

5. Medžiagų mechaninės savybės

5.1. Bendrosios žinios

■ Ar konstrukcija (jos elementas) yra pakankamai stipri, standi, stabili, galima spręsti tik tuo atveju, kai šalia įtemptą ir deformuotą jos būseną apibūdinančių dydžių (įrašų, įtempimų, poslinkių ir deformacijų) yra žinomos ir medžiagos mechaninės savybės: stiprumas, tamprumas, plastiškumas, trapumas, kietumas ir kitos. Šias savybes kiekybiškai apibūdina jų rodikliai, pvz., stiprumą – stiprumo riba (trapioms medžiagoms) ir takumo riba (plastiškoms medžiagoms); tamprumą – proporcingumo riba, tamprumo riba, tamprumo ir šlyties moduliai bei Puasono koeficientas; plastiškumą – takumo riba, santykinis liekamasis bandinio ilgio pokytis, santykinis liekamasis bandinio skerspjūvio ploto pokytis ir t.t. Medžiagos mechaninėms savybėms tirti, jų rodikliams nustatyti atliekami medžiagų mechaniniai bandymai. Plačiaja prasme mechaninių bandymų tikslas yra trejopas:

1) ištirti medžiagos irimo procesą bei įvairių veiksnių (temperatūros, radioaktyvaus švitinimo, terminio apdirbimo, cheminės sudėties, senėjimo ir kt.) įtaką medžiagos mechaninėms savybėms;

2) gauti medžiagų mechaninių savybių rodiklius (skaitines reikšmes);

3) patikrinti teorinius teiginius, formules ir skaičiuojamųjų schemų bei skaičiavimo metodų teisingumą.

Pirmaisiais dviem atvejais bandomi specialūs bandiniai, trečiuoju atveju – konstrukcijos, mazgai, sudėtingi statiniai ar jų maketai. Visais atvejais turi būti laikomasi norminiais dokumentais nustatyty sąlygų: bandiniai turi būti tam tikros formos ir matmenų, pagaminti jie turi būti reikiamo tikslumo ir prisilaikant tam tikrų taisyklių; normuojamas taip pat apkrovimo ir deformavimo greitis, temperatūra, bandinių skaičius, mechaninių rodiklių nustatymo metodika bei kiti dalykai. Laikytis šių sąlygų būtina, nes priešingu atveju įvairiose laboratorijose gautų rezultatų lyginimas neturėtų prasmės.

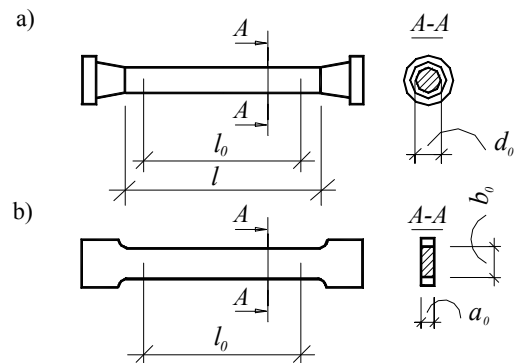
5.1 tekstas

5.2. Tempimo bandymas

■ Vienas iš pagrindinių medžiagos mechaninių bandymų yra tempimo bandymas. Jo tikslas yra gauti medžiagos stiprumo, tamprumo ir plastiškumo rodiklius, t.y. rodiklius, kurie inžineriniu požiūriu pakankamai visapusiškai atspindi svarbiausias medžiagos mechanines savybes.

Kaip buvo minėta, medžiagų mechaninių bandymų atlikimo metodika yra normuojama. Remsimės mūsų šalyje naudojamu valstybiniu standartu. Be to, bus akcentuojami tik esminiai, fizinius reiškinius atspindintys dalykai (detales galima rasti pačiame standarte arba įvairiuose medžiagų atsparumo laboratorinių darbų aprašymuose).

■ Bandiniai (cilindriniai ar plokštieji; žr. 5.1 pav.) tempiami specialiomis mašinomis. Įtvirtinus bandinį mašinos griebtuose ir pradėjus didinti jėgą, bandinys pradeda ilgėti. Tempiančios jėgos didumą rodo manometras, bandinio pailgėjimą – atstumas tarp griebtų. Tempiančios jėgos ir bandinio pailgėjimo ryšį parodo grafikas, kurį nubrėžia savirašis įtaisas – diagraminis aparatas. Šis grafikas ($\Delta = f(F)$) dar vadinamas tempimo diagrama. Būtent iš jos nustatomi svarbiausieji tiriamosios medžiagos mechaninių savybių rodikliai.



5.1 pav.

5.2 tekstas

■ Panagrinėjime būdingą minkštojo anglinio plieno tempimo diagramą (5.2 pav.). Diagramoje yra keletas ypatingų ruožų ir taškų.

Ruožas OA yra tiesė. Tai reiškia, kad tarp priežasties ir pasekmės (tarp F ir Δl) yra tiesinis ryšys. Jeigu šiame ruože bandinį nukrautume, tai jis susigrąžintų pradinius matmenis. Taigi ruože OA medžiaga deformuojasi ne tik tiesiškai, bet ir tampriai.

Ruožas AB – artima tiesei kreivė. Tai reiškia, kad jame negalioja Huko dėsnis. Tačiau bandinys ir toliau dirba tampriai. Tai paaiškėja nukrovus bandinį: jo liekamasis pailgėjimas praktiškai būna lygus nuliai.

Ruožas BC – taip pat kreivė. Nuo ruožo AB jis skiriasi tuo, kad jame bandinys deformuojasi tampriai plastiškai. Jeigu dabar nukrautume bandinį, tai aptiktume nežymų, tačiau praktiškai pastebimą liekamąjį bandinio pailgėjimą.

Ruožas CD – dantyta horizontali linija. Tai reiškia, kad bandinys ilgėja nesikeičiant (su nedideliais svyravimais) bandinį tempiančiai jėgai. Tai atsitinka todėl, kad šiame apkrovimo tarpsnyje keičiasi medžiagos struktūra, medžiaga "teka" (todėl ruožas CD dar vadinamas takumo aikštele). Takumo reiškinys susijęs su plastinėmis deformacijomis: visas tempiančios jėgos darbas, atliktas ruože CD , sunaudojamas medžiagos kristalų gardelėms suardyti. Todėl, nukrovus šiame ruože bandinį, pastebimas žymus liekamasis jo pailgėjimas.

Ruožas DE – kylanti į viršų kreivė. Tai reiškia, kad, pasibaigus medžiagos tekėjimui, ji sustiprėja (norint papildomai deformuoti bandinį, reikia padidinti jėgą). Šiame ruože medžiaga deformuojasi tampriai plastiškai: toliau didėja ir tampriosios, ir plastinės deformacijos. Jeigu, pvz., pasiekus tašką K , bandinį nukrautume, tai dalis jo pailgėjimo išnyktų ($\Delta l_{k,e}$), dalis liktų ($\Delta l_{k,p}$). Be to, tampriosios deformacijos išnyksta tokiu pačiu dėsniu kaip ir atsiranda, t.y. tiesės OA ir KM yra lygiagrečios.

Ruožas EF – žemyn krintanti kreivė. Tai reiškia, kad bandinys ilgėja mažėjant jėgai. Šio, prieštaraujancio sveikam protui, reiškinio priežastis yra vietinės deformacijos. Jos atsiranda silpniausioje bandinio vietoje, jėgai pasiekus didžiausią reikšmę (tašką E). Vystantis vietinėms deformacijoms, ima formotis kaklelis su ryškiai sumažėjusiu bandinio skerspjūvio plotu, todėl bandiniui toliau deformuoti pakanka mažesnės jėgos. Kaklelio skerspjūvio plotas mažėja greičiau negu jėga, todėl įtempimams pasiekus ribinį didumą bandinys nutrūksta (taškas F).

5.3 tekstas



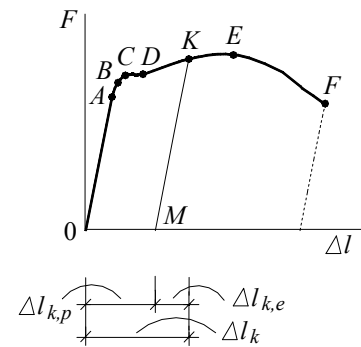
■ Aptartus ruožus vieną nuo kito skiria taškai. Kai kurie iš jų, t.y. taškai, žymintieji tam tikrų fizinių reiškinų pradžią ar pabaigą, vadinami ypatingaisiais. Tai taškai A , B , C , E ir F . Taškas A žymi tiesiško medžiagos deformavimo pabaigą, taškas B – tampraus deformavimo pabaigą, taškas C – medžiagos tekėjimo pradžią, taškas E – kaklelio susidarymo pradžią, taškas F – bandinio trūkumą.

Padalijus ypatingųjų taškų ordinateles, t.y. ypatingąsias tempiančios jėgos reikšmes (5.3 pav.), iš bandinio skerspjūvio pradinio ploto gaunami ypatingieji įtempimai. Jie apibūdina tam tikras medžiagos savybes ir kadangi žymi tam tikrų fizinių reiškinų pradžią ar pabaigą, vadinami ribomis.

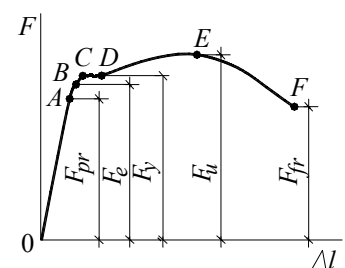
Proporcingumo riba yra didžiausias įtempimas, iki kurio galioja įtempimų ir deformacijų proporcingumo (Huko) dėsnis:

$$\sigma_{pr} = \frac{F_{pr}}{A_0} \quad (5.1)$$

Proporcingumo ribos didumas priklauso nuo sąlygų, kuriomis nustatomas tiesės OA išsikreivinimo taškas (taškas A). Pagal Standartą tai taškas, kuriame išbrėžtos liestinės ir ašies F sudaromo



5.2 pav.



5.3 pav.

kampo tangentas yra 50% didesnis už tangentą kampo, kuri sudaro tiesioji tempimo diagramos dalis su ašimi F (5.4 pav.).

Tamprumo riba yra didžiausias įtempimas, iki kurio medžiagoje praktiškai nepastebima jokių plastinių (liekamųjų) deformacijų:

$$\sigma_e = \frac{F_e}{A_0}. \quad (5.2)$$

Nustatant tamprumo ribą (taško B padėti) yra matuojamas liekamasis pailgėjimas. Pagal standartą (jei nėra ypatingų sąlygų) jis neturi viršyti 0,05% (5.5 pav.). Taip nustatyta tamprumo riba žymima $\sigma_{0,05}$. Dažnai tempimo diagramos taškai A ir B yra arti vienas kito. Todėl praktikoje paprastai nustatoma tik viena – proporcingumo riba.

Takumo riba yra mažiausias sąlyginis įtempimas, kuriam veikiant bandinys tįsta nedidinant apkrovos:

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_0}. \quad (5.3)$$

Kai kurios medžiagos takumo aikštelės neturi. Tačiau projektuotojui svarbu žinoti, kada prasideda intensyvus plastinis deformavimasis. Todėl nustatoma sąlyginė takumo riba. Pagal Standartą – tai sąlyginis įtempimas, dėl kurio medžiagoje atsiranda 0,2% didumo plastinė (liekamoji) deformacija (5.6 pav.). Ji žymima simboliu $\sigma_{0,2}$.

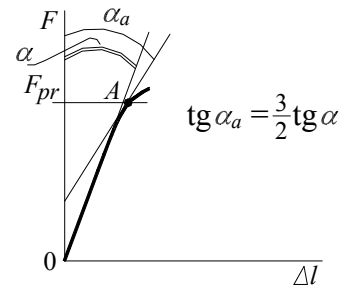
Stiprumo riba yra didžiausias sąlyginis įtempimas, kurį atlaiko bandinys:

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_0}. \quad (5.4)$$

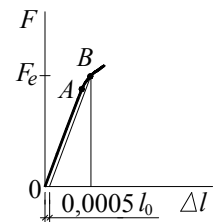
Kartais skaičiuojamas sąlyginis įtempimas $\sigma_{fr} = \frac{F_{fr}}{A_0}$. Jis vadinamas trūkimo riba. Tačiau šis rodiklis medžiagos mechaninėms savybėms apibūdinti praktiškai nenaudojamas.

■ Dar kartą aptarkime tempimo diagramos ruožus ir ypatinguosius taškus akcentuodami bandinio deformavimosi ypatumus (5.7 pav.).

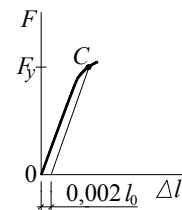
Iki proporcingumo ribos bandinys deformuojasi ir proporcingai, ir tampriai; nukrovus bandinį, pailgėjimas Δl_a išnyksta (5.7b pav.). Iki tamprumo ribos bandinys deformuojasi tik tampriai; nukrovus bandinį, pailgėjimas Δl_b taip pat praktiškai išnyksta (5.7c pav.). Nuo takumo ribos prasideda intensyvus plastinių deformacijų kaupimosi procesas (nereikėtų pamiršti, kad pirmosios nežymios plastinės deformacijos atsiranda ruože BC). Plastinių deformacijų kaupimosi procesas baigiasi taške D . Jeigu bet kur šiame ruože, pvz., taške D , bandinys nukraunamas, tai dalis bandinio pailgėjimo išnyksta ($\Delta l_{d,e}$), dalis pailgėjimo ($\Delta l_{d,p}$) pasilieka (5.7d pav.). Nuo taško D bandinys deformuojasi tampriai plastiškai: didėja tiek tampriosios, tiek plastinės deformacijos. Ties tašku E baigiasi tolydinis bandinio deformavimasis (5.7e pav.). Būtent dabar silpniausioje bandinio vietoje pradeda formotis kaklelis. Nuo šio momento bandinys praktiškai ilgėja dėl vietinių deformacijų, sparčiai besivystančių kaklelio srityje. Kaklelio skerspjūvio plotas mažėja greičiau negu mažėja apkrova, todėl taške F , įtempimams kaklelyje pasiekus ribinį didumą, bandinys nutrūksta. Bandiniui nutrūkus, dalis viso jo pailgėjimo ($\Delta l_{f,e}$) išnyksta, dalis – ($\Delta l_{f,p}$) lieka (5.7f pav.). Būtent



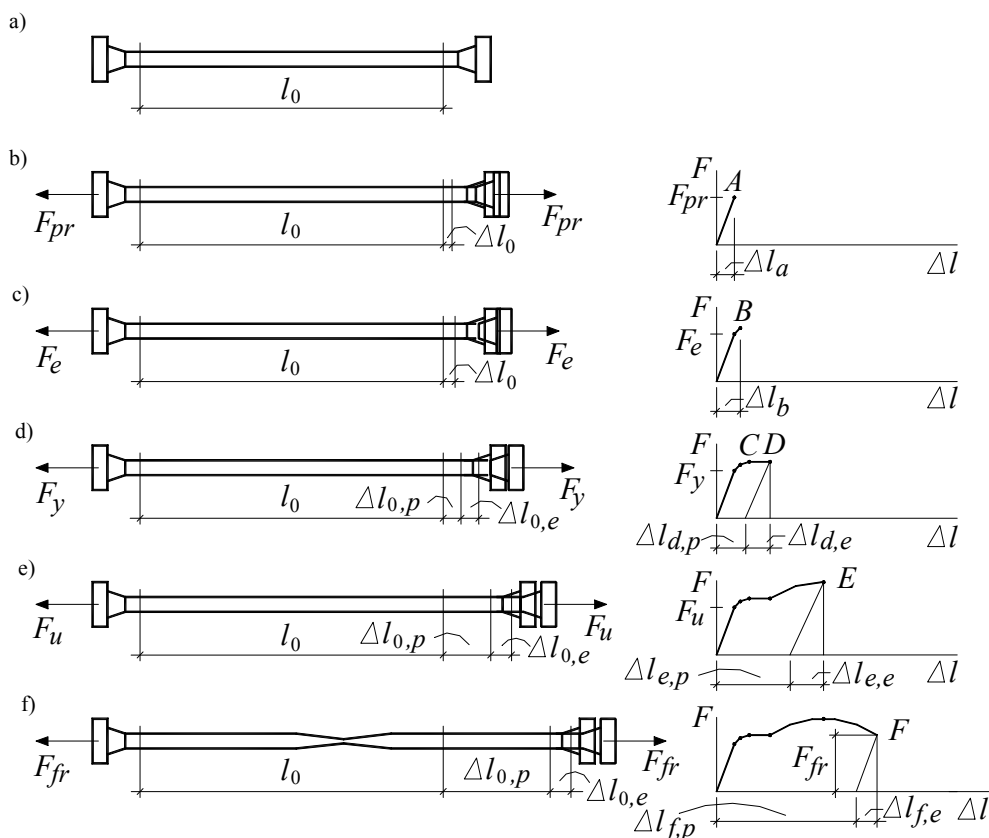
5.4 pav.



5.5 pav.



5.6 pav.



5.7 pav.

liekamasis bandinio pailgėjimas $\Delta l_{f,p}$ ir naudojamas medžiagoms plastinėms savybėms apibūdinti.

Pagal standartą jis turi būti nustatytas matuojant trūkusį bandinį. Tam tikslui trūkusio bandinio dalys suglaudžiamos ir matuojamas trūkusio bandinio ilgis l . Kartu matuojamas kaklelio skersmuo d . Gauti geometriniai dydžiai (l ir d) nėra medžiagos plastiškumo rodikliai; jie tik naudojami jiems nustatyti.

Medžiagos plastiškumo rodikliai yra:

a) santykinis liekamasis bandinio ilgio pokytis

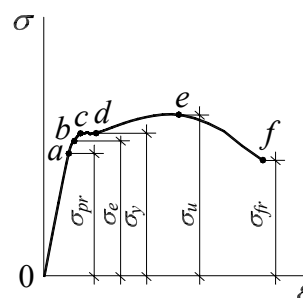
$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100(\%), \quad (5.5)$$

b) santykinis liekamasis bandinio skerspjūvio ploto pokytis

$$\psi = \frac{A_0 - A}{A_0} \cdot 100(\%). \quad (5.6)$$

5.4 tekstas ***

■ Tempimo diagrama priklauso ir nuo medžiagos savybių, ir nuo bandinio matmenų. Pakeiskime jėgos F ašį sąlyginio įtempimo $\sigma = F/A_0$ ašimi, o bandinio pailgėjimo ašį – vidutinės linijinės deformacijos $\varepsilon = \Delta l/l_0$ ašimi. Gausime funkcijos $\varepsilon = f(\sigma)$ grafiką, kuris vadinamas tempimo įtempimų diagrama (5.8 pav.). Ji nepriklauso nuo bandinio matmenų ir kiekybiškai apibūdina tiriamos medžiagos savybes.



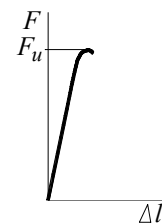
5.8 pav.

Atkreipkime dėmesį (žr. 5.8 pav.), kad tempimo įtempimų diagramos tiesiosios dalies $0a$ kampo, sudaromo su ε ašimi, tangentas yra tamprumo modulis: $\operatorname{tg}\alpha = \sigma/\varepsilon = E$.

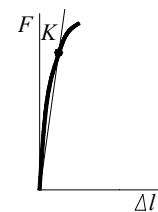
5.5 tekstas, 5.9 pav.

■ Minkštojo anglinio plieno tempimo diagrama (5.2 pav.) yra būdinga plastinės medžiagos tempimo diagrama, turinti visus ypatinguosius ruožus ir taškus. Panašias diagramas, t.y. diagramas su ryškia takumo aikštele, turi tik medžiagos su dvigubomis kristalų gardelėmis, pvz., žalvaris, diuraliuminis. Kitų plastinių medžiagų, pvz., legiruotų plienų, bronzos, aliuminio ir kitų, tempimo diagramos takumo aikštelių neturi. Taigi jų plastinis deformavimasis yra tolydiškesnis negu minkštojo anglinio plieno. Tokioms medžiagoms nustatoma sąlyginė takumo riba $\sigma_{0.2}$. Apibendrinant plastinių medžiagų deformavimosi procesą, reikėtų įsiminti, kad nepriklausomai nuo to, ar plastinių deformacijų atsiradimą lydi takumo reiškiniai, ar ne, visi bandiniai, pagaminti iš plastinių medžiagų, suyra tik tuomet, kai: a) išsivysto didelės plastinės deformacijos; b) susidaro kaklelis.

■ Visiškai kitaip atrodo trapių medžiagų tempimo diagramos. Būdingą tokioms diagramoms formą turi pilkojo ketaus tempimo diagrama (5.10 pav.). Pagrindiniai skirtumai lyginant trapių medžiagų tempimo diagramas su plastinių medžiagų tempimo diagramomis yra šie: nėra tiesialinijinės diagramos dalies (nors pradinė diagramos dalies kreivė labai lėkšta ir praktiškai nesiskiria nuo tiesės), nėra takumo aikštelės, bandinys nutrūksta esant nedidelėms plastinėms deformacijoms (pilkojo ketaus $\delta \approx 0.5\%$), trūkimo vietoje nesusidaro kaklelis. Taigi trapioms medžiagoms turi prasmę tik tamprumo ir stiprumo ribos. Daugelio trapių medžiagų šios ribos skiriasi nežymiai, todėl dažniausiai nustatoma tik viena iš jų – stiprumo riba. Nustatant tamprumo modulį, pradinė tempimo diagramos dalis ištiesinama. Tam tikslui brėžiama styga, jungianti koordinatinių pradžios tašką 0 su diagramos tašku, atitinkančiu nagrinėjamą apkrovimo momentą, pvz., tašką K pateiktoje 5.11 pav. tempimo diagramoje.



5.10 pav.



5.11 pav.

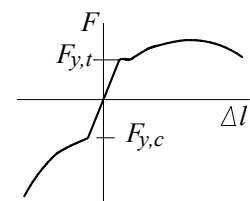
5.6 tekstas, 5.12 pav.

5.3. Gniuždymo bandymas

■ Gniuždymu dažniausiai bandomos medžiagos, kurių mechaninės savybės jas tempiant ir gniuždant yra skirtingos arba kurios dirba išimtinai gniuždymui. Bandant metalus gaminami cilindriniai bandiniai, kurių aukštis lygus skersmeniui (dažniausiai $d = h = 20 \text{ mm}$), bandant kitas medžiagas gaminami kubelio formos bandiniai, kurių kraštinės didumas priklauso nuo medžiagos, pvz., medienos kubelio $a = 50 \text{ mm}$, betono – $a = 100 \text{ mm}$. Kaip buvo minėta, bandinių forma ir matmenys, taip pat jų skaičius, bandymų technologija, rodiklių nustatymo metodika yra normuojama. Todėl išsamią informaciją apie gniuždymo bandymą galima rasti Standarte arba juo remiantis parengtuose laboratorinių darbų aprašymuose.

■ Aptarsime keletą būdingų gniuždymo diagramų.

■ Minkštojo anglinio plieno gniuždymo diagrama pateikta 5.13 pav. Tai būdinga plastinės medžiagos gniuždymo diagrama. Iš diagramos matyti, kad gniuždoma plastinė medžiaga iki takumo aikštelės deformuojasi taip pat kaip ir tempinama. Be to, jėgų, atitinkančių proporcingumo, tamprumo ir takumo ribas, reikšmės praktiškai yra vienodos. Gniuždymo ir tempimo diagramos pradeda skirtis tik pasibaigus takumo reiškiniui (gniuždomos medžiagos takumo aikštelė yra trumpesnė todėl, kad yra trumpesnis bandinys). Toliau didinant gniuždančią jėgą dėl didėjančios skersinės deformacijos plečiasi bandinio skerspjūvis ir kartu didėja jo laikomoji galia. Tai gali tęstis iki begalybės, cilindriniams



5.13 pav.

bandiniams virstant plonutėliu lakštu. Taigi gniuždant plastinę medžiagą bandinys nesuyra, stiprumo riba nenustatoma. Pagal standartą nustatoma takumo riba, kartais proporcingumo riba. Daugeliui medžiagų gniuždomoji takumo riba $\sigma_{u,c}$ ir tempiamoji stiprumo riba $\sigma_{u,t}$ yra panašaus didumo.

Pastaba. Gniuždant plastinę medžiagą, bandinys įgyja statinaitės formą (5.14 pav.). Tai atsitinka dėl trinties jėgų, kurios atsiranda tarp gniuždomo cilindro galinių skerspjūvių ir gniuždymo mašinos atraminių plokščių. Trintį galima sumažinti panaudojus specialius tepalus, grafitą.

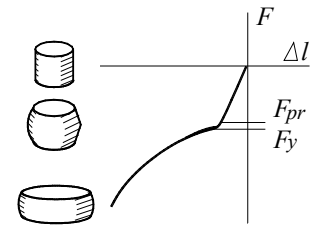
■ Ketaus gniuždymo diagrama pateikta 5.15 pav. Tai būdinga trapios medžiagos gniuždymo diagrama. Iš diagramos matyti, kad tiek tempiama, tiek gniuždoma trapi medžiaga deformuojasi panašiai. Iš pradžių tampriai ir proporcingai (iš tikrųjų pradinis diagramos ruožas yra lėkšta kreivė, taigi Huko dėsnis gali būti taikomas tik apytiksliai), po to tampriai plastiškai. Pagaliau jėgai pasiekus ribinį didumą, bandinys suyra. Taigi skirtingai nuo plastinės medžiagos trapi medžiaga neturi takumo aikštelės ir pagrindinis jos mechaninis rodiklis yra stiprumo riba (ne tik gniuždomai, bet ir tempiamai medžiagai). Visų trapių medžiagų gniuždomoji stiprumo riba yra daug didesnė nei tempiamoji stiprumo riba, pvz., betono $\sigma_{u,c} = 20\sigma_{u,t}$, ketaus $\sigma_{u,c} = 5\sigma_{u,t}$.

Ketaus bandinys suyra staigiai. Prieš suirdamas jis šiek tiek išsipučia, ant jo paviršiaus atsiranda irimo plyšių, sudarančių maždaug 45° kampą su skerspjūvio plokštuma. Plyšiai apytiksliai sutampa su aikštelių, kuriose veikia didžiausi tangentiniai įtempimai, padėtimi. Taigi ketui pavojingos yra šlyties deformacijos. Panašiai kaip ketus deformuojasi ir suyra ir kitos trapios medžiagos, pvz., betonas (5.16 pav.).

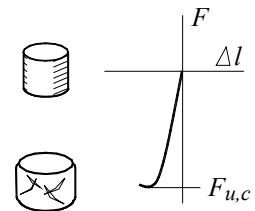
■ Anizotropinės medžiagos mechaninės savybės priklauso nuo deformavimo krypties. Todėl medžiagų tyrimas yra sudėtingesnis, nes reikia bandyti bandinius, įvairiai orientuotus jėgos veikimo krypties atžvilgiu. Būdingas anizotropinės medžiagos pavyzdys yra mediena. Ji gniuždoma išilgai ir skersai sluoksnių.

Gniuždant medieną išilgai sluoksnių, nustatoma stiprumo riba. Diagramos forma panaši į trapių medžiagų gniuždymo diagramos formą (pradinė jos dalis sąlygiškai laikoma tiese). Bandinys suyra, nes išklumpa medienos plaušai, bandinio dalys sušliejamos viena kitos atžvilgiu (5.17 pav.).

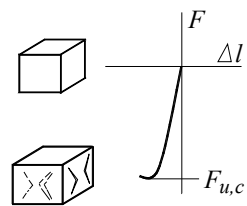
Gniuždant medieną skersai sluoksnių, nustatoma sąlyginė stiprumo riba. Diagramos forma panaši į plastinių medžiagų gniuždymo diagramos formą (pradinė jos dalis sąlygiškai laikoma tiese). Skersai sluoksnių gniuždomas bandinys tik susispaudžia, bet nesuyra. Nustatant sąlyginę stiprumo ribą, ardančiąją bandinį jėgą sąlygiškai laikoma jėga, nuo kurios jėgos ašies ir gniuždymo diagramos liestinės sudaromo kampo tangentas padidėja 50% palyginti su pradine kampo tangento reikšme tiesiojoje diagramos dalyje (5.18 pav.).



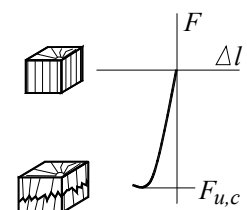
5.14 pav.



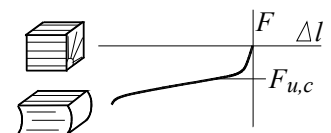
5.15 pav.



5.16 pav.



5.17 pav.



5.18 pav.

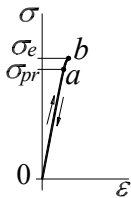
5.4. Reiškiniai bandinius nukraunant ir pakartotinai apkraunant

■ Jeigu tempiant plastinės medžiagos bandinį, apkrova pašalinama įtempimams nepasiekus tamprumo ribą, o po to bandinys iš naujo apkraunamas, tai naujoji diagrama niekuo nesiskiria nuo

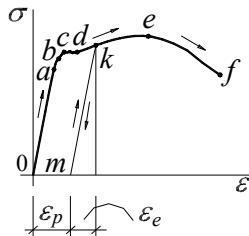
tos, kuri buvo gauta pirmuoju atveju (5.19 pav.). Taigi, kai apkrovos nesukelia plastinių deformacijų, apkrovimo istorija neturi įtakos konstrukcijos patikimumo įvertinimui (išskyrus kai kuriuos specialiuosius atvejus, pvz., medžiagos nuovargį).

■ Jeigu tempiant plastinės medžiagos bandinį apkrova pašalinama prasidėjus plastinėms deformacijoms, o po to bandinys vėl apkraunamas, tai naujoji diagrama labai skiriasi nuo tos, kuri gaunama bandant plastinių deformacijų nepatyrusią medžiagą (5.20 pav.). Pakartotinai apkraunant plastiškai deformuotą bandinį, tamprioji deformacija vystosi pagal tiesią liniją, beveik lygiagrečiai tiesei $0a$. Naujos plastinės deformacijos prieaugis atsiranda tik po to, kai įtempimas medžiagoje pasiekia tą reikšmę, kuri buvo pasiekta prieš tai vykusio plastinio deformavimo metu (taškas K). Toliau deformavimo procesas vyksta taip, lyg nukrovimo ir nebūtų buvę – diagrama po nukrovimo yra tarytum sklandi diagramos prieš nukrovimą tąsa. Taigi plastiškai deformuojant keičiasi medžiagos savybės (5.21 pav.): padidėja proporcingumo, tamprumo ir takumo ribos (medžiaga tampa tarsi stipresnė), pranyksta takumo aikštelė, sumažėja santykinis liekamasis bandinio ilgio pokytis (medžiaga tampa trapesnė).

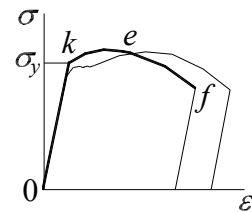
5.7 tekstas



5.19 pav.



5.20 pav.

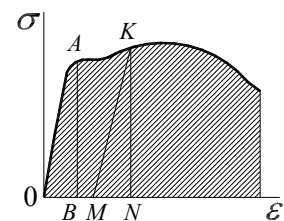


5.21 pav.

5.5. Darbas, reikalingas bandiniui suardyti

■ Darbas, kurį atlieka jėga, suardydama bandinį, lygus bandinio vidinių jėgų atliktam darbui. Jis savo skaitine reikšme lygus tempimo (gniuždymo) diagramos plotui. Tyrinėtojus labiau domina ne darbas, reikalingas bandiniui suardyti, bet darbas, reikalingas suardyti medžiagos tūrio vienetui. Pastarasis darbas vadinamas medžiagos tąsumo modulių ir lygus tempimo (gniuždymo) įtempimų diagramos plotui (5.22 pav. užbrūkšniuotas įstrižomis linijomis). Tąsumo modulis apibūdina medžiagos sugebėjimą priešintis dinaminiam apkrovų poveikiui (kuo daugiau energijos reikia suardyti medžiagos tūrio vienetui, tuo medžiaga geriau priešinasi dinaminiam apkrovų poveikiui).

Deformuojant bandinį, dalis sunaudojamos energijos yra grįžtamoji (ji susikaupia potencialinės deformacijos energijos pavidalu), dalis – negrįžtamoji. Kiekvieno apkrovimo momentu, pvz., atitinkančiu tašką K , potencialinė deformavimo energija lygi trikampio KMN plotui, negrįžtamoji – diagramos plotui nuo diagramos pradžios iki tiesės KM . Ypač reikšminga ta grįžtamosios energijos dalis, kuri santykinės potencialinės deformavimo energijos pavidalu susikaupia medžiagoje iki plastinio deformavimo pradžios. Šis medžiagos rodiklis vadinamas rezilianso modulių ir yra lygus tempimo įtempimų diagramos dalies OAB (dažniausiai trikampio) plotui.



5.22 pav.

5.6. Įvairių veiksnių įtaka medžiagos mechaninėms savybėms

■ Medžiagos mechaninės savybės priklauso nuo daugelio veiksnių. Vieni iš jų susiję su medžiagos gamybos technologija (cheminė sudėtis, gamybos būdas, terminis apdirbimas), kiti su

konstrukcinio elemento eksploataavimo sąlygomis (temperatūra, radioaktyvusis švitinimas, agresyvioji aplinka, apkrovimo būdas ir greitis, eksploataavimo laikas). Pirmosios grupės veiksniai yra svarbūs mokslininkams ir inžinieriams, kuriantiems bei gaminantiems konstrukcines medžiagas, nes, tik gerai žinodami šių veiksnių įtaką, jie gali sukurti ir pagaminti medžiagas, turinčias reikiamas mechanines savybes. Tuo tarpu projektuotojams svarbu žinoti antrosios grupės veiksnių įtaką medžiagos stiprumui, nes tik tokiu atveju jų suprojektuotas elementas bus patikimas ir aukštoje temperatūroje, ir agresyviojoje aplinkoje, ir veikiant sudėtingai kintančioms apkrovoms.

■ *Cheminė sudėtis* didžiausią įtaką turi įvairių metalų lydiniams. Pavyzdžiui, tiek plienas, tiek ketus yra geležies ir anglies lydiniai su mangano, silicio, nikelio, chromo, sieros, fosforo ir kitų elementų priemaišomis. Tai, kad plienas yra plastiška, o ketus trapi medžiaga, nulemia anglies kiekis lydinyje. Pliene anglies yra ne daugiau kaip 2,14%, ketuje – nuo 2,5% iki 5%. Kiti elementai taip pat keičia lydinų mechanines savybes. Manganas didina kietumą. Silicis mažina kietumą, bet didina tamprumą. Chromas didina proporcingumo ribą ir kietumą. Nikelis didina plastiškumą ir atsparumą dinaminiam deformavimui. Fosforas ir siera mažina plastiškumą.

■ Konstrukcinio elemento *gamybos būdas* gali būti labai įvairus. Elementas gali būti liejamas, kalamas, štampuojamas, valcuojamas ir t.t. Tos pačios sudėties medžiagos mechaninės savybės įvairiai gaminant konstrukcinį elementą gali skirtis ir į tai būtina atsižvelgti. Pavyzdžiui, liejant konstrukcinį elementą, gali atsirasti įvairių vidinių defektų, tuštumų, kurios mažina elemento stiprumą. Todėl lietus elementus būtina kruopščiai tikrinti, naudojant ultragarsį ar kitus metodus. Valcuojant izotropinę medžiaga virsta anizotropine. Pavyzdžiui, valcuoto plieno savybės valcavimo kryptimi žymiai skiriasi (padidėja stiprumo riba) nuo savybių statmena kryptimi. Išankstinis šaltas tempimas virš takumo ribos (sukietinimas) labai padidina takumo ribą, bet sumažina santykinį liekamąjį ilgio pokytį. Sukietinta medžiaga pasidaro labiau tampri ir stipri, bet mažiau plastiška. Atitinkamas konstrukcinių elementų paviršių apdirbimas (tekinimas, poliravimas, chromavimas, nikeliavimas ir t.t.), tai pat didina elemento stiprumą, ypač kai jis yra veikiamas mainiųjų įtempimų.

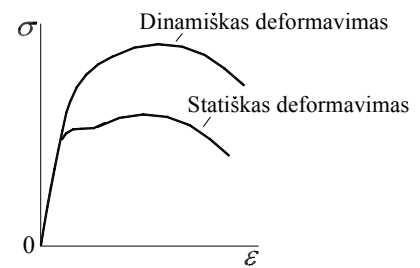
■ *Terminis apdirbimas* yra medžiagos (dažniausiai plieno) kaitinimo ir aušinimo procesas, kurio metu pakeičiama jos struktūra ir kartu mechaninės savybės. Dažniausiai naudojamas atkaitinimas, grūdinimas ir atleidimas. Atkaitinimu (plienas įkaitinamas iki tam tikros temperatūros, nustatytą laiką joje laikomas, po to lėtai aušinamas) sumažinamas plieno stiprumas ir padidinamas jo plastiškumas. Jis naudojamas, kai reikia šalinti pradinius įtempimus, atsiradusius dėl šaltojo apdirbimo, arba kai ruošiamasi šaltai apdirbti plieną. Grūdinimu (įkaitintas plienas staigiai aušinamas vandenyje ar tepale) padidinamas plieno kietumas ir stiprumas, bet sumažinamas plastiškumas. Atleidimu (grūdintas plienas tam tikru greičiu įkaitinamas ir laikomas įkaitintas) padidinamas plieno plastiškumas, bet nežymiai sumažinamas stiprumas.

■ *Temperatūra*, kuriai esant nustatomi medžiagų mechaninių savybių rodikliai, yra normuojama. Paprastai eksperimentai atliekami vadinamojoje kambario temperatūroje, kuri lygi $20^{\circ}C$. Tačiau daugelis konstrukcijų dirba žymiai aukštesnėje (dujų turbinos, garo katilai, vidaus degimo varikliai ir t.t.) arba žemesnėje (šaldymo įrengimai, statybinės konstrukcijos ir t.t.) temperatūroje. Todėl būtina žinoti, kaip kinta medžiagų mechaninės savybės nuo temperatūros. Įvairių medžiagų temperatūros įtaka jos mechaninėms savybėms yra skirtinga, kai kuriais atvejais, pvz., anglinio plieno atveju, labai sudėtinga. Tačiau daugumos konstrukcinių medžiagų stiprumas kylant temperatūrai mažėja, o temperatūrai krentant didėja. Tačiau medžiagos plastiškumas, atvirkščiai, temperatūrai kylant didėja, o jai krentant mažėja.

■ *Radioaktyviojo švitinimo įtaka* medžiagos mechaninėms savybėms svarbi branduolinių reaktorių konstrukcijoms. Nustatyta, kad nuo radioaktyviojo švitinimo didėja medžiagos stiprumas, mažėja plastiškumas, taip pat labai padidėja tamprumo modulis.

■ *Agresyvios aplinkos poveikis* visais atvejais yra nepageidautinas, nes spartina medžiagos (metalo, betono) koroziją, t.y. medžiagos irimą, sukeliama fizinių, cheminių, elektrocheminių reiškinių, vykstančių kūno paviršiuje dėl sąveikos su aplinka. Koroduodami metalai virsta junginiais, neturinčiais metalų savybių. Dėl to sumažėja elemento skerspjūvio plotas, kiti geometriniai rodikliai, pakinta įtempimai, kurių didėjimas savo ruožtu spartina koroziją. Betonai koroduoja daug kartų sudrėkdamas ir išdžiūdamas, užšaldamas ir atšildamas. Dėl to jis darosi poringas, pleišėja, silpnėja.

■ *Apkrovimo greitis*, kuriam esant nustatomi medžiagų mechaninių savybių rodikliai, yra normuojamas. Paprastai $\frac{d\varepsilon}{dt} = (0,01 - 3) \frac{1}{\text{min}}$. Tačiau daugelis konstrukcinių elementų apkraunami greitai (įvairūs besisukantieji elementai) arba labai greitai (smūgiu veikiami elementai). Nustatyta, kad beveik visų medžiagų, joms plastiškai deformuojantis, mechaninių savybių rodikliai kinta. Kuo didesnis deformavimo greitis, tuo didesnės takumo ir stiprumo ribos. Ypač jautriai į deformavimo greičio pokyčius reaguoja plastmasės ir kitos organinės medžiagos. Metalų mechaninės savybės keičiasi tik esant dideliems greičių pokyčiams. Todėl, dinamiškai deformuojant medžiagą, ji tampa trapesnė (5.23 pav.).



5.23 pav.

■ Projektuotojas į konstrukcinio elemento *eksploatavimo laiką* turi atsižvelgti dėl kelių priežasčių. Pirmiausia dėl medžiagos *senėjimo*. Nustatyta, kad medžiagos mechaninės savybės dėl besikaupiančių struktūrinių pokyčių ilgainiui kinta. Senėjimas labai blogina plastmasių mechanines savybes. Senėjant plienui, mažėja santykinis liekamasis ilgio pokytis, didėja takumo įtempimas, taigi plienas darosi trapesnis. O betonas senėdamas stiprėja.

Kita priežastis, dėl kurios projektuotojas turi įvertinti konstrukcinio elemento eksploatavimo laiką, yra susijusi su *valkšnumu*. Valkšnumas yra medžiagos savybė papildomai deformuotis laikui bėgant nuo tos pačios pastovios apkrovos. Jis būdingas tokioms medžiagoms kaip betonas, mediena, gruntas, metalas ir kt. Būdingas valkšnumo pavyzdys yra negrįžtamas dujų turbinos disko ir mentelių matmenų padidėjimas aukštoje temperatūroje veikiant didelėms išcentrinėms jėgoms. Valkšnumą apibūdina du rodikliai: ilgalaikio stiprumo riba (didžiausias sąlyginis įtempimas, kurį atlaiko tam tikrą laiką tam tikroje temperatūroje pastovia jėga tempiamas bandinys) ir valkšnumo riba (sąlyginis įtempimas, kuriam veikiant plastinė deformacija per tam tikrą nustatytą laiką tam tikroje temperatūroje pasiekia pasirinktą reikšmę).

Ilgalaikio stiprumo riba priklauso nuo pasirinkto laiko, prabėgančio iki suirimo momento. Šis laiko tarpas imamas lygus konstrukcinio elemento tarnavimo laikui ir kinta gana plačiose ribose: nuo dešimčių valandų iki šimtų tūkstančių valandų. Kuo nusistatytas laiko tarpas ilgesnis, tuo ilgalaikio stiprumo riba mažesnė. Visada ilgalaikio stiprumo riba yra mažesnė už stiprumo ribą.

Valkšnumo riba priklauso ir nuo pasirinkto laiko intervalo (nustatomo pagal konstrukcinio elemento tarnavimo laiką), ir nuo leistinųjų deformacijų didumo (nustatomo pagal konstrukcinio elemento eksploatacijos sąlygas). Kartais nustatant valkšnumo ribą yra apribojamas ne deformacijos didumas, bet jos kitimo greitis. Kylant temperatūrai, valkšnumo riba (taip pat ir ilgalaikio stiprumo riba) mažėja.

5.8 tekstas, 5.24, 5.25 pav.

5.6. Deformacijos susidarymo mechanizmas

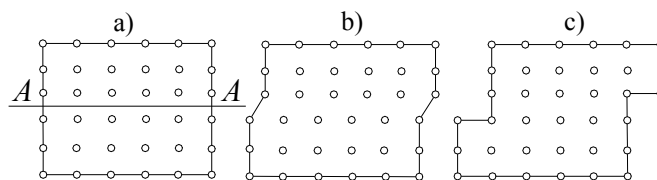
■ MM konstrukcinę medžiagą nagrinėja kaip vientisą, visiškai nesigilindama į struktūrinius pokyčius, vykstančius medžiagoje jos deformavimo metu. Tačiau, studijuojant MM, reikia bent įsivaizduoti, kas vyksta medžiagoje ją deformuojant, koks yra jos struktūrinių pokyčių ir mechaninių savybių ryšys.

■ Medžiagos gali būti amorfinės (oplas, gintaras, derva, stiklas, plastmasės ir kitos) ir kristalinės (granitas, kalcitas, betonas, metalai ir jų lydiniai, keramika ir kitos). Amorfinės medžiagos visada izotropinės, jų molekulės išsidėsčiusios netvarkingai, forma nepastovi, lydymosi temperatūra neapibrėžta. Dėl šių savybių jos retai naudojamos konstrukciniams elementams gaminti. Konstrukciniai elementai dažniausiai gaminami iš kristalinių medžiagų – tiksliau - iš polikristalinių medžiagų, t.y. medžiagų, sudarytų iš daugybės smulkių, chaotiškai medžiagos tūryje išsidėsčiusių kristalų. Kristalai turi iškilųjų daugiasienių formą ir tvarkingą vidinę struktūrą. Taisyklingą kristalų

formą lemia kristalinė gardelė, t.y. kristalo atomų, jonų (įelektrintų atomų) arba molekulių (atomų junginių) taisyklinga sistema. Atomų išsidėstymo sistema priklauso nuo jų savybių ir nuo fizinių kristalizacijos sąlygų.

■ Tarp kristalinės gardelės atomų veikia tarpusavio sąveikos jėgos. Neapkrautame kristale minėtų jėgų sistema yra taip pat griežtai nustatyta, kaip ir pačių atomų išsidėstymas. Veikiant išorinėms jėgoms, atomai gardelėje pasislenka vienas kito atžvilgiu, ir tarpusavio sąveikos jėgos tarp jų pakinta. Pašalinus išorines jėgas, kristalinės gardelės atomai vėl grįžta į savo pradinę, griežtai apibrėžtą padėtį, o deformuotas elementas atgauna savo formą ir geometrinius matmenis. Taip paaiškinama medžiagos tamprumo savybė.

■ Eksperimentai rodo, kad plastinių deformacijų atsiradimas susijęs su kristalinių gardelių šlytimi, t.y. plastinės deformacijos atsiranda tada, kai viena kristalo dalis pasislenka kuria nors plokštuma per kelis gardelės elementus (plokštuma AA , 5.26 pav.). Mažiausia plastinė deformacija atitinka poslinkį per vieną elementą. Tai yra lyg savotiškas



5.26 pav.

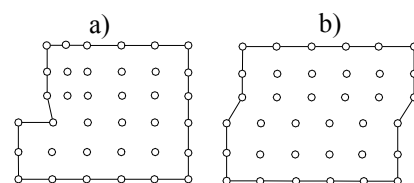
plastinės deformacijos kvantas. Įvykus tokiam poslinkiui, kiekvienas atomas iš eilės pereina į gretimo atomo vietą taip, kad visi atomai vėl atsiranda būdingose atitinkamai kristalinei struktūrai vietose. Vadinasi, kristalas išlaiko savo savybes, pakeisdamas tik savo išorinę konfigūraciją.

Tikslūs teoriniai skaičiavimai, atlikti pagal aprašytą plastinės deformacijos susidarymo mechanizmą, leidžia nustatyti tangentinius įtempimus, kuriems esant turi atsirasti plastinės deformacijos. Praktiškai plastinės deformacijos atsiranda veikiant įtempimams, beveik šimtą kartų mažesniems už teoriškai nustatytus. Toks skirtumas atsiranda dėl linijinių kristalų defektų, kurie vadinami dislokacijomis. Realūs kristalai arba turi dislokacijų, arba turi kokių nors kitų defektų, dėl kurių dislokacijos atsiranda veikiant nedideliems įtempimams. Taigi atomų šlyties poslinkis vyksta vienu metu ne visoje plokštumoje. Paprasčiausia vadinamosios kraštinės dislokacijos schema pateikta 5.27 paveikslėlyje. Tarkime, kad viršutinėje kristalo dalyje dėl kokių nors priežasčių yra atliekama vertikali atomų pusplokštumė. Paveikus kristalą nors ir nedideliais įtempimais dislokacija "perbėga" iš kairės į dešinę per visą kristalą. Tokiam kristalo formos pakeitimui reikia mažesnių įtempimų, negu visos viršutinės kristalo dalies perstūmimui. Dislokacijos skilimas kristale dažnai lyginamas su raukšlės judėjimu kilime. Raukšlei perėjus per visą kilimą, jis šiek tiek pasislenka. Tačiau jėga, reikalinga raukšlei perstumti, yra daug mažesnė už tą, kuri reikalinga visam kilimui perstumti iš karto.

Veikiant gana didelėms jėgoms, plastinės deformacijos bandinyje pradeda vyrauti. Negrįžtamos šlytys vyksta daugumos kristalų silpniausiose plokštumose, ypač tose plokštumose, kurių kryptys artimos didžiausių tangentinių įtempimų plokštumoms bandinyje. Tai aiškiai matyti iš to, kaip susidaro slydimo linijos.

Bandinį tempiant, gretimi kristalai veikia vienas kitą, ir viename kristale atsiradęs plastiškas poslinkis negali neribotai vystytis, nes jį blokuoja gretimi, tinkamiau orientuoti kristalai. Ši aplinkybė kaip tik ir paaiškina sustiprėjimo srities atsiradimą ir tam tikrą tempimo jėgos padidėjimą vykstant plastinėms deformacijoms. Todėl, sukietinant metalą, tarsi pašalinamos nepalankiausiai orientuotų kristalų silpniausios vietos.

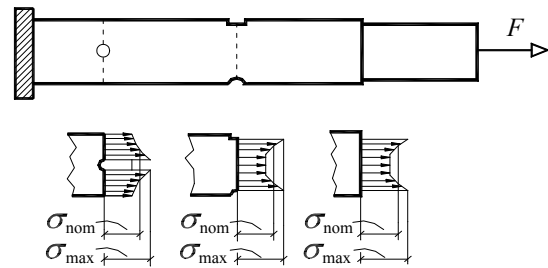
Apkrovus bandinį išorinėmis jėgomis, kristaluose vyksta ne tik atomų poslinkiai per eilę pozicijų, bet taip pat atsiranda ir kai kurių kristalinių gardelių iškrypimų. Vadinasi, kartu su plastine vyksta ir tamprioji deformacija. Nukraunant iškrypusios gardelės atgauna savo pradinę formą, t.y. deformacija išnyksta. Žinoma, plastinė deformacija neišnyksta.



5.27 pav.

5.7. Įtempimų koncentracija

■ Įtempimų koncentracija vadinamas netolygus įtempimų pasiskirstymas elemento pjūvyje, atsirandantis dėl staigaus pjūvio ploto pakitimo arba dėl medžiagos struktūros nevienalytiškumo (5.28 pav.). Priežastys, sukeliančios įtempimų koncentraciją, vadinamos koncentratoriais (pvz., kiaurymės, įpjovos, užkarpos strype, stambus užpildas betone ir pan.). Šalia koncentratorių atsiradę įtempimai visada būna didesni už nominalinius, t.y. įtempimus, apskaičiuotus įprastomis medžiagų mechanikos formulėmis, neatsižvelgiant į vietinių įtempimų atsiradimo galimybę (pvz., tempiamam-gniuždomam strypui $\sigma_{nom} = \frac{N}{A_{nt}}$).



5.28 pav.

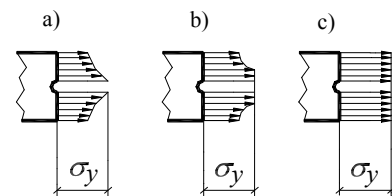
Projektuojant detales, jei yra galimybė, reikia vengti koncentratorių, nes jie mažina detalės stiprumą. Taip pat būtina stengtis, kad detalių paviršiai būtų kuo švariau apdirbti, nes menkiausi įbrėžimai gali pasireikšti kaip aktyvūs koncentratoriai, t.y. gali sumažinti stiprumo ribą (σ_u) 10 – 20%. Tai ypač būdinga didelio stiprumo grūdinto plieno detalėms.

■ Kiekybinė koncentratoriaus įtaka elemento stiprumui įvertinama panaudojus teorinį arba efektyvinių įtempimų koncentracijos koeficientą. *Teorinis įtempimų koncentracijos koeficientas* ($\alpha_\sigma = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{nom}}$) teoriškai apskaičiuojamas tamprumo teorijos metodais arba nustatomas eksperimentiškai ir priklauso nuo koncentratoriaus formos bei jo matmenų (kuo mažesnis koncentratoriaus spindulys, tuo α_σ yra didesnis). *Efektyvinis įtempimų koncentracijos koeficientas* nustatomas eksperimentiškai:

$k = \frac{F_{lim}}{F_{lim,k}}$. Čia: F_{lim} – bandinio irimo apkrova, kai nėra koncentratoriaus, $F_{lim,k}$ – bandinio, turinčio koncentratorių, irimo apkrova. Koeficientas k skirtingai nuo koeficiento α_σ priklauso ne tik nuo koncentratoriaus formos, jo matmenų, bet ir nuo bandinio medžiagos mechaninių savybių.

■ Plastiškų ir trapių medžiagų stiprumui įtempimų koncentracija daro skirtingą įtaką, kuri taip pat priklauso nuo apkrovos pobūdžio (statinė ar dinaminė). Jei apkrova statinė, o medžiaga plastiška (turi takumo aikštelę), tai didinant apkrovą įtempimų didumas ties koncentratoriumi auga tik iki takumo ribos (5.29a pav.). Toliau didinant apkrovą $\sigma_{max} = \sigma_y$, tačiau kiti įtempimai auga (5.29b pav.). Pagaliau esant tam tikrai apkrovai, įtempimai visame pjūvyje tampa lygūs takumo ribai (5.29c pav.). Taigi plastiškosios medžiagos savybės padeda išsilyginti įtempimams koncentratoriaus srityje. Todėl sakoma, kad plastiškos medžiagos, kai apkrova statinė, nejautrios įtempimų koncentracijai (efektyvinis įtempimų koncentracijos koeficientas $k = 1$). Jei apkrova ciklinė arba smūginė, įtempimai nespėja išsilyginti, ir įtempimų koncentracija mažina detalės stiprumą.

Jei medžiaga trapi, tai įtempimų koncentracijos reiškinys išlieka per visą deformavimo procesą iki suirimo. Koncentratoriaus vietoje, t.y. ten, kur veikia σ_{max} , atsiranda plyšys. Ypač jautrūs įtempimų koncentracijai didelio stiprumo grūdinti plienai. Tokioms mažai plastiškoms trapioms medžiagoms $k \cong \alpha_\sigma$.



5.29 pav.

5.1 pvz. ■ ■ ■

Kontroliniai klausimai

- 5.1. Koks medžiagų mechaninių bandymų tikslas?
- 5.2. Kokių sąlygų reikia laikytis atliekant medžiagų mechaninius bandymus? Kodėl?
- 5.3. Kodėl medžiagų gamintojas (metalurgijos gamykla, betono mazgas ar kita įmonė) turi nuolat atlikti medžiagų mechaninius bandymus?
- 5.4. Kada projektuotojas, konstrukcijos gamintojas (medžiagos vartotojas) turi atlikti medžiagų mechaninius bandymus?
- 5.5. Išvardykite keletą medžiagos mechaninių savybių.
- 5.6. Nubraižykite minkštojo anglinio plieno tempimo diagramą.
- 5.7. Kas yra proporcingumo riba?
- 5.8. Kas yra tamprumo riba?
- 5.9. Kas yra takumo riba?
- 5.10. Kokie reiškiniai lydi takumo procesą?
- 5.11. Kas yra sąlyginė takumo riba? Formulė, brėžinys.
- 5.12. Kas yra stiprumo riba?
- 5.13. Kokie plastiškumo rodikliai nustatomi išmatavus trūkusio bandinio ilgį ir kaklelio skersmenį? Formulės.
- 5.14. Kokios medžiagos vadinamos plastinėmis, kokios trapiomis?
- 5.15. Nubraižykite minkštojo anglinio plieno tempimo įtempimų diagramą. Punktyru parodykite tikruosius įtempimus.
- 5.16. Kaip surandamos tampriosios ir plastinės deformacijos tempimo įtempimų diagramoje? Brėžinys.
- 5.17. Kuo išreiškiamas tamprumo modulis tempimo įtempimų diagramoje? Brėžinys, formulė.
- 5.18. Nubraižykite trapios medžiagos (pvz., pilkojo ketaus) tempimo diagramą.
- 5.19. Kokie yra esminiai skirtumai, lyginant trapių medžiagų tempimo diagramas su plastinių medžiagų tempimo diagramomis?
- 5.20. Kokios medžiagos dažniausiai bandomos gniuždymu?
- 5.21. Nuo ko priklauso gniuždomų bandinių forma, kokios formos dažniausiai gaminami bandiniai?
- 5.22. Nubraižykite minkštojo anglinio plieno gniuždymo diagramą.
- 5.23. Kodėl gniuždomas plastinės medžiagos bandinys įgyja statinaitės formą?
- 5.24. Nubraižykite trapios medžiagos (pvz., pilkojo ketaus) gniuždymo diagramą.
- 5.25. Kaip suyra trapios medžiagos bandinys? Kokie įtempimai turi lemiamos reikšmės suardymo procese?
- 5.26. Nubraižykite medienos, gniuždomos išilgai sluoksnių, gniuždymo diagramą.
- 5.27. Nubraižykite medienos, gniuždomos skersai sluoksnių, gniuždymo diagramą.
- 5.28. Nubraižykite minkštojo anglinio plieno tempimo diagramą. Parodykite, kaip kinta tempiančios jėgos ir bandinio pailgėjimo priklausomybė, kai prasidėjus plastinėms deformacijoms bandinys nukraunamas, po to vėl apkraunamas.
- 5.29. Ką vadiname sukietinimu? Kaip pasikeičia medžiagos mechaninės savybės po sukietinimo?
- 5.30. Kas yra Baušingerio efektas? Kada jis vadinamas idealiuoju?
- 5.31. Grafiškai parodykite darbą, kuris reikalingas bandiniui suardyti.
- 5.32. Kas yra medžiagos tąsumo modulis?. Kaip jis nustatomas?
- 5.33. Kas yra rezilianso modulis? Kaip jis nustatomas?
- 5.34. Kokie veiksniai, susiję su medžiagos gamybos technologija, turi įtakos medžiagos mechaninėms savybėms?
- 5.35. Kokie veiksniai, susiję su konstrukcinio elemento eksploataavimo sąlygomis, turi įtakos medžiagos mechaninėms savybėms?
- 5.36. Kas yra valkšnumas?
- 5.37. Kas yra ilgalaikio stiprumo riba?
- 5.38. Kas yra valkšnumo riba?
- 5.39. Kas yra relaksacija?
- 5.40. Apibūdinkite amorfinę medžiagą.
- 5.41. Apibūdinkite kristalinę medžiagą.
- 5.42. Paaiškinkite kristalinės medžiagos tamprumo savybę.
- 5.43. Paaiškinkite kristalinės medžiagos plastinių deformacijų atsiradimą.
- 5.44. Kas yra dislokacija?
- 5.45. Kas yra įtempimų koncentracija?
- 5.46. Kaip nustatomas ir nuo ko priklauso teorinis įtempimų koncentracijos koeficientas?
- 5.47. Kaip nustatomas ir nuo ko priklauso efektyvinis įtempimų koncentracijos koeficientas?
- 5.48. Kodėl sakoma, kad plastiškos medžiagos, kai apkrova statinė, nejautrios įtempimų koncentracijai?