13. Stiprumo hipotezės

13.1. Bendrosios žinios

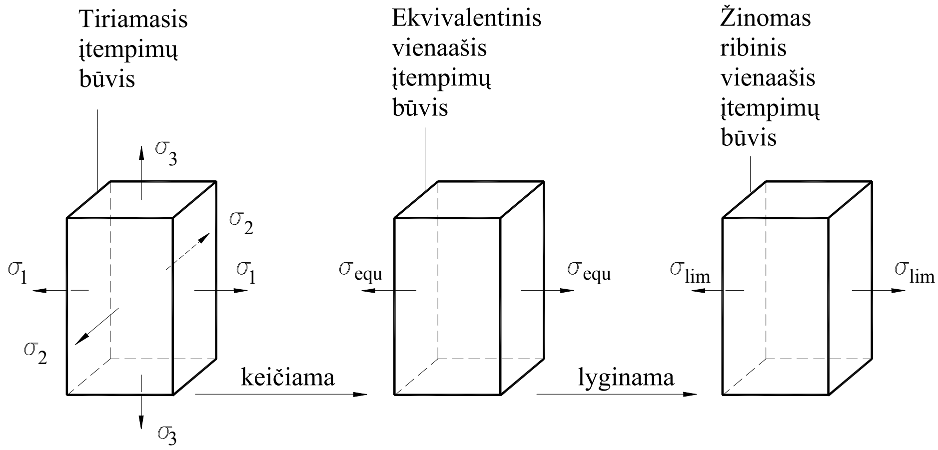
13.1 tekstas ⌘ ⌘ ⌘

■ Veikiant nedideliems išoriniams poveikiams medžiagoje atsiranda tik tampriosios deformacijos; tuomet sakoma, kad medžiaga yra tamprios būsenos. Padidinus išorinius poveikius, gali atsirasti arba pastebimos plastinės deformacijos, arba vietiniai plyšiai. Pirmuoju atveju sakoma, kad medžiaga pereina į plastinę būseną, antruoju – kad prasideda irimo būsena. Taigi medžiagos mechaninė būsena priklauso nuo išorinių poveikių ir apibūdina jos fizikinę elgseną (ne *kiek*, bet *kaip*). Kiekybiškai ją apibūdina įtempimų ir deformacijų būviai.

■ Prisiminkime, kad vienaašis įtempimų būvis apibūdinamas vienu, dviašis – dviem, triašis – trimis svarbiausiaisiais įtempimais. Didinant apkrovą, svarbiausieji įtempimai didėja, ir esant tam tikrai jų reikšmei pasikeičia medžiagos mechaninė būsena, t. y. plastiškoje medžiagoje prasideda plastinių deformacijų kaupimosi procesas, o trapioje medžiagoje – irimas. Toks įtempimų būvis vadinamas ribiniu. Su ribiniu įtempimų būviu glaudžiai susijęs įtempimų būvio atsargos koeficientas, t. y. skaičius, rodantis kiek kartų reikia padidinti visus nagrinėjamo įtempimų būvio komponentus, kad jis taptų ribinis, t. y. kad pasikeistų medžiagos mechaninė būsena.

■ Praktikoje labai svarbu žinoti, kiek pavojingas yra vienas ar kitas įtempimų būvis, t. y. mokėti nustatyti nagrinėjamo įtempimų būvio atsargos koeficientą. Tačiau eksperimentais jo nustatyti praktiškai neįmanoma, nes reikia atlikti daug labai sudėtingų eksperimentų. Todėl kuriamos hipotezės, kurios remiasi prielaida, kad du bet kurie įtempimų būviai yra vienodai pavojingi, jeigu jie, dauginant svarbiausiuosius įtempimus iš vis didėjančio koeficiento, vienu metu tampa ribiniai. Tokios hipotezės vadinamos stiprumo hipotezėmis.

Tiriamasis įtempimų būvis visada lyginamas su geriausiai ištirtu vienaašiu įtempimų būviu. Tam, remiantis kuria nors hipoteze apie ribinio būvio atsiradimo priežastį, jis pakeičiamas ekvivalentiniu įtempimų būviu, kurį kiekybiškai apibūdina ekvivalentinis įtempimas, t. y. tempiamo arba gniuždomo bandinio įtempimas, kuriam veikiant to bandinio įtempimų būvis ir tiriamasis įtempimų būvis vienodai pavojingi. Nustatant tiriamojo įtempimų būvio atsargos koeficientą, ekvivalentinis įtempimas (σ_{equ}) lyginamas su ribiniu įtempimu (σ_{lim}), gaunamu atliekant tempimo arba gniuždymo bandymą. Abu stiprumo įvertinimo etapai (keitimas ir sulyginimas) grafiškai parodyti 13.1 pav.



13.1 pav.

13.2. Stiprumo hipotezės

■ Kai įtempimų būvis vienaašis, nesunku analiziškai išreikšti ekvivalentinį įtempimą ir užrašyti stiprumo sąlygą: $|\sigma|_{\max} \le \sigma_{\lim}$ $(\sigma_{\lim} = \sigma_u,\ \sigma_{\lim} = \sigma_y)$. Tačiau kai įtempimų būvis yra sudėtingas, sunku išsiaiškinti, kuris iš mechaninės būsenos parametrų kokią įtaką turi šios būsenos pasikeitimui. Belieka tik spėti, nes trijų svarbiausiųjų įtempimų kombinacijų gali būti labai daug ir net su tobula laboratorine įranga neįmanoma jų visų ištirti. Istoriškai susiformavo penkios hipotezės apie ribinio būvio atsiradimo priežastį.

■ *Didžiausių normalinių įtempimų (Galilėjaus) stiprumo hipotezė.* Ji teigia, kad ribinio būvio atsiradimo priežastis yra didžiausi normaliniai įtempimai. Pagrindinė hipotezės nelygybė:

$$\sigma_{\text{equ}} = \sigma_1 \le \sigma_{\lim} . \tag{13.1}$$

Šios hipotezės trūkumas tas, kad ji neįvertina kitų dviejų svarbiausiųjų įtempimų.

■ *Didžiausių linijinių deformacijų stiprumo hipotezė.* Ji teigia, kad ribinio įtempimų būvio atsiradimo priežastis yra didžiausios linijinės deformacijos. Pagrindinės hipotezės nelygybės, išreikštos per deformacijas ir per svarbiausiuosius įtempimus:

$$\varepsilon_{\text{equ}} = \varepsilon_1 \le \varepsilon_{\lim} , \tag{13.2}$$

$$\sigma_{\text{equ}} = \sigma_1 - \nu(\sigma_2 + \sigma_3) \le \sigma_{\lim} . \tag{13.3}$$

Ši hipotezė įvertina visus įtempimus, tačiau kaip ir Galilėjaus, nevisiškai patvirtinama eksperimentais.

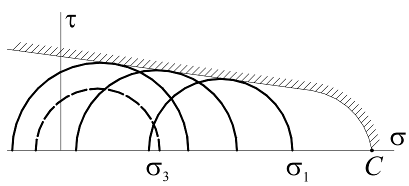
■ *Didžiausių tangentinių įtempimų (Kulono, Treskos, Sen Venano) stiprumo hipotezė.* Ji teigia, kad ribinio įtempimų būvio atsiradimo priežastis yra didžiausi tangentiniai įtempimai. Pagrindinės hipotezės nelygybės, išreikštos per tangentinius ir per svarbiausiuosius įtempimus:

$$\tau_{\text{equ}} = \tau_{\max} \le \tau_{\lim} , \tag{13.4}$$

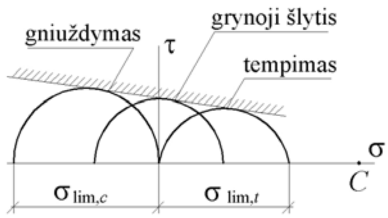
$$\sigma_{\text{equ}} = \sigma_1 - \sigma_3 \le \sigma_{\lim} , \qquad (\sigma_1 \ge \sigma_2 \ge \sigma_3) . \tag{13.5}$$

Ši hipotezė geriausiai tinka plastiškoms medžiagoms, kurios vienodai priešinasi tiek tempimui, tiek gniuždymui.

■ *Moro stiprumo hipotezė.* Ji remiasi eksperimentinių duomenų visumos aprašymu ir teigia, kad tiriamasis įtempimų būvis yra ribinis tuomet, kai pagal jį nubrėžtas didžiausias Moro apskritimas (apskritiminė įtempimų būvio diagrama, gaunama iš (12.10) lygčių išeliminavus kampą α: $\left(\sigma - \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}\right)^2 + \tau^2 = \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}\right)^2$) liečia ribinių apskritimų gaubtinę. Laikoma, kad ribinių apskritimų gaubtinė nepriklauso nuo σ_2 (13.2 pav., čia ribiniai apskritimai nubrėžti ištisine linija, tiriamojo įtempimų būvio apskritimas – punktyrine, taškas C atitinka vienpusio tempimo būvį). Ribinių apskritimų gaubtinei gauti paprastai atliekami tempimo ir gniuždymo bandymai, taip pat sukamas plonasienis vamzdis. Kitus bandymus atlikti sudėtinga, todėl ribinė gaubtinė aproksimuojama tiese (13.3 pav.). Pagrindinė hipotezės nelygybė:



13.2 pav.



13.3 pav.

$$\sigma_{\text{equ}} = \sigma_1 - k \cdot \sigma_3 \le \sigma_{\lim,t} . \tag{13.6}$$

Ši hipotezė geriausiai tinka plastiškoms medžiagoms, kurios nevienodai priešinasi tempimui ir gniuždymui, nes

$$k = \frac{\sigma_{\lim,t}}{\sigma_{\lim,c}}, \tag{13.7}$$

$\sigma_{\lim,t}$ – tempiamasis ribinis įtempimas, $\sigma_{\lim,c}$ – gniuždomasis ribinis įtempimas.

■ *Energetinė (Huberio ir Mizeso) stiprumo hipotezė.* Ji teigia, kad ribinio įtempimų būvio atsiradimo priežastis yra santykinės potencinės deformavimo energijos dalis, kuri susikaupė dėl formos pokyčių. Pagrindinė hipotezės nelygybė:

$$\sigma_{equ} = \frac{\sqrt{2}}{2}\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2} \le \sigma_{\lim}. \tag{13.8}$$

Ši hipotezė geriausiai tinka grynosios šlyties atvejui.

13.1 pvz. ⌘ ⌘ ⌘

■ Visoms anksčiau aptartoms stiprumo hipotezėms užrašysime ribinių būvių metodo stiprumo sąlygas dviašiam įtempimų būviui. Svarbiausiesiems įtempimas išreikšti per normalinius ir tangentinius įtempimus (žr. 12.3 poskyrį) naudosime tokią formulę:

$$\sigma_{1,3} = \frac{1}{2}\left[(\sigma_z + \sigma_y) \pm \sqrt{(\sigma_z - \sigma_y)^2 + 4\tau_{zy}^2}\right]. \tag{13.9}$$

Didžiausių normalinių įtempimų stiprumo hipotezė:

$$\sigma_{det} = \frac{(\sigma_z + \sigma_y)}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_z - \sigma_y)^2 + 4\tau_{zy}^2} \le R. \tag{13.10}$$

Kai $\sigma_y = 0$,

$$\sigma_{det} = \frac{\sigma_z}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{\sigma_z^2 + 4\tau_{zy}^2} \le R. \tag{13.11}$$

Didžiausių linijinių deformacijų stiprumo hipotezė:

$$\sigma_{det} = \frac{1-\nu}{2}(\sigma_z + \sigma_y) + \frac{1+\nu}{2}\sqrt{(\sigma_z - \sigma_y)^2 + 4\tau_{zy}^2} \le R. \tag{13.12}$$

Kai $\sigma_y = 0$,

$$\sigma_{det} = \frac{1-\nu}{2}\sigma_z + \frac{1+\nu}{2}\sqrt{\sigma_z^2 + 4\tau_{zy}{}^2} \le R. \tag{13.13}$$

Didžiausių tangentinių įtempimų stiprumo hipotezė:

$$\sigma_{det} = \sqrt{(\sigma_z - \sigma_y)^2 + 4\tau_{zy}^2} \le R. \tag{13.14}$$

Kai $\sigma_y = 0$,

$$\sigma_{det} = \sqrt{\sigma_z^2 + 4\tau_{zy}^2} \le R . \qquad (13.15)$$

Moro stiprumo hipotezė:

$$\sigma_{det} = \frac{1-k}{2}(\sigma_z + \sigma_y) + k\sqrt{(\sigma_z - \sigma_y)^2 + 4\tau_{zy}^2} \le R . \qquad (13.16)$$

Kai $\sigma_y = 0$,

$$\sigma_{det} = \frac{1-k}{2}\sigma_2 + k\sqrt{\sigma_z^2 + 4\tau_{yz}^2} \le R . \qquad (13.17)$$

Energetinė stiprumo hipotezė:

$$\sigma_{det} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_z + \sigma_y}{2}\right)^2 + 3\left(\frac{\sigma_z - \sigma_y}{2}\right)^2 + 3\tau_{zy}^2} \le R . \qquad (13.18)$$

Kai $\sigma_y = 0$,

$$\sigma_{det} = \sqrt{\sigma_z^2 + 3\tau_{zy}^2} \le R . \qquad (13.19)$$

13.2 pvz. ⌘ ⌘ ⌘

Kontroliniai klausimai ir užduotys

13.1. Kas yra medžiagos mechaninė būsena?
13.2. Kas yra ribinis įtempimų būvis?
13.3. Kas yra įtempimų būvio atsargos koeficientas?
13.4. Kokia prielaida remiantis kuriamos stiprumo hipotezės? Koks įtempimų būvis laikomas etaloniniu?
13.5. Kas yra ekvivalentinis įtempimas?
13.6. Kas yra ribinis įtempimas?
13.7. Grafiškai pavaizduokite stiprumo įvertinimo etapus.
13.8. Kokias žinote stiprumo hipotezes?
13.9. Ką teigia didžiausių normalinių įtempimų (Galilėjaus) stiprumo hipotezė? Formulė.
13.10. Ką teigia didžiausių linijinių deformacijų (Marioto) stiprumo hipotezė? Formulė.
13.11. Paaiškinkite formulę:

$$\sigma_{equ} = \sigma_1 - \nu(\sigma_2 + \sigma_3) \le \sigma_{lim} .$$

13.12. Ką teigia didžiausių tangentinių įtempimų (Kulono, Treskos, Sen Vernano) stiprumo hipotezė? Formulė.
13.13. Paaiškinkite formulę:

$$\sigma_{equ} = \sigma_1 - \sigma_3 \le \sigma_{lim} .$$

13.14. Kuo remiasi Moro stiprumo hipotezė? Ką ji teigia?
13.15. Paaiškinkite formulę:

$$\sigma_{equ} = \sigma_1 - k \cdot \sigma_3 \le \sigma_{lim,t} .$$

13.16. Ką teigia energetinė stiprumo hipotezė?
13.17. Paaiškinkite formulę:

$$\sigma_{equ} = \frac{\sqrt{2}}{2}\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2} \le \sigma_{lim} .$$