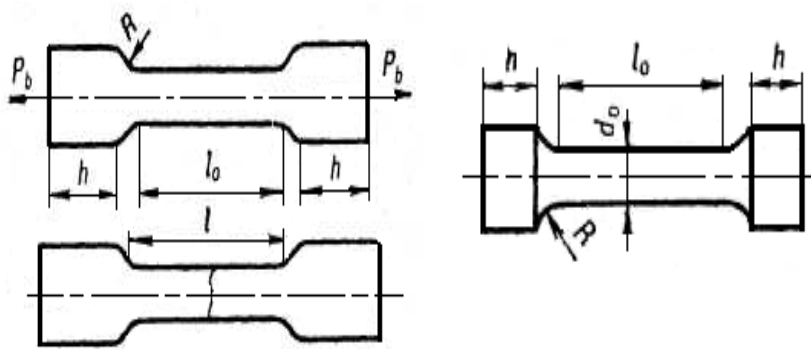


Mechaninės metalų savybės. Lydinių būsenos diagramos

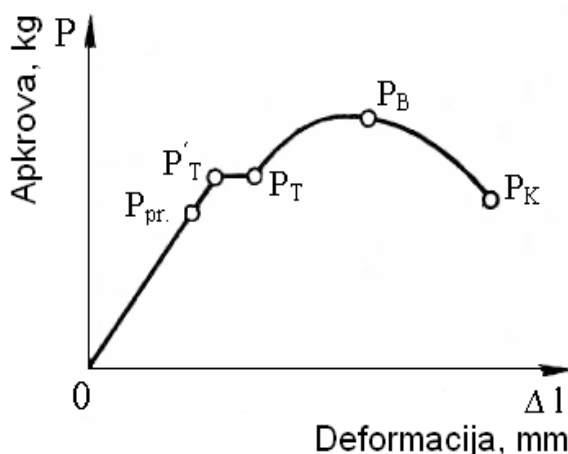
Visas inžinerinių medžiagų savybes galima suskirstyti į 5 grupes: mechaninės, fizikinės, cheminės, technologinės ir eksploatacinės.

Mechaninės savybės. Pagrindinės yra stiprumas, plastiškumas, kietumas.

Stiprumas – statinių ar dinaminių apkrovų veikiamos medžiagos savybė priešintis deformacijai. Esant statinėms apkrovoms, stiprumas nustatomas bandinių tempimo, gniuždymo, lenkimo ir sukimo bandymais. Medžiagos reakcijai į apkrovą apibūdinti vartojama ne absoliučioji veikianti jėgų vertė, bet santykinis dydis – jėgos dalis tenkanti bandinio skerspjūvio ploto vienetui. Šis santykinis dydis vadinamas įtempiu. Pateikiami tempimo bandiniai, kai yra plokščias ir apvalus bandinys.



h - mašinos griebtuvuose tvirtinamos galvutės ilgis,
 l_0 - pradinis bandinio ilgis, l - bandinio ilgis nutrūkstant jam, R - suapvalinimo spindulys, d_0 - cilindrinio bandinio skersmuo prieš bandant, P_b - tempimo apkrova



P_{pr} - proporcingumo ribos apkrova
 P'_T (P_T) - takumo ribos apkrova
 P_B - maksimali tempimo apkrova
 P_K - apkrova kai bandinys nutrūksta

Tempimo diagramoje yra keli būdingi taškai:

P_{pr} – apkrova, kurią pasiekus, bandinio pailgėjimas nustoja būti proporcingas jos didumui. Šią apkrovą atitinkanti medžiagos įtempis yra proporcingumo riba.

P_T – apkrova, nuo kurios pradeda ilgėti jai nesikeičiant. Ši apkrova vadinama takumo riba.

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0}, \text{ kg/mm}^2 \text{ (MPa)}$$

F_0 - bandinio skerspjūvio plotas

P_b – maksimali tempimo apkrova. Toliau bandinys ilgėja, mažėjant apkrovai. Ši apkrova vadinama tirpumo riba.

$$\sigma_B = \frac{P_b}{F_0}, \text{ kg/mm}^2 \text{ (MPa)}$$

F_0 - bandinio skerspjūvio plotas

P_{tr} – apkrova, kuriai eant bandinys nutrūksta. Arba tai yra trūkio riba.

Deformacija taip pat apibūdinama santykinio dydžio – bandinio pailgėjimo Δl ir pradinio ilgio l_0 santykiu:

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\%$$

Esant dinaminėms apkrovoms, stipris dažniausiai nustatomas tūsumo bandymų duomenimis. Rečiau naudojami smūginio tvarumo ir valkšnumo bandymai. Smūginio tūsumo kriterijai rodo metalo sugebėjimą priešintis smūginėms apkrovoms. Smūginis tūsumas KC išreiškiamas:

$$KC = \frac{K}{F_0}, \text{ kgf}\cdot\text{m/cm}^2 \text{ (J/m}^2\text{)}$$

K – darbas, sunaudotas bandiniui nulaužti

F_0 – bandinio skerspjūvio plotas įpjovos vietoje

Smūginio tūsumo nustatymui naudojami standartinių matmenų bandiniai su U, V arba T formos įpjovomis. Dažniausiai daroma U formos įpjova ir literatūros duodamos KCU smūginio tūsumo reikšmė.

Plastiškumas – tai bandinio savybė keisti formą ir matmenis nesuyrant. Jis apibūdinamas dviem rodikliais, gautais atliekant tempimo bandymus:

Santykinis pailgėjimas:

$$A = (l_1 - l_0) / l_0 \cdot 100\%$$

l_1 – bandinio ilgis nusitrukstant, l_0 – pradinis bandinio ilgis.

Santykinis skerspjūvio susiaurėjimas:

$$Z = (F_0 - F_1) / F_0 \cdot 100\%$$

F_0 – bandinio pradinis skerspjūvio plotas; F_1 – skerspjūvio plotas toje vietoje, kurioje nutrūksta kakliukas.

Trapių bandinių abu šie rodikliai yra artimi nuliui, plastiškų metalų siekia keliasdešimt procentų. Santykinis susitraukimas Z yra tikslesnis plastiškumo rodiklis.

Kietumas – tai metalų savybė priešintis įsiskverbimui į juos kitų kietesnių už juos kūnų. Dažniausiai metalų kietumas nustatomas Brinelio, Rokvelio ir Vikerso metodais.

Matuojant metalų kietumą Brinelio metodu, į juos įspaudžiamas tam tikro skersmens plieninis rutuliukas. Kietumo reikšmė nustatoma spaudimo jėgą P dalinant iš įspaudimo paviršiaus ploto F :

$$HB = \frac{P}{F_{\text{isp.}}}, \text{ kgf/mm}^2$$

$F_{\text{isp.}}$ – įspaudimo sferinio paviršiaus plotas

Kietumo vienetų dimensija MPa, tačiau dažniausiai jie duodami be dimensijos: HB 400, HB 250. Brinelio metodas tinka tik minkštų metalų ($HB \leq 450$) – atkaitintų plienų, spalvotųjų metalų kietumui matuoti. Bandant kietesnius metalus, plieninis rutuliukas gali deformuotis.

Rokvelio metodas tinka minkštų ir kietų metalų kietumui matuoti. Matuojant minkštų metalų kietumą, į juos 981 N jėga įspaudžiamas 1,588 mm (1,16 colio) skersmens plieninis rutuliukas, o matuojant kietą – deimantinis arba kietlydinio kūgis, kurio viršūnės kampas 120° . Apie metalų kietumą sprendžiama pagal tai, kiek giliai įsmigo indentorius. Priklausomai nuo to, koks indentorius ir kokia jėga buvo įspaudžiamas, Rokvelio kietumo vienetai žymimi HRC (kūgis, $F = 1471,5$ N), HRA (kūgis, $F = 588,6$ N), HRB (rutuliukas, $F = 981,0$ N).

Matuojant kietumą Vikerso metodu, į metalą įspaudžiama keturkampio pagrindo deimantinė piramidė, kurios viršūnės kampas 136° . Kietumo vienetai apskaičiuojami, spaudimo jėgą dalinant iš įspaudimo paviršiaus ploto. Jų dimensija MPa. Pavyzdžiui, HV12000 MPa. Matuojant kietumą Vikerso metodu, tikslesni rezultatai gaunami matuojant kietus metalus. Jis labai patogus plonų detalių (0,3–0,5 mm) kietumo matavimui bei termocheminio detalių sustiprinimo sluoksnių kietumui matuoti.

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 eksploatavimo sąlygomis (temperatūra, radioaktyvusis švitinimas, agresyvioji aplinka, apkrovimo būdas ir greitis, eksploatavimo 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 proc., ketuje – nuo 2,5 iki 6,67 proc. 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, šampuojamas, 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 lietų elementus būtina kruopščiai tikrinti, naudojant ultragarsą ar kitus metodus. Valcuojant izotropinę medžiagą 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.

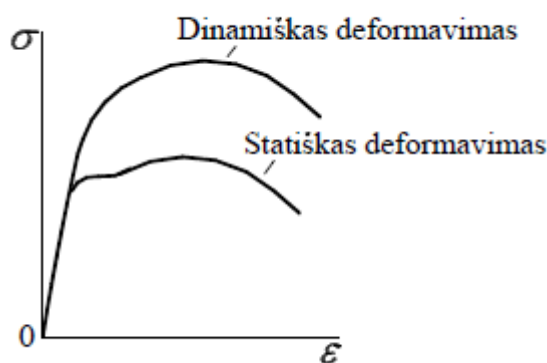
Temperatūra, kuriai esant nustatomi medžiagų mechaninių savybių rodikliai, yra normuojama. Paprastai eksperimentai atliekami vadinamojoje kambario temperatūroje, kuri lygi 20 °C . Tačiau daugelis konstrukcijų dirba žymiai aukštesnėje (dujų turbinos, garo katilai, vidaus degimo varikliai ir t.t.) arba 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.

Agresyvos 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. Betonas 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.).

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 turbino 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.

Fizikinės medžiagų savybės. Fizikinės medžiagų savybės yra lydymosi temperatūra, tankis, ilgėjimo ir tūrio plėtimosi koeficientai, elektrinis ir šiluminis laidumas. Šios savybės priklauso nuo jų sudėties ir struktūros.

Cheminės medžiagų savybės. Cheminės savybės lemia cheminis aktyvumas, cheminis reagavimas su agresyviomis terpėmis ir atikorozonės savybės.

Technologinės savybės. Jos yra liejamosios savybės, kalumas, suvirinamumas, apdirbimas pjovimu.

Liejamosios savybės:

- Skystų metalų takumas – skysto metalo geba pripildyti liejimo formas.
- Susitraukimas – liejinio tūrio ir matmenų mažėjimas metalui kietėjant.
- Likvacija – cheminės sudėties nevienodumas sukietėjusiame liejinyje.

Kalumas – tai apkrovos veikiamo metalo savybė įgauti reikiamą formą ir nesuirti esant didelėms plastinėms deformacijoms. Metalai kalami šalti ir karšti.

Suvirinamumas vadinama metalo savybė sudaryti stiprias ir neišardomas jungtis kambario ir žemoje temperatūroje. Gerai suvirinamas neanglinis ir legiruotas plienas.

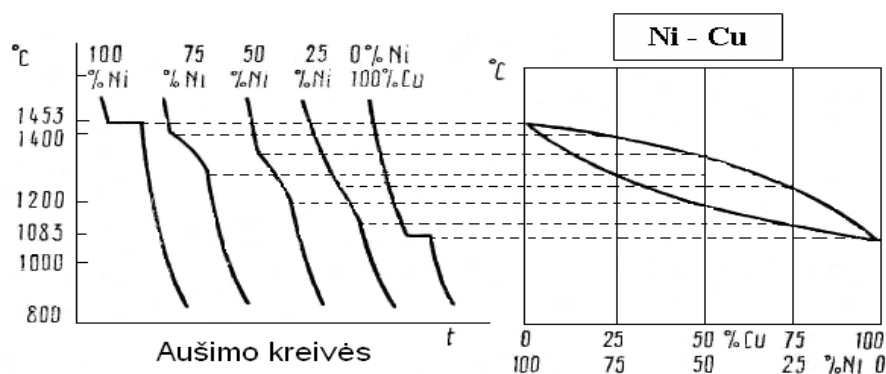
Apdirbamumas pjovimu – galimybė apdirbti metalus visų rūšių pjovimo įrankiais ir gauti reikiamos kokybės paviršius.

Eksploatacinės savybės. Jos apibūdinamos atsparumu šalčiui, karščiui, antifrikinėmis ir pritrinimo prie kitos medžiagos savybėmis.

Lydinių būsenos diagramos

Lydinių būvio diagramos grafinėje formoje vaizduoja, kaip keičiasi lydinių struktūra, kintant jų koncentracijai ir temperatūrai. Jos parodo moksliskai pagrįstai parinkti lydinių liejimo, apdorojimo spaudimu bei terminio apdorojimo režimus, parinkti lydinius, užtikrinančius reikalingas savybes.

Literatūroje dažniausiai pateikiamos pusiausvyrinės lydinių būvio diagramos, atspindinčios fazių pusiausvyros sąlygas ir pusiausvyrines struktūras. Pusiausvyrinėmis laikomos tokios sąlygos, kuriose visi procesai yra grįžtami, t.y. procesai, kurie vyksta auštant lydiniam, juos kaitinant vyksta atvirkštine tvarka tose pačiose temperatūrose. Realiose sąlygose šios temperatūros niekuomet nesutampa. Struktūrinių virsmų temperatūrų skirtumas kaitinant ir aušinant lydinius vadinamas histerize. Sudarant pusiausvyrines lydinių būvio diagramas siekiama, kad histerizė būtų minimali.



Lydinių būvio diagramos temperatūrų ašis yra ordinačių ašis, koncentracijų - abscisių ašis. Lydinių, kuriuos sudaro komponentai sakykim Ni ir Cu, sudėtį rodo atkarpa. Šios atkarpos taškai A ir B atitinka grynus (100 %) komponentus Ni ir Cu. Kiekvienas šios atkarpos taškas atitinka tam tikros koncentracijos lydinį. Lydinių būvio diagramos dažniausiai sudaromos eksperimentiniu būdu – terminės analizės metodu, t.y. koordinatėse „TEMPERATŪRA – LAIKAS“ sudarant įvairių koncentracijų lydinių aušimo kreives. Jos parodo, kaip laikui bėgant keičiasi lydinio temperatūra. Gryno metalo aušimo kreivė rodo, kad pirmoji viršutinė atkarpa kreivė rodo kad išlydytas metalas aušta tolygiai. Kristalizacijos procese išsiskirianti šiluma palaiko pastovią temperatūrą. Tai rodo pastovios temperatūros laiptelis aušimo kreivėje. Paibaigus kristalizacijai, suketijęs metalas vėl aušta tolygiai. Kietieji tirpalai kristalizuojasi tam tikrame temperatūros intervale. Faziniai ir struktūriniai virsmai metaluose visuomet lydimi tam tikro šiluminio efekto.

Aušimo kreivėse šis efektas atsispindi horizontaliu laipteliu arba kreivės lūžio tašku. Fazinių bei struktūrinių virsmų pradžios ir pabaigos temperatūros yra vadinamos kritinėmis, o aušimo kreivės jas atitinkantys taškai - kritiniais taškais. Terminės analizės metodu surasti įvairių koncentracijų lydinių kritiniai taškai žymimi koordinatėse „TEMPERATŪRA – KONCENTRACIJA“. Sujungus vienareikšmius kritinius taškus, gaunamos lydinių būvio diagramų linijos.

Viršutinė diagramos linija, vadinama likviduso linija, rodo auštančių lydinų kristalizacijos pradžią. Aukščiau šios linijos yra tik skysta fazė. Linijos, rodančios lydinų kristalizacijos pabaigą vadinamos soliduso linijomis. Žemiau šios linijos lydiniai yra kieti.

Antrinė kristalizacija. Kristalų išsiskyrimo iš skystos fazės procesas vadinamas pirmine kristalizacija. Pirminės kristalizacijos metu susidariusi struktūra gali keistis, lydinams auštant kietoje būklėje. Struktūrinių ir fazinių virsmų procesai, vykstantys auštant suketėjusiems lydinams, vadinami antrine kristalizacija arba persikristalizavimu. Antrinės kristalizacijos procesus lydinų būvio diagramose atspindi linijos, esančios žemiau soliduso linijos.

Fazių koncentracijų, fazių ir struktūrinių dedamųjų kiekio lydiniuose nustatymas.

Kintant temperatūrai, dažnai kinta lydinio fazių cheminė sudėtis ir jų kiekiai. Fazių cheminė sudėtis bei jų kiekiai nustatomi naudojantis atvirkščiai proporcingų atkarpų (sverto) taisykle. Jos taikymą panagrinėsime pavyzdžiais:

1. Reikia nustatyti I lydinio (1.20 pav.) fazių cheminę sudėtį ir jų kiekius t_1 temperatūroje.

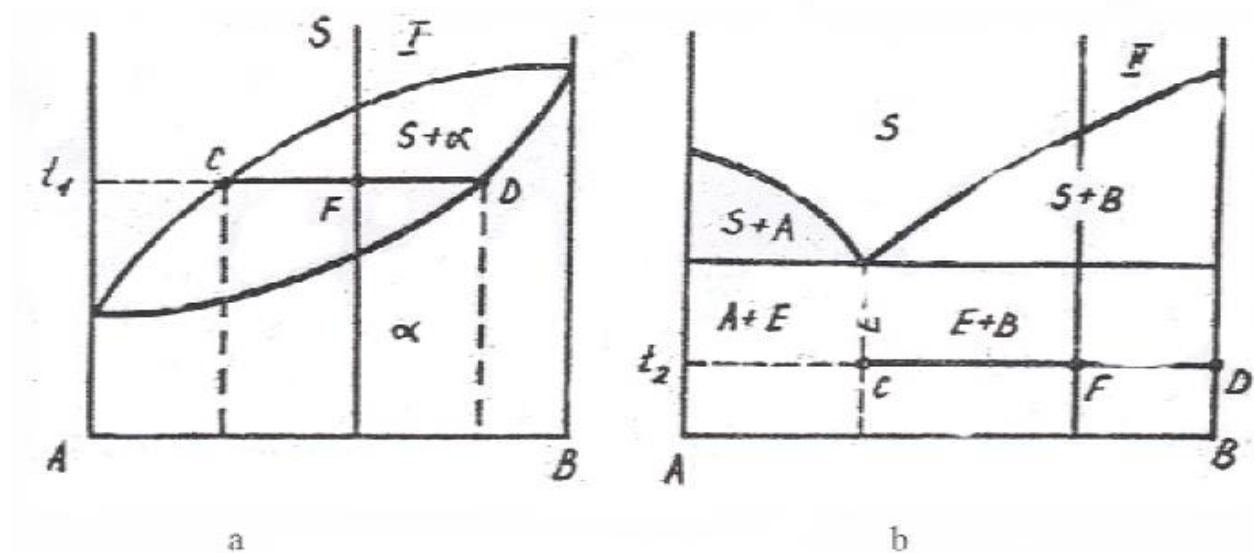
Tam reikalinga per t_1 temperatūroje I lydinį rodantį tašką F nubrėžti horizontalia linija (CD) iki susikirtimo su artimiausiomis lydinų būvio diagramos linijomis. Šios linijos susikirtimo taško (D) su soliduso linija projekcija į koncentracijų ašį rodys α kristalų cheminę sudėtį, o susikirtimo su likviduso taško (C) projekcija į koncentracijų ašį - skystos fazės cheminę sudėtį. I lydinio fazių kiekiui nustatyti t_1 temperatūroje, darome prielaidą, kad bendra lydinio masė Q yra proporcinga atkarpai CD. Tada pagal atvirkščiai proporcingų atkarpų taisyklę, skystos fazės masė Q_s bus proporcinga santykiui atkarpos, atsiremiančios į kietos

fazės koncentracijos tašką (D) su visu atkarpos CD ilgiu, t.y. $Q_s = \frac{FD}{CD} \times 100 \%$ (atkarpų santykį padauginę iš 100, skystos fazės masė išreiškiama % nuo bendros lydinio masės Q). Kietos fazės (α kristalų) masė Q_α bus proporcinga santykiui atkarpos, atsiremiančios į skystos

fazės koncentracijos tašką (C) su visu atkarpos CD ilgiu, t.y. $Q_\alpha = \frac{CF}{CD} \times 100 \%$.

2. Reikia nustatyti II lydinio (1.20 pav.) struktūrinių dedamųjų kiekius t_2 temperatūroje. Iš diagramos matyti, kad t_2 temperatūroje II lydinio struktūra sudaro dvi dedamosios: eutektika ir komponento B kristalai. Šiuo atveju horizontalia linija - izotermę CD brėžiame tarp eutektinės ir gryno komponento B vertikalių. Darome prielaidą, kad bendra lydinio

masė $Q = Q_E + Q_B$ yra proporcinga atkarpai CD. Tada $Q_B = \frac{CF}{CD} \times 100 \%$ ir $Q_E = \frac{FD}{CD} \times 100 \%$.



1.20 pav. Atkarpų taisyklės taikymas fazių koncentracijai, fazių kiekiams (a) ir struktūrinių dedamųjų kiekiams (b)