pat naudojami sujungimai, kuriuose kaištis abiejose elementų skylėse įstatomas be įvaržos. Tokių kaiščių tvirtinimas pavaizduotas 11.1 pav. b;
- kūginiai, kurių kūniškumas 1:50 (kampas tarp priešingų kūgio sudaromųjų $\alpha = \arctg 0.02$). Kūgiškumas nustatomas iš savistabdos sąlygos: $\alpha \leq 2 \rho$, čia ρ – trinties kampas;
- kūginiai skečiamieji;
- cilindriniai ir kūginiai įkirstiniai – kaiščiai turi išilginius griovelius su pakilusiais kraštais, kurie įkalant kaištį į skylę deformuojasi ir sukelia įvaržą. Tokio sujungimo skylę pakanka tik išgręžti (kitais atvejais po gręžimo skylės plečiamos). Įkirstinių kaiščių išpjovos sukelia įtempimų koncentraciją ir dėl to sujungimas yra ne toks patikimas kaip su lygiu kaiščiu;
- kūginiai įsriegtais galais. Tokius kaištinius sujungimus lengviau išardyti.

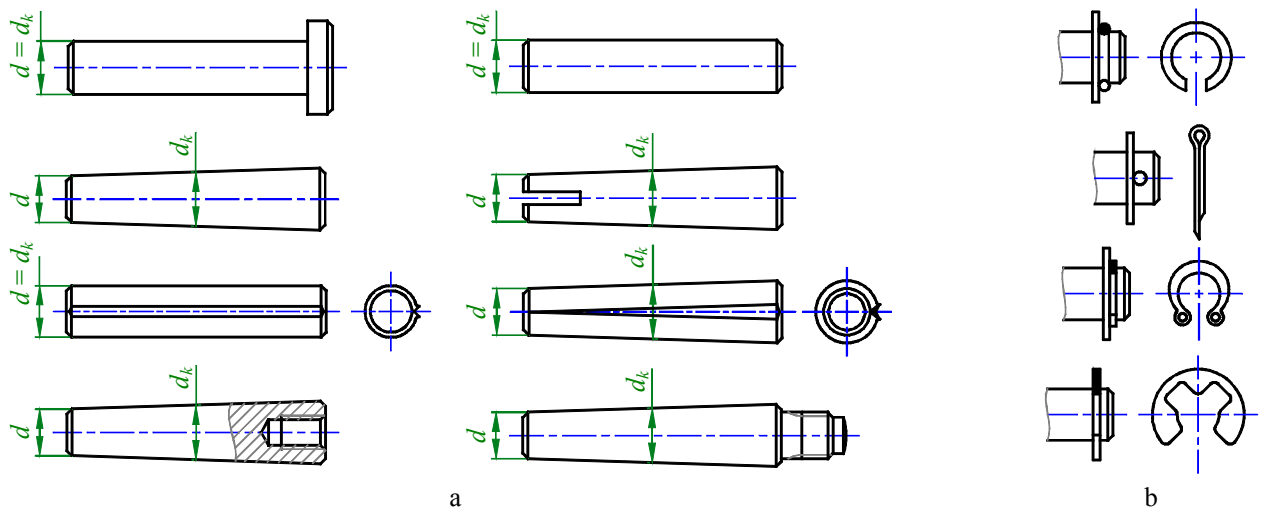
Kaištinių sujungimų *privalumas* – konstrukcijos paprastumas.

Kaištinių sujungimų *trūkumai*:

1. Netechnologiškumas – kaiščio skylės gręžimas ir plėtimas atliekamas surinkus sujungimą.
2. Kaiščio skylė susilpnina jungiamus elementus.

Pagal veikiančios jėgos kryptį kaiščiai skirstomi į:

- skersinius – kaiščio ašis statmena sujungiamų elementų ašiai;
- išilginius – kaiščio ašis lygiagreti sujungiamų elementų ašiai. Tai cilindriniai pleištai.



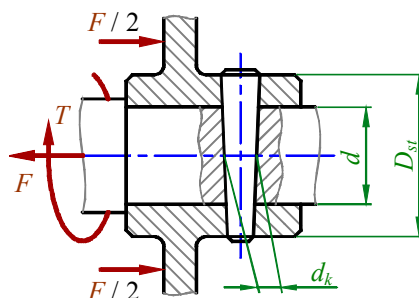
11.1 pav. Pagrindiniai kaiščių tipai (a) ir cilindrinų kaiščių tvirtinimas (b)

11.1. Skersinių kaiščių skaičiavimas

Skersinių kaiščių darbo sąlygos panašios į kniedžių.

Kūginių kaiščių skaičiuojamasis skersmuo d_k yra vidutinis darbinis kaiščio skersmuo (žr. 11.1 pav., a).

Kaištinio sujungimo su skersiniu kaiščiu išorine apkrova paprastai būna sukimo momentas T ir (arba) ašinė jėga F_a (11.2 pav.). Skaičiuojant priimama, kad trinties tarp veleno ir stebulės nėra.



11.2 pav. Veleno ir stebulės sujungimas skersiniu kaiščiu ir sujungimą veikiančios išorinės apkrovos

Kaištinio sujungimo stiprumo sąlyga kirpimui:

$$\tau_k = \frac{\sqrt{F_{tk}^2 + F_a^2}}{A_k} \leq \tau_{k adm}; \quad (11.1)$$

čia F_{tk} – suminė apskritiminė jėga, atsirandanti dėl sukimo momento, ties kerpamu paviršiumi (žr. 11.3 pav., b); F_a – suminė ašinė jėga; A_k – suminis skaičiuojamasis kerpamo kaiščio paviršių plotas; $\tau_{k adm}$ – leistinieji kirpimo įtempimai.

Apvalaus skerspjūvio kaiščio skaičiuojamasis kerpamo paviršiaus plotas $\pi d_k^2/4$, o suminis skaičiuojamasis plotas – $A_k = \pi d_k^2/2$ (žr. 11.3 pav.). Veikiant sukimo momentui atsiranda dvi apskritiminės jėgos $F_{tk} = T/d$ (žr. 11.3 pav., b), todėl suminė apskritiminė jėga bus lygi $2 T/d$. Apvalaus skerspjūvio kaiščio kirpimo įtempimai:

$$\tau_k = \frac{2 \sqrt{4(T/d)^2 + F_a^2}}{\pi d_k^2} = \frac{2 \sqrt{4 T^2 + F_a^2 d^2}}{\pi d_k^2 d} \leq \tau_{k adm};$$

čia d – veleno kakliuko, ant kurio tvirtinama stebulė, skersmuo; d_k – skaičiuojamasis kaiščio skersmuo.

Kaištinio sujungimo stiprumo sąlygos glemžimui stebulėje ir velene atitinkamai yra (priimama, kad glemžimo įtempimai velene pasiskirsto pagal kvadratinės parabolės dėsnį, žr. 11.3 pav., b):

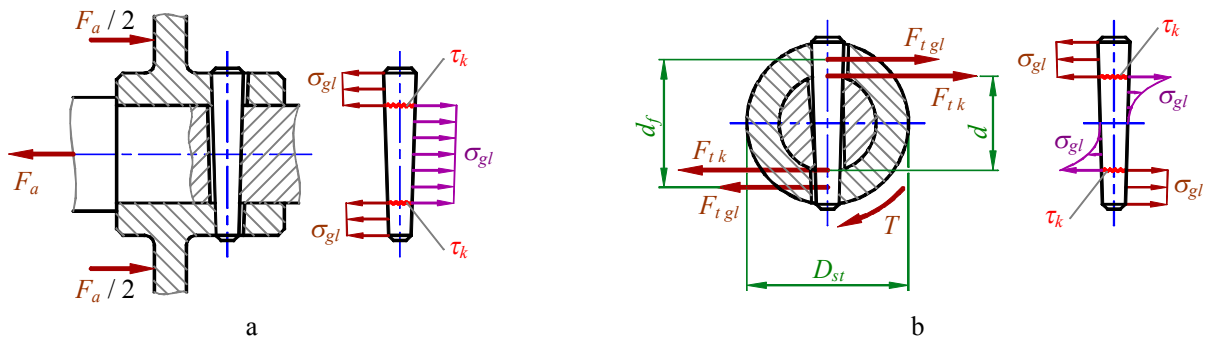
$$\sigma_{gl} = \sqrt{\left(\frac{2 F_{t gl}}{d_{kt} (D_{st} - d)}\right)^2 + \left(\frac{F_a}{d_{ka} (D_{st} - d)}\right)^2} \leq \sigma_{gl adm}; \quad (11.2)$$

$$\sigma_{gl} = \sqrt{\left(\frac{8 T}{d_{kt} d^2}\right)^2 + \left(\frac{F_a}{d_{ka} d}\right)^2} \leq \sigma_{gl adm}; \quad (11.3)$$

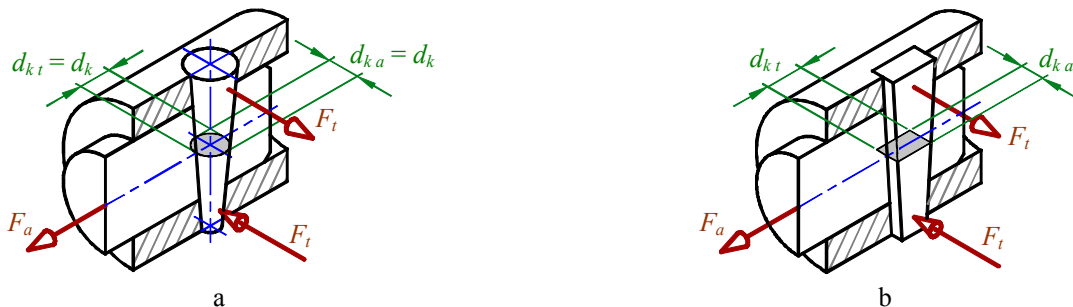
čia F_a – ašinė jėga; $F_{t gl}$ – apskritiminė jėga nuo sukimo momento (žr. 11.3 pav., b); $T = F_{t gl} d_f$ – sukimo momentas; $d_f = (D_{st} + d) / 2$ – vidutinis stebulės skersmuo; D_{st} – išorinis stebulės skersmuo; d_{kt} ir d_{ka} – atitinkamai kaiščio profilio matmuo apskritiminės ir ašinės jėgų kryptimis (žr. 11.4 pav.); $\sigma_{gl adm}$ – leistinieji glemžimo įtempimai.

Apvalaus skerspjūvio kaiščio glemžimo įtempimai stebulėje ir velene atitinkamai yra:

$$\sigma_{gl} = \sqrt{\left(\frac{2 T}{d_k d_f (D_{st} - d)}\right)^2 + \left(\frac{F_a}{d_k (D_{st} - d)}\right)^2} = \frac{\sqrt{4 T^2 + F_a^2 d_f^2}}{d_f d_k (D_{st} - d)} = \frac{2 \sqrt{4 T^2 + F_a^2 d_f^2}}{d_k (D_{st}^2 - d^2)} \leq \sigma_{gl adm};$$



11.3 pav. Kirpimo ir glemžimo įtempimai kylantys kaištyje nuo ašinės jėgos (a) ir sukimo momento (b)



11.4 pav. Skaičiuojamieji kaiščio matmenys: a – apvalaus skerspjūvio; b – stačiakampio skerspjūvio. Skerspjūvio parametrai: d_{ka} – ašinės jėgos kryptimi; d_{kt} – apskritiminės jėgos kryptimi

$$\sigma_{gl} = \sqrt{\left(\frac{8T}{d_k d^2}\right)^2 + \left(\frac{F_a}{d_k d}\right)^2} = \frac{\sqrt{64T^2 + F_a^2 d^2}}{d_k d^2} \leq \sigma_{gl adm}.$$

Kai velenas ir stebulė panašaus stiprumo arba pagaminti iš vienodos medžiagos ir $D_{st} \leq 1.3 d$, tai pakanka patikrinti tik kaiščio atsparumą glemžimui stebulėje, t.y. atsparumo glemžimui velene tikrinti nebūtina.

Kelių kaiščių sujungimas. Tam kad per daug nesusilpninti veleno ir stebulės rekomenduojamas kaiščių matmuo ašinės jėgos kryptimi $d_{ka} = (0.15 \dots 0.25) d$ (žr. 11.4 pav.). Jei reikalingas didesnis kaiščio skersmuo rekomenduojama kaištinį sujungimą keisti kitu, pvz., presuotu, pleištinium ir pan. Tačiau, kai numatoma naudoti kelių kaiščių sujungimą (nerekomenduojama), tai parenkami kaiščių matmenys d_{ka} , o kaiščių skaičius nustatomas iš stiprumo sąlygos kirpimui:

$$\frac{\tau_k K_a}{n_k} \leq \tau_{k adm} \quad \text{arba} \quad n_k \geq K_a \sqrt{\left(\frac{F_{tk}}{A_{tk} \tau_{k adm}}\right)^2 + \left(\frac{F_a}{A_{ak} \tau_{k adm}}\right)^2};$$

čia n_k – reikalingas kaiščių skaičius; $K_a \approx 1.5$ – apkrovos pasiskirstymo tarp kaiščių netolygumo koeficientas. Apvalaus skerspjūvio kaiščių skaičius:

$$n_k \geq \frac{2 K_a \sqrt{T^2 + F_a^2 d^2}}{\pi d_k^2 d \tau_{k adm}}.$$

Parinkus kaiščių skaičių, kaištinį sujungimą reikia patikrinti glemžimui.

Kaiščio lenkimas. Ašine jėga apkrauto kaištinio sujungimo kaištis bus lenkiamas, tik kai skylėje jis įstatytas be įvaržos (toks konstrukcinis sprendimas nerekomenduojamas). Didžiausias kaiščio lenkimo momentas (žr. 11.5 pav.):

$$M_{max} = R \frac{d_{atramų}}{2} - \int_0^{d/2} d_k \sigma_{gl}(x) x dx = \frac{F_a D_{st}}{16}.$$

Kaiščio stiprumo sąlyga lenkimui:

$$\sigma_l = \frac{M_{max}}{W} \leq \sigma_{l adm}; \tag{11.4}$$

čia W – kaiščio skerspjūvio atsparumo momentas jėgos F_a veikimo kryptimi; $\sigma_{l adm}$ – kaiščio medžiagos leistinieji lenkimo įtempimai.

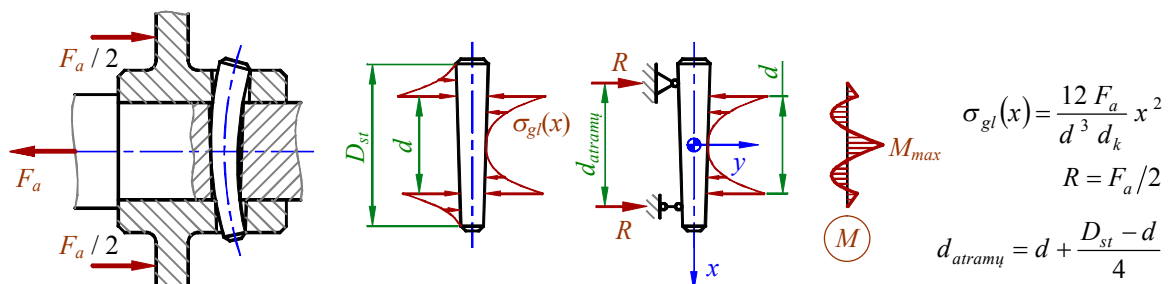
Apvalaus skerspjūvio kaiščio lenkimo įtempimai:

$$\sigma_l = \frac{2 F_a D_{st}}{\pi d_k^3} \leq \sigma_{l adm}.$$

Lenkiamame kaištyje kitaip skaičiuojami glemžimo įtempimai nuo ašinės jėgos, nes jie pasiskirsto ne tolygiai, o pagal kvadratinės parabolės dėsnį (žr. 11.3 pav., a ir 11.5 pav.). Esant kaiščio lenkimui sujungimo stiprumo sąlygos glemžimui stebulėje ir velene atitinkamai yra:

$$\sigma_{gl} = \sqrt{\left(\frac{2 F_{t gl}}{d_{kt} (D_{st} - d)}\right)^2 + \left(\frac{3 F_a}{d_{ka} (D_{st} - d)}\right)^2} \leq \sigma_{gl adm}; \tag{11.5}$$

$$\sigma_{gl} = \sqrt{\left(\frac{8T}{d_{kt} d^2}\right)^2 + \left(\frac{3 F_a}{d_{ka} d}\right)^2} \leq \sigma_{gl adm}. \tag{11.6}$$



11.5 pav. Kaiščio lenkimo įtempimų nustatymo schema laikant, kad glemžimo įtempimai pasiskirstęs pagal kvadratinės parabolės dėsnį

Apvalaus skerspjuvio lenkiamo kaiščio glemžimo įtempimai stebulėje ir velene atitinkamai yra:

$$\sigma_{gl} = \frac{2 \sqrt{4 T^2 + 9 F_a^2 d_f^2}}{d_k (D_{st}^2 - d^2)} \leq \sigma_{gl adm}; \quad \sigma_{gl} = \frac{\sqrt{64 T^2 + 9 F_a^2 d^2}}{d_k d^2} \leq \sigma_{gl adm}.$$

Kaištinių sujungimų projektavimas. Jei nuo išorinės jėgos galimas kaiščio lenkimas, tai jo skaičiuojamieji matmenys apskaičiuojami iš stiprumo sąlygos lenkimui, po to atliekami atsparumo kirpimui bei glemžimui patikrinimai. Nelenkiamų kaiščių skaičiuojamieji matmenys apskaičiuojamas iš stiprumo sąlygos kirpimui ir atliekamas tik atsparumo patikrinimas glemžimui.

Kaištiniuose sujungimuose papildomai būtina patikrinti veleno ir stebulės pavojingų pjūvių, t.y. pjūvių susilpnintų kaiščio skylės, atsparumą.

11.2. Kaiščių medžiagos ir leistinieji įtempimai

Kaiščiai gaminami iš S235JR, E265, 30, 45, 50 ir kt. plieno markių.

Kaiščio, veleno ir stebulės medžiagų leistinieji kirpimo įtempimai:

$$\tau_{k adm} = (0.25 \dots 0.30) \gamma_a \gamma_s \sigma_{yt}; \quad (11.7)$$

čia σ_{yt} – atitinkamai kaiščio, veleno ar stebulės medžiagos takumo riba tempiant; γ_a – apkrovos pobūdžio koeficientas (žr. 11.1 lent.); γ_s – kaiščio formos ir suleidimo koeficientas (žr. 11.2 lent.).

Kaiščio, veleno ir stebulės medžiagų leistinieji glemžimo įtempimai:

$$\sigma_{gl adm} = (0.85 \dots 0.90) \gamma_a \gamma_s \sigma_{yt}. \quad (11.8)$$

Kaiščio medžiagos leistinieji lenkimo įtempimai:

$$\sigma_{l adm} = (0.65 \dots 0.75) \gamma_a \gamma_s \sigma_{yt}. \quad (11.9)$$

Veleno ir stebulės medžiagų leistinieji tempimo įtempimai:

$$\sigma_t adm = (0.5 \dots 0.6) \gamma_a \sigma_{yt}. \quad (11.10)$$

Veleno ir stebulės medžiagų leistinieji sukimo įtempimai:

$$\tau_s adm = (0.35 \dots 0.40) \gamma_a \sigma_{yt}. \quad (11.11)$$

11.1 lentelė. Kaištinių sujungimų apkrovos pobūdžio koeficiento γ_a reikšmės

Apkrovos pobūdis	γ_a reikšmės
Apkrova pastovi ($r = 1$)	1.00
Apkrova kintanti pagal pulsuojančią ciklą ($r = 0$)	0.70 ... 0.80
Apkrova kintanti pagal simetrinį ciklą ($r = -1$)	0.35 ... 0.40

11.2 lentelė. Kaištinių sujungimų kaiščio formos ir suleidimo koeficiento γ_s reikšmės

Kaiščio suleidimo (formos) pobūdis	γ_s reikšmės, priklausomai nuo įtempimų tipo	
	Kirpimo įtempimams $\tau_{k adm}$	Glemžimo $\sigma_{gl adm}$ ir lenkimo $\sigma_{l adm}$ įtempimams
Neįkirstiniams kaiščiams	1.0	1.0
Įkirstinis kaištis	0.8	0.7