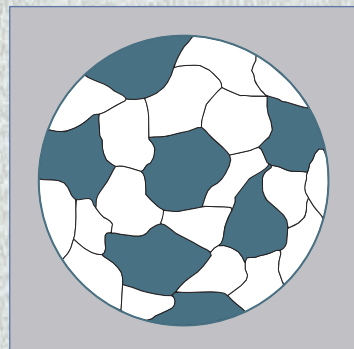




Vitalijus Rudzinskas, Olegas Černašėjus

AVIACINĖS MEDŽIAGOS



Vilnius „Technika“ 2012

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Vitalijus Rudzinskas, Olegas Černašėjus

AVIACINĖS MEDŽIAGOS

Mokomoji knyga




LEIDYKLA
Vilnius TECHNIKA 2012

V. Rudzinskas, O. Černašėjus. Aviacinės medžiagos: mokomoji knyga.
Vilnius: Technika, 2012, 107 p. [3,78 aut. l. 2012 05 22]

Leidinyje nagrinėjamos aviacijoje naudojamos inžinerinės metalinės medžiagos. Pateikiamos žinios apie šių medžiagų vidinę sandarą, formavimosi sąlygas, fizines ir mechanines savybes, gamybos ir apdorojimo technologijas, lydinių apsaugos nuo korozijos būdus bei medžiagų neardomosios kontrolės principus.

Leidiny padės pagrindinių studijų studentams geriau suprasti metalinių aviacinių medžiagų taikymo galimybes.

Leidinio 1–8 skyrių autorius yra V. Rudzinskas, o 9–11 skyrių autorius – O. Černašėjus.

Leidiny skirtas Vilniaus Gedimino technikos universiteto Aviacijos instituto pagrindinių studijų studentams.

Recenzavo: doc. dr. Ivanas Višniakas, Medžiagotyros ir suvirinimo katedra
doc. dr. Gediminas Vaičiūnas, Geležinkelių transporto katedra

Leidiny parengtas ir išleistas už Europos struktūrinių fondų lėšas, jomis finansuojant VGTU Transporto inžinerijos, Biomechanikos ir Aviacinės mechanikos inžinerijos projektą „Studijų programų atnaujinimas pagal ES reikalavimus, gerinant studijų kokybę ir taikant inovatyvius studijų metodus“ pagal Lietuvos 2007–2013 m. Žmogiškųjų išteklių veiksmų programos 2 prioriteto „Mokymasis visą gyvenimą“ VP1-2.2-ŠMM-07-K priemonę „Studijų kokybės gerinimas, tarptautiškumo didinimas“. Projekto kodas Nr. VP1-2.2-ŠMM 07-K-01-023, finansavimo ir administravimo sutartis Nr. VP1-2.2-ŠMM-07-K-01-023.

VGTU leidyklos TECHNIKA 1310-S mokomosios
metodinės literatūros knyga

<http://leidykla.vgtu.lt>

Redaktorė *Stasė Simutytė*
Maketuotoja *Birutė Bilotienė*

eISBN 978-609-457-194-7
doi:10.3846/1310-S

© Vitalijus Rudzinskas, 2012
© Olegas Černašėjus, 2012
© VGTU leidykla TECHNIKA, 2012

TURINYS

Įvadas	5
1. Medžiagų sandara (amorfinės ir kristalinės medžiagos, kristalinės gardelės, alotropija-polimorfizmas, realių metalų sandara)	6
2. Mechaninės metalų savybės	12
3. Deformuoto metalo sandara ir rekristalizacija	18
4. Kristalizacija. Lydinių fazinė ir struktūrinė sandara. Metalų lydiniai. Lydinių būsenos diagramos	22
5. Geležies-anglies lydiniai (sandara, savybės, klasifikacija)	30
6. Legiruotas plienas. Legiravimo įtaka geležies lydinių sandarai ir savybėms	38
7. Spalvotieji metalų lydiniai (sandara, savybės, klasifikacija)	44
8. Metalų terminis apdirbimas. Termocheminis apdirbimas	51
9. Metalų korozija ir sauga	61
9.1. Metalų korozija	61
9.1.1. Korozijos procesų klasifikacija	61
9.1.2. Elektrocheminė metalų korozija	64
9.1.3. Cheminė metalų korozija	67
9.2. Metalų korozijos rodikliai	69
9.3. Metalų saugos nuo korozijos būdai	70
9.3.1. Poveikis metalui	70
9.3.2. Poveikis konstrukcijai	72
9.3.3. Poveikis aplinkai	73
10. Medžiagų ir jų komponentų sujungimo procesai	75
10.1. Suvirinimas	75
10.1.1. Suvirinimas glaistytuoju elektrodu	75
10.1.2. Lankinis suvirinimas apsauginėse dujose	76
10.1.3. Suvirinimas po fliusu	79
10.1.4. Specialieji suvirinimo būdai	80
10.2. Litavimas	84
10.3. Klijavimas	87

11. Neardomoji kontrolė	91
11.1. Vizualinės kontrolės metodai	91
11.1.1. Tiesioginė apžiūrimoji kontrolė.....	91
11.1.2. Netiesioginė apžiūrimoji kontrolė	92
11.2. Kapiliariniai kontrolės metodai.....	92
11.3. Ultragarsiniai kontrolės metodai.....	93
11.4. Akustiniai kontrolės metodai	97
11.5. Radiaciniai kontrolės metodai.....	98
11.6. Magnetiniai ir elektromagnetiniai kontrolės metodai	102
Literatūros sąrašas.....	106

IVADAS

Inžinerinėmis vadinamos tokios medžiagos, iš kurių gaminamos mašinų bei prietaisų detalės, konstrukcijų elementai, technologiniai vamzdiniai, laivai, lėktuvai, buities apyvokos daiktai ir kt.

Nuo mechaninių, fizikinių ar cheminių medžiagos savybių priklauso tai, kaip ji tenkina techninius reikalavimus, o nuo technologinių – jos apdirbimo sąlygos. Tos pačios cheminės sudėties medžiaga gali turėti skirtingų savybių, nuo kurių gali priklausyti ir būsimo gaminio matmenys, gamybos būdas bei kai kurie konstrukciniai ypatumai. Projektuojant gaminį, išanalizuojamos jo darbo sąlygos (apkrova, aplinka, eksploatacijos reikalavimai) ir parenkama medžiagų, geriausiai atitinkančių eksploatacijos parametrus (technines sąlygas), grupė.

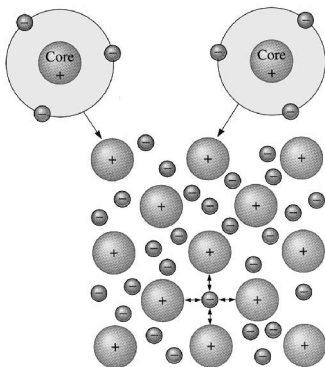
Šios medžiagos gali būti atsparios korozijai, nelaidžios elektrai ir šilumai, gali pasižymėti geromis technologinėmis savybėmis, atsparumu dilimui, kai kurios yra skaidrios, mažo savitojo tankio. Metalų ir jų lydinių požiūriu didelę svarbą turi technologijos, radikaliai keičiančios medžiagos struktūrą ir savybes.

1. MEDŽIAGŲ SANDARA (AMORFINĖS IR KRISTALINĖS MEDŽIAGOS, KRISTALINĖS GARDELĖS, ALOTROPIJA- POLIMORFIZMAS, REALIŲ METALŲ SANDARA)

Kūnų sandara ir savybės aiškinamos remiantis šiais pagrindiniais teiginiais:

1. Kiekvienas kūnas sudarytas iš dalelių – molekulių, atomų ar jonų.
2. Kūną sudarančios dalelės nuolat ir chaotiškai juda.
3. Kūną sudarančios dalelės tarpusavy sąveikauja – stumia ar traukia vienos kitas.

Metallų atomų išoriniai posluoksniai nevysiškai užpildyti elektronų, t. y. juose yra tik po vieną, du, retai – po tris elektronus. Kaip labiausiai nutolę nuo branduolių, šie valentiniai elektrons lengvai delokalizuoja, t. y. atitrūksta nuo atomų (palieka šiuos atomus teigiamais jonais) ir, klaidžiodami tarp jų, sudaro „elektronų rūką“. Esant šiam elektronų rūkui, tarp metalo atomų susidaro elektrostatis ryšys. Toks ryšys vadinamas *metalinu ryšiu*.

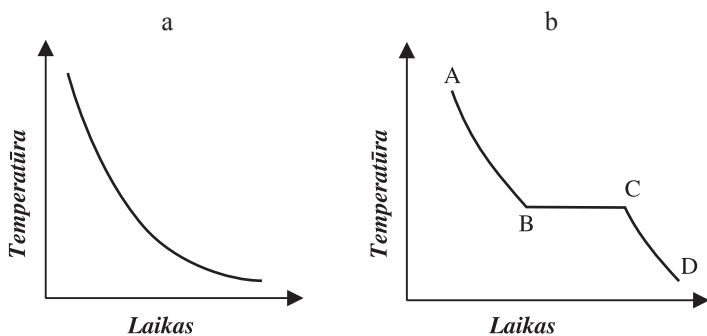


1.1 pav. Metalinis ryšys

Metalinis ryšys formuojasi, kai atomai atiduoda savo valentinius elektronus, kurie vėliau sudaro elektronų rūką. Teigiami atomai jungiasi su neigiamais elektrons.

Amorfinės ir kristalinės medžiagos. Visos gamtoje esančios kietos medžiagos skirstomos į amorfines ir kristalines. Amorfinėmis vadinamos tokios medžiagos, kurių atomai erdvėje išsidėstę chaotiškai, pavyzdžiui, stiklas ar derva.

Kristalinėmis vadinamos tokios medžiagos, kurių atomai erdvėje išsidėsto tam tikra tvarka, periodiškai pasikartojančia dideliais nuotoliais visomis kryptimis. Kristalinės medžiagos stingsta, t. y. kristalizuojasi pastovioje temperatūroje.

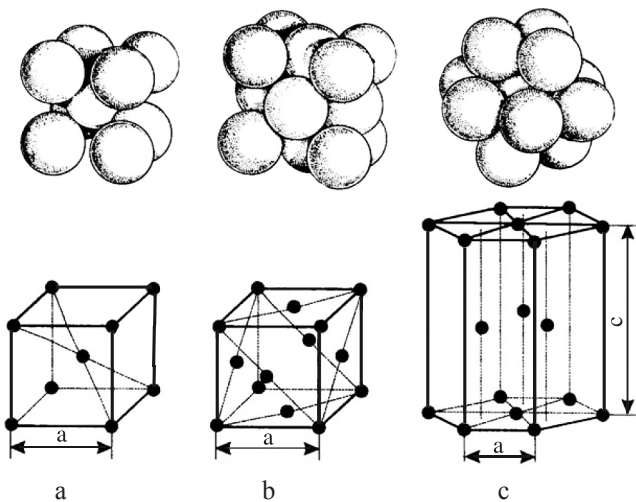


1.2 pav. Medžiagų aušimo kreivės:
a – amorfinės medžiagos; b – kristalinės medžiagos

Amorfinių medžiagų savybės bet kuria kryptimi yra vienodos, todėl šios medžiagos vadinamos *izotropinėmis*.

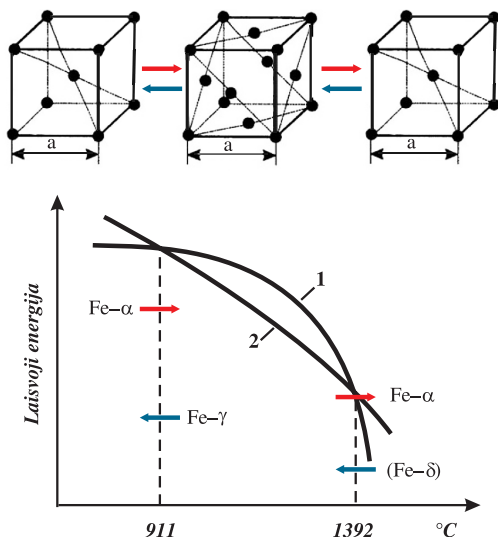
Kristalinės gardelės. Visi metalai yra kristalinės sandaros. Kristalinėse medžiagose atomai, jonai arba molekulės yra išsidėstę tam tikra pasikartojančia tvarka. Metalų kristaluose periodine tvarka išsidėsto teigiami jonai – atomai, netekę valentinių elektronų.

Erdvinis tinklelis, kurį sudaro susikertančios linijos, išvestos per atomų (jonų) centrus, yra vadinamas erdvine kristaline gardele. Mažiausias erdvinės gardelės elementas, pagal kurį galime spręsti, kokia tvarka yra išsidėstę atomai erdvinėje gardelėje, yra vadinamas elementaria kristaline gardele arba narveliu. Metalų erdvinėse gardelėse atomai dažniausiai išsidėsto pagal kubinės centratūros (KCT), kubinės centrašonės (KČŠ) arba heksagoninės (H) elementarių gardelių schemas (1.3 pav.).



1.3 pav. Metalų elementarių kristalinių gardelių tipai:
a – kubinė centraturė (KCT); b – kubinė centrašonė (KČŠ);
c – heksagoninė (H)

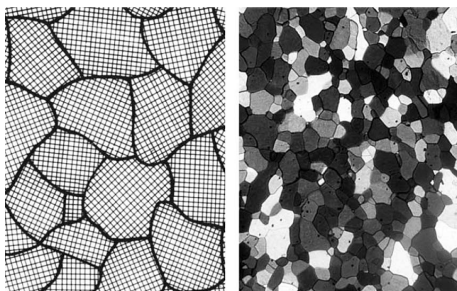
Alotropija-polimorfizmas – tai daugelio metalų (Fe, Co, Ti, Sn, Mn ir kt.) savybė skirtingose temperatūrose arba esant skirtingam slėgiui turėti skirtingas kristalines gardeles. Temperatūros, kuriose keičiasi kristalinės gardelės, vadinamos alotropinių virsmų temperatūromis. Metalų alotropinės atmainos (modifikacijos) žymimos graikiškomis raidėmis α , β , γ ir t. t. Raide α žymima modifikacija, egzistuojanti žemiausioje temperatūroje. Pavyzdžiui, geležis žemiau $910\text{ }^{\circ}\text{C}$ turi KCT gardelę (Fe_{α}), $910\text{--}1392\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrų intervale – KČŠ gardelę (Fe_{γ}), $1392\text{--}1539\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrų intervale – vėl KCT gardelę (Fe_{α} arba Fe_{δ}). Grynų metalų alotropiniai virsmai vyksta pastovioje temperatūroje. To paties metalo skirtingos alotropinės atmainos turi skirtingas fizikines, chemines bei mechanines savybes.



1.4 pav. Geležies alotropinių atmainų laisvųjų energijų priklausomybė nuo temperatūros

Realių metalų sandara. *Kristalinė gardelė* – taisyklingas elementariųjų gardelių derinys – yra teorinė sąvoka. Visiškai taisyklingai atomai gali išsidėstyti tik labai nedideliuose tūriuose. Jau kristalizuojant išlydytą metalą, tuo labiau jį vėliau deformuojant, taisyklinga sandara iškreipiama.

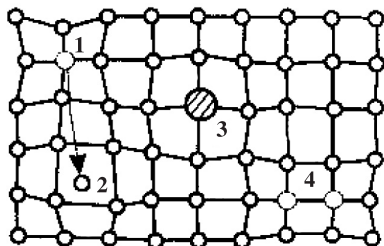
Realus metalas – tai polikristalinis kūnas, sudarytas iš daugelio smulkių, erdvėje įvairiai orientuotų, ribomis susilydžiusių netaisyklingos formos kristalų, kurie vadinami metalo grūdeliais.



1.5 pav. Polikristalinio metalo struktūra

Kristalinės sandaros defektai – tai nukrypimai nuo taisyklingo atomų išsidėstymo kristalinėje gardelėje. Pagal geometrinius požymius kristalinės sandaros defektai skirstomi į taškinius, linijinius ir paviršinius.

Taškinių defektų grupei priklauso vakansijos (gardelės mazgai, kuriuose trūksta atomų) ir dislokuoti (tarpmazginiai) atomai (1.6 pav.).

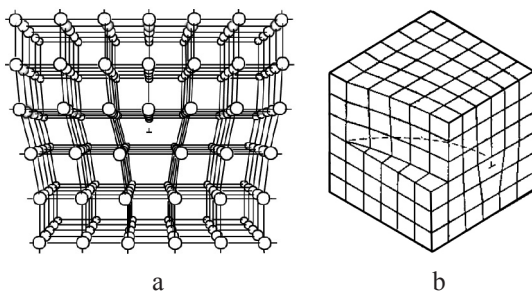


1.6 pav. Taškiniai kristalinės sandaros defektai:

1; 4 – vakansijos; 2 – įsiterpęs atomas; 3 – priemaišinis atomas

Taškiniai defektai iškraipo kristalinę gardelę. Dėl to jie keičia metalų fizikines savybes, pavyzdžiui, padidina elektrinę varžą. Tik labai didelės jų koncentracijos, susidarančios veikiant radiacijai, sumažina metalų plastiškumą bei keičia kitas mechanines savybes. Veikiami temperatūros, taškiniai defektai keičia savo vietas kristalinėje gardelėje, dėl to metaluose vyksta difuziniai procesai.

Svarbiausi linijiniai defektai yra dislokacijos. Tai linijiniai kristalinės gardelės iškraipymai. Dėl dislokacijų faktinis metalo stiprumas apie 100–1000 kartų mažesnis už teorinį skaičiuojamąjį stiprumą. Santykinai dislokacijos skirstomos į tiesines ir sraigines.



1.7 pav. Tiesinės (a) ir sraiginės (b) dislokacijų schemas

Supratimą apie tiesinę dislokaciją galima susidaryti išsivaizduojant, kad į taisyklingą kristalinę gardelę įsiterpusi papildoma kristalinė plokštuma, kuri baigiasi kristalo viduje (1.7 pav., a). Ten, kur ši plokštuma baigiasi, kristalinė gardelė išsikraipo, t. y. susidaro tiesinė dislokacija. Sraigtinė dislokacija susidaro tada, kai lygiagrečios kristalografinės plokštumos persistumia taip, kad kristalinė gardelė išsikraipo pagal sraigtinę liniją (1.7 pav., b).

Kontroliniai klausimai

1. Kas yra metalas ir kuo jis skiriasi nuo nemetalo?
2. Kas yra metalinė jungtis?
3. Kas yra kristalinė medžiaga ir kas jai būdinga?
4. Kokie kristalinės gardelės tipai yra būdingi metalams?
Gardelių parametrų įtaka metalo savybėms?
5. Kas yra anizotropija?
6. Kas yra alotropija ir dėl kokių priežasčių ji pasireiškia?
7. Kuo skiriasi sąvokos „kristalinė gardelė“ ir „grūdelis“?
8. Kokie yra kristalinės sandaros defektai ir kokia jų įtaka metalų savybėms?
9. Kas yra vakansijos ir kokia jų įtaka metalų savybėms?
10. Kas yra dislokacijos ir kokia jų įtaka metalų savybėms?
11. Kokią įtaką metalo mechaninėms savybėms turi dislokacijų tankis?

2. MECHANINĖS METALŲ SAVYBĖS

Bendrosios žinios apie metalų savybes. Metalų savybės nusako- mos jo chemine sudėtimi ir struktūriniu būviu. Savybių visuma sudaro metalo kokybę. Pagal cheminę sudėtį galima apytiksliai spręsti apie metalo struktūrą. Metalų struktūra priklauso nuo metalo cheminės sudėties ir atlikto terminio arba termomechaninio apdirbimo (Ashby, Hugh Shercliff, Cebon 2007).

Fizinės savybės – tai metalo tankis, lydymosi temperatūra, poli- morfinių (fazinių) virsmų temperatūra, nuodegų susidarymo tempe- ratūra (oksidacijos temperatūra), šiluminė talpa, šiluminis laidumas, elektrinė varža, magnetinės savybės, tamprumo modulis ir kitos.

Skirtingų struktūrinių klasių metalų fizinės savybės ryškiai ski- riasi. Kuriant patikimas suvirintąsias konstrukcijas, būtina atsižvelgti į suvirinamų plienų fizines savybes (Girčienė *et al.* 1995).

Mechaninės savybės apibrėžiamos metalo stiprumu ir plastiškumu.

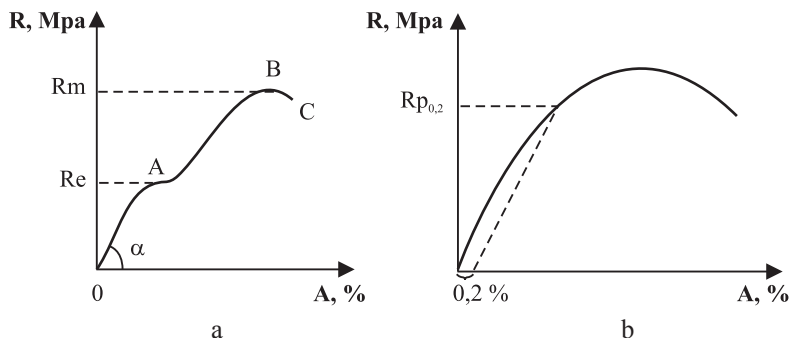
Stiprumo charakteristikos:

Metalo stiprumas, veikiant statinei apkrovai, vertinamas laikinojo stiprumo riba R_m arba takumo ribomis: R_e , $R_{p0,2}$.

$$R_{p0,2} = \frac{F_{0,2}}{S}; \quad R_e = \frac{F_e}{S} \text{ (MPa)},$$

$R_m = \frac{F_{\max}}{S}$ (MPa); čia $F_{\max}$ – didžiausia jėga, užfiksuota tempiant ban- dinį, F_e – jėga, kuriai veikiant metalas pradeda deformuotis plastiškai, nedidinant apkrovos, $F_{0,2}$ – jėga, kuriai veikiant liekamasis tempiamo bandinio ilgėjimas sudaro 0,2 % nuo pradinio skaičiuojamojo ilgio, S – pradinis tempiamo bandinio skerspjūvio plotas, R_e – fizinė metalo takumo riba, R_e kriterijumi vertinama tada, kai metalo takumo riba ryški, $R_{p0,2}$ – santykinė takumo riba, kai metalas neturi ryškios takumo ribos, $R_{p0,2}$ – įtempimai, kuriems esant tempiamame bandinyje pasi- reiškia liekamoji deformacija, lygi 0,2 % pradinio bandinio ilgio.

Aukštose temperatūrose metalų stiprumas dažnai vertinamas il- galaikio stiprumo riba, t. y. įtempimais, kurių veikiamas bandinys esa- moje temperatūroje nutrūksta per nustatytą laiką.



2.1 pav. Įvairių medžiagų tempimo diagramos:

- a) plastiškos medžiagos su ryškia takumo riba tempimo diagrama;
- b) plastiškos medžiagos be ryškios takumo ribos tempimo diagrama

Ilgalaikio stiprumo riba žymima nurodant temperatūrą ir laiką iki bandinio nutrūkimo, pavyzdžiui, $R_{1000}^{600} = 180 \text{ MPa}$. Tai reiškia, kad veikiant 180 MPa įtempimams, 600 °C temperatūroje bandinys nutrūksta po 1000 val.

Plastiškumo charakteristikos:

Metallų *patikimumas*, t. y. sugebėjimas priešintis trapiajam suirimui, vertinamas plastiškumo ir smūgio tūsumo rodikliais. Metallų plastiškumo rodikliai yra santykinis pailgėjimas A ir santykinis skerspjūvio susitraukimas Z . Jie nustatomi statiskai tempiant bandinį:

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100, \%; \quad Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100, \%;$$

čia L_0 – pradinis bandinio skaičiuojamosios dalies ilgis, S_0 – pradinis šios dalies skerspjūvio plotas, L_u – nutraukto bandinio skaičiuojamosios dalies ilgis, S_u – nutraukto bandinio skaičiuojamosios dalies skerspjūvio plotas.

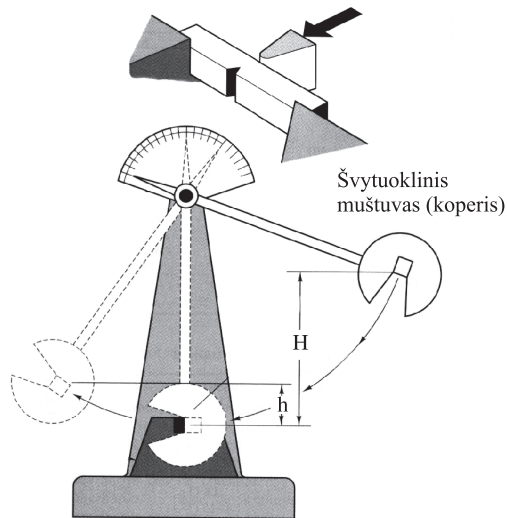
Smūginio tūsumo kriterijai rodo metalo sugebėjimą priešintis smūginėms apkrovoms. Smūginis tūsumas KC išreiškiamas:

$$KC = \frac{K}{S}, \text{ J/m}^2; (\text{J/cm}^2);$$

čia K – darbas, sunaudotas bandinio suardymui, veikiant smūginei apkrovai, S – bandinio skerspjūvio plotas.

Smūginio tąsumo nustatymui naudojami standartinių matmenų bandiniai su U, V arba T formos įpjovomis. Pagal tai, kokios formos įpjova buvo padaryta bandinio vidurinėje dalyje, smūginis tąsumas žymimas KCU, KCV, KCT. Dažniausiai daroma U formos įpjova ir literatūros duodamos KCU smūginio tąsumo reikšmė.

Metallų trąpaus suirimo tikimybė didėja, žemėjant temperatūrai. Temperatūra, kurioje metallo lūžis turi 50 % tąsaus ir 50 % trąpaus suirimo požymių, vadinama kritine trąpumo temperatūra. Labai atsakingų konstrukcijų kritine trąpumo temperatūra laikoma ta temperatūra, kuriai esant lūžyje pasirodo pirmieji trąpaus suirimo požymiai.



2.2 pav. Smūginio tąsumo bandymas

Labai svarbus metallų mechaninių ir technologinių savybių rodiklis yra jų kietumas. Kietumas – tai metallų savybė priešintis įsiskverbimui į juos kitų kietesnių už juos kūnų. Dažniausiai metallų kietumas nustatomas Brinelio, Rokvelio ir Vickerso metodais.

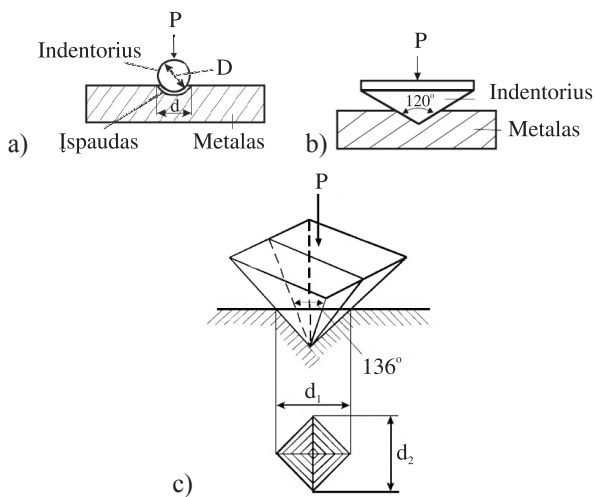
Matuojant metallų kietumą Brinelio metodu, į juos įspaudžiamas tam tikro skersmens plieninis rutuliukas. Kietumo reikšmė nustatoma spaudimo jėgą F dalinant iš spaudo paviršiaus ploto S :

$$HB = \frac{F}{S}, \text{ MPa.}$$

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 išspaudžiamas 1,588 mm (1,16 colio) skersmens plieninis rutuliukas, o matuojant kietą – deimantinis arba kietlydinio kūgis, kurio viršūnės kampas 120° . Apie metalų kietumą sprendžiama iš to, kiek giliai įsmigo identorius. Priklausomai nuo to, koks identorius ir kokia jėga buvo išspaudžiamas, 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 išspaudžiama keturkampio pagrindo deimantinė piramidė, kurios viršūnės kampas 136° . Kietumo vienetai apskaičiuojami, spaudimo jėgą dalijant iš išpaudos 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) kietumui bei termocheminio detalių sustiprinimo sluoksnių kietumui matuoti.



2.3 pav. Kietumo matavimo metodų schemas:

a) Brinelio; b) Rokvelio; c) Vikerso

Technologinės savybės nusakomos galimybe apdoroti metalą jo nesuardant ir neatsirandant jame įtrūkimų šiais būdais:

- liejimu, siekiant pagaminti lietas detales ar pusfabrikačius;
- kalimu, štapavimu, valcavimu, pratraukimu ir kitomis technologinėmis operacijomis, susijusiomis su metalo deformavimu normalioje (20 °C) arba aukštoje temperatūroje, veikiant smūginėms arba statinėms apkrovoms;
- terminiu apdirbimu – grūdinimu, atleidimu ir kitomis operacijomis, siekiant gauti reikiamą metalo struktūrą ir savybes;
- suvirinimu ir litavimu, siekiant gauti patikimą neišardomą sujungimą;
- šaltuoju mechaniniu apdirbimu – tekinimu, drožimu, gręžimu, frezavimu ir kitomis operacijomis.

Specialiosios savybės – tai atsparumas kaitrai, oksidacijai, korozijai, ciklinėms apkrovoms, radiacijai ir kitos.

Atsparumas kaitrai – tai kompleksinė charakteristika, parodanti, kaip išlieka metalo stiprumo ir plastiškumo savybės bei struktūra, veikiant aukštoms temperatūroms ir metalo valkšnumui skaičiuojamąjį eksploatavimo laiką ir didelis atsparumas korozijai, kai eksploatavimo temperatūra neviršija 585 °C ir aplinka vidutiniškai korodinantė.

Atsparumas oksidacijai (cheminis atsparumas kaitrai) – tai plieno savybė priešintis dujinės aplinkos ar perkaitinto garo oksiduojančiam poveikiui, veikiant aukštoms (500–800 °C ir daugiau) temperatūroms, skaičiuojamąjį eksploatavimo laiką pastebimai nepakeisti savybių.

Atsparumo oksidacijai kriterijus – metalo santykinės masės sumažėjimas dėl oksidacijos per nustatytą laiką, pavyzdžiui, 100 tūkst. valandų.

Atsparumas korozijai – metalo savybė skaičiuojamąjį eksploatavimo laiką nesuirti nuo korodinančio garo – vandens poveikio.

Patvarumas (nuovarginis stiprumas) – tai plieno savybė priešintis nuovargiui, t. y. laipsniškam pažeidimų atsiradimui ir didejimui nuo ciklinių (kintančiųjų) apkrovų. Atsiradę nuovargio įtrūkimai labai sumažina eksploatavimo trukmę. Ciklinio stiprumo kriterijus – nuovargio riba. Tai toks maksimalus ciklinių įtempimų dydis, kai per nustatytą ciklų skaičių bandinys dar nesuyra dėl nuovargio.

Atsparumas šalčiui – tai plieno savybė nesuirti nuo dinaminių apkrovų žemesnėse nei 0 °C temperatūrose. Įvertinimo kriterijus – mažiausias leistinas smūginis tūsumas, esant fiksuotai temperatūrai, pavyzdžiui, –20 °C, –40 °C, –60 °C. Atsparumas šalčiui nusakomas šaltojo trapumo riba arba kritine trapumo temperatūra.

Metalo atsparumas trapiam suirimui žemose temperatūrose priklauso nuo jo cheminės sudėties ir struktūros.

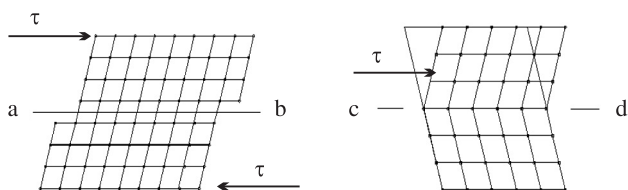
Kontroliniai klausimai

1. Medžiagos stipruminės savybės. Kaip jos nustatomos?
2. Medžiagos plastinės savybės. Kaip jos nustatomos?
3. Nubraižyti ir paaiškinti mažaanglio plieno statinio tempimo diagramą.
4. Medžiagos kietumas, jo nustatymo metodai.
5. Kada taikomas Rokvelio būdas metalo kietumui nustatyti?
6. Medžiagos smūginis tūsumas, jo nustatymo metodai.

3. DEFORMUOTO METALO SANDARA IR REKRISTALIZACIJA

Yra dvi pagrindinės deformacijos rūšys: tamprioji, arba grįžtamoji, ir plastinė, arba liekamoji. Išorinės jėgos iš pradžių metale sukelia tampriąją deformaciją, o vėliau – plastinę. Plastinės deformacijos metu metale vyksta negrįžtamieji vidiniai pokyčiai.

Plastinės deformacijos metu atomai persilenka slydimo ir dvilinkio būdais (3.1 pav.).



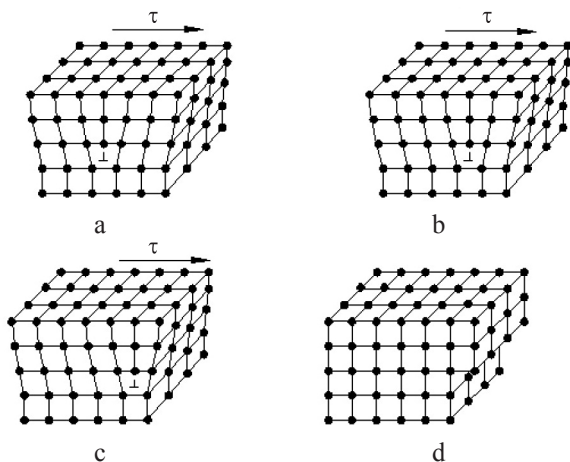
3.1 pav. Slydimo (poslinkio) ir dvilinkio schema:
a–b – slydimo plokštuma; c–d – dvilinkio plokštuma

Slydimas – grupinis viena laikis orientuotas atomų persislinkimas. Slydimas vyksta lygiagrečiai kristalografinėms plokštumoms, patogiausiai orientuotoms slydimui. Kad atomų grupė galėtų perslinkti idealiaame monokristale, t. y. kristale be kristalinės sandaros defektų, reikia didelių įtempių, nes iš karto reikia pertraukti atomų ryšius visoje slydimo plokštumoje. Realiaame kristale yra dislokacijų, todėl atomai pasilenka pamažu, vienu metu keisdami atominius ryšius tik vienoje eilėje. Jam pakanka daug mažesnių įtempių.

Mechaninėms savybėms didžiausią įtaką turi linijiniai kristalinės sandaros defektai, *dislokacijos*. Dėl dislokacijų faktinis metalo stiprumas apie 100–1000 kartų mažesnis už teorinį skaičiuojamąjį stiprumą. Dislokacijos atsiranda kristalizuojant išlydytą metalą, deformuojant jau sukiėtusį metalą, taip pat apdirbant termiškai.

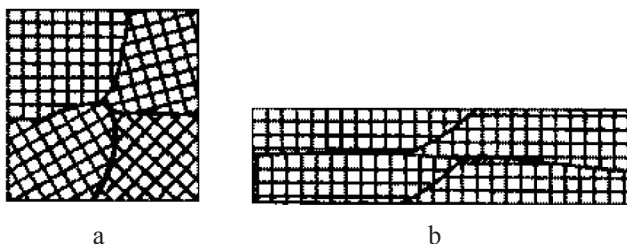
Dislokacijos yra paslankios. Veikiamos įtempių lauko, jos lengvai pasilenka ir pakeičia vietą. Veikiant įtempiams, dislokacijai gretimos atomų plokštumos apatinė dalis prisijungia prie dislokacinės dalinės plokštumos, o jos viršutinė dalis lieka kaip nauja dalinė plokštuma.

Taip dislokacija pasilenka per vieną gardelės parametą. Nauja dalinė plokštuma, toliau įtempių lauko veikiamą, prisijungia gretimos atomų plokštumos apatinę dalį. Dislokacija pasilenka dar per vieną parametą. Šis mechanizmas vaizduojamas 3.2 pav. Tokiam dislokacijos perslinkimui reikia daug mažiau energijos nei taisyklingos gardelės vienai daliai perstumti. Pastaruoju atveju reikia iš karto suardyti visų plokštumų atomų ryšius ties slydimo plokštuma. Taip paaiškinama, kodėl metalą su dislokacijomis lengviau deformuoti nei metalą be dislokacijų.

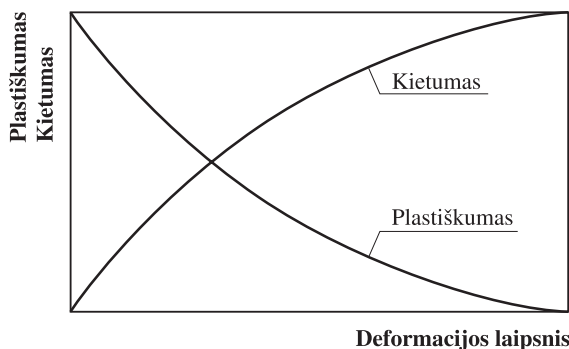


3.2 pav. Linijinės (kraštinės) dislokacijos slydimo kristale schema:
a–d – dislokacijos judėjimas ir jos išėjimas į kristalo paviršių

Plastinės deformacijos metu metalo grūdeliai ištįsta deformavimo kryptimi, struktūra tampa pluoštinė (juostuota). Keičiantis grūdelių formai, keičiasi ir kristalografinė erdvinė grūdelių orientacija.



3.3 pav. Pluoštinės struktūros ir tekstūros susidarymas plastiškai deformuojant metalą: a – iki deformavimo; b – po deformavimo

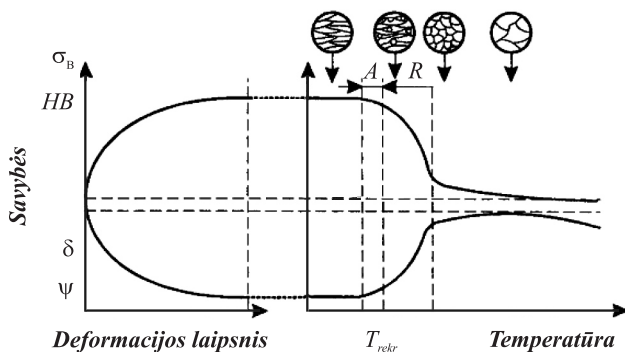


3.4 pav. Metalų savybių priklausomybė nuo deformacijos laipsnio

Realūs metalai yra polikristaliniai kūnai, kurių grūdėliai erdvėje orientuoti įvairiai. Grūdėliai, deformavimo jėgų veikiami, ne tik tįsta, bet ir pamažu pasisuka taip, kad lengviausio deformavimo kryptys sutaptų su deformavimo kryptimi. Po deformacijos susidaro struktūra, kuri vadinama *tekstūra*. Tekstūros susidarymo schema vaizduojama 3.3 pav. Tekstūra didina metalo anizotropiškumą, nes deformuotų grūdėlių savybės įvairiomis kryptimis yra nevienodos. Esant dideliems deformacijos laipsniams, tekstūra gerai matoma per mikroskopą.

Didinant deformacijos laipsnį, metalė didėja struktūros netobulumai, grūdas smulkėja. Ši reiškinį lydi metalo kietumo didėjimas. Tai vadinama deformacinio sustiprinimu arba sukietinimu. Padidėja metalo stiprumas ir kietumas, o plastiškumas mažėja. Pastaroji savybė dažnai verčia vengti deformacinio sukietinimo. Deformuojamo metalo savybių kitimas vaizduojamas 3.4 pav.

Sukietinimas naudingas tuomet, kai detalė turi būti atspari trinčiai. Struktūros ir savybių pakeitimai, atsiradę deformuojant metalą šaltuoju būdu, yra grįžtamieji. Juos galima pašalinti terminio apdorojimo metu (atkaitinant). Rekrystalizacinio atkaitinimo metu sukietintame metalė susidaro naujų lygiaašių nedeformuotų grūdėlių, kurie pakeičia ištįsusius, deformuotus grūdėlius. Reiškinys, kai deformuoti, ištempti grūdėliai pakeičiami naujais, lygiaašiais, vadinamas rekrystalizacija. Rekrystalizacijos metu visiškai išnyksta deformacinio sukietinimo efektas, t. y. atgaunamas plastiškumas, sumažėja kietumas bei stiprumas. Kaitinamo deformuojamo metalo savybių kitimas vaizduojamas 3.5 pav.



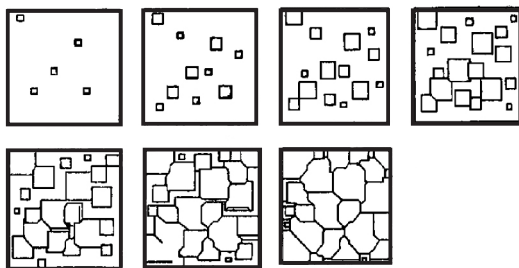
3.5 pav. Mechaninių metalo savybių kitimas jį plastiškai deformuojant ir rekristalizuojant (A – atsistatymas, R – rekristalizacija)

Kontroliniai klausimai

1. Kas yra deformacija? Pagrindinės jos rūšys.
2. Kas yra deformacinis sukietinimas?
3. Deformacinio sukietinimo priežastis ir jo įtaka medžiagos savybėms.
4. Ką vadiname tekstūra? Jos atsiradimo priežastis.
5. Kokiais atvejais metalas gali būti anizotropiškas?
6. Kokiais atvejais medžiagos deformacinis sukietinimas gali būti pageidautinas reiškinys, o kokiais ne?
7. Kas yra rekristalizacinis atkaitinimas?
8. Paaiškinti metalo savybių kitimą plastiškai deformuojant.
9. Paaiškinti metalo savybių ir struktūros kitimą, atliekant rekristalizaciją.
10. Paaiškinti, ku skiriasi sąvokos „šaltasis deformavimas“ ir „karštasis deformavimas“.

4. KRISTALIZACIJA. LYDINIŲ FAZINĖ IR STRUKTŪRINĖ SANDARA. METALŲ LYDINIAI. LYDINIŲ BŪSENOS DIAGRAMOS

Kristalizacija – tai kristalų atsiradimas ir augimas, kai medžiaga pereina į termodinamiškai stabilesnę būseną. Kristalizacija vadinama pirmine, kai ji prasideda skystame, t. y. išlydytame, metale, ir antrine – kai nauji kristalai pakeičia senuosius jau sukietėjusiame metale.



4.1 pav. Kristalizacijos mechanizmo schema

Kristalizuojantis lygiagrečiai vyksta du reiškiniai: pirma, atsiranda vis naujų užuomazgų, antra, susidariusios užuomazgos auga, nes prie jų, pratęsdami besiformuojančią kristalinę gardelę, iš išlydyto metalo prisijungia vis nauji atomai. Kai kristalizacijos temperatūra nedaug žemesnė už pusiausvyros, užuomazgoms atsirasti sąlygos nepalankios – skystą ir kietą būseną skiria nedidelis laisvosios energijos skirtumas. Užuomazgų gausėja lėtai. Jos sparčiau auga. Todėl išauga nedaug, bet stambių grūdelių. Greičiau aušinant, geresnės sąlygos užuomazgoms gausėti. Kai užuomazgų daug, iš jų tegali išaugti tik smulkūs grūdėliai. Smulkiagrūdžio metalo mechaninės savybės yra geresnės negu tos pačios cheminės sudėties stambiagrūdžio metalo: didesnis smūginis tūsumas bei atsparumas nuovargiui, aukštesnė takumo riba. Todėl dažnai pageidautina, kad pirminės kristalizacijos metu susidarytų smulkiagrūdė struktūra. Tai galima pasiekti dviem būdais: pirma, greitinti aušinimą, antra, į išlydytą metalą pridėti modifikatorių – medžiagų, kurios arba sudaro pirminės kristalizacijos centrus, arba stabdo jų augimą, t. y. kei-

čia kristalizacijos eigą. Kadangi modifikatorių dedama nedaug, tai šios priemaišos kitoms lydinio savybėms didelės reikšmės neturi.

Lydinių fazinė ir struktūrinė sandara. Metalų lydiniai

Metalų lydiniai – tai metalams būdingų savybių, vizualiai viena-lytės medžiagos, gaunamos sulydžius skirtingus metalus arba metalus su nemetalais. Svarbiausia metalų lydinių savybė – jie turi metalinį ryšį, kuris ir suteikia metališkųjų savybių.

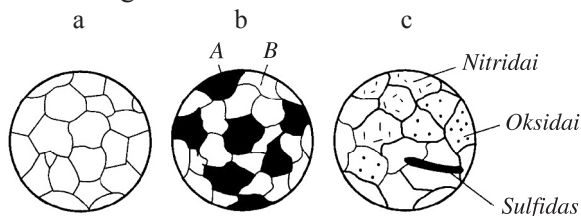
Metalingų lydinių fazių ir struktūrų tipai

Skystos būklės daugumos metalinių lydinių komponentų atomai sudaro vienalytį skystą tirpalą, vadinamą skysta faze. Kristalizacijos procese skystos fazės atomai sudaro kieto lydinio kristalines gardeles.

Fazė – tai vienos rūšies, t. y. *vienodos cheminės sudėties ir kristalinės sandaros*, dalelės lydinyje.

Nelygu kokia komponentų atomų tarpusavio sąveika kristaliza-cijos metu, sukietėjusių lydinių struktūras gali sudaryti tokios fazės: grynų komponentų kristalai (mechaninio mišinio struktūra), kietieji tirpalai ir cheminiai junginiai.

Jei kristalizacijos procese kiekvieno komponento atomai sudaro tik savas kristalines gardeles, tai susidariusi struktūra vadinama me-chaninio arba heterogeninio mišinio struktūra.

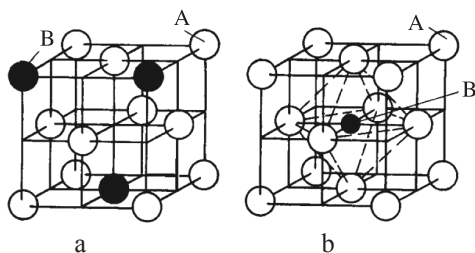


4.2 pav. Kietųjų tirpalų (a), mechaninių mišinių (b), nemetalingų mišinių (c) struktūrinės schemas

Kietieji tirpalai susidaro tuomet, kai vieno komponentų atomai pirminės kristalizacijos procese tolygiai pasiskirsto tarp kitų komponentų atomų ir sudaro bendrus grūdelius. Kietieji tirpalai žymimi raidėmis α , β , γ ir t. t.

Tirpinamųjų komponentų atomai pakeičia dalį tirpiklio gardelės atomų arba įsiterpia tarp jų. Pagal tai kietieji tirpalai skirstomi į pakeitimo ir įsiterpimo kietuosius tirpalus (4.3 pav.).

Pakeitimo kietuosius tirpalus sudaro metalai su metalais, pavyzdžiui, Fe-Cr, Fe-Mo, Ag-Au ir kt., įsiterpimo – metalai su nemetalais, pavyzdžiui, Fe-C, Fe-N, Fe-B ir kt. Daugiakomponenčiuose lydiniuose vienų komponentų atomai gali pakeisti atomus tirpiklio gardelėje, kitų – įsiterpti tarp jų.



4.3 pav. Atomų išsidėstymo schemos pakeitimo (a) ir įsiterpimo (b) kietuosiuose tirpaluose

Kietuosiuose pakeitimo tirpaluose gausesniojo komponento gardelėje kai kuriuos atomus pakeičia kito (kitų) komponento atomai. Kai komponentų atomų didumas skiriasi ne daugiau kaip 8 % ir kai jų vienos valentingumas ir gardelės tipas, tuomet atomai gali būti pakeisti bet kuriuo santykiu. Susidaro ištisiniai kietieji tirpalai. Kai atomų didumas skiriasi 8–15 % arba kai skiriasi valentingumas, tuomet pakeitimas gali būti tik iki tam tikro komponentų santykio. Susidaro riboti kietieji tirpalai. Pavyzdžiui, vienfaziam žaliaviniame cinkas gali pakeisti ne daugiau kaip 39 % vario atomų. Kintant temperatūrai, ribinis kieto būvio metalų tirpumas dažniausiai kinta. Jeigu atomų didumas skiriasi daugiau kaip 15 %, tai kietieji tirpalai nesusidaro (susidaro intermetaliniai junginiai).

Cheminiai junginiai metalų lydiniuose susidaro pagal valentingumo taisyklę arba nepaklusdami šiai taisyklei. Pirmuoju atveju komponentų atomų santykis išreiškiamas chemine formule. Šių junginių cheminė sudėtis yra pastovi. Juos dažniausiai sudaro metalai su nemetalais (išimtis Mg_2Sn , M_2Al). Tai oksidai, sulfidai ir pan. Šiuose junginiuose vyrauja joninė ir kovalentinė jungtis. Jie dažniausiai būna kieti, trapūs ir blogina lydinių mechanines savybes.

Pagrindiniai antrosios grupės atstovai yra įsiskverbimo fazės, metalų karbidai ir elektroniniai junginiai.

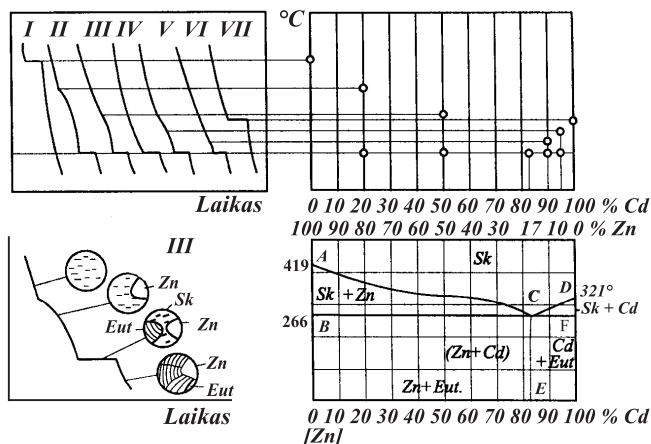
Įsiskverbimo fazės susidaro, kai labai skiriasi komponentų atomai. Dažniausiai tai yra karbidai, nitridai.

Lydinių būsenos diagramos

Metalų lydinių fazių pusiausvyros būsenos diagramos, kurios yra vadinamos lydinių būsenos diagramomis, – tai temperatūros ir koncentracijos ašyse per kritinius taškus, kurie rodo virsmų fazių pasikeitimo pradžią arba pabaigą, nubrėžti grafikai. Juose parodyta nagrinėjamos lydinių šeimos fazinė sudėtis esant bet kuriai koncentracijai bei temperatūrai, šių fazių sritys, taip pat visų galimų koncentracijų lydinių lydymosi ir pirminės bei antrinės kristalizacijos pradžios ir pabaigos temperatūros.

Eutektinė lydinių būsenos diagrama

Eutektinė diagrama sudaroma tokiai lydinių šeimai, kurios išlydyti komponentai vienas kitame tirpsta neribotai, tačiau kieti vienas kitame visiškai netirpsta, ir sudaro arba atskirų fazių (komponentų), arba bendros, išsidėsčiusios tam tikra tvarka, abiejų fazių mišinio grūdėlius, vadinamus eutektiniais.



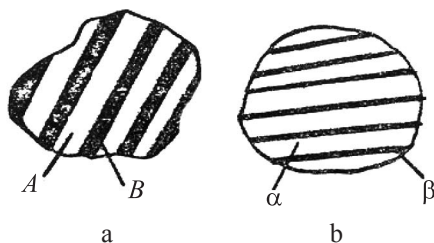
4.4 pav. Eutektinio tipo lydinių būsenos diagramos sudarymas
ZN-CD lydinių šeimai

Eutektinė koncentracija atitinka lydinį su 17 % Zn ir 83 % Cd. *ACD* – likviduso linija, ir *BCF* – soliduso linija. Likviduso linija rodo lydinio kristalizacijos pradžią (lotyniškai *liquidus* – skystas). Soliduso linija rodo lydinio kristalizacijos pabaigą. Eutektikos taškas C yra ir ant likviduso, ir ant soliduso. Tai rodo, kad kristalizacija prasideda ir baigiasi šiame taške, t. y. esant pastoviai temperatūrai.

Lydiniai, kurių likviduso ir soliduso taškai sutampa, vadinami eutektinės koncentracijos lydiniais. Lydiniai, esantys kairiau eutektinės kristalizacijos taškų, vadinami priešeutektiniais, dešiniau – užeutektiniais. Eutektinės kristalizacijos metu iš skystos fazės išsiskiria dviejų kietųjų fazių kristalai.

Eutektiniai grūdeliai susidaro pastovioje temperatūroje iš karto kristalizuojantis abiem fazėms. Ši žemiausia kristalizacijos temperatūra vadinama **eutektine** (graikiškas žodis *eutektos* reiškia lydus, lengvai liejamas). **Eutektika** vadinamas atitinkamos koncentracijos bei struktūrinio išsidėstymo lydinys, taip pat taškas diagramoje, kuriame, esant pastoviai temperatūrai, visas skystasis lydinys virsta vien eutektinio mišinio grūdeliais.

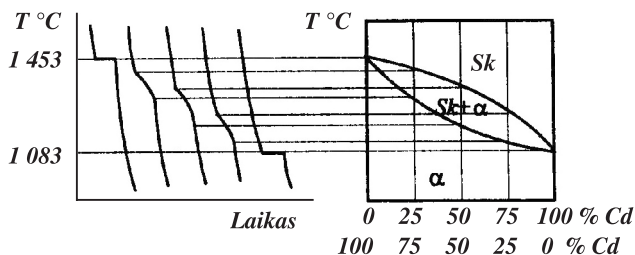
Visoje šioje lydinų šeimoje vienintelio eutektinio lydinio aušimo kreivė yra tokia kaip grynųjų metalų: jose yra tik vienas pastovios temperatūros laiptelis – vienas kritinės temperatūros taškas. Visų kitų koncentracijų lydiniai kristalizuojasi dviem etapais: iš pradžių tam tikrame temperatūros intervale kristalizuojasi grūdeliai to komponento, kurio yra perteklius palyginti su eutektine koncentracija. Visam pertekliui išsiskyrus, o skystajam tirpalui įgijus eutektinę koncentraciją, kristalizuojasi likęs skystasis tirpalas, sudarydamas eutektinius grūdelius greta anksčiau išsiskyrusių perteklinio komponento grūdelių. Bet kurios koncentracijos lydinio eutektinė dalis kristalizuojasi toje pačioje eutektinėje temperatūroje, tuo tarpu perteklinio komponento kristalizacijos pradžios temperatūra kiekvienos koncentracijos lydinio skirtinga.



4.5 pav. Eutektinio grūdelio sandaros schema:
a – gryųjų komponentų; b – kietųjų tirpalų eutektika

Neriboto tirpumo lydinių būsenos diagrama

Neriboto tirpumo lydinių būsenos diagrama sudaroma šeimai lydinių, kurių ir skysti, ir kieti komponentai vienas kitame tirpsta neribotai. Kristalizacijos metu, esant bet kokiai koncentracijai, jie sudaro vienfazius kietojo tirpalo grūdelius.



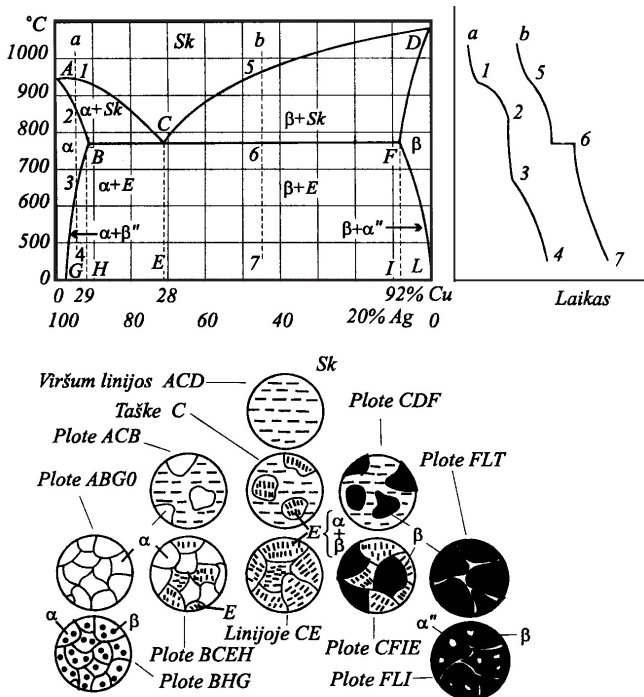
4.6 pav. Neriboto tirpumo lydinių būsenos diagramos sudarymas
Cu-Ni lydinių šeimai

Diagramos viršutinė linija yra **likvidusas**, aukščiau jos tik skystasis tirpalas. Apatinė linija – **solidusas**, žemiau jos jau suketijęs lydinys. Tarp likviduso ir soliduso yra kietojo tirpalo grūdelių ir skystasis tirpalas. Bet kokioje koncentracijoje susidarę kietieji tirpalai žymimi raide α .

Riboto tirpumo lydinių būsenos diagrama

Riboto tirpumo lydinių būsenos diagrama sudaroma lydinių šeimai, kurios komponentai vienas kitame neribotai tirpsta skystoje būsenoje, ribotai – kietoje būsenoje ir, esant tam tikrai koncentracijai, sudaro eutektikas žemiausioje temperatūroje besilydančius, ribotų

kietųjų tirpalų fazių mišinių grūdėlius. Šią diagramą galima laikyti tarpine tarp visiško netirpumo eutektinės ir neriboto tirpumo diagramų. Tokią diagramą sudaro Ag-Cu, Bi-Sn, Ag-Pb, Pb-Sn ir kai kurios kitos lydinių šeimos.



4.7 pav. Riboto tirpumo Ag-Cu lydinių būsenos diagrama ir susidarančių struktūrų schemos

Kontroliniai klausimai

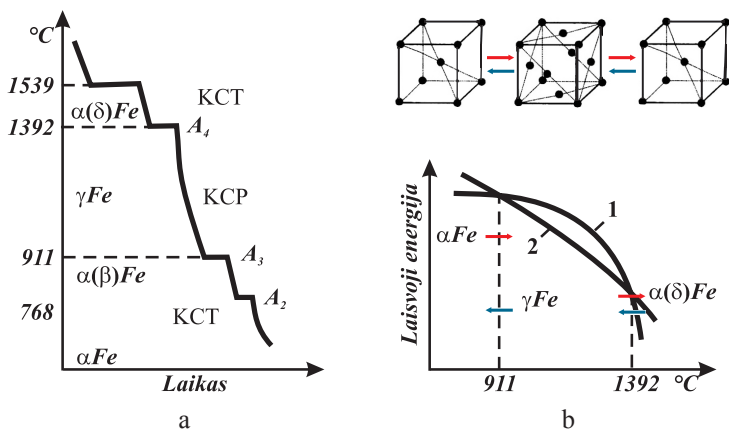
1. Kuo skiriasi kieto ir skysto metalo sandara?
2. Kodėl susidaro pastovios temperatūros laiptelis metalo aušimo kreivėje kristalizacijos temperatūroje?
3. Ką vadiname kritiniu užuomazgos dydžiu ir nuo ko jis priklauso?

4. Kokie yra lydinių tipai?
5. Ką vadiname mechaniniais mišiniais ir kuo skiriasi jų savybės nuo komponentų savybių?
6. Kas būdinga cheminio junginio tipo lydiniams?
7. Kaip skirstomi kietieji tirpalai?
8. Kada susidaro pakeitimo kietieji tirpalai?
9. Ką rodo likviduso ir soliduso linijos eutektinėje lydinių būvio diagramoje?

5. GELEŽIES-ANGLIES LYDINIAI (SANDARA, SAVYBĖS, KLASIFIKACIJA)

Komponentai. Geležis – sidabriškai baltos spalvos metalas. Lydymosi temperatūra $1539\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\pm 5^{\circ}$), kietumas 90–100 HB, tempimo stiprumo riba – $R_m\ 250\text{ MPa}$, o santykinis pailgėjimas – $A\ 50\ \%$.

Geležis – polimorfinis metalas. Jos kristalinės modifikacijos žymimos α ir γ . α geležies kristalinė gardelė kubinė centraturė, γ geležies kristalinė modifikacija stabili 910–1392 $^{\circ}\text{C}$ temperatūrų intervale. Kitose temperatūrose stabili α geležies modifikacija. Temperatūra, kurioje $\text{Fe}_{\alpha} \rightleftharpoons \text{Fe}_{\gamma}$ (910 $^{\circ}\text{C}$), vadinama kritine temperatūra A_3 ; temperatūra, kurioje $\text{Fe}_{\gamma} \rightleftharpoons \text{Fe}_{\alpha}$ (1392 $^{\circ}\text{C}$), vadinama kritine temperatūra A_4 . Aukštatemperatūrinė α geležis (daugiau negu 1392 $^{\circ}\text{C}$) dažnai žymima Fe_{δ} . Iki 768 $^{\circ}\text{C}$ geležis feromagnetinė, aukščiau šios temperatūros – paramagnetinė.

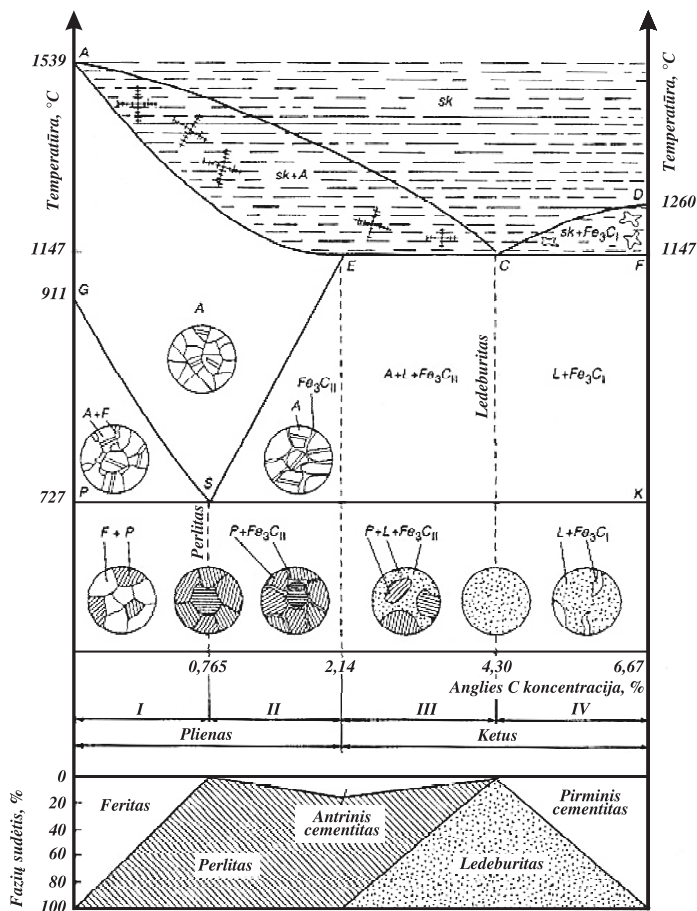


5.1 pav. Geležies aušinimo kreivė (a) ir laisvosios energijos kitimas (b)

Anglis – nemetalinis elementas. Esant normaliam slėgiui, anglies kristalinė gardelė heksagonine gardele vadinama grafitu. Grafitas – minkšta, nestipri medžiaga. Jis atsparus cheminiam poveikiui, laidus elektrai.

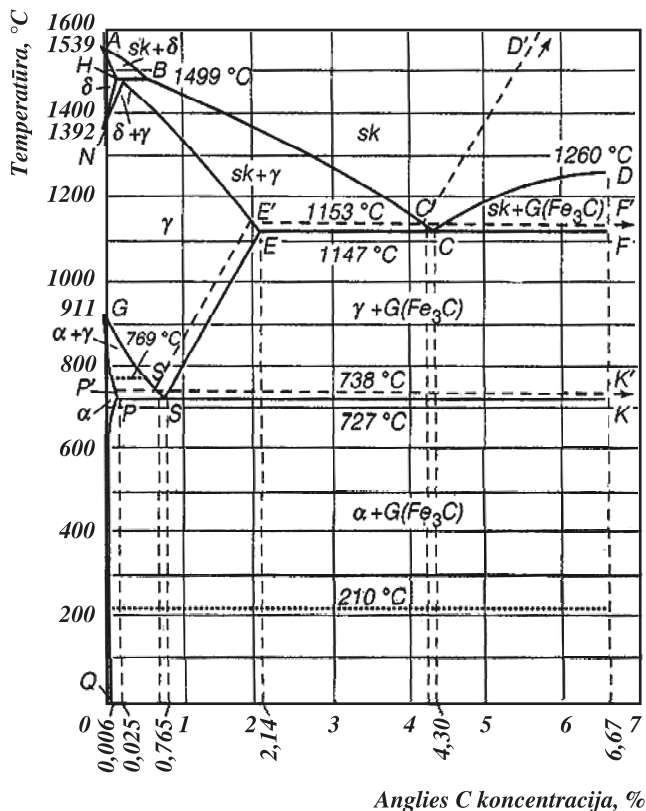
Geležies-anglies lydinių būvio diagrama (5.2 pav.) atspindi geležies-anglies lydinių mikrostruktūras, susidarančias auštant išly-

dytiems lydiniais. Ši diagrama sudaryta iki cheminio junginio Fe_3C anglies koncentracijos – 6,67 % C. Lydiniai su didesniu anglies kiekiu yra labai kieti, trapūs ir pramonėje nenaudojami. Cheminis junginys Fe_3C dažniausiai traktuojamas kaip savarankiškas geležies-anglies komponentas.



5.2 pav. Struktūrinės cementitinės geležies-anglies lydinų būsenų diagramos schema: sk – skystoji fazė; A – austenitas; F – feritas; P – perlitas; L – ledeburitas; Fe_3C – cementitas; I – priešeutektoidinis plienas; II – užeutektoidinis plienas; III – priešeutektoidinis ketus; IV – užeutektoidinis ketus

Fe-Fe₃C sistemos lydinių fazės. Fe-Fe₃C sistemos lydinių mikrostruktūras įvairiose temperatūrose sudaro tokios fazės: skysta (sk), feritas (F), austenitas (A) ir cementitas (Fe₃C) (5.2 pav. ir 5.3 pav.).



5.3 pav. Fazinės geležies-anglies lydinių būsenų diagramos

Skysta fazė – skystas geležies ir anglies atomų tirpalas.

Feritas – kietas anglies tirpalas α geležyje. Jame anglies atomai yra įsiterpę į α geležies kristalinę gardelę (KCT). Skiriamas žematemperatūrinis (iki 910 °C) α feritas ir aukštatemperatūrinis (daugiau negu 1392 °C) δ feritas. Didžiausia anglies koncentracija žematemperatūriniame ferite yra galima 727 °C temperatūroje – 0,025 % (taškas P diagramoje), δ ferite – 1499 °C temperatūroje – 0,1 % (taškas H).

Žemėjant temperatūrai, anglies tirpumas ferite mažėja. Kambario temperatūroje ferite gali ištirpti 0,006 % C (taškas Q). Feritas minkštas ir plastiškas.

Austenitas – kietas anglies tirpalas γ geležyje. Jame anglies atomai yra įsiterpę į γ geležies kristalinę gardelę (KCP). Daugiausia anglies γ geležyje gali ištirpti 1147 °C temperatūroje – 2,14 % (taškas E). Žemėjant temperatūrai, anglies tirpumas austenite mažėja. 727 °C temperatūroje austenite gali ištirpti 0,8 % C. Austenitas su tokia anglies koncentracija tampa nepatvarus ir skyla į ferito-cementito fazių mišinį, vadinamą perlitu. Austenitas, kaip feritas, yra plastiška fazė.

Cementitas – cheminis geležies-anglies junginys Fe_3C . Anglies koncentracija cementite 6,67 %. Cementito kristalinė gardelė sudėtinga. Cementitas labai kietas ir trapus.

Perlitas – tai eutektoidas, auštančio austenito skilimo produktas, kai 727 °C (arba žemesnėje) temperatūroje austenitas, kuriame yra 0,8 % C (0,765 % C), virsta ferito ir cementito plokštelių mišiniu. Perlito mechaninės savybės priklauso nuo jį sudarančių ferito ir cementito plokštelių storio.

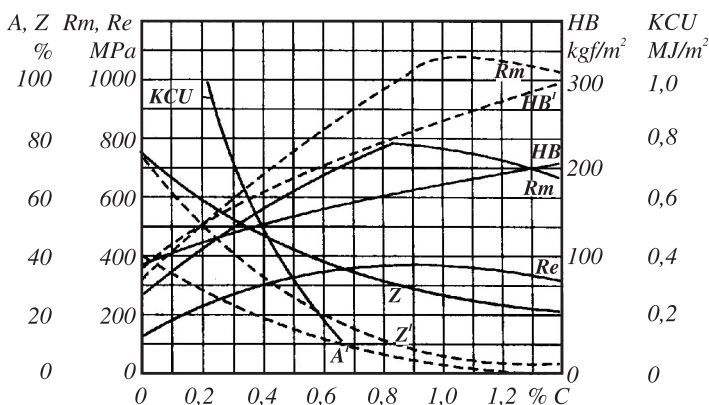
Plienas. Anglies ir nuolatinų priemaišų įtaka plieno struktūrai ir savybėms

Priemaišos, kurios būdingos visiems plienams, vadinamos nuolatinėmis. Tokios priemaišos yra siera, fosforas, silicis, manganas bei įsiterpusios dujos (deguonis, azotas, vandenilis). Plienas, kurio sudėtyje yra tik geležis, anglis ir nuolatinės priemaišos, vadinamas angliniu plienu. Plienas, kurio sudėtyje, be nuolatinų priemaišų, yra dar kitų specialiai įvestų elementų, vadinamas legiruotuoju plienu.

Anglis – pagrindinis elementas, nulemiantis termiškai neapdoroto plieno struktūrą bei savybes. Lėtai ataušusio iš austenitinės būklės (atkaitinto) plieno struktūrą sudaro dvi fazės – feritas ir cementitas. Didėjant pliene anglies kiekiui, jo struktūroje didėja kietos ir trapios cementito fazės kiekis. Dėl to didėja plieno kietumas, stiprumas, mažėja plastiškumas bei smūginis tūsumas. Plieno stiprumo riba R_m didžiausią reikšmę įgyja esant pliene 0,9 % C (5.4 pav.). Toliau didėjant

anglies kiekiui, plieno struktūroje formuojasi kietas ir trapus cementito tinklėlis, mažinantis plieno stiprumą.

Anglis keičia technologines plieno savybes. Didėjant anglies kiekiui pliene, blogėja jo suvirinamumas, karštasis bei šaltasis apdorojimas spaudimu. Didėjant anglies kiekiui iki 0,5 %, gerėja plieno apdorojimas pjovimu. Toliau didėjant anglies kiekiui, apdorojimas pjovimu blogėja dėl padidėjusio plieno kietumo.



5.4 pav. Anglies įtaka plieno mechaninėms savybėms

Nuolatinės priemaišos pliene būna žalingos ir naudingos. Žalingos priemaišos yra siera, fosforas bei ištirpusios dujos. Naudingos – silicis ir manganas.

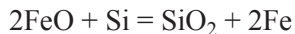
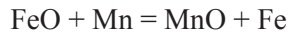
Siera su geležim sudaro eutektiką $Fe + FeS$. Šios eutektikos lydymosi temperatūra $988^{\circ}C$. Ji išsidėsto ant struktūros grūdelių paviršiaus. Kaitinant plienus karštajam apdirbimui spaudimu, pavyzdžiui, valcavimui ($t > 1000^{\circ}C$), eutektika išsilydo, ryšiai tarp struktūros grūdelių susilpnėja ir plienas tampa trapus. Šis reiškinys vadinamas karštu trapumu. Kenksmingą sieros poveikį kiek sumažina manganas. Plieno lydymo metu įvedus į jį manganą, siera sujungiama į mangano sulfidą MnS , kurio lydymosi temperatūra yra $1620^{\circ}C$. Didesnė jo dalis iš skysto metalo pereina į šlakus. Likę kietame pliene mangano sulfidai yra minkšti ir plastiški. Valcuojant jie lengvai tempiasi. Dėl

to karštasis trapumas išnyksta. Tačiau ir MnS pliene yra nepageidautinas. Tai nemetalinis intarpas, kuris blogina plieno mechanines savybes, ypač smūginį tąsumą ir ciklinį patvarumą. Be to, sieros junginiai blogina plienų suvirinamumą bei korozinį atsparumą. Dėl to sieros kiekis pliene neturi viršyti 0,06 %.

Fosforas ištirpsta ferite ir iškreipia jo kristalinę gardelę. Dėl to padidėja plieno stiprumo bei takumo ribos, tačiau sumažėja jo plastiškumas. Fosforas sumažina plieno smūginį tąsumą žemose temperatūrose (kiekviena 0,01 % P plieno kritinę trapumo temperatūrą pakelia 25 °C). Šis reiškinys vadinamas šaltuoju trapumu. Žalingas fosforo poveikis tuo didesnis, kuo daugiau pliene anglies. Ypač žalingas fosforo poveikis, kai jo plienuose yra daugiau negu 0,1 %. Dėl to fosforo kiekis pliene apriojamas 0,05 %.

Deguoonis ir azotas pliene sudaro oksidus bei nitridus. Tai trapūs nemetaliniai intarpai. Jie koncentruoja įtempimus. Dėl to mažėja plieno plastiškumas, smūginis tąsumas, ciklinis patvarumas. Vandeniis pliene cheminių junginių nesudaro, tačiau legiruotame pliene jis gali sukelti labai pavojingus defektus – vidinius plyšius, vadinamus flokeonais. Dujinių priemaišų pliene būna labai mažai. Jas sunku nustatyti, todėl jos dažnai vadinamos slaptomis priemaišomis.

Siliciu ir manganu lydymo metu plienas išoksidinamas:



Dalis šių elementų (iki 0,5–0,8 % Mn ir iki 0,3–0,4 % Si) lieka pliene. Likę pliene Si ir Mn ištirpsta ferite. Dėl to padidėja ferito kiekumas bei stiprumas, tačiau šiek tiek sumažėja jo plastiškumas.

Ketaus struktūra ir savybės

Ketus – tai daugiakomponentis geležies lydinys su anglimi ir kitais elementais. Nuo plieno ketus skiriasi didesniu anglies kiekiu (> 2,14 % C, kai kuriose legiruotojo ketaus markėse apie 1 % ir mažiau), technologinėmis savybėmis (labai geros ketaus liejamosios savybės, bet negalima jo deformuoti, sunku suvirinti). Ketus pigesnis už plieną.

Nelygu cheminė sudėtis ir aušimo sąlygos, anglis ketaus struktūroje gali būti sujungta į cementitą Fe_3C ir kitus karbidus arba išsiskyrusi grafito pavidalu.

Ketus, kuriame anglis yra sujungta į karbidus, vadinamas baltuoju. Šio ketaus mikrostruktūras ir jų susidarymo eigą atspindi Fe- Fe_3C diagrama (žr. 5.4 pav.). Baltojo ketaus struktūroje yra daug cementito, todėl jis yra labai kietas (HB 450–550) ir trapus.

Laisvo grafito susidarymą lemia cheminė lydinio sudėtis, kristalizacijos greitis, liejinio aušinimo greitis, liejinio įkaitinimo ir ataušinimo sąlygos jį termiškai apdorojant. Ketuje grafitas gali būti šių formų: plokštelių, kirminėlių, trupinėlių ir rutuliukų. Pagal tai ketus atitinkamai vadinamas pilkuoju, vermikulitiniu, kaliuoju ir stipriuoju.

Grafitinio ketaus metalinio pagrindo struktūra būna perlitinė, perlitinė-feritinė arba feritinė.

Grafitinio ketaus mechaninės savybės priklauso nuo metalinio pagrindo (matricos) struktūros ir nuo grafito intarpų kiekio, jų dydžio bei formos.

Nuo metalinio pagrindo struktūros labiausiai priklauso ketaus stiprumas, kietumas ir pasipriešinimas dilimui.

Perlitinės struktūros ketus yra kiečiausias, stipriausias ir atspariausias dilimui.

Feritas mažina ketaus stiprumą, kietumą, pasipriešinimą dilimui. Minkščiausias ir mažiausiai atsparus dilimui yra feritinės struktūros ketus. Ketaus plastiškumas nuo metalinio pagrindo struktūros beveik nepriklauso.

Cementinis	Grafitinis		
			
Baltasis	Pilkasis	Kalusis	Stiprusis
	a	b	c

5.5 pav. Grafito intarpų forma ketuje:
a – plokštelinė; b – dribsninė; c – rutulinė

Kontroliniai klausimai

1. Kokia yra kiečiausia ir kokia minkščiausia fazė geležies-anglies lydinuose?
2. Kas yra perlitas ir ledeburitas?
3. Kuo skiriasi plienas nuo ketaus?
4. Kas vyksta aušimo metu šios koncentracijos Fe-C lydinyje: 0,3 % C?
5. Kas vyksta aušimo metu šios koncentracijos Fe-C lydinyje: 1,9 % C?
6. Kokią įtaką plieno savybėms ir jo pritaikymui turi anglis?
7. Kokią įtaką plieno savybėms ir jo pritaikymui turi siera?
8. Kokią įtaką plieno savybėms ir jo pritaikymui turi manganas?
9. Kokią įtaką plieno savybėms ir jo pritaikymui turi silicis?
10. Kokią įtaką plieno savybėms ir jo pritaikymui turi fosforas?
11. Kas yra ketus ir kokios pagrindinės jo rūšys?
12. Kokią įtaką lydinio savybėms turi grafito intarpai?

6. LEGIRUOTAS PLIENAS. LEGIRAVIMO ĮTAKA GELEŽIES LYDINIŲ SANDARAI IR SAVYBĖMS

Legiravimu vadinamas metalo lydinio sulydymas su papildomais, vadinamaisiais legiravimo, elementais, gerinant jo mechanines, technologines, fizikines arba chemines savybes.

Plačiausiai taikomi ir pigiausi plieno legiravimo elementai – tai chromas, nikelis, manganas ir silicis. Kiti dažniau taikomi legiravimo elementai – tai nikelis, molibdenas, volframas ir vanadis. Rečiau taikomi, dažnai nedideliais kiekiais arba specialiais atvejais šie elementai: titanas, cirkonis, niobis, boras, taip pat aliuminis, varis ir kai kurie kiti.

Tų pačių elementų, ypač kai jų kiekis skirtingas, paskirtis gali būti nevienoda. Pavyzdžiui, 1 % Cr didina konstrukcinių plienų stiprumą, atsparumą dilimui, gerina terminio apdirbimo sąlygas, 3% – didina liekamąjį magnetizmą pastoviuose magnetuose, daugiau kaip 13 % – padaro plieną nerūdijantį, 28 % – suteikia patvarumą kaitroje iki 1100 °C. Legiravimo elementai gali turėti skirtingos įtakos ir legiruojuojant įvairaus anglingumo plienus arba legiruojuojant kompleksiskai, t. y. keliais elementais.

Legiravimo elementai geležies ir anglies lydiniuose su austenitu ir feritu gali sudaryti kietuosius tirpalus, su anglimi – karbidus arba legiruotą cementitą, o kai šių elementų daug – tarpmetallinius junginius.

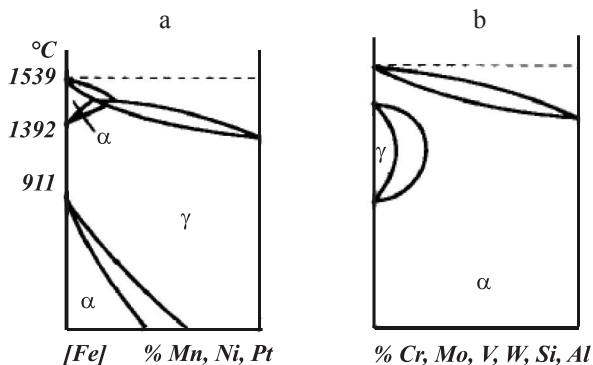
Metalinių legiruojančiųjų elementų atomai pakeičia dalį atomų geležies kristalinėje gardelėje. Ištirpę geležyje, legiruojuojantieji elementai keičia geležies alotropinių virsmų temperatūras. Pagal įtaką geležies alotropinių virsmų temperatūroms legiruojuojantieji elementai skirstomi į austenizuojuojančius ir feritizuojuojančius.

Austenizuojuojantys elementai žemina geležies kritinę temperatūrą A_3 ir kelia kritinę temperatūrą A_4 (6.1 pav.). Kai šių elementų koncentracija yra dešiniau taško b, geležies kritinė temperatūra A_3 yra žemiau taško b, kambario temperatūroje turi γ geležies kristalinę gardelę. Tokie lydiniai vadinami austenitiniiais (plienas – austenitinės klasės plienas). Labiausiai austenizuojuojantys metaliniai elementai yra Ni ir Mn.

Feritizuojantys elementai kelia geležies kritinę temperatūrą A_3 ir žemina kritinę temperatūrą A_4 (6.1 pav., b). Šiuo atveju susiaurėja γ geležies sritis ir išsiplėčia α geležies sritis. Lydinių, esančių dešiniau taško C, α geležies kristalinė gardelė nesikeičia iki lydymosi temperatūros. Tokie lydiniai vadinami feritiniais (plienas – feritinės klasės plienų).

Austenizuojantys elementai žemina plienų kritinius taškus A_1 , A_3 , A_m , feritizuojantys – juos kelia.

Plieno savybėms turi įtakos ir grūdelių dydis: kuo šie smulkesni, tuo plienas atsparesnis nuovargiui, didesnis jo smūginis tūsumas, žemesnė šaltojo trapumo ribos temperatūra. Plieno grūdelius labiausiai smulkina elementai, kurie sudaro patvaresnius karbidus, tokie kaip titanas arba vanadis. Tuo tarpu manganas skatina jų augimą, kai plienas įkaitinamas iki austenitinės sandaros.



6.1 pav. Legiruojančiųjų elementų įtaka geležies kritinėms temperatūroms

Legiruoti plienai pagal struktūrą, kuri susidaro aušinant ore, skirstoma į penkias klases: perlitinius, martensitinius, feritinius, austenitinius ir karbidinius arba ledeburitinius.

Perlitiniai plienai (0,1–1,5 % C). Juose yra ne daugiau kaip 5–6 % legiravimo elementų. Dažniausiai tai konstrukciniai plienai arba įrankiniai plienai, skirti nedidelio našumo darbams.

Martensitas – būdinga grūdinimo struktūra. Martensitinės klasės plienai gausiau legiruoti. Juose yra 7–15 % legiravimo elementų, tačiau tik 0,2–0,7 % anglies. Aušinami ore šie plienai užsigrūdina, įgy-

dami martensitinę sandarą. Tai anglingesnieji chrominiai nerūdijantys bei atsparūs kaitrai plienai, plienai, skirti vidaus degimo variklių išmetimo vožtuvams.

Feritinės klasės plienai gausiai legiruoti chromu (13–28 %), kariais ir kitais ferito struktūros susidarymą skatinančiais elementais, tokiais kaip aliuminis arba silicis. Tai patvarūs oksidacijai kaitroje plienai, iš kurių gaminamos krosnių cheminių įrenginių dalys, šilumokaičiai, skirti ilgam darbui aukštoje temperatūroje, kai mechaninės apkrovos nedidelės. Būdingas mažas anglingumas – apie 0,1 % C. Daugiau anglies turintieji įgyja feritinę-martensitinę arba vien martensitinę sandarą.

Austenitinės klasės plienai yra gausiai legiruoti (iki 40 %) nikelio, manganu ir kai kuriais papildomais elementais. Dažnai jie mažangliai, tačiau kai reikia didesnio mechaninio atsparumo, anglies gali būti iki 1 %. Austenitinės klasės plienai taikomi kaip atsparūs korozijai ir kaitrai.

Karbidinės klasės plienų struktūra nustatoma ne aušinant ore (susidarytų martensitinė sandara), bet atkaitinant – lėtai aušinant su krosnimi. Jie gausiai legiruoti karbidus sudarančiais elementais (10–20 %), tokiais kaip volframas, molibdenas, vanadis arba chromas, ir turintys daug anglies – 0,7–2,2 %. Beveik visada tai įrankiniai plienai.

Legiruotieji plienai skirstomi ne tik pagal struktūrą, susidarančią aušinant ore, bet ir pagal bendrą legiravimo laipsnį arba paskirtį. Turintieji ne daugiau kaip 3–5 % legiravimo elementų vadinami mažai legiruotaisiais, turintieji iki 10 % – vidutiniškai legiruotaisiais, o turintieji daugiau kaip 10 % legiravimo elementų – gausiai legiruotaisiais.

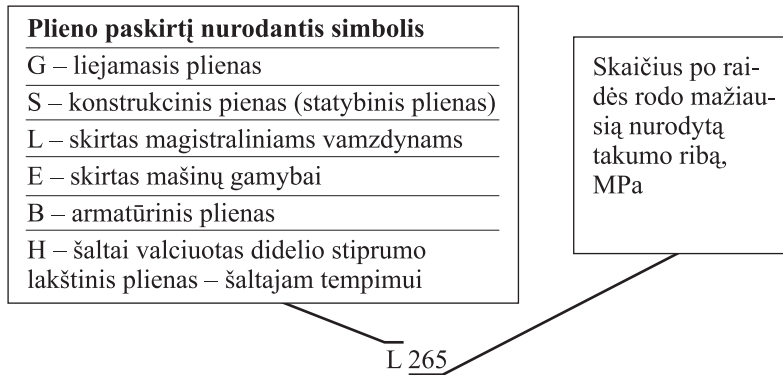
Pagal paskirtį skiriamos trys pagrindinės plienų grupės: konstrukciniai, įrankiniai ir specialieji.

Plienų klasifikavimas ir žymėjimas Europos Sąjungoje

Plienų klasifikavimą ir žymėjimą Europos Sąjungoje reglamentuoja LST EN 10027-1, LST EN 10027-2 ir LST 1585 (CR 10260).

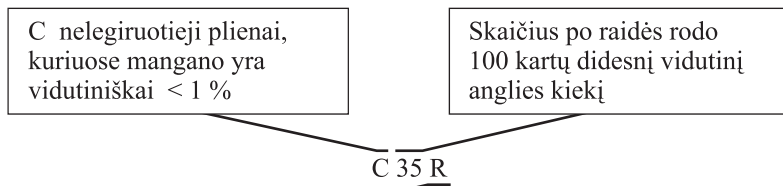
Pagal standartą LST EN 10027-1 plieno markės skirstomos į dvi pagrindines grupes:

1 grupė: plienai, žymimi pagal savo paskirtį ir mechanines ar fizines savybes.



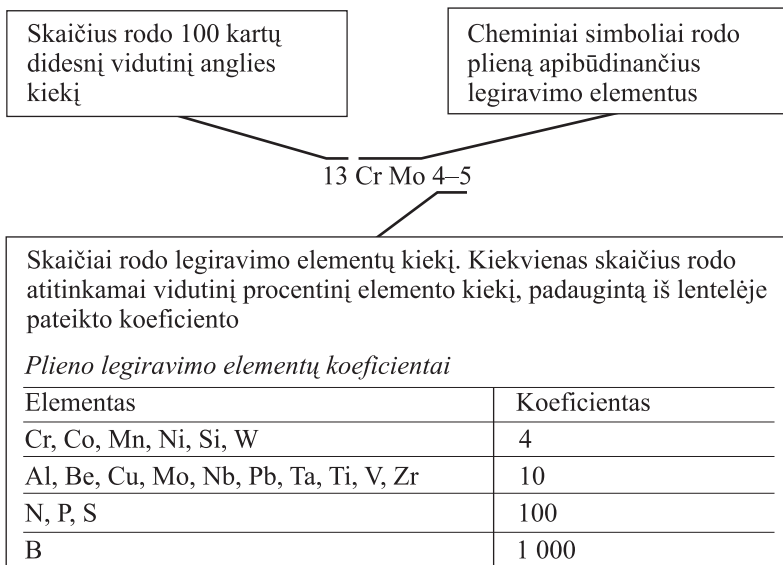
2 grupė: plienai, žymimi pagal savo cheminę sudėtį ir skirstomi į keturis pogrupius.

1 pogrupis. Nelegiruotieji plienai. Žymėjimui vartojami šie simboliai:

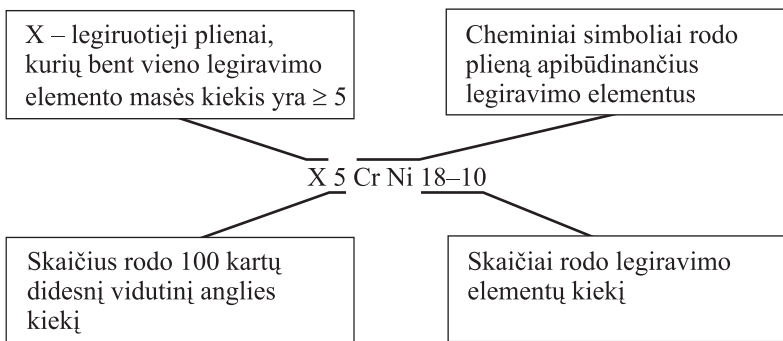


Papildoma informacija:
E – nurodomas didžiausias sieros kiekis
R – nurodomos sieros kiekio ribos
D – skirtas vielos traukimui
C – skirtas šaltajam formavimui
S – skirtas spyruoklėms
U – skirtas įrankiams
W – skirtas suvirinimo strypeliams
G – kitos charakteristikos

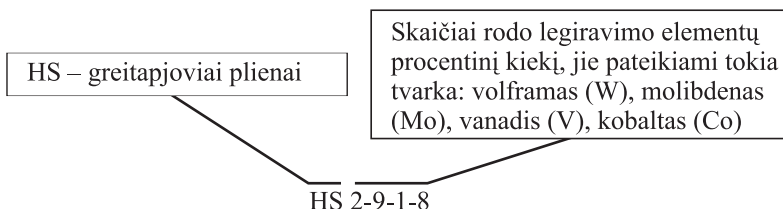
2 pogrūpis. Nelegiruotieji plienai, kuriuose mangano yra vidutiniškai $\geq 1\%$, nelegiruotieji automatų plienai ir legiruotieji plienai (išskyrus greitapjovius plienus), kurių kiekvieno legiravimo elemento masės kiekis procentais yra $< 5\%$. Žymėjimui vartojami šie simboliai:



3 pogrūpis. Legiruotieji plienai (išskyrus greitapjovius). Žymėjimui vartojami šie simboliai:



4 pogrupis. Greitapjoviai plienai. Žymėjimui vartojami šie simboliai:



Išsami informacija apie plienų žymėjimą ir žymėjimo pavyzdžiai pateikti LST EN 10027-1, LST EN 10027-2, LST 1585 standartuose ir CEN techniniame pranešime CR 10260.

Kontroliniai klausimai

1. Kuo skiriasi angliniai plienai nuo legiruotų?
2. Kaip skirstomi legiruoti plienai?
3. Koks legiravimo tikslas?
4. Kaip skirstomi legiruojantys elementai?
5. Kokias plienų savybes veikia legiruojantys elementai?

7. SPALVOTIEJI METALŲ LYDINIAI (SANDARA, SAVYBĖS, KLASIFIKACIJA)

Varis ir jo lydiniai

Varis – raudonos spalvos metalas, pasižymintis vertingomis techninėmis ir technologinėmis savybėmis: dideliu šilumos ir elektros laidumu (iš visų techninių metalų varis (po sidabro) laidžiausias elektrai), geru suvirinamumu ir apdirbamumu spaudimo būdu. Tačiau jis sunkiai apdirbamas pjovimu. Varis atsparus korozijai atmosferoje, gėlame ir jūrų vandenyje, daugelyje cheminių terpių organinėse rūgštyse, šarmuose, sausose dujose. Neatsparus azoto, druskos, koncentruotos karštos sieros rūgšties, amoniako poveikiui.

Varis gana sunkus ($8,9 \text{ g/cm}^3$), nelabai stiprus ($R_m = 220 \text{ MPa}$, $R_{p0,2} = 75 \text{ MPa}$), plastiškas ($A = 50 \%$, $Z = 75 \%$) metalas. Jo lydymosi temperatūra $-1083 \text{ }^\circ\text{C}$. Kristalinė gardelė – kubinė centruoto paviršiaus (KCP). Jį galima sustiprinti deformaciniu sukietinimu, tačiau tada labai sumažėja plastiškumas.

Techniškai grynas varis plastiškas, bet nestiprus. Mašinose jis naudojamas retai: įvairioms plastiškoms tarpinėms, labai laidžioms šilumai dalims. Vario lydiniai stipresni, technologiškesni, dažnai gerų antifrikcinių savybių.

Vario lydinius įprasta skirstyti į tris grupes:

- žalvarį – vario lydinį su cinku,
- bronzą – vario lydinį su kitais elementais,
- įvairios paskirties bei įvairių pavadinimų vario-nikelio lydinius.

Žalvariai – tai vario lydiniai su cinku, o kartais ir su kitais papildomais elementais. Cinkas yra pigesnis už varį, todėl žalvariai yra pigiausieji vario lydiniai. Cinkas išoksidina varį, padidina jo stiprumą ir plastiškumą, šiek tiek sumažina elektrinį laidumą.

Turintis iki 39 % cinko žalvaris yra plastiškas, lengvai suvirinamas, atsparus korozijai. Žalvarį legiruoja Fe, Al, Si, Ni. Aliuminis mažina cinko lakumą, sudarydamas apsauginę Al_2O_3 plėvelę. Geležis sustabdo kristalizaciją ir susmulkina grūdelę. Silicis pagerina suvirinamumą.

Vario pagrindo lydiniai, kuriuose cinko kiekis neviršija 5 %, vadinami bronzomis.

Tai vario lydiniai su įvairiais elementais, išskyrus cinką (žalvarius) ir nikelį (vario-nikelio lydinius). Atsižvelgiant į pagrindinį leigiravimo elementą, bronzas įprasta skirstyti į dvi grupes: alavines ir nealavines – aliuminines, silicines, berilines bei kitas.

Alavinės bronzos yra gerų antifrikcinių savybių, atsparios korozijai. Aliumininė bronzos yra stipresnė ir atsparesnė korozijai už alavinę bronzą. Manganinės bronzos pasižymi geru atsparumu korozijai ir mechaniniu atsparumu kaitrai. Berilinės bronzos po terminio poveikio tampa tokios pat stiprios kaip plienai. Vario ir jo lydinių cheminė sudėtis pateikiama 7.1 lentelėje.

Vario-nikelio lydiniuose yra iki 30 % Ni, taip pat mangano, geležies. Šie lydiniai yra stiprūs, atsparūs korozijai, naudojami konstrukcijoms, eksploatuojamoms agresyviose aplinkose (jūros vanduo, druskų tirpalai, organinės rūgštys).

7.1 lentelė. Vario ir jo lydinių cheminė sudėtis

	Legiruojantieji elementai	Priemaišos
Techninis varis	Cu ≥ 99,95 Cu ≥ 99,9 Cu ≥ 99,7	≥ 0,05 ≥ 0,1 ≥ 0,3
Žalvaris	Cu = 60,5...63,5 Si = 0,3...0,7 likusi dalis Zn	–
	Cu = 75...60 Fe = 1, Mn = 1...2 likusi dalis Zn	≥ 1,1
	Cu = 79...81 likusi dalis Zn	–
Bronza: Alavinė	Sn = 9...11 Zn = 2...4	≥ 1,0
Silicinė	Mn = 1...1,5 Si = 2,75...3,5	≥ 0,4

	Legiruojantieji elementai	Priemaišos
Aliumininė	Al = 8...10 Mn = 1,5...2,5	$\geq 1,7$
Manganinė	Mn = 4,5...5,5	$\geq 0,9$
Berilinė	Be = 1,9...2,1	$\geq 0,5$
Chrominė	Cr = 0,4...1,0	$\geq 0,3$

Aliuminis ir jo lydiniai

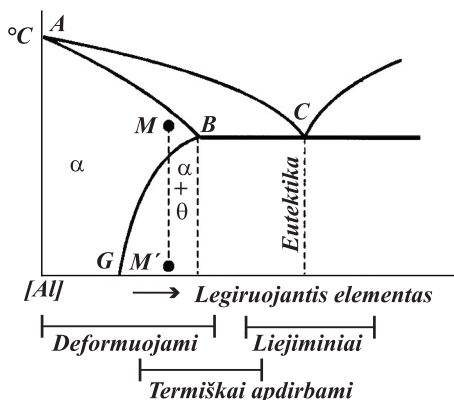
Aliuminis – labiausias žemės plutoje paplitęs ir plačiausiai technikoje naudojamas negeležies metalas. Tai atsparus korozijai, laidus šilumai bei elektrai, neaukštos lydymosi temperatūros ($660\text{ }^{\circ}\text{C}$), lengvas ($2,7\text{ g/cm}^3$), plastiškas sidabro baltos spalvos metalas. Jo kristalinė gardelė kubinė centruotojo paviršiaus (KCP). Polimorfinių modifikacijų neturi.

Grynasis aliuminis minkštas, nestiprus ir labai plastiškas metalas (HB 17–25, $R_m = 50\text{--}80\text{ MPa}$, $R_{p0,2} = 15\text{ MPa}$, $A = 50\%$). Nuolatinės aliuminio priemaišos (Fe, Si, Mn, Cu, Z, Cr) didina aliuminio kietumą bei stiprumą, tačiau mažina jo elektros laidumą, korozinį atsparumą ir plastiškumą. Jo lydinų lyginamasis stiprumas gali siekti $170\text{--}250\text{ MPa/g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Todėl jis labai pageidautinas transporte, ypač aviacijoje.

Aliuminis labai giminingas deguoniui, todėl šviežias metalo pjūvis sparčiai oksiduojasi. Susidariusi kelių atomų storio oksido Al_2O_3 plėvelė yra nelaidi deguoniui ir saugo aliuminį nuo tolesnės oksidacijos. Tanki Al_2O_3 oksido plėvelė, apsauganti aliuminį nuo korozijos atmosferoje, vandenyje, koncentruotoje azoto ir daugelyje organinių rūgščių bei kitose terpėse. Aliuminis neatsparus korozijai druskos rūgšties bei šarmų aplinkoje.

Aliuminio stiprumas gerokai padidėja, sulydžius jį su kitais elementais. Technikoje dažniausiai naudojami aliuminio lydiniai su variu, magniu, manganu, siliciu ir cinku. Šie elementai su aliuminiu sudaro kintamos koncentracijos ribotus tirpalus. Temperatūrai krintant, jų tirpumas aliuminyje mažėja, todėl iš kietųjų tirpalų išsiskiria perteklinės fazės: Al-Cu sistemoje – CuAl_2 , Al-Si sistemoje – Si kristalai, Al-Mg sistemoje – Al_3Mg_2 . Technikoje dažniausiai naudojami daugiakomponentiniai

aliuminio lydiniai. Juose esantys legiruojantieji elementai tarpusavyje sudaro sunkiai aliuminyje tirpstančias fazes: Mg_2Si , $CuMgAl_5Mg_5$ ir kt.



7.1 pav. Aliuminio lydinų apdirbamumo priklausomybė nuo legiravimo elemento koncentracijos ir jo įtakos struktūrai

Aliuminio lydiniai gali būti skirstomi dvejopai: pagal produkcijos gamybos būdą (į deformuojamuosius ir į liejamuosius), ir pagal terminį apdirbamumą (į termiškai stiprinamuosius ir į termiškai nestiprinamuosius). Tokio skirstymo pagrindas – skirtinga įvairios koncentracijos lydinų sandara. Aliuminio ir legiruojančio elemento lydinų būsenos diagramos schema vaizduojama 7.1 paveiksle. Čia skiriamos trys zonos. **I zona** atitinka vienfazio kietojo tirpalo sritį. Tokios sandaros lydiniai plastiški, lengvai deformuojami, bet termiškai nestiprinami. **II zona** atitinka kietojo tirpalo su intermetalinio junginio tarpais sandarą. Tokius lydinius galima sustiprinti fiksuojančiai grūdinant ir sendinant. Tai taip pat deformuojamieji lydiniai. **III zona** atitinka sandarą su eutektine struktūrine sudedamąja dalimi. Eutektikai būdinga žemesnė lydymosi temperatūra ir geresnės liejimo savybės. Todėl šios sandaros lydiniai yra liejamieji, dažniausiai techniškai nestiprinamieji. Tik tie, kurių sandara artimesne antrajai zonai, gali būti termiškai stiprinami. Lydinius, kuriuose išsiskiria perteklinės fazės, galima sustiprinti, apdorojant termiškai (7.1 pav.). Šiai grupei priskiriami lydiniai turi vieną ar keletą legiruojančiųjų elementų, tokių kaip Cu, Mg, Si, Zn. Šių elementų ne-

maži kiekiai aukštesnėse temperatūrose gali ištirpti aliuminyje, tačiau žemėjant temperatūrai jų tirpumas aliuminyje mažėja. Būtent tai sudaro galimybę terminio apdorojimo metu sustiprinti šiuos lydinius.

Magnis ir jo lydiniai

Magnis – labai lengvas ($\rho = 1,74 \text{ g/cm}^3$) sidabriškai baltos spalvos metalas. Jo kristalinė gardelė heksagoninė sutankinta. Polimorfinių modifikacijų neturi. Lydymosi temperatūra 650°C . Kaitinamas magnis intensyviai oksiduojasi. 623°C temperatūroje magnis savaime užsidega. Magnio milteliai bei drožlės gali savaime užsidegti ir kambario temperatūroje. Lieto technikinio magnio mechaninės savybės labai žemos: $R_m = 110\text{--}120 \text{ MPa}$, $A = 6\text{--}8 \%$. Dėl to magnis kaip konstrukcinė medžiaga nenaudojamas. Šiuo požiūriu žymiai vertingesni magnio lydiniai. Vertingiausios magnio lydinių savybės yra mažas svoris, didelis santykinis stiprumas, sugebėjimas atlaikyti smūgines apkrovas bei gesinti vibracijas. Pagrindiniai šių lydinių trūkumai yra mažas korozinis atsparumas, sudėtinga liejimo technologija bei atliekų polinkis savaime užsidegti. Technikoje dažniausiai naudojami magnio lydiniai su aliuminiu (iki 10% Al), cinku (iki 6% Zn) ir manganu (iki $2,5\%$ Mn). Papildomai legiruojami Zr, Cd, Nd, Ni ir kitais elementais. Dauguma šių elementų su magniu sudaro ribotus kietuosius tirpalus. Žemėjant temperatūrai iš kietojo tirpalo išsiskiria perteklinės fazės MgZn_2 , Al_3Mg_4 , MgAl_2Zn_6 ir kitos. Dėl to daugelį magnio lydinių galima sustiprinti apdorojant termiškai. Technologiniu požiūriu magnio lydiniai skirstomi į deformuojamuosius ir liejiminius.

Deformuojamieji lydiniai – tai Mg-Mn, Mg-Al-Zn-Mn, Mn-Zn-Zr sistemų lydiniai. Daugiausia deformuojami karšti ($300\text{--}480^\circ\text{C}$) lydiniai. Liejiminių lydinių cheminė sudėtis artima deformuojamųjų lydinių cheminei sudėčiai, tačiau liėtų detalių struktūra dažniausiai būna stambia-grūdė, todėl jų mechaninės savybės blogesnės negu deformuojamųjų.

Titanas ir jo lydiniai

Titanas – lengvas ($\rho = 4,5 \text{ g/cm}^3$) pilkos spalvos metalas. Jo lydymosi temperatūra 1663°C . Iki 882°C titano kristalinė gardelė heksagoninė sutankinta (H12). Šis titanas vadinamas α titanu. Aukštesnėje

negu 882 °C temperatūroje kristalinė gardelė yra kubinė centraturė (KCT). Šis titanas vadinamas β titanu. Vertingos titano savybės yra mažas tankis, didelis santykinis stiprumas bei korozinis atsparumas.

Žalingos titano priemaišos yra azotas, anglis, deguonis ir vandenilis. Jos padidina titano kietumą bei stiprumą, tačiau sumažina plastiškumą ir korozinį atsparumą.

Titanas stiprus ir neigiamose temperatūrose (iki –269 °C), o jeigu jis neužterštas vandeniliu (< 0,002 %), tai išlieka ir plastiškas. Kylant temperatūrai, titano stiprumas mažėja. 250 °C temperatūroje jis sumažėja apie du kartus. Titanas lengvai apdirbamas spaudimu karštoje ir šaltoje būklėje, gerai virinamas inertinėse dujose, tačiau blogai apdirbamas pjovimu. Titano lydiniai turi geresnes mechanines savybes, dažnai ir atsparesni korozijai už techninį titaną.

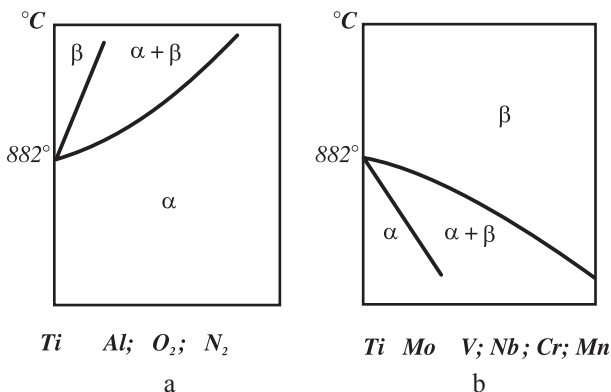
Pagrindinis legiruojantis elementas titano lydiniuose yra aliuminis. Aliuminis padidina lydinų terminį stabilumą (aukštesnėse temperatūrose išlieka geros mechaninės savybės, lydiniai mažiau oksiduojasi). Kartu su aliuminiu titano lydiniai legiruojami Cr, Fe, Mn, Mo, V, Sn.

Legiruojantys elementai bei žalingos priemaišos keičia titano alotropinio virsmo $\alpha \leftrightarrow \beta$ temperatūrą (7.2 pav.). Al, N₂O₂ šią temperatūrą kelia (7.2 pav., a). Jie išplečia α kietojo tirpalo sritį ir vadinami α -stabilizatoriais. Kiti elementai (Mo, V, Nb, Cr, Mn, Fe) titano alotropinio virsmo temperatūrą žemina (7.2 pav., b). Jie išplečia β kietojo tirpalo sritį ir vadinami β -stabilizatoriais. Atsižvelgiant į struktūrą, titano lydiniai skirstomi į α lydinis, $\alpha + \beta$ lydinis ir β lydinis.

α lydiniai – tai titano lydiniai su Al, su aliuminiu ir alavu arba lydiniai su aliuminiu ir nedideliais Mn, Zr, Mo, V kiekiais. Jų struktūra vienfazė, stiprumas nedidelis (600–1100 MPa), tačiau jų stiprumas mažiau krinta kylant temperatūrai (iki 650 °C). Be to, jie atsparūs korozijai, gerai virinami. Termiškai šie lydiniai neištirpinami deformaciniu sukietinimu. Jie mažiau plastiški nei kiti titano lydiniai.

$\alpha + \beta$ lydiniai be aliuminio (4,5–6,0 %) papildomai gausiau legiruojami β stabilizatoriais. Jų struktūrą sudaro $\alpha + \beta$ kietieji tirpalai. Šie lydiniai yra stipresni negu α lydiniai ($\sigma_u = 900$ –1200 MPa). Juos

galima sustiprinti termiškai. Termiškai jie mažiau stabilūs negu α lydiniai, o technologinis plastiškumas didesnis negu α lydinių.



7.2 pav. Legiruojančiųjų elementų įtaka titano alotropinio virsmo temperatūrai

Vienfazei β kietojo tirpalo struktūrai gauti titaną reikia gausiai legiruoti ($> 20\%$) brangiais, deficitiniais, be to, sunkiais elementais (V, Mo, Nb, Ta). Dėl to šie lydiniai naudojami retai.

Titano lydiniai turi geras liejimines savybes, tačiau jų liejimą apsunkina metalo cheminis aktyvumas. Dėl to titano lydiniai lydomi bei išpilstomi vakuume arba neutraliose dujose. Detalės liejamos iš analogiškos cheminės sudėties lydinių kaip ir deformuojamieji, tačiau lietu detalų mechaninės savybės blogesnės negu detalų, gamintų deformavimu arba pjovimu. Titano liejiniai termiškai nestiprinami.

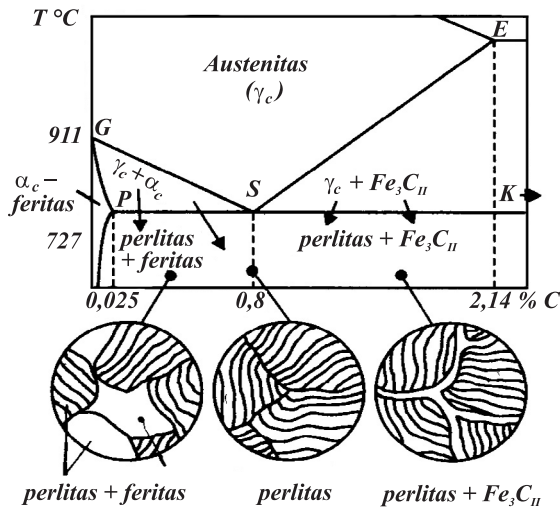
Kontroliniai klausimai

1. Kokios pagrindinės vario lydinių grupės?
2. Kokiomis savybėmis pasižymi techniškai grynas aliuminis?
3. Kaip skirstomi aliuminio lydiniai ir kur jie naudojami?
4. Kokius aliuminio lydinius galima termiškai sustiprinti ir kokių būdu?
5. Kas būdinga magniui ir jo lydiniams?
6. Kokie pagrindiniai titano lydiniai?

8. METALŲ TERMINIS APDIRBIMAS. TERMOCHEMINIS APDIRBIMAS

Kitimai kaitinamame pliene

Atkaitinto, t. y. labai lėtai ataušinto, anglinio plieno struktūros pagrindą sudaro plokštelinis perlitas – eutektoidinis ferito ir cementito plokštelių mišinys. Eutektoidinės koncentracijos (0,8 % C) plieną sudaro tik perlitas, ikieutektoidinio plieno struktūroje, be perlito grūdelių, yra ir ferito grūdelių, o poeutektoidinio – be perlito, yra ir antrinio cementito. Šių struktūrų schemas vaizduojamos 8.1 paveiksle. Todėl pagrindiniai pasikeitimai kaitinamame pliene yra susiję su plokštelinio perlito pasikeitimu.

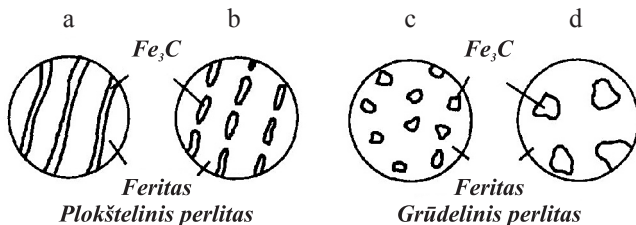


8.1 pav. Ikieutektoidinio, eutektoidinio ir poeutektoidinio plieno struktūros

Plokšteliniame perlite yra daug tarpfazinių skiriamųjų paviršių tarp ferito ir cementito plokštelių. Dėl įtempimų šiuose paviršiuose susidaro daugiau laisvosios energijos. Todėl plokštelinio perlito sandara nėra stabili. Suteikus jai aktyvacijos energijos, t. y. pakaitinus, prasideda reiškiniai, dėl kurių mažėja skiriamųjų paviršių santykinė dalis sistemoje, kad sumažėtų visos sistemos laisvoji energija. Tai sferoida-

cija – cementito plokštelių suapvalėjimas, ir koaguliacija – cementito dalelių susijungimas, augimas.

Cementito plokštelių suapvalėjimą skatina tai, kad rutulio santykinis paviršius, t. y. paviršiaus ploto dalis, tenkanti tūrio vienetui, yra mažiausias. Sferoidacija prasideda cementito plokštelių sutrūkinėjimu. Po to atskiros dalelės apvalėja. Plokštelinis perlitas virsta grūdeliniu. Sferoidacijos eiga vaizduojama 8.2 paveiksle.



8.2 pav. Plokštelinio perlito virsmas grūdeliniu (sferoidacija ir koaguliacija)

Sferoidacija ir koaguliacija vyksta 550–700 °C temperatūroje, kai difuzija nėra intensyvi. Todėl praktikoje plokštelinis perlitas keičiamas grūdeliniu kitais būdais, pavyzdžiui, švytuokliniu sferoidaciniu atkaitinimu arba išankstiniu deformavimu, kuris sferoidaciją paspartina iki 100 kartų.

Grūdelinio perlito sandaros plienas yra minkštesnis už plokštelinio perlito sandaros plieną, jis lengviau ir glotniau tekinamas, o grūdinant tolygiau pasiskirsto įtempimai. Todėl angliniai įrankiniai plienai prieš grūdinant visuomet atkaitinami į grūdelinį perlitą. Grūdelinis perlitas susidaro ir aukštai atleidžiant, t. y. pakaitinant užgrūdintą plieną maždaug iki 600 °C. Taip gaunama struktūra dažniau vadinama sorbitu.

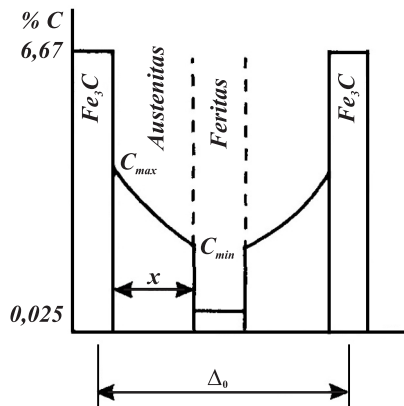
Austenitinis virsmas

Plieną įkaitinus iki aukštesnės kaip 727 °C temperatūros, austenito laisvoji energija tampa mažesnė už perlito ir perlitas virsta austenitu. Šis procesas vyksta ne tik eutektoidinės koncentracijos pliene, bet ir visų koncentracijų geležies lydiniuose, kuriuose yra perlito, t. y. visoje Fe-C diagramos PSK linijoje.

Austenitinio virsmo metu keičiasi kristalinė lydinio sandara, todėl šis pasikeitimas vyksta pagal bendrus kristalizacijos dėsnius: iš

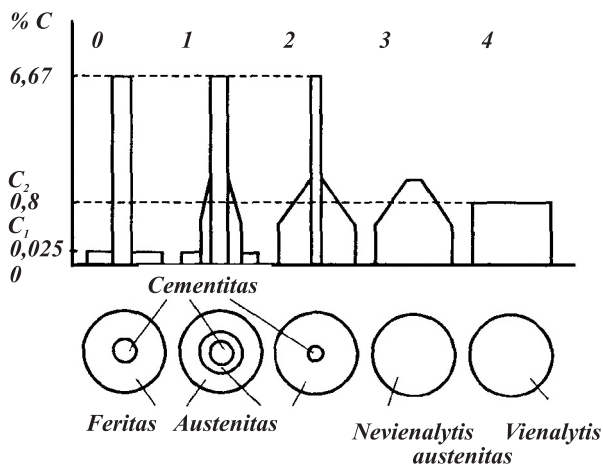
pradžių atsiranda austenito užuomazgos, kurios pamažu auga, kartu atsirandant vis naujoms, kol austenitas užpildo visą perlito tūrį.

Austenito užuomazgos atsiranda tarpfaziniuose skiriamuosiuose paviršiuose dėl kelių priežasčių. Viena iš jų – skiriamuosiuose paviršiuose ribojasi dvi skirtingos sandaros fazės ir todėl pereinamajame sluoksnyje daugiausia kristalinės sandaros iškreipimų ir lengviausios sąlygos atomams persitvarkyti, t. y. naujai sandarai susidaryti. Kita priežastis – austenitas pradeda susidaryti alotropiškai keičiantis feritui.



8.3 pav. Anglies pasiskirstymas austenite tarp cementito ir ferito plokštelių

Atskirose austenito dalyse susidaro nevienoda anglies koncentracija. Kaip anglis pasiskirsto austenite, vaizduojame 8.3 paveiksle. Šią nevienodą anglies koncentraciją stengiasi išlyginti difuzija. Anglis nuo cementito perslenka link ferito. Jos pagausėjus ties feritu, šis pradeda tirpti austenite (feritinė gardelė persitvarko į austenitinę), kad sumažintų anglies koncentraciją. Sumažėjus austenite anglies ties cementitu, jame pradeda tirpti cementitas, kad šią koncentraciją padidintų. Taigi austenitas auga į ferito ir į cementito pusę. Tačiau jo sandara ir anglingumas artimesni feritui, todėl austenitu iš pradžių virsta feritinė dalis, tik po to cementitinė. Ką tik susidariusiame austenite anglies koncentracija netolygi: mažesnė ten, kur buvo feritas, didesnė ten, kur buvo cementitas. Todėl austenizacijos procesas baigiasi anglies koncentracijos išsilyginimu.

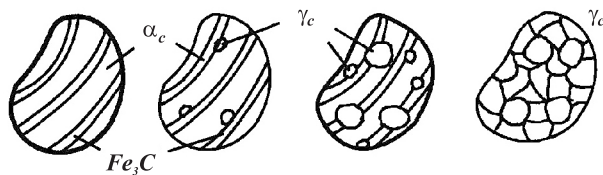


8.4 pav. Perlito virsmo austenitu etapai

Legiravimo elementai gali turėti įvairų poveikį. Karbidų nesudarantieji (manganas arba nikelis) austenizaciją spartina, o sudarantieji patvarius karbidus (chromas, volframas arba molibdenas) lėtina.

Austenito grūdelių dydis

Pirminės austenito užuomazgos susidaro perlito skiriamuosiuose (tarpfaziniuose) paviršiuose tarp ferito ir cementito plokštelių. Kadangi perlite šių tarpfazinių paviršių daug, tai daug susidaro ir pirminių austenito užuomazgų, iš kurių perlito grūdelyje išauga daug smulkių austenito grūdelių. Taigi pagrindinis austenitinio virsmo požymis – grūdelių susmulkėjimas. Šio reiškinio schema vaizduojama 8.5 paveiksle.



8.5 pav. Grūdelių susmulkėjimo austenitinio virsmo metu schema

Austenitinio virsmo metu susidarę austenito grūdeliai vadinami pirminiais. Jų dydis priklauso nuo: perlito smulkumo pradinėje struktūroje, plieno cheminės sudėties, kaitinimo greičio, nuo to, ar plienas buvo deformuotas. Kuo smulkesnės eutektoidinės ferito ir cementito plokštelės, tuo daugiau jame tarpfazinių paviršių, tuo gausesnės austenito užuomazgos ir tuo smulkesni išauga austenito grūdeliai.

Austenito grūdelių augimas priklauso nuo plieno prigimties: gamybos būdo, su juo susijusių priemaišų kiekio bei jų pasiskirstymo ir nuo cheminės sudėties. Anglinių plienų, tuo labiau legiruotų manganu, austenito grūdeliai pradeda augti beveik iš karto ir auga gana tolygiai.

Iš stambių austenito grūdelių aušinant susidaro stambūs jo skilimo produktai. Stambiagrūdė struktūra mažiau atspari nuovargiui bei smūginei apkrovai, todėl nepageidaujama. Termiškai apdirbamą plieną stengiamasi kaitinti iki kiek galima žemesnės reikalingos temperatūros ir per ilgai joje nelaikyti, kad neišaugtų grūdeliai. Struktūra su per stambiais metalo grūdeliais laikoma metalo defektu – *perkaitinimu*. Perkaitinimą galima ištaisyti pakartotina austenizacija. Tačiau tam reikia papildomų išlaidų, be to, papildomai kaitinamas ir aušinamas metalas labiau deformuojasi bei susikraipo, paviršiniai sluoksniai gali oksiduotis arba netekti anglies.

Stambiagrūdė struktūra kartais pageidaujama. Stambiagrūdis metalas atsparesnis kaitrai, jį lengviau apdirbti pjovimo būdu ir deformuoti.

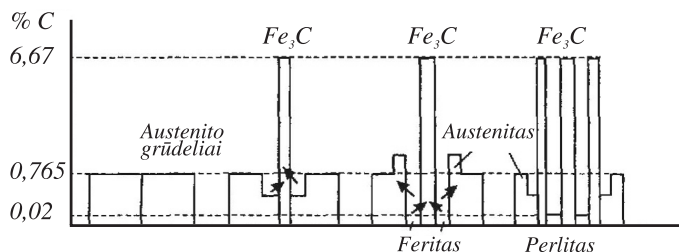
Perlitinis virsmas

Visi angliniai plienai aukštoje temperatūroje (aukštesnėje negu GSE liniją Fe-C diagramoje atitinkančioje temperatūroje) yra vien austenitinės sandaros. Auštantis austenitas įvairaus anglingumo pliene pradeda keistis skirtingoje temperatūroje: iki- eutektoidiniame pliene perteklinis feritas pradeda skirtis temperatūroje A_3 (kuri atitinka liniją *GS*), o poeutektoidiniame pliene antrinis cementitas – temperatūroje A_{cm} (kuri atitinka liniją *SE*). Feritui suėmus austenite esantį geležies perteklių, o cementitui – anglies perteklių, austenitas įgyja eutektoidinę – 0,8 % C koncentraciją. Taigi bet kurio anglingumo pliene (ir

ketuje) auštantis austenitas temperatūrą A (ji atitinka liniją *PSK*) pasiekia turėdamas eutektoidinę koncentraciją ir pradeda virsti perlitu, nes žemesnėje temperatūroje perlito laisvoji energija tampa žemesnė negu austenito.

Austenito virtimas perlitu yra sudėtingas: geležies KCP gardele alotropiškai keičiasi į KCT gardele, struktūroje persiskirsto anglis ir geležis, susidaro karbidai. Perlitinis virsmas dažniausiai prasideda austenito grūdelių ribose susidarant pirminei cementito plokštelei. Mat grūdelių ribose daugiau kristalinės sandaros netobulumų, todėl jose anglies atomų gausiau negu pačiuose grūdeliuose ir šiems atomams lengviau persitvarkyti bei susikaupti iki cementitinės – 6,67 % – koncentracijos.

Cementitas susidaro paimdamas anglį iš aplinkinių austenito tūrių. Netekęs anglies, austenitas pradeda virsti feritu. Todėl šalia pirminės cementito plokštelės esantis austenitas lengvai virsta feritu, anglies perteklių nustumdamas į šonus ir tuo sudarydamas galimybę atsirasti naujoms cementito plokštelėms. Perlitas auga ir ilgėjant cementito, ferito plokštelėms bei šalia susidarant naujoms plokštelėms, t. y. plėtėjant perlito kolonijai.



8.6 pav. Austenito virsmo perlitu etapai

Lėtai aušinamo austenito vienos cementito ir ferito plokštelių poros storis siekia 0,5–1,0 mikrometro. Aušinimo greičiui didėjant, žemėja perlito susidarymo temperatūra ir mažėja difuzijos greitis, todėl susidaro smulkesnių plokštelių perlitas. Kartu vis labiau peraušinama, todėl daugiau atsiranda perlito užuomazgų ir susidaro daugiau smulkesnių perlito grūdelių.

Austenitą aušinant greičiau, gali keistis ir perlito cheminė sudėtis – anglies koncentracija.

Terminiai ir termocheminiai metalų apdorojimo būdai

Metalų terminio apdirbimo paskirtis

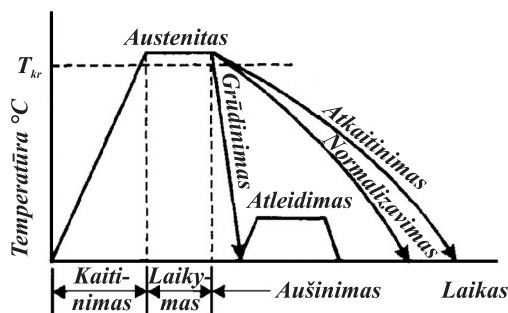
Terminiu apdirbimu vadinamas metalų įkaitinimas iki tam tikros temperatūros, išlaikymas ir ataušinimas tam tikru greičiu, kad, pasikeitus metalo sandarai, būtų gaunamos norimos savybės.

Terminio apdirbimo paskirtis gali būti labai įvairi: grąžinamas plastiškumas šaltai deformuojant sukietintam metalui, ypač kai jį reikia toliau deformuoti; sumažinamas metalo stiprumas ir kietumas prieš jo apdirbimą pjovimu, nes tada jis apdirbamas sparčiau, mažiau eikvojama energijos, mažiau susidėvi įrankiai bei įrenginiai; šalinamas liejinių struktūros bei cheminės sudėties netolygumas ir tuo pagerinama jų kokybė; didinamas gaminio stiprumas, kartu ir patikimumas, sudaroma galimybė sumažinti jų matmenis (sutaupoma metalo); šalinami gaminio vidiniai įtempimai, dėl kurių jis gali susikraipyti ar net supleišėti; didinamas kietumas, kartu ir atsparumas dilimui, todėl gaminio amžius gali būti ilgesnis; suteikiamos naujos arba paryškinamos esamos fizikinės ir cheminės savybės: magnetinės, atsparumas korozijai, mechaninis atsparumas aukštoje temperatūroje ir kt.

Mašinų ir prietaisų gamybos įmonėse metalų terminis apdirbimas taikomas, kai norima palengvinti gamybą arba gaminiui suteikti pageidaujamas savybes. Pirmuoju atveju terminis apdirbimas dažnai vadinamas paruošiamuoju, o antruoju – baigiamuoju. Pastarasis dažnai svarbiausia gamybos operacija, nuo kurios priklauso faktinės eksploatacinės gaminio savybės. Netinkamas terminis apdirbimas gali niekais paversti visą gaminiui pagaminti įdėtą darbą.

Terminio apdirbimo kokybei svarbios visos trys operacijos: kaitinimas, išlaikymas ir aušinimas. Tačiau terminio apdirbimo būdą, taip pat ir gaunamą efektą nusako įkaitinimo temperatūra ir aušinimo greitis. Plienui taikomi keturi pagrindiniai terminio apdirbimo būdai: atkaitinimas, normalizavimas, grūdinimas ir atleidimas. Technologinė jų atlikimo schema vaizduojama 8.7 paveiksle. Atkaitinant, normalizuo-

jant ir grūdinant plienas įkaitinamas iki temperatūros, kurioje susidaro austenitinė sandara. Šie būdai skiriasi aušinimo greičiu. Atleidimui, t. y. pakaitinimui po grūdinimo, įkaitinimo temperatūra žemesnė ir aušinimo greitis yra mažiau svarbus.



8.7 pav. Pagrindinių plieno terminio apdirbimo būdų technologinė schema

Atkaitinimas – lėčiausias įkaitinto iki austenitinės sandaros plieno aušinimas, dažnai kartu su krosnimi. Gaunamas minkščiausias, plastiškas, nestiprus, be vidinių įtempimų, stabilios sandaros plienas.

Normalizavimas – įkaitinto iki austenitinės sandaros plieno ataušinimas ore, kartais vadinamas atkaitinimo atmaina. Gaunamas šiek tiek kietesnis, stipresnis ir geresnio smūginio tūsumo už atkaitintąjį plienas.

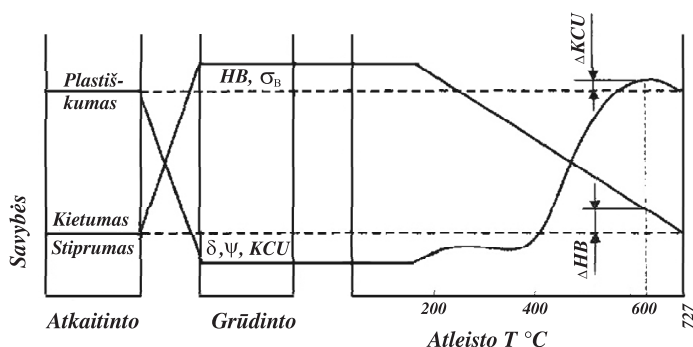
Grūdinimas – staigiausias iki austenitinės sandaros įkaitinto plieno aušinimas (dažnai vandenyje arba alyvoje). Gaunamas kietiausias, atsparus dilimui, stiprus, bet trapus plienas.

Atleidimas – pakaitinimas po grūdinimo, nepasiekiant austenizacijos temperatūros. Paskirtis priklauso nuo įkaitinimo temperatūros:

kai įkaitinamas nedaug (iki 200 °C), išlieka grūdinant susidariusios savybės, tik sumažėja grūdinimo įtempimai bei trapumas, kai įkaitinama iki aukštesnės temperatūros (iki 650 °C), labai sumažėja grūdinant įgytas stiprumas bei kietumas, tačiau susidaro didžiausias smūginis tūsumas.

Plieno mechaninių savybių lygis bei kitimas, kai jis atkaitinamas, grūdinamas ir atleidžiamas, vaizduojamas 8.8 paveiksle. Grafike pa-

žymėti trys plastiškumo rodikliai: A – santykinis pailgėjimas, Z – santykinis susitraukimas, KCU – smūginis tūsumas. Atkaitintas plienas yra plastiškiausias, bet minkštas ir nestiprus. Užgrūdinus daugiau kaip du kartus padidėja plieno tempimo stiprumo riba R_m ir maždaug tris kartus – kietumas, tačiau maždaug dešimt kartų sumažėja plastiškumas. Taigi apdirbant termiškai vienos savybės gerinamos bloginant kitas. Vienintelė išimtis – grūdinimas su aukštuoju atleidimu, po kurio dar šiek tiek išlieka grūdinant padidėjusio kietumo ir stiprumo, o smūginis tūsumas gaunamas didžiausias. Visos savybės gaunamos geresnės negu atkaitinant, todėl tik grūdinimas su aukštu atleidimu vadinamas terminiu gerinimu.



8.8 pav. Termiškai apdirbamo plieno mechaninių savybių kitimo pobūdis

Atkaitinimas, normalizavimas, grūdinimas ir atleidimas – grynojo terminio apdirbimo procesai. Mišrus – termocheminis (terminis apdirbimas derinamas su metalų paviršinių sluoksnių cheminės sudėties pakeitimu) ir termomechaninis (terminis apdirbimas derinamas su plastiniu deformavimu) apdirbimas.

Termocheminis apdirbimas

Termocheminis apdirbimas – tai metalo gaminių kaitinimas chemiškai aktyvioje terpėje. Tikslas – pakeisti paviršinio sluoksnio cheminę sudėtį ir gauti norimą mikrostruktūrą bei savybes. Pasikeitus paviršinių sluoksnių cheminei sudėčiai ir struktūrai, pasikeičia ir jų savybės.

Cementavimas. Tai mažai anglingo plieno (0,15–0,25 % C) paviršinių sluoksnių įanglinimas (iki 0,8–1,0 % C). Dažniausiai įanglinami gaminiai, kurie ir dildomi, ir veikiami dinaminės apkrovos.

Azotinimas – tai plieno paviršiaus prisotinimas azoto. Gaminiai laikomi 500–600 °C temperatūroje disocijuotame amoniake. Paviršiuje susidaro kieti nitridai, kurių nereikia grūdinti.

Kontroliniai klausimai

1. Kuo skiriasi sorbitinė struktūra nuo perlitinės ir trostitinės?
2. Ką vadiname beinitiniu virsmu ir kokiomis sąlygomis jis vyksta?
3. Ką vadiname kritiniu aušinimo greičiu?
4. Kaip vyksta martensitinis virsmas?
5. Ką vadiname metalų terminiu apdirbimu ir terminiu apdirbimu?
6. Kaip skirstomi pagrindiniai terminio apdirbimo būdai?
7. Kam reikalingas atleidimas?
8. Ką vadiname termocheminiu apdirbimu ir kam jis taikomas?
9. Kokios pagrindinės termocheminio apdirbimo rūšys?
10. Kokie yra termocheminio metalų apdirbimo procesai?

9. METALŲ KOROZIJA IR SAUGA

9.1. Metalų korozija

9.1.1. Korozijos procesų klasifikacija

Metalų korozija – tai metalo (metalinės konstrukcijos) ir supančios aplinkos (terpės) fizikocheminė sąveika, dėl kurios keičiasi metalo savybės ir kuri gali pabloginti metalo funkcijas bei sukelti metalo irimo procesą.

Pagal korozijos proceso pobūdį metalų korozija skirstoma į cheminę ir elektrocheminę.

Cheminė korozija – tai heterogeninis procesas, kurio metu vyksta cheminė reakcija metalų paviršiuje. Korozijos produktai lieka korozijos vietoje. Cheminė korozija vyksta metalams esant dujose ir neelektrolituose.

Elektrocheminė korozija – tai elektrocheminis procesas, kurio metu susidaro makro- ir mikrogalvaniniai elementai. Metalo paviršiuje susiformuoja anodiniai ir katodiniai ploteliai, atsiranda elektros srovė, o korozijos produktai gali susiformuoti toli nuo korozijos vietos (Šulčius 2008).

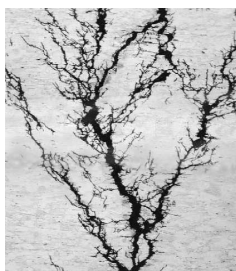
Žinoma keletas elektrocheminės korozijos rūšių (9.1 pav.) (LST EN ISO 8044: 1999):

1. Atmosferinė korozija – tai korozija, kai korozijos aplinka yra žemės atmosfera aplinkos temperatūroje.
2. Bimetalinė (kontakcinė) korozija – tai galvaninė korozija, kai yra skirtingų metalų elektrodai.
3. Dilimo korozija – procesas, kai kartu vyksta korozija ir trintis tarp dviejų besiliečiančių slystančių paviršių.
4. Virpamosios trinties korozija – tai procesas, kai kartu vyksta korozija ir vibracinis slydimas tarp dviejų besiliečiančių vibruojančių paviršių.
5. Erozinė korozija – procesas, kai kartu vyksta korozija ir erozija.
6. Kavitacinė korozija – procesas, kai kartu vyksta korozija ir kavitacija.

7. Korozija nuo klaidžiojančiosios srovės – tai korozija nuo išorinės srovės, sukeltos srovės, tekančios kitomis, negu numatyta, grandinėmis.
8. Korozija nuo išorinės srovės – tai elektrocheminė korozija dėl išorinio elektros srovės šaltinio poveikio.
9. Požeminė korozija – užkastų metalų korozija, kai gruntas yra korozijos aplinka.
10. Sluoksninė korozija – deformuotų metalų vidinių sluoksnių korozija, kartais sukelianti sluoksniavimąsi, t. y. nepažeistų sluoksnių atsiskyrimą.
11. Mikrobinė korozija – tai korozija, kurią sukelia korozijos sistemoje esančių mikroorganizmų veikla. Jos atmaina yra bakterinė korozija – bakterijų veiklos sukelta mikrobinė korozija.
12. Įpjovinė korozija – procesas, kai susidaro siaura prarėža pagrindinės ar užlydytos medžiagos sąlyčio riboje, suvirinimo ar litavimo siūlėje arba greta jos.
13. Įtempties korozija – kai korozija vyksta esant metalo įtemptiui nuo išorinės ar vidinės įtempties.
14. Vandens linijos korozija – tai korozija, vykstanti pagal dujų ir skysčio sąlyčio ribas.



a



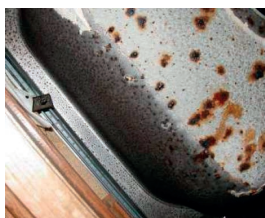
b



c



d



e



f

g

9.1 pav. Elektrocheminės korozijos rūšys:

- a – erozinė korozija; b – įtempties korozija; c – požeminė korozija;
d – atmosferinė korozija; e – pittingo (taškinė) korozija; f – siūlės korozija;
g – įpjovinė korozija

Pagal metalo pažeidimo pobūdį korozija skirstoma į *ištisinę* ir *vietinę*. **Ištisinė korozija** vyksta visame metalo paviršiuje. Ji skirstoma į:

- 1) tolygiają – jos greitis visame metalo paviršiuje yra vienodas;
- 2) netolygiają – jos greitis atskirose paviršiaus vietose yra skirtingas;
- 3) selektyviają – yra kuris nors vienas lydinio komponentas.

Vietinė korozija apima kai kuriuos metalo paviršiaus plotelius. Dažniausios šios vietinės korozijos rūšys: (Buinevičienė *et al.* 1991, Skučas 2007).

Vietinė korozija yra skirstoma:

- a) pittingo (taškinė) korozija. Tai korozija, sudaranti duobutes, t. y. nuo paviršiaus į metalą plintančias įdubas;
- b) ponuosėdinė korozija. Tai korozija, susijusi su korozijos produktų ar kitų medžiagų nuosėdomis ir vykstanti po jomis arba prie pat jų;
- c) tarpgrūdelinė korozija. Tai korozija metalo grūdeliuose arba greta jų. Tada išorinių korozijos požymių praktiškai nėra;
- d) plyšinė korozija. Tai korozija, susijusi su plyšiais ir vykstanti juose ar prie pat jų, susidariusių tarp metalo paviršiaus ir kito (metalo ar nemetalo) paviršiaus;
- e) atrankinė korozija. Tai lydinio korozija, kai komponentai reaguoja kitokiu santykiu negu jų santykis lydinyje. Pvz.: pilko-

jo ketaus grafitizacija, kai pašalinama dalis metalinių sudedamųjų dalių paliekant grafitą; žalvario atrankinė korozija, kai pirmiausia pašalinamas cinkas.

9.1.2. Elektrocheminė metalų korozija

Elektrocheminė korozija – tai metalų irimas aplinkoje, laidžioje elektros srovei, kai susidaro galvaninės poros, vadinamos koroziniais galvaniniais elementais. Elektrocheminė korozija vyksta drėgname ore, jūros vandenyje, grunte, rūgščių, šarmų ir druskų tirpaluose.

Mikrokorozinių galvaninių elementų susidarymo priežastys ir jų tipai (Aušrienė 2002):

1. *Dėl metalo fazės ar paviršiaus nevienalytiškumo*

- a) makrointarpai ir mikrointarpai;
- b) kristalitų grūdelių ir blokų ribos;
- c) makro- ir mikroporos oksidinėse plėvelėse;
- d) netolygus antrinių korozijos produktų sluoksnis. Po juo metalas anodas;
- e) netolygi deformacija. Daugiau deformuoti plotai yra anodai;
- f) nevienodai įtempti plotai. Daugiau įtempti plotai – anodai.

2. *Dėl skystos fazės nevienalytiškumo*

g) neutralių druskų koncentracijų nevienodumas. Metalų plotas, kontaktuojantis su koncentruotu tirpalu, turinčiu aktyvų anijoną, yra anodas;

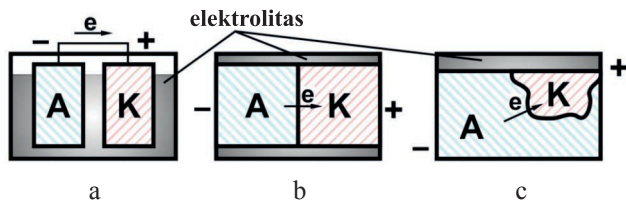
h) deguonies koncentracijos nevienodumas. Metalų paviršius, kontaktuojantis su didesnės aeracijos tirpalu, yra katodas.

3. *Dėl fizinių savybių nevienodumo*

j) temperatūros nevienodumas. Didesnės temperatūros metalo paviršius yra anodas;

k) išorinio elektros lauko nevienodumas. Metalų paviršius, kur katijonai išeina į elektrolitą, yra anodas.

Paprastas ir korozinis galvaniniai elementai parodyti 9.2 paveiksle (Buinevičienė et al. 1991).



9.2 pav. Galvaniniai elementai:

a – paprastas; b ir c – koroziniai; A – anodas;
K – katodas; e – elektronai; 1 – elektrolitas

Koroziniuose elementuose anodas yra elektrodas, ant kurio vyrauja anodinė reakcija ir kurio potencialas yra mažesnis (elektroneigiamesnis), katodas yra elektrodas, ant kurio vyrauja katodinė reakcija ir kurio potencialas yra didesnis (elektroteigiamesnis) (9.1 lentelė).

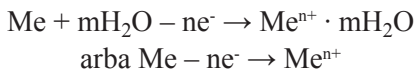
9.1 lentelė. Įvairiuose tirpaluose esančių metalų potencialai (Šulčius 2008)

Elektrodas	φ^0 , V [Me ^{m+}]= 1 mol/l	Tirpalas neturi elektrodo metalo jonų		
		neutralus φ^* , V	rūgštus φ^{**} , V	šarminis φ^{***} , V
Mg ²⁺ /Mg	-2,37	-1,40	-1,57	-1,14
Al ³⁺ /Al	-1,66	-0,57	-0,50	-1,38
Mn ²⁺ /Mn	-1,18	-1,00	-0,88	-0,72
Zn ²⁺ /Zn	-0,76	-0,78	-0,84	-1,13
Cr ³⁺ /Cr	-0,74	-0,08	+0,05	-0,20
Fe ²⁺ /Fe	-0,44	-0,42****	-0,32	-0,10
Cd ²⁺ /Cd	-0,40	-0,53	-0,51	-0,50
Ni ²⁺ /Ni	-0,25	-0,01	-0,03	-0,04
Sn ²⁺ /Sn	-0,14	-0,21	-0,25	-0,84
Pb ²⁺ /Pb	-0,13	-0,29	-0,23	-0,51
2H ⁺ /H ₂	0,00			
Cu ²⁺ /Cu	+0,34	+0,06	+0,15	+0,03
Hg ²⁺ /Hg	+0,79	+0,30	+0,33	+0,16
Ag ⁺ /Ag	+0,80	+0,23	+0,28	+0,25
Au ³⁺ /Au	+1,50	+0,25	+0,35	+0,21

Pastaba: * – 0,5 N aeruotame NaCl tirpale; ** – 0,1 N HNO₃ ir 0,1 N HCl tirpaluose;
*** – 0,1 N NaOH tirpale; **** – įvairių markių plienų vidutinė potencialų reikšmė.

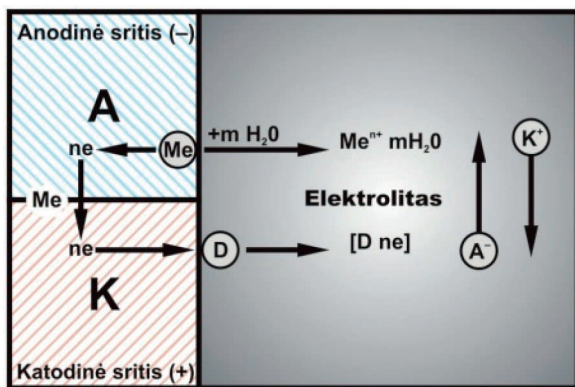
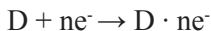
Elektrocheminę metalų koroziją (9.3 pav.) sudaro trys pagrindiniai procesai:

1 – anodinis. Tai hidratuotų metalų jonų elektrolite bei elektronų anodiniuose ploteliuose susidarymas:



2 – elektronų tekėjimas metale iš anodinių plotelių į katodinius, ir anijonų (A^-) bei katijonų (K^+) maišymasis elektrolite.

3 – katodinis. Tai elektronų, atkeliavusių į katodinius plotelius, jungimasis su tirpale esančiais depoliarizatoriais D (jonais, atomais ir molekulėmis, prisijungiančiais elektronus) (Aušrienė 2002):



9.3 pav. Elektrocheminės korozijos proceso schema:

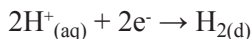
Me – metalas, e – elektronai, D – depoliarizatorius

Priklausomai nuo sąlygų, kuriose vyksta korozija, galimos šios depoliarizacijos (katodinės) reakcijos:

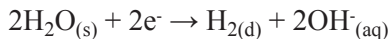
- vandenilinė depoliarizacija;*
- deguoninė depoliarizacija.*

Vandenilinė depoliarizacija vyksta metalams koroduojant nedeguninėse, t. y. deguonies neturinčiose, terpėse (neaueruotuose rūgščių, šarmų ir druskų tirpaluose bei vandenyje).

1) Neaerutuose rūgščių tirpaluose:

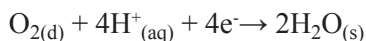


2) Neaerutuose neutraliuose, pavyzdžiui, druskų tirpaluose, vandenyje bei šarmuose:

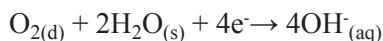


Deguponinė depoliarizacija vyksta metalams koroduojant terpėse, kuriose yra ištirpusio, pavyzdžiui, iš oro, deguonies O_2 (aerutuose rūgščių, šarmų ir druskų tirpaluose bei vandenyje).

1) Aerutuose rūgščių tirpaluose:



2) Aerutuose neutraliuose, pavyzdžiui, druskų tirpaluose, vandenyje bei šarmuose:



Depoliarizatoriais gali būti ir kiti katijonai, neutralios molekulės, organiniai junginiai, oksidinės plėvelės (Petroševičiūtė 2007; Šulčius, Griškonis 2009).

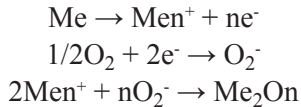
9.1.3. Cheminė metalų korozija

Cheminė korozija – tai korozija, vykstanti be elektrocheminės reakcijos. Cheminės korozijos atveju metalo paviršiuje vyksta sąveika su supančios aplinkos komponentais pagal cheminių heterogeninių reakcijų mechanizmą: metalo oksidacija ir terpės komponentų redukcija vyksta vienu metu ir vienoje vietoje. Cheminės korozijos tipiškai atvejais yra *dujinė korozija ir metalo korozija* neelektrolitų tirpaluose.

Dujinė korozija – tai korozija, kai vienintelė korozijos aplinka yra sausos dujos be jokios skystosios fazės ant metalo paviršiaus. *Dujinė korozija* gali būti klasifikuojama pagal dujinės aplinkos pavojingus komponentus plienui ar kitiems metalams, pavyzdžiui, *deguponinė korozija, karbonilinė korozija, vandenilinė korozija* ir t. t.

Vandenilinis trapėjimas – procesas, sukeliantis metalo plastiškumo ar stangrumo sumažėjimą dėl vandenilio absorbcijos.

Dujinės korozijos proceso metu metalo paviršiuje susidaro oksidai. Šis procesas susideda iš kelių atskirų reakcijų:



Metallų cheminės korozijos pirminė priežastis yra metallų termodinaminis neatsparumas įvairiose aplinkose, t. y. galimybė metallui savaime pereiti į patvaresnę oksiduotą (joninę) būseną.

Dėl dujinės terpės cheminio poveikio keičiasi plieno struktūrinių fazių ferito ir cementito cheminės, fizinės ir mechaninės savybės (9.2 lentelė). Galimas ir struktūros suirimas dėl vidinių įtempimų susidarymo, kai reakcijos metu susidaro dujiniai produktai.

9.2 lentelė. Tipiškos plieno cheminės korozijos reakcijos (Aušrienė 2002)

Dujinė aplinka	Plieno struktūros fazių reakcijos su aplinkos dujomis	
	Plieno <i>ferito</i> oksidacija	Plieno <i>cementito</i> dekarbonizacija
1. deguonis, oras O ₂	2Fe + O ₂ → 2FeO	Fe ₃ C + 1/2 O ₂ → 3Fe + CO
2. anglies viendeginis ir dvideginis CO, CO ₂	Fe + CO ₂ → FeO + CO	Fe ₃ C + CO ₂ → 3Fe + 2CO
3. vandens garai H ₂ O	Fe + H ₂ O → FeO + H ₂	Fe ₃ C + H ₂ O → 3Fe + CO + H ₂
4. vandenilis H ₂		Fe ₃ C + H ₂ → 3Fe + CH ₄
5. sieros oksidas SO ₂	Fe + SO ₂ + O ₂ → Fe(SO ₃) ₃	
6. sieros vandenilis H ₂ S	2Fe + H ₂ S + O ₂ → FeS + 2 H ₂ O	

Metallų koroziją gali sukelti įvairūs neelektrolitai, pavyzdžiui, skystas bromas, išlydyta siera, organiniai skysčiai, nafta ir jos distiliacijos produktai. Skystas bromas reaguoja su daugeliu metallų kambario temperatūroje. Labai stipriai jis ardo anglinį plieną ir titaną, silpniau – nikelį, šiek tiek veikia geležį, šviną, platiną bei auksą. Išlydyta siera chemiškai gana aktyvi ir ardo beveik visus metalus. Ji stipriausiai veikia varį, alavą ir šviną, silpniau – anglinį plieną, titaną, dar silpniau – aliuminį.

Angliavandeniliai, kuriuose nėra vandens, metalų neardo. Korozinio agresyvumo jiems suteikia įvairios priemonės. Ypač pavojingi naftoje ištirpę sieros junginiai. Vandensulfidas H_2S reaguoja su geležimi, variu, sidabru (susidaro sulfidai) (Buinevičienė *et al.* 1991).

9.2. Metalų korozijos rodikliai

Korozinis pažeidimas – tai korozijos poveikis, bloginantis metalo, aplinkos ar techninės sistemos, kurios dalis jie yra, funkcines charakteristikas.

Korozijos procesas gali būti įvertintas *kokybiškai*, kai vizualiai įvertinamas korozijos židinių atsiradimas, jų paplitimas, spalva. Gali būti įvertintas *laikas* iki pirmo korozijos židinio atsiradimo, korozijos žaizdų ar taškų *skaičius* ploto vienetu.

Vizualiniams metodams priskiriamas klasikinis *cheminis metodas*, kai specialiu reagentu išryškinama koroduojanti anodo zona ir katodiniai plotai. Šis būdas taikytinas ir vamzdžių suvirinimo siūlių tinkamo metalo parinkimui ir kontrolei.

Korozijos procesas *kiekybiškai* įvertinamas dviem pagrindiniais rodikliais – *korozijos nuostoliai* ir *korozijos greitis*.

Korozijos poveikis metalui per laiko vienetą vadinamas *korozijos greičiu*. Korozijos greičiui išreikšti vartojamas vienetas priklauso nuo techninės sistemos ir nuo korozijos poveikio tipo. Taigi korozijos greitis gali būti išreiškiamas korozijos gylio padidėjimu per laiko vienetą arba metalo mase, pereinančia į korozijos produktus nuo paviršiaus ploto vieneto per laiko vienetą ir t. t. Ilgainiui korozijos poveikis gali kisti ir gali būti nevienodas visuose koroduojančio metalo taškuose. Todėl kartu su korozijos greičiu turi būti užrašoma ir informacija apie korozijos poveikio tipą, priklausomybę nuo laiko ir pasiskirstymą.

Korozijos nuostoliai skirstomi:

- visi ekonominiai ir medžiaginiai nuostoliai dėl korozijos;
- metalo kiekis m , virstantis korozijos produktu, paskaičiuotas sukorodavusio paviršiaus plotui s : $N = \Delta m / s$ (g /m²) (LST EN ISO 8044: 1999).

Korozijos gylis – atstumas tarp korozijos paveikto metalo paviršiaus taško ir metalo pradinio paviršiaus.

Korozinis patvarumas – korozijos sistemos geba išlikti tinkamai nurodytą laiką, per kurį bus įvykdyti nurodyti eksploatacijos ir priežiūros reikalavimai.

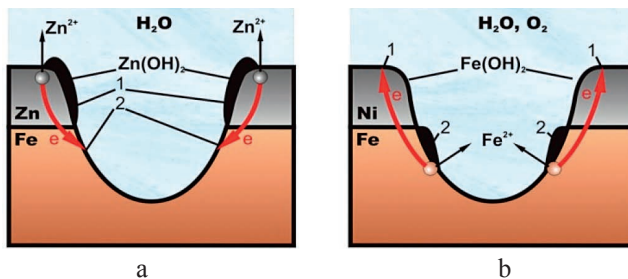
9.3. Metalų saugos nuo korozijos būdai

9.3.1. Poveikis metalui

Metalai legiruojami kitais metalais ir nemetalais. Legiruojančiųjų priedų vaidmuo labai įvairus. Vieni jų sudaro lydinio paviršiuje apsauginę korozijos produktų plėvelę, kiti mažina lydinio katodinių aktyvumą, padidindami katodinio proceso poliarizaciją, arba mažina lydinio anodinių aktyvumą.

Metalamis apsaugoti nuo korozijos dažniausiai sudaromos **ap-sauginės dangos**. Jos būna metalinės (aliuminio, kadmio, chromo, vario, nikelio, cinko, švino bei įvairių lydinų), metalų junginių (oksido, oksidų ir chromatų, fosfatų ir kt.) ir nemetalinės (tepalo, lakų, dažų, dervų, gumos, cemento, emalių, keraminės ir kt.).

Metalinės dangos skirstomos į anodines ir katodines (9.4 pav.). **Anodinė danga** gaunama padengus metalinį dirbinį aktyvesniu metalu. Tokia danga saugo metalą mechaniškai, nes izoluoja jį nuo agresyvios aplinkos, ir elektrochemiškai, nes, sužalojus dangą, koroduoja aktyvesnis metalas. **Katodinės dangos** gaunamos padengus metalą mažiau aktyviu metalu. Tokios dangos metalą saugo tik mechaniškai. Jas sužalojus, koroduoja padengtasis metalas (Girčienė *et al.* 1995; Janickis *et al.* 2000; Janickis *et al.* 2003; Jankauskas *et al.* 2006; Skaistgirienė, Jakubauskaitė 2005).

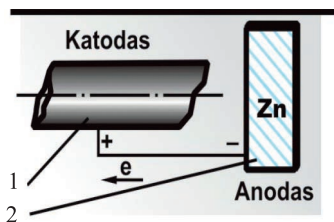


9.4 pav. Cinkuoto (a) ir nikeliuoto (b) nelegiruoto plieno korozija:
1 – korozijos sritis; 2 – depoliarizacijos sritis (Buinevičienė *et al.* 1991)

Elektrocheminė apsauga yra vadinama protektorinė (9.5 pav.) ir elektrinė apsauga (9.6 pav.).

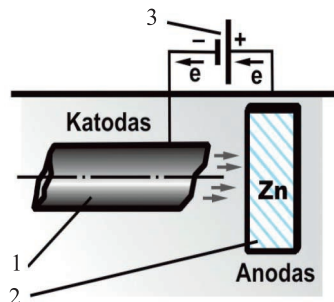
Naudojant anodinę **protektorinę apsaugą**, įrenginiai yra sujungiami su aktyvesniu metalu, kuris tirpdamas, t. y. būdamas anodu, neleidžia irti saugomajam įrenginiui – katodui. Protektorinė apsauga taikoma laivų sraigtams, vamzdžiams, požeminiams kabeliams. Protektoriais dažniausiai naudojamas cinkas arba magnis, rečiau aliuminis (Petroševičiūtė 2007).

Protektoriaus saugos privalumai yra jos paprastumas, pakankamas efektyvumas, pigumas, o **trūkumai** – apsauginės srovės nestabilumas (dėl dalinės protektoriaus pasyvacijos), palyginti trumpas apsaugos laikas bei mažesnis, lyginant su katodine sauga, apsaugos laipsnis (Šulčius, Griškonis 200).



9.5 pav. Katodinė protektorinė metalų apsauga nuo korozijos:
1 – saugojamasis metalas; 2 – protektorius (Buinevičienė *et al.* 1991)

Elektrinė apsauga. Nuolatinės srovės šaltinio neigiamasis polius sujungiamas su saugomuoju objektu (jis tampa katodu), o teigiamasis polius – su pagalbiniu anodu, dažniausiai metalo laužu, senu vamzdžiu, bėgiu, ir aplink jį palaikoma drėgna aplinka. Tekant tam tikro stiprumo elektros srovei, yra anodas, o katodas neyra. Elektriniu būdu saugomi izoliuoti ir neizoliuoti požeminiai vamzdynai, uostuose laivai, garo katilai, netgi kondensatoriai, šaldytuvai, šilumokaičiai (Buinevičienė *et al.* 1991; Denny 1992).



9.6 pav. Katodinė elektrinė metalų apsauga nuo korozijos:
1 – saugojamasis metalas; 2 – pagalbinis anodas; 3 – nuolatinės srovės šaltinis (Buinevičienė *et al.* 1991)

9.3.2. Poveikis konstrukcijai

Konstrukcinės priemonės. Metalinių gaminių atsparumas korozijai priklauso nuo metalų paviršiaus lygumo, metalų ir kitų medžiagų sąlyčio paviršiaus, metalų sandūrų, temperatūros ir mechaninių įtempimų paskirstymo tolygumo, korozinės aplinkos judėjimo ir nutekamumo. Stengiamasi, kad metalas būtų kuo glotnesnio paviršiaus, nes glotnus, poliruotas metalo paviršius daug atsparesnis korozijai už šiurkštų.

Metalai, kurių potencialai labai skiriasi, vienas nuo kito izoliuojami nelaidžiais elektros srovei tarpais. Iš mažiau aktyvaus metalo gaminamos mažesnės detalės, iš aktyvesnio – didesnės. Kad tolygiau pasiskirstytų aparatūros temperatūra, įrengiami maišikliai, gyvatukai, kitaip tariant, sudaroma tokia skysčio cirkuliacija, kad dujų burbuliukai visiškai pasišalintų nuo įkaitinto metalo paviršiaus.

Mechaniniams įtempimams sumažinti statūs aparatų kampai suapvalinami. Kur galima, taškinis suvirinimas pakeičiamas sudurtiniu. Kad gerai nutekėtų skysčiai, rezervuarų dugnai daromi su nuolydžiu, čiaupai ir nutekėjimo vamzdžiai juose įrengiami taip, kad skysčiai visiškai ištektų. Įtvirtinant konstrukcijas, žiūrima, kad jose negalėtų kauptis drėgmė ir korozijos produktai (Buinevičienė *et al.* 1991; Kačerauskas 2006).

9.3.3. Poveikis aplinkai

Korozinės aplinkos aktyvumą galima sumažinti, jei nedidelis tos aplinkos tūris. Daroma taip: agresyvios dujos išstumiamos inertinėmis (sudaroma apsauginė dujų atmosfera), mažinamas depoliarizatorių kiekis, vartojami korozijos lėtikliai (inhibitoriai).

Apsauginė dujinė atmosfera dažniausiai sudaroma, kai metalai apdorojami termiškai. Šiam tikslui tinka inertinės dujos (pvz., Ar, Ne), H₂, N₂, CO₂, CO, angliavandeniliai ir jų mišiniai. Apsauginėmis dujomis papildomos elektrinės arba dujinės krosnys, kuriose kaitinami metalai.

Depoliarizatoriai yra ištirpęs deguonis ir vandenilio jonai. Juos pašalinus, korozija sulėtėja (Buinevičienė *et al.* 1991).

Korozijos inhibitoriai – tai medžiagos, kurių maži kiekiai agresyvioje aplinkoje gerokai sumažina metalų korozijos greitį arba kartais ir visai sustabdo. Inhibitorių veikimas priklauso nuo metalo savybių, korozijos aplinkos ir korozijos sąlygų.

Inhibitorių efektyvumas apibūdinamas korozijos greičio sulėtinimo koeficientu γ ir apsaugos laipsniu z (Petroševičiūtė 2007):

$$\gamma = \frac{i}{i'}; \quad (9.1)$$

$$\gamma = \frac{i - i'}{i} 100 \%; \quad (9.2)$$

čia i – korozijos greitis, nesant inhibitoriaus, g/m²·h;

i' – korozijos greitis, esant inhibitoriui, g/m²·h.

Pagal poveikio mechanizmą inhibitoriai skirstomi į tris grupes: **anodinius**, **katodinius** ir **bendrojo (mišraus) poveikio**.

Metalo apsaugai nuo cheminės ir elektrocheminės korozijos taikoma kompleksinė apsauga konstrukcijos konstravimo, gamybos ir eksploatacijos sąlygomis (Aušrienė 2002).

Kontroliniai klausimai

1. Kas tai yra metalų korozija?
2. Kas tai yra cheminė ir elektrocheminė metalų korozija?

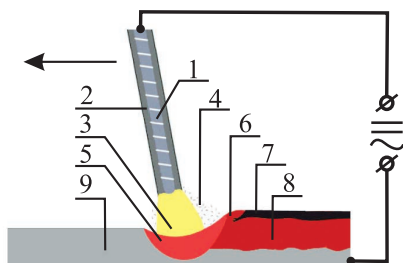
3. Kokie procesai vyksta cheminės ir elektrocheminės korozijos metu?
4. Kas tai yra mikrokoroziniai galvaniniai elementai?
5. Kokios gali būti mikrokorozinių galvaninių elementų susidarymo priežastys?
6. Kokios yra vietinės korozijos rūšys?
7. Kada gali vykti plieno elektrocheminė korozija?
8. Kokie procesai vyksta ant anodo ir katodo nelegiruoto plieno elektrocheminės korozijos metu?
9. Kas tai yra aplinkos koroziškumas?
10. Koks procesas yra vadinamas anodiniu?
11. Kokie procesai vyksta ant katodo elektrocheminės korozijos metu, kai terpė:
 - a. rūgštinė,
 - b. rūgštinė ir geras kontaktas su deguonimi,
 - c. neutralioji arba šarminė,
 - d. šarminiuose tirpaluose koroduojuant amfoteriniams metalams?
12. Kokie yra metalų apsaugos nuo korozijos būdai?
13. Kokios dangos naudojamos metalų apsaugai nuo korozijos?
14. Kas tai yra anodinės ir katodinės metalų dangos?
15. Kas koroduos (padengtasis metalas ar metalinė danga), kai pažeista:
 - a. anodinė danga,
 - b. katodinė danga?
16. Kaip vyksta sidabruoto plieno korozija pažeidus Ag dangą?
17. Kas tai yra protektorinė metalų apsauga nuo korozijos?
18. Kas tai yra elektrinė metalų apsauga nuo korozijos?
19. Kokios medžiagos yra vadinamos inhibitoriais?
20. Ar konstruktorių pasirinkti konstrukciniai sprendimai gali turėti įtakos sukonstruotų įrenginių korozijos greičiui? Jeigu gali, tai kokie sprendimai?

10. MEDŽIAGŲ IR JŲ KOMPONENTŲ SUJUNGIMO PROCESAI

10.1. Suvirinimas

10.1.1. Suvirinimas glaistytuoju elektrodu

Lankinis suvirinimas glaistytaisiais elektrodais arba lankinis suvirinimas lydžiuoju elektrodu yra vienas iš plačiausiai taikomų suvirinimo būdų. Šiuo suvirinimo būdu gaminamos įvairios paskirties metalinės konstrukcijos.



10.1 pav. Suvirinimas glaistytuoju elektrodu:

1 – metalinis elektrodo strypelis; 2 – elektrodo glaistas; 3 – suvirinimo lankas; 4 – apsauginių dujų aplinka; 5 – išlydyto metalo vonelė; 6 – skystas šlakas; 7 – susikristalizavusio šlako sluoksnis; 8 – prilydytas metalas (siūlė); 9 – virinamas gaminy

Rankinio lankinio suvirinimo glaistytaisiais elektrodais MMA (111) šiluminės energijos šaltinis yra suvirinimo lankas arba elektros išlydis tarp glaistytojo elektrodo ir virinamo gaminio dujų aplinkoje. Virinamo gaminio arba gaminių išlydytas metalas susimaišo su elektrodo metalinio strypelio pridėtiniu prilydytu metalu ir suformuoja neišardomą sujungimą (siūlę). Visi pradiniai lanko uždegimai turi būti atliekami ant išlydomųjų paviršių arba pridėtinės siūlės pradžios plokštelės, kurie vėliau pašalinami (10.1 pav.).

Reikiamo pločio siūlei gauti suvirinimo metu elektrodo galu daromi skersiniai judesiai. Suvirinimo lanku lydomas elektrodo glaistas sudaro vonelės lydymo metalo šlakinę ir dujinę apsaugą nuo atmosfė-

rinio deguonies, azoto ir vandenilio poveikio bei legiruoja siūlės metalą. Priklausomai nuo suvirintam sujungimui keliamų reikalavimų pasirenkamas elektrodo glaisto tipas: A – rūgštusis glaistas; C – celiuliozinis glaistas; R – rutilo glaistas; RR – storasis rutilo glaistas; RC – rutilo celiuliozinis glaistas; RA – rutilo rūgštusis glaistas; RB – rutilo bazinis glaistas; B – bazinis glaistas. Suvirinimas atliekamas nuolatine (tiesioginio arba atvirkščio poliškumo) arba kintamąja srove. Lanko maitinimo šaltiniai su krintančia išorine charakteristika (Valiulis 2008).

Lankinį suvirinimą glaistytaisiais elektrodais galima taikyti virinant įvairių markių plienus visuose padėtyse uždaroje patalpoje ir lauke. Rankinis lankinis suvirinimas glaistytaisiais elektrodais pasižymi palyginti nedideliu darbo našumu ir santykinai mažu proceso naudingumo koeficientu ($\eta = 65\text{--}85\%$).

10.1.2. Lankinis suvirinimas apsauginėse dujose

Suvirinimas apsauginėse dujose – tai suvirinimo būdas su dujine suvirinimo zonos apsauga. Į suvirinimo zoną tiekiamos apsauginės dujos išstumia orą ir užtikrina išlydyto pridėtinio metalo, siūlės ir terminio poveikio zonos metalo apsaugą nuo kenksmingo oro poveikio.

Lankinio suvirinimo lydžiuoju arba nelydžiuoju elektrodu apsauginėse dujose metu elektros lankas dega tarp lydaus (vielos) arba nelydaus elektrodo (volframinio strypelio) ir gaminio. Suvirinimui naudojama nuolatinė atvirkščio poliškumo srovė (lydžiajam elektrodui), nuolatinė tiesioginio poliškumo srovė (nelydžiajam elektrodui) ir kintama srovė (aliuminio suvirinimui volframo elektrodu).

Pridėtinė medžiaga į suvirinimo zoną tiekiamą tiektuvu pastoviu greičiu arba suvirintojo ranka. Į suvirinimo zoną tiekiamos apsauginės dujos išstumia orą ir užtikrina išlydyto pridėtinio metalo, siūlės ir terminio poveikio zonos metalo apsaugą nuo kenksmingo oro poveikio. Įkaitintų apsauginių dujų srautas jonizuoja tarp elektrodo ir virinamo metalo paviršiaus esantį oro tarpelį.

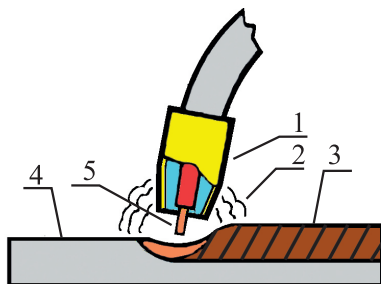
Naudojamas apsaugai dujas galima suskirstyti į tris grupes: aktyviosios, inertinės ir jų mišiniai. Virinant spalvotuosius metalus nau-

dojamos inertinės dujos (Ar ir kt.) ir jų mišiniai, o plienus – aktyvios dujos (CO_2), inertinės dujos (Ar, He) ir inertinių bei aktyviųjų dujų mišiniai ($\text{Ar} + \text{CO}_2$, $\text{Ar} + \text{O}_2$ ir kt.). Apsauginės dujos parenkamos įvertinus suvirinimo proceso stabilumo užtikrinimą, dujų įtaką plieno ir metalo savybėms bei proceso parametrams ir suvirinimo proceso ekonominį efektyvumą.

Pagal Europos Sąjungoje priimtą suvirinimo procesu klasifikaciją lankinį suvirinimą apsauginėse dujose sudaro šie būdai: lankinis suvirinimas lydžiuoju elektrodu inertinėse dujose MIG (131), lankinis suvirinimas lydžiuoju elektrodu aktyviose dujose MAG (135), lankinis suvirinimas milteline viela aktyviose dujose (136), lankinis suvirinimas milteline viela inertinėse dujose (137), lankinis suvirinimas milteline viela su metaliniu užpildu aktyviose dujose (138), lankinis suvirinimas milteline viela su metaliniu užpildu inertinėse dujose (139) ir lankinis suvirinimas volframo elektrodu inertinėse dujose TIG (141).

Virinant apsauginėse dujose suvirinimo sritis turi būti apsaugota nuo skersvėjo ar kitokio oro judėjimo poveikio. Net nedidelio greičio oro srautas gali pažeisti dujinę apsaugą, todėl suvirinimo sritis turi būti tinkamai apsaugota.

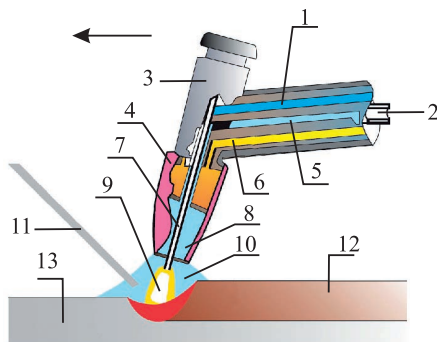
Virinami paviršiai turi būti sausi, be kondensato ir kitų medžiagų, galinčių pakenkti sujungimo kokybei. Suvirinimo proceso našumui didinti yra plačiai naudojami įvairūs suvirinimo konduktoriai, prispaudimo mechanizmai, manipulatoriai bei robotai.



10.2 pav. Lankinis suvirinimas lydžiuoju elektrodu apsauginėse dujose:
1 – suvirinimo degiklis; 2 – apsauginių dujų aplinka; 3 – prilydytas metalas (siūlė); 4 – virinamas gaminys; 5 – elektrodinė viela

Suvirinimas lydžiuoju elektrodu pusiau automatiniu būdu, apsauginių dujų aplinkoje pasižymi: gerai apsaugoma suvirinimo zona nuo oro, deguonies ir azoto kenksmingo poveikio; suvirintos siūlės geromis mechaninėmis savybėmis; galimybe suvirinti įvairaus storio metalus (1÷50 mm ir daugiau); dideliu suvirinimo našumu (iki 20 m/val); galimybe stebėti, kaip formuojasi siūlė; maža terminio poveikio zona (10.2 pav.).

Taikant TIG (*Tungsten Inert Gas*) būdą suvirinimas atliekamas inertinių (pvz., argono) dujų aplinkoje nelydžiuoju (dažniausiai volframo) elektrodu visose erdvinėse padėtyse. Šis būdas pasižymi aukšta virintinės jungties kokybe, mažu darbo našumu, nedideliu proceso naudingumo koeficientu ($\eta = 50\text{--}60\%$) bei santykinai didele įrenginių ir apsauginių dujų kaina (10.3 pav.). Be pridėtinio metalo TIG būdu virinamos tik plonos detalės, todėl šis būdas dažniausiai taikomas plonasienių konstrukcijų iš gausiai legiruotojo plieno, titano ir aliuminio lydinių suvirinimui.



10.3 pav. Lankinis suvirinimas nelydžiuoju elektrodu argone:

- 1 – šalto aušinamojo skysčio kanalas; 2 – srovės laidininkas;
- 3 – suvirinimo degiklis; 4 – apsauginė tūta; 5 – apsauginių dujų (argono) kanalas; 6 – nutekančio karšto aušinimo skysčio kanalas; 7 – nelydžius volframinis elektrodas; 8 – apsauginių dujų srautas; 9 – suvirinimo lankas;
- 10 – apsauginė aplinka; 11 – pridėtinė medžiaga; 12 – prilydytas metalas (siūlė); 13 – virinamasis gaminy

Argono aplinkoje gali būti virinami aliuminis, magnis, titanas, varis ir jų lydiniai, legiruotieji ir nelegiruotieji plienai, cirkonis, tantalas, niobis ir kt.

Argonas – sunkesnės už orą, bekvapės, bespalvės vienatomės inertinės dujos, chemiškai nereaguojančios su kitais elementais. Argone paprastai yra azoto, deguonies, anglies dioksido ir drėgmės priemaišų, nuo kurių blogėja siulės metalo mechaninės ir fizinės savybės. Atsižvelgiant į priemaišų kiekį, argonas skirstomas į techninį ir švarųjį.

Argonas gaminamas aukščiausios, I ir II rūšių. Aukščiausios rūšies 99,99 % grynumo argonas naudojamas aktyviesiems ir retiesiems metalams (titanui, cirkoniui, niobiui ir kt.) bei jų lydiniams ir atsaikingoms konstrukcijoms suvirinti. I rūšies 99,98 % grynumo argonas naudojamas aliuminio ir magnio lydiniams suvirinti. II rūšies 99,95 % grynumo argonas naudojamas nerudijančiam ir gausiai legiruotajam plienui, taip pat grynai aliuminiui suvirinti.

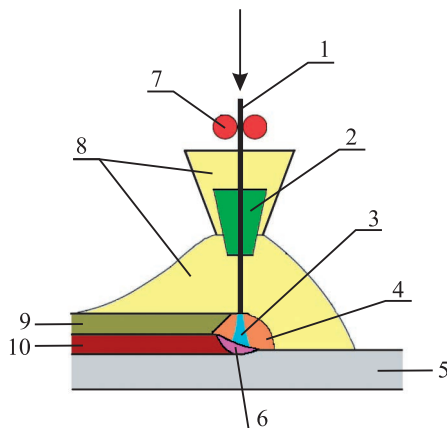
10.1.3. Suvirinimas po fliusu

Lankinis suvirinimas po fliusu SAW (121) yra vienas iš efektyviausių suvirinimo būdų. Dažniausiai atliekamas suvirinimas po fliusu automatais, rečiau – pusautomačiais (automatizuotas tik vielos tiekimas).

Suvirinimo metu lankas dega po granuliuoto fliuso sluoksniu. Išlydytame fliusu susidaro dujų burbulas, kuriame degantis suvirinimo lankas lydo metalą. Skystas fliusas apsaugo įkaitintą suvirinimo vonelės metalą nuo žalingo oro poveikio bei legiruoja siulės metalą (10.4 pav.).

Šiuo būdu virinami angliniai ir legiruotieji plienai, aliuminis, varis, titanas bei jų lydiniai nuo 1 mm storio ir daugiau.

Egzistuoja keletas suvirinimo būdų: vienalankis, dvilankis, daugialaukis ir aplydymas juostiniais elektrodais. Plačiausiai taikomas suvirinimas vienu elektrodu – vienalankis suvirinimo būdas. Esant dvilankiam ir daugialaukiui suvirinimui lanko maitinimo šaltiniai gali būti atskiri kiekvienam lankui arba gali būti bendras visiems. Virinant dviem elektrodais, kurių lankas dega bendroje vonioje, maitinama iš vieno šaltinio. Aplydymas juostiniais elektrodais taikomas, kai reikia gauti didelį elektrodinio metalo lydymosi efektyvumą, glotnų prilaidytų sluoksnių paviršių ir nedidelį įvirinimo gylį.



10.4 pav. Lankinis suvirinimas nelydžiuoju elektrodu argone:

- 1 – elektrodinė viela; 2 – degiklio antgalis; 3 – suvirinimo lankas;
 4 – skystas flisas; 5 – virinamasis gaminys; 6 – išlydyto metalo vonelė;
 7 – vielos tiekimo ritinėliai; 8 – fliso milteliai; 9 – sukietėjęs šlakas;
 10 – prilydytas metalas (siūlė)

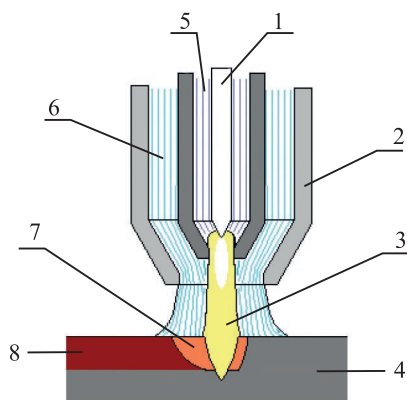
Suvirinimas po flisu pasižymi dideliu našumu (iki 20 kartų didesniu nei rankinis elektrolankinis suvirinimas glaistytais elektrodais), virintinių jungčių kokybe, maža pridėtinio metalo išėiga (ypač virinant 100–200 mm storio lakštus), dideliu proceso naudingumo koeficientu ($\eta = 80\text{--}95\%$) ir geromis darbo sąlygomis. Pagrindinis šio būdo trūkumas – galima taikyti tik suvirinimui žemutinėje padėtyje.

10.1.4. Specialieji suvirinimo būdai

Plazminiu suvirinimo būdu sujungiami gausiai legiruotieji ir nerūdijantys plienai, aliuminis, titanas, nikelis, varis ir jų lydiniai, sunkiai lydūs metalai. Jeigu naudojama iki 30 A srovė, tai toks plazminis suvirinimas vadinamas mikroplazminiu. Šiuo būdu suvirinami 0,05–2,0 mm storio gaminiai. Plazminio suvirinimo būdu be briaunų nusklembimo galima sujungti iki 8 mm storio metalus. Plazmos lanko pralydomoji galia didesnė už TIG suvirinimo ir mažesnė už suvirinimo elektronų pluoštu. Lyginant su TIG suvirinimu, plazminio suvirinimo būdas nuo

jo daug kuo skiriasi ir turi daugelį privalumų, nes plazmos lankas įkai-tina mažesnę suvirinamos medžiagos tūrį, siauresnę šalia siūlės esanti terminio poveikio sritis, daugiau šilumos tenka ploto vienetui, mažiau šilumos sunaudojama siūlės ilgio vienetui. Atsižvelgiant į energijos kie-kį, reikalingą 1 cm ilgio siūlei suvirinti, plazminis suvirinimas nusilei-džia tik suvirinimui lazeriu ir elektronų spinduliu, o lyginant su TIG suvirinimo būdu, energijos reikia beveik dvigubai mažiau.

Į plazminio suvirinimo degiklį dideliu slėgiu pučiamos dujos (oras, argonas, helis, azotas, vandenilis ir jų mišiniai) apspaudžia lanko stulpo plazmą ir sukuria suvirinimui būtiną šiluminę energiją. Gautoji plazma yra labai aukštos temperatūros (iki 30 000 °K) ir dide-lės koncentracijos (10.5 pav.).



10.5 pav. Plazminis suvirinimas:

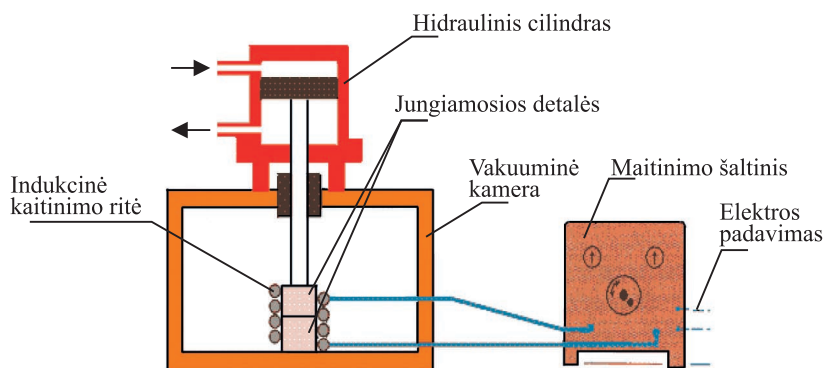
- 1 – nelydusis volframinis elektrodas; 2 – apsauginė (keraminė) tūta;
- 3 – plazmos lankas; 4 – virinamasis gaminy; 5 – plazmą sudarančių dujų srautas; 6 – apsauginių dujų srautas; 7 – išlydyto metalo vonelė;
- 8 – prilijdytas metalas (siūlė)

Pridėtinė medžiaga į suvirinimo vonelę tiekama vielos ar strypė-lių pavidalo. Į suvirinimo vonelę medžiaga tiekama rankiniu būdu arba naudojant vielos tiekimo įrenginį. Elektros lanką apspaudžia ir suvirini-mo vonelę saugo inertinės dujos, o gaminio terminio poveikio zoną ir ap-spausta plazmos srautą gali apipūsti tiek inertinės, tiek aktyvios dujos.

Plazminiam suvirinimui dažniausiai naudojami tiesioginio plazmos veikimo plazmotronai. Šiuose plazmotronuose panaudojamos ne tik plazmos, bet ir anodinės dėmės šiluma, kurią netiesioginio plazmos veikimo plazmotronuose paima ir nusineša aušinančioji terpė (Gedzevičius 2007).

Difuzinis suvirinimas yra neišardomo sujungimo gavimo būdas, kai tarp įkaitintų ir suspaustų nedideliu slėgiu kontaktuojančių paviršių vyksta atomų tarppaviršinė difuzija ir taip susidaro tarppaviršiniai metaliniai ryšiai.

Difuzinis suvirinimas – tai detalių sujungimo būdas kietame būvyje be didelių plastinių deformacijų ir be briaunų aplydymo.



10.6 pav. Difuzinis suvirinimas

Suvirinama vakuuminėje kameroje (10.6 pav.). Įkaitę detalių paviršiai vakuumė nesioksiduoja, neprisotina azoto. Suvirinama ir apsauginėse dujose, net skystose terpėse. Suvirinant difuziniu būdu, jungiami paviršiai neišlydomi, todėl galima sujungti bet kokius viena-rūšius arba įvairiarūšius metalus, metalus su nemetalais, taip pat kombinuoti keliais sluoksniais įvairias medžiagas.

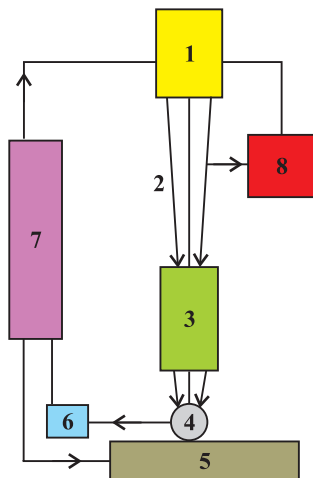
Didžiausias difuzinio suvirinimo trūkumas – ilga suvirinimo proceso trukmė.

Difuzinis suvirinimas plačiai praktikuojamas naujų sudėtingų ir tikslių prietaisų konstrukcijų, sudėtingų kompozicinių medžiagų gamyboje. Pastaruoju metu ši technologija vis labiau plinta ir mašinų

gamybos pramonėje. Suvirinto sujungimo susidarymas priklauso nuo temperatūros, slėgio ir suspaudimo trukmės. Suvirinant viena rūšies medžiagas, net atlikus mikroskopinį tyrimą, sunku aptikti suvirinimo siūlę.

Difuziniu suvirinimu suvirinamos žinomos konstrukcinės medžiagos, įskaitant medžiagas, kurios labai skiriasi fizinėmis savybėmis, netirpsta vienos kitose arba suvirinant kitais būdais sudaro trapius metališkuosius tarp sluoksnius. Pavyzdžiui, galima suvirinti aliuminį su plienais ir titanu, plienus su ketumi, varį su molibdeno, plieną su kietlydiniais ir pan. (Valiulis 1993b).

Lazeriniu suvirinimu vadiname technologinį procesą, neišardomam sujungimui gauti naudojant vietinį gretimų metalo paviršių išlydymą. Įkaitinimo šaltinis yra kvantinio generatoriaus sukoncentruotas spinduliavimo srautas, tai yra lazeris. Kaip išlydymo ir kristalizacijos rezultatas dėl tarpatominės sąveikos atsiranda stiprus sujungimas (virintinė siūlė).



10.7 pav. Lazerinio suvirinimo įrenginio schema:

1 – lazeris; 2 – lazerinis spinduliavimas; 3 – optinė sistema; 4 – apdirbama detalė; 5 – detalės tvirtinimo ir perslinkimo įrenginys; 6 – technologinio proceso parametrų davikliai; 7 – programinė įranga; 8 – spinduliavimo parametrų davikliai

Pagrindiniai elementai, sudarantys lazerinio suvirinimo įrenginį: lazeris; atspindėjimo sistema ir spindulio fokusavimas; stebėjimo sistema; detalės tvirtinimo ir pasislinkimo įranga; kontrolės priemonės proceso parametrams kontroliuoti (10.7 pav.).

Suvirinimo metu naudojama dujų apsauga turi keletą paskirčių. Dujų srautas apsaugo fokusavimo sistemą nuo pažeidimo metalo lašeliais ir dūmais, apsaugo vonios metalą nuo sąveikos su atmosfera, pašalina susidarancią plazmą ir pagerina spindulio sklaidimo sąlygas (ypač, kai didelė spindulio galia ir mažas suvirinimo greitis). Susidaranciai plazmai nupūsti dažniausia naudojamas helis arba argonas. Suvirinant impulsinės veiklos lazeriais, plazmos susidarymo galima išvengti. Spindulio impulsų trukmė turi būti mažesnė už laiko trukmę, reikalingą plazmos susidarymui. Šiuo atveju spindulys daug efektyviau skverbiasi gilyn į suvirinamą metalą, pasiekiamas tolygesnis išlydymo gylis.

Lazeriais suvirinamos sunkiai lydžių metalų ir lydinių detalės, skirtingi metalai ir jų lydiniai, įvairios smulkios detalės, plonasienių elementų sandūriniai sujungimai ir kt. (Valiulis 1993b).

10.2. Litavimas

Litavimas yra neišardomas detalių jungimas išlydytu lydmetaliu, kurio lydymosi temperatūra yra žemesnė negu jungiamų detalių. Lituojant galima sujungti įvairiausių metalus ir nemetalines medžiagas, o sulituotus gaminius išlituoti nesuardant pagrindinio metalo. Yra du litavimo būdai – minkštasis ir kietasis. *Minkštasis litavimas* – tai litavimas lydmetaliais, kurių lydymosi temperatūra $< 450\text{ }^{\circ}\text{C}$, o *kietasis litavimas* – tai litavimas lydmetaliais, kurių lydymosi temperatūra $> 450\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Lydmetalį yra lydinys, naudojamas metalo dalims sujungti. Lydmetaliai gaminami iš vario, švino, sidabro, paladžio, platinos, geležies, alavo, cinko, kadmio, titano, galio, kompozicinių, metalokeraminių, savifliusuojančių medžiagų ir kt. Lydmetalių vilgumą didina aktyviekiliai – titanas ir cirkonis. Lydmetaliai liejami elektrinėse ar tiglinėse krosnyse, traukiami, valcuojami, būna juostos, vielos, strypelio, tinklelio, folijos, miltelių, pastos, vamzdelių su fluso užpildu, fasoninių liejinukų

pavidalo. Vietos, strypelių pavidalo lydmetalio skersmuo – 0,25–15 mm. Vamzdelių, pripildytų fluso, fluso masė sudaro 0,5–2,2 % lydmetalio masės. Pastos pavidalo lydmetaliai būna su flusu ir be jo. Pastoje su flusu lydmetalis sudaro 80–90 % pastos masės. Folijos pavidalo lydmetaliai dažniausiai būna iš amorfinio metalo. Amorfinė folija yra labai lanksti. Metalų paviršiui ir keramikai vilgyti naudojami stikliškieji lydmetaliai. Jie gaminami iš įvairių kalcio, magnio, silicio oksido lydinių.

Pagal lydymosi temperatūrą lydmetaliai skiriami į minkštuosius ir kietuosius. Minkštieji lydmetaliai yra ypač lydūs. Jie lydosi $< 145\text{ }^{\circ}\text{C}$, lengvai lydūs $-145\text{--}450\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūroje. Lituotinės jungties stipris – 50–70 MPa. Ypač lydūs metalai yra gyvsidabris ($-38,87\text{ }^{\circ}\text{C}$), galis ($29,78\text{ }^{\circ}\text{C}$), indis ($156,4\text{ }^{\circ}\text{C}$), alavas ($231,9\text{ }^{\circ}\text{C}$), švinas ($327\text{ }^{\circ}\text{C}$), kadmio ($321\text{ }^{\circ}\text{C}$), cinkas ($419\text{ }^{\circ}\text{C}$). Iš jų galima pagaminti daugybę lydmetalių, kurių likvidavimo temperatūra yra $39\text{--}145\text{ }^{\circ}\text{C}$ ir $145\text{--}450\text{ }^{\circ}\text{C}$. Lydmetaliai, kurių likvidavimo temperatūros intervalas $39\text{--}145\text{ }^{\circ}\text{C}$, naudojami elektronikos, elektrotechnikos prietaisams lituoti. Kietieji lydmetaliai lydosi $450\text{--}1850\text{ }^{\circ}\text{C}$, sunkiai lydūs $>1850\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūroje. Jais lituojamos jungtys, kurias veikia didelės mechaninės apkrovos ir aukšta temperatūra, jų stipris būna 200–700 MPa. Šie lydmetaliai, sudaryti iš vario ir cinko (žalvaris), vario, sidabro ir cinko, taip pat kitų lydinių.

Pagal LST EN ISO 3677:2000 (ISO 3677:1992) standartą kietojo lydmetalio markė žymima raide B, paskui nurodoma cheminė sudėtis ir lydymosi temperatūros intervalas, pavyzdžiui, B-Sn90Pb-183/215. Minkštojo lydmetalio markė žymima raide S, paskui nurodoma cheminė sudėtis ir lydymosi temperatūros intervalas, pavyzdžiui, S-Sn90Zn10-199/210.

Litavimo flusai ir dujos yra pagalbinės medžiagos, šalinančios nuo lydmetalio ir lituojamų paviršių oksidus ir neleidžiančios jiems vėl susidaryti. Fluso lydymosi temperatūra turi būti žemesnė už lydmetalio solido temperatūrą, tada metalas apsaugomas nuo oksidacijos. Flusas sąveikauja su skystu lydmetaliumi ir lituojama medžiaga, oksidus paveikia anksčiau negu išsilydo lydmetalis, vilgo lituojamą medžiagą, nesukelia lituojamų detalių ar lydmetalio korozijos (yra flusų, sukeliančių lituojamų detalių ir siūlės koroziją, todėl juos reikia nuvalyti). Flusais galima lituoti $< 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ir $> 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūroje.

10.1 lentelė. Litavimo būdų klasifikavimas (Valiulis 1993a)

I požymių grupė			II požymių grupė	III požymių grupė	IV požymių grupė
pagal lydmetalio gavimą	pagal tarpelių užpildymą lydmetalium	pagal lituotos siūlės kristalizaciją	pagal oksidų sluoksnių pašalinimą	pagal kaitinimo šaltinį	pagal lituojamų gaminių suspaudimą
Paruoštu išlydytu lydmetalium; Kompoziciniu lydmetalium; Kontaktinis reakcinis; Reakcinis flusinis	Kapiliarinis; Nekapiliarinis	Difuzinis; Kristalizacija aušinant	Flusinis; Ultragarsinis; Aktyviose dujose; Neutraliose dujose; Vakuume	Lituokliu; Įkaitintomis dujomis; Panardinus į išlydytas druskas; Panardinus į lydmetalį; Lydmetalio banga; Egzotermiinis; Krosnyse; Dujų liepsna; Šviesos spinduliais; Infraudonaisiais spinduliais; Lazerio spinduliu; Elektronų spinduliu; Plazmos srautu; Elektros lanku; Rusenančiu išlydžiu; Indukcinis; Elektrovaržinis; Kondensacinis	Pagal litavimo proceso laiko vientisumą Slegiant; Be slėgimo

Litavimo įrenginiai – tai krosnys ir vonios, prietaisai su elektronų pluoštu, optiniu kaitinimu ir litavimu lydmetalio banga. Lituojant naudojami lituokliai, dujiniai, plazminiai degikliai, litavimo lempos, kaitinamieji įtaisai (Naruškevičius, Petrovičėvas 2010).

Pagal lydmetalių lydymosi temperatūrą yra minkštasis ir kietasis litavimas, pagal fizikinius ir cheminius procesus – kapiliarinis, kontaktinis reakcinis, reakcinis flusinis ir difuzinis. Technologinė litavimo būdų klasifikacija yra gana sudėtinga, nes klasifikuojama pagal daugelį požymių (10.1 lentelė).

Lituotinėse jungtyse susidaro įvairių defektų. Dujų porų susidaro kristalizuojantis lydmetalui, kurio didelis kristalizacijos intervalas. Jeigu briaunos suvilgomos nepakankamai ir perkaitinamas lydmetalis, susidaro tuštumų. Kai jungtis aušta greitai, kai per didelė užlaida ar padidėjęs fluso klampumas, fluso dalelių lieka siūlės metalė, susidaro fluso intarpų. Nesulituotų vietų lieka, kai tarpelis nevisiškai užpildomas lydmetaliumi. Dėl cheminės erozijos kartais suyra metalas. Nerūdijančiojo plieno cheminė erozija atsiranda, kai šilumai perduoti naudojamas natriis ir kalis. Chromas, sąveikaudamas su lydmetaliumi, sudaro chromo oksidą (Naruškevičius, Petrovičėvas 2010).

10.3. Klįjavimas

Klįjavimas – neišardomos jungties gavimo būdas dėl klįjų ir substrato adhezinių ryšių, tolesnio klįjų sluoksnio sukietėjimo. Šis sluoksnis gali išlaikyti apkrovas.

Klįjavimo technologinis procesas susidaro iš kelių operacijų: detalės paviršiaus, klįjų paruošimo ir tepimo, klįjuotinės jungties formavimo. Jungtis bus kokybiška, jei klįjuojami paviršiai bus gerai suvilgyti, suspausti tam tikra jėga, išlaikyti tol, kol jungtis sukietės. Klįjų sluoksnyje neturi būti komponentų, mažinančių klįjų stiprumą.

Klįjuoti dažniausiai naudojami skysti klįjai, pastos, lipnios kompozicijos, aktyvinami išdžiovinami klįjai-plėvelės. Skysti klįjai arba pastos tepami ant vieno ar abiejų paviršių, tada, jei į klįjų sudėtį įeina tirpiklis, – klįjai džiovinami iki lipnios būsenos, o vėliau klįjuojamosios detalės suspaudžiamos. Išdžiovinami klįjai ir plėvelės naudojamos stambioms

detalėms klijuoti. Išdžiovintų klijų aktyvacija atliekama prieš klijuojant paviršių sudrėkinus greitai džiūvančiu tirpikliu. Klėjai turi aktyvintis paveikiant juos tirpikliais (naudojant kaučiuko, termoplastikų kompoziciją, turinčią tirpiklį). Plėvelių aktyvacija atliekama pakaitinus.

Klijavimas yra vienintelis sujungimo būdas, jeigu sujungiamųjų medžiagų savybių ir eksploatavimo sąlygų analizė rodo, kad suvirinimas blogina medžiagos mechanines savybes, deformuoja konstrukciją, keičia gaminio spalvą. Klijavimas leidžia sujungti skirtingas medžiagas, jautrias kaitinimui medžiagas, gauti hermetiškas, elektrą izoliuojančias, tikslių matmenų ir mažos masės jungtis.

Klijuotinės jungtys naudojamos:

- bendro taikymo konstrukcijoms, kai nekeliami ypatingų reikalavimų stiprumui, patikimumui;
- didelio stiprumo, ilgaamžiškumo jungtyse;
- specialios paskirties konstrukcijose – tai hermetiškos, elektrą izoliuojančios jungtys.

Veikiančių apkrovų dydis ir kryptys lemia klijuotinės jungties matmenis, jungties išsidėstymą, klijų tipą.

Būdingas klijuotinės jungties ypatumas – proporcingas stiprumo augimas didėjant jungties pločiui, tolesnis užlaidos didėjimas virš tam tikros ribos jungties stiprumui įtakos neturi. Klijuotinės jungties stiprumas priklauso ne tik nuo užlaidos ploto, klijų sluoksnio kohezinio stiprumo, bet ir nuo medžiagos stiprumo, nes jungtis suirti gali per pagrindinę medžiagą.

Šiuolaikinė pramonė gamina įvairių fizinių ir cheminių, stiprio, technologinių savybių klijus. Klėjai skirstomi pagal tokius rodiklius: pagrindinis komponentas, prekinė išvaizda, kietėjimo sąlygos, saugojimo laikas, klijuotinių jungčių eksploatavimo sąlygos.

Pagal cheminę sudėtį klėjai skirstomi į natūralius (mineralinius, organinius) ir sintetinius klijus (neorganinius-keraminius, silikatinius, cementinius, polimerinius vulkanizuojamus, plastomerinius, termoplastinius ir termoreaktyvius, mišriuosius elastomerinius-plastomerinius).

Pagal prekinę išvaizdą klėjai gali būti kietieji (granulės, milteliai, strypeliai, plėvelės), pastos ir skysti (monomerai, polimerai,

tirpūs, netirpūs). Klėjai gali būti pakuojami viename arba keliuose pakeliuose.

Klėjai gali kietėti skirtingomis sąlygomis: šalto kietėjimo (be pakaitinimo), šilto kietėjimo (31–99 °C), karšto kietėjimo (daugiau nei 100 °C). Paruoštų klėjų naudojimo laikas gali keistis nuo kelių sekundžių iki kelių mėnesių. Klėjai skiriasi ir deformavimo galimybėmis: tai kietieji ir elastiškieji klėjai. Kietieji klėjai turi didesnę tamprumo modulį negu klėjijamasis plastikas. Pagal eksploataavimo charakteristikas klėjai skirstomi į atsparius vandeniui, benzinui arba tepalams, korozijai, tirpikliams, šviesai, temperatūrai bei būna specialiosios paskirties.

Klėjų derinius sudaro daugiakomponentės sistemos, kurių sudėtyje yra matrica (pagrindas), sukietintojas, užpildai, tirpikliai, plastifikatoriai, adheziniai priedai.

Užpildai naudojami klėjų eksploataavimo ir technologinėms savybėms (valkšnumui) gerinti. Kaip užpildai gali būti naudojamos sintetinės ir natūralios miltelių, pluoštų, tinklelių pavidalo medžiagos. Užpildo kiekį galima keisti, paprastai jis sudaro 30–50 % bendros masės. Dažniausiai naudojami milteliniai užpildai – metalų oksidai, kreida, aliuminio pudra, stiklo, bazalto, asbesto, cheminiai pluoštai.

Plastikams klėjuoti dažniausiai naudojami termoreaktyvūs ir termoplastiniai klėjai.

Veikiant šilumai, termoreaktyvūs klėjai tampa nebelydomi ir netirpsta. Jie taikomi sunkiai apkrautoms arba dirbančioms sudėtingomis sąlygomis konstrukcijoms klėjuoti (epoksidinės, fenolio formaldehidinės, poliefrinės dervos). Plastikams klėjuoti gaminami skystų produktų arba pastų pavidalo termoreaktyvūs klėjai.

Termoplastiniai klėjai skirstomi į dvi pagrindines kategorijas: termoplastinių dervų ir kaučiukų. Termoplastiniai klėjai gali tirpti, lydėtis ir minkštėti kaitinami. Formuojant klėjutinę jungties struktūrą, jie nekeičia molekulinės sandaros. Kaip sintetinės dervos termoplastiniams klėjams gaminti naudojami polivinilo chloridas, polistirolis, poliamidas, polimetilakrilatas.

Kaučiukų termoplastiniams klėjams gaminti naudojami sintetiniai elastomerai (butilo kaučiukas ir kiti). Dažniausiai gaminami skysti klėjai (tirpalai, polimero dispersijos, emulsijos) (Višniakov 2005).

Kontroliniai klausimai

1. Kas tai yra metalų suvirinimas?
2. Paaiškinkite suvirinimo glaistytais elektrodais procesą.
3. Kam reikalingas elektrodų glaistas?
4. Kokių tipų būna elektrodų glaistas?
5. Kaip virinama apsauginėse dujose?
6. Kam reikalingos apsauginės dujos?
7. Kokios yra naudojamos apsauginės dujos?
8. Kas tai yra TIG suvirinimas?
9. Kokios medžiagos yra virinamos TIG būdu?
10. Paaiškinkite suvirinimo po fliusu procesą.
11. Kokio storio plieno lakštai gali būti suvirinti SAW būdu?
12. Kokie suvirinimo po fliusu privalumai ir trūkumai?
13. Kas tai yra plazminis suvirinimas?
14. Kokie plazminio suvirinimo po fliusu privalumai?
15. Kaip virinama difuziniu būdu?
16. Kokia yra lazerinio suvirinimo įrenginio schema?
17. Kokios medžiagos yra virinamos lazeriais?
18. Kuo litavimas skiriasi nuo suvirinimo?
19. Kokios yra litavimo medžiagos?
20. Kas tai yra minkštasis litavimas?
21. Kokia yra kietojo litavimo lydmetalių lydymosi temperatūra?
22. Kas tai yra kljavimas?
23. Kokios operacijos sudaro kljavimo technologinį procesą?
24. Kokie kljai yra naudojami?

11. NEARDOMOJI KONTROLĖ

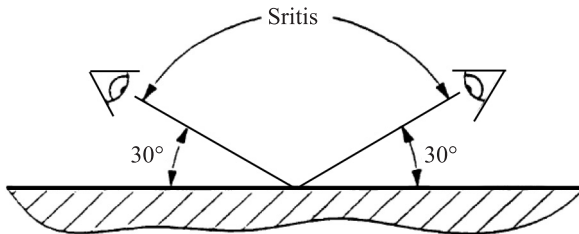
11.1. Vizualinės kontrolės metodai

Taikant vizualinės kontrolės metodą aptinkami paviršiniai defektai:

- plyšiai,
- metalo struktūros plyšiai,
- koroziniai plyšiai,
- poros,
- vamzdelinės poros,
- nemetaliniai intarpai,
- įpjovos,
- geometrinės formos pokyčiai.

11.1.1. Tiesioginė apžiūrimoji kontrolė

Tiesioginė apžiūrimoji kontrolė paprastai gali būti taikoma vietinei apžiūrimajai kontrolei, kai prieiga iki tiriamosios vietos yra pakankama, kad stebėtojo akis būtų ne toliau kaip 600 mm iki tiriamojo paviršiaus ir kampas iki tiriamojo paviršiaus ne mažesnis kaip 30° (11.1 pav.). Stebėjimo kampui pagerinti gali būti naudojami veidrodžiai, o bandymui daryti gali būti naudojamos pagalbinės priemonės, tokios kaip didinamieji lęšiai, endoskopas ir skaidulinės optikos priemonės.



11.1 pav. Tiesioginės apžiūrimosios kontrolės priėjimas

Tiesioginė apžiūrimoji kontrolė taip pat gali būti atliekama didesniu nei 600 mm nuotoliu, ypač bendrosios apžiūrimosios kontrolės atveju. Turi būti parinktas bandymą atitinkantis žiūrėjimo nuotolis.

Tiesiogiai apžiūros būdingos detalės, komponentai, indai ar jų pjūviai turi būti apšviesti, jeigu reikia, papildomais apšvietimo įtaisais siekiant gauti mažiausiai 160 lx apšvietą bendrosios apžiūros kontrolės ir mažiausiai 500 lx apšvietą vietinės apžiūros kontrolės atveju.

Norint pasiekti didžiausią bandymo efektyvumą, turi būti atkreiptas dėmesys į apšvietimą:

- nustatant optimalią šviesos kryptį žiūrimo taško atžvilgiu;
- vengiant akinamojo blizgesio;
- optimizuojant šviesos šaltinio spalvinę temperatūrą;
- suderinant apšvietos lygį su paviršiaus atspindžio faktoriumi.

11.1.2. Netiesioginė apžiūrimoji kontrolė

Kai tiesioginė apžiūrimoji kontrolė nėra galima, ji keičiama netiesiogine apžiūrimąja kontrole. Netiesioginei apžiūrimajai kontrolei naudojamos pagalbinės vizualizavimo priemonės, tokios kaip endoskopai ir skaidulinės optikos priemonės, kurios jungiamos prie kamerų ar atitinkamų aparatų.

Turi būti patikrintas netiesioginės apžiūros kontrolės sistemos tinkamumas numatytiems uždaviniams atlikti (EN ISO 17637:2011).

11.2. Kapiliariniai kontrolės metodai

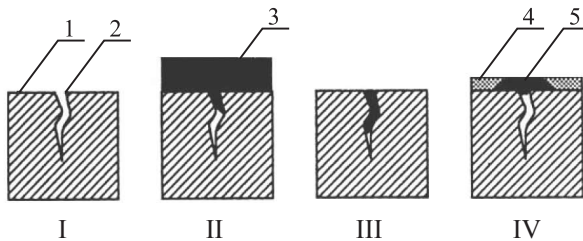
Kapiliarinės defektoskopinės kontrolės uždavinys – aptikti paviršių defektus būdais, leidžiančiais keisti šviesos atspindėjimą nuo defektų, t. y. dirbtinai keičiant defektinės ir nepažeistos vietos kontrastiskumą. Kapiliarinės defektoskopijos metodais tikrinami magnetiniai ir nemagnetiniai lydiniai bei medžiagos.

Kapiliarinė defektoskopija apima kapiliarinio laidumo absorbcijos, difuzijos, šviesos ir spalvų kontrasto reiškinius.

Mikroskopinių įtrūkimų ir makroskopinių paviršinių defektų plotai prilyginami kapiliariniams indams, turintiems savybę sugerti drėkinantį juos skystį veikiant kapiliarinėms jėgoms. Dažams, neturintiems liuminescensinių savybių, būdingas atrankinis matomo spektro dalies atspindėjimas. Apšvietus detalę su defektu, užpildytu dažais,

galima iš dalies nustatyti defektus pagal spalvą defekto zonoje (spalvų metodas) (11.2 pav.).

Norint rasti defektą, reikia kiek galima didesnę dažų kiekį iš defekto mikroangos „išimti“ į paviršių. Defektai kur kas greičiau aptinkami naudojant priemones, padedančias labiau išryškinti indikatorines medžiagas (pvz., kontrastinio spalvinio fono medžiagų – ryškalių arba liuminescencinių dažų taikymas)). Indikatorines medžiagas prie defekto kraštų „išimti“ ir lokalizuoti padeda ryškalių difuzinės ir absorbcinės jėgos.



11.2 pav. Kapiliarinės defektoskopijos eiga:

I etapas – paviršiaus paruošimas ir valymas; II etapas – skvarbių dažalų užpurškimas; III etapas – skvarbių dažalų pašalinimas nuo paviršiaus; IV etapas – ryškalių naudojimas (nereikalingas, jei naudojate fluorescencinius skvarbiuosius dažalus) bei ultravioletinių spindulių taikymas siekiant paryškinti defektus;

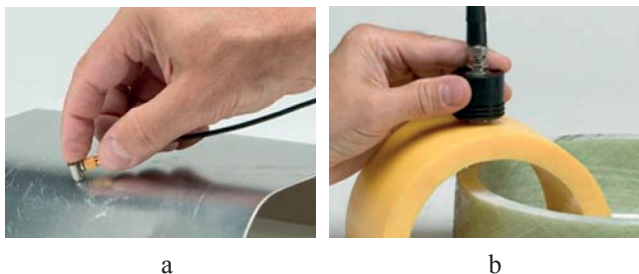
1 – tiriamas gaminio paviršius; 2 – defektas; 3 – skvarbieji dažalai;
4 – ryškalai; 5 – defekto vieta

Taikant kapiliarinės defektoskopijos (skvarbiųjų dažalų) metodą aptinkami paviršiniai defektai:

- paviršiniai plyšiai;
- poros;
- nesulydymai;
- tarpkristalinės korozijos plyšiai.

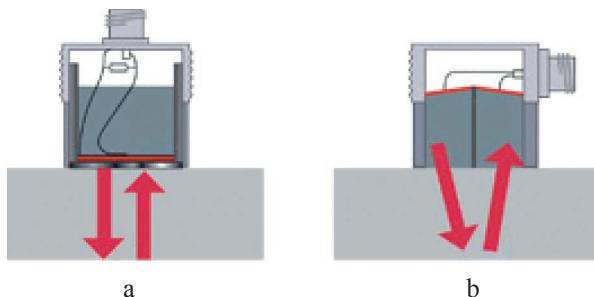
11.3. Ultragarsiniai kontrolės metodai

Ultragarsinės kontrolės metodai paremti 0,5–25 MHz dažnumo tamprųjų svyravimų sklaidimo proceso kontroliuojamame gaminyje tyrimu (11.3 pav.).



11.3 pav. Ultragarsinė kontrolė:
a – metalo lydinių; b – polimerinių medžiagų

Šaltinio akustinis laukas išplinta po visą kontroliuojamą gaminį. Atsiradus defektui, akustinis laukas keičia savo struktūrą. Už defekto susidaro šešėlis, nes defekto paviršius atspindi ultragarsinį spinduliavimą (11.4 pav.). Imtuvų registruojant akustinės bangos susilpnėjimą arba atsispindėjusios bangos atsiradimą, galima spręsti, kiek defektų yra virintinėje siūlėje.



11.4 pav. Ultragarsinės kontrolės schema:
a – tiesaus spindulio ieškiklis; b – dviejų dalių kampinio spindulio ieškiklis

Taikomi trys pagrindiniai būdai, kurie vienas nuo kito skiriasi pagal defektų suradimo požymį: šešėlinis, veidrodinis-šešėlinis ir aido metodas.

Šešėlinio metodo požymis – tai perėjusios per gaminį ultragarsinės bangos nuo skleidžiančio ieškiklio iki imtuvo intensyvumo amplitudės sumažėjimas. Ieškikliai skirtingose gaminio pusėse, todėl šį būdą galima taikyti tik esant abipusiam priėjimui prie gaminio.

Veidrodiniu-šešėliniu metodu defektas surandamas, sumažėjus atsispindėjusios akustinės bangos amplitudei nuo priešingo gaminio paviršiaus. Priešinga pusė, kuri veidrodiniu būdu atspindi ultragarsą, vadinama dugniniu paviršiumi, o atsispindėjęs nuo jo impulsas – dugniniu impulsu.

Aido metodu defektas surandamas ieškikliu, priimančiu aidą-impulsą, atsispindėjusį nuo pačio defekto. Jeigu apie defekto suradimą sprendžiama atsiradus atsispindėjusiam aido impulsui nuo defekto ir pagal šio impulso susilpnėjimą, tai reiškia, kad kontrolė vykdoma vienu metu dviem metodais: aido ir veidrodiniu-šešėliniu. Toks metodų suderinimas kontrolės metus sutrumpintai vadinamas aido-šešėliniu metodu.

Kad ir koks būtų kontrolės metodas, galima naudoti du ieškiklius, iš jų vienas atlieka ieškiklio funkcijas, o kitas – imtuvo. Tokia ieškiklių sujungimo schema vadinama atskira. Tuo pat metu naudojant impulsinį spinduliavimą veidrodiniam-šešėliniam ir aido metodui galima panaudoti vieną ieškiklį, sujungtą pagal suderintą schemą, kai tas pats ieškiklis atlieka zondavimo išspinduliavimo ir signalų priėmimo funkcijas.

Ultragarsinės kontrolės aparatūra – tai kompleksas įrenginių ir prietaisų, skirtų vidiniams defektams surasti suvirinimo siūlėse, taip pat metalų struktūrai tirti. Visą aparatūros kompleksą galima suskirstyti į tokias grupes: ultragarsiniai defektoskopai, ultragarsiniai struktūros analizatoriai, etalonų komplektai ir testai-pavyzdžiai prietaisams patikrinti ir suderinti, koordinacinės linuotės ir šablonai mažiausiems defektams nustatyti, pagalbiniai įrenginiai.

Ultragarsinis defektoskopas – tai prietaisas ultragarsiniams virpesiams išspinduliuoti, atspindėti, signalams priimti ir reguliuoti, taip pat defekto koordinatėms nustatyti, nevientisumui aptikti (11.5 pav.). Aido signalus paprastai ekrane registruoja elektroninis spinduliavimo vamzdelis, kuriame tam tikru masteliu atkuriamas ultragarsinio spindulio eiga kontroliuojamame objekte. Prietaisas gali apskaičiuoti surasto defekto koordinates bet kokio tipo ieškikliams (11.6 pav.).



a



b

11.5 pav. Ultragarsiniai defektoskopai:

a – ultragarsinis storio matuoklis; b – skenuojantis ultragarsinis defektoskopas (*Phased Array*)



11.6 pav. Ultragarsinės kontrolės iešikliai

Vykdamas kontrolę, be elektroninio spinduliavimo vamzdelio, reikia turėti papildomus šviesos ar garso indikatorius, kurie atlaisvina operatorius nuo būtinumo stebėti vienu metu ne tik iešiklio judėjimą, bet ir elektroninio spinduliavimo vamzdelio ekraną. Papildomi indikatoriai ne tik palengvina operatoriaus darbą, bet ir padidina kontrolės patikimumą (Višniakas 1998).

Taikant ultragarsinės kontrolės metodą aptinkami vidiniai defektai:

- plyšiai;
- šlakai;

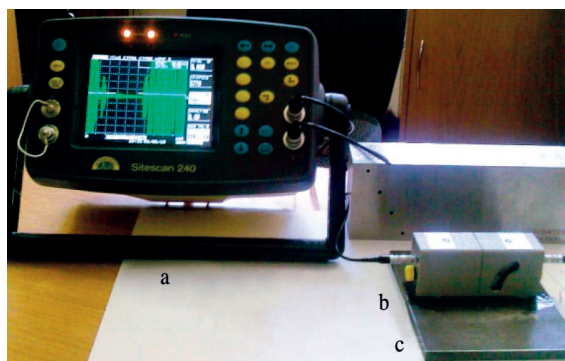
- poros;
- intarpai;
- nesulydymai ir kt.

Galima apskaičiuoti ir nustatyti aptiktų defektų matmenis, padėtį ir orientaciją.

11.4. Akustiniai kontrolės metodai

Paviršinių išilginių bangų (PIB) fenomenas pasireiškia tuo, kad jų sklaidimo greitis kietojo izotropinio kūno paviršiuje iš esmės skiriasi nuo iki tol žinomų paviršinių skersinių bangų (PSB-Reilėjaus) paviršinių bangų greičio. Iki atradimo PIB buvo registruojamos tik seismogramose, kur jos pasireiškė kaip galinga griaušančioji mechaninė energija, o šiuo metu PIB naudojamos kaip naudingos paviršinės akustinės bangos, sukuriamos specialiomis priemonėmis – ultragarsiniais jutikliais, lazerio impulsais (11.7 pav.). Specifinės PIB savybės leidžia gauti kiekybiškai skirtingus rezultatus tradicinėse paviršinių akustinių bangų taikymo srityse (neardomiesiems ultragarsiniams bandymams), bet ir naujose srityse, kuriose panaudojus PIB galima gauti kokybiškai naują efektą.

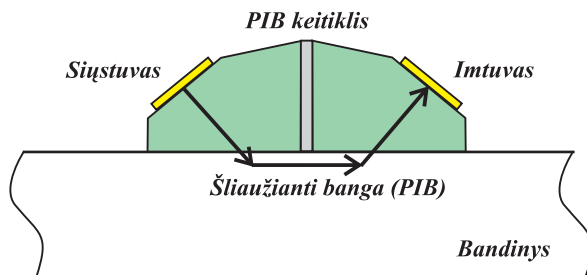
Naujų galimybių teikia kompleksiškas PIB panaudojimas kartu su tūrinėmis akustinėmis bangomis (išilginėmis, skersinėmis), taip pat kartu su kito tipo paviršinėmis akustinėmis bangomis – PSB.



11.7 pav. Paviršiaus išilginės bangos greičio matavimas:

a – ultragarsinis defektoskopas „SiteScan 240“; b – keičiamo kampo jutiklio pora; c – tiriamas gaminyas

Neardomiesiems bandymams paviršinės išilginės bangos (PIB) panaudojamos dėl jų išskirtinių savybių, palyginti su paviršinėmis skersinėmis bangomis (PSB-Reilėjaus bangomis). PIB ir PSB skiriasi daugeliu savybių ir sklidimo charakteristikų. Svarbus parametras yra fazinis greitis: PSB fazinis greitis yra artimas skersinių bangių greičiui, o PIB – išilginių bangų greičiui. Tai lemia skirtingos PIB ir PSB sužadavimo sąlygos, dėl kurių paviršinėje išilginėje bangoje kietojo kūno paviršiaus dalelės juda trajektorija, kurios išilginė ašis yra lygiagreči su kietojo kūno paviršiumi, skirtingai nei PSB (11.8 pav.).



11.8 pav. Bandomo plonasienio objekto paviršiaus defektų registravimas PIB

Neardomųjų bandymų praktikai ypač svarbi PIB savybė – tai jo išsispinduliavimas. Dėl to, kad PIB, sklisdama netgi laisvu kietojo kūno paviršiumi, sklidimo kelyje išsispinduliuoja šonines skersines tūrines bangas, tostančias nuo paviršiaus gilyn į kietąjį kūną, PIB praranda dalį energijos, taigi slopsta.

PIB nėra jautri paviršiaus mechaninei būklei (šiurkštumui, korozijai, dažams), o tai ypač naudinga tiriant šiurkščius, srieginius paviršius.

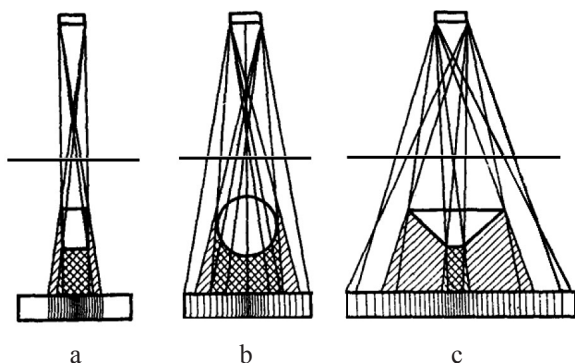
Neardomiesiems bandymams PIB ir PSB naudojant kartu, galima nustatyti paviršinio defekto vietą, netgi tuose objektuose, kuriuose fazinis garso greitis nežinomas (Sajauskas 2002).

11.5. Radiaciniai kontrolės metodai

Bet kuriame iš žinomų radiacinės defektoskopijos metodų būtinai naudojami trys pagrindiniai elementai: jonizuoto spinduliavimo šalti-

nis, kontroliuojamas objektas, detektorius, registruojantis defektoskopinę informaciją.

Jonizuotam spinduliavimui einant per gaminio medžiagą, spinduliavimas susilpnėja – jis susigeria ir išsisklaido. Susilpnėjimo laipsnis priklauso nuo kontroliuojamojo gaminio storio ir tankumo. Jei medžiagoje yra vidinių defektų, smarkiai pasikeičia išeinančio spindulių pluošto intensyvumas; išeinantis srautas teikia defektoskopinę informaciją apie kontroliuojamo objekto vidinę struktūrą (11.9 pav.).



11.9 pav. Radiacinės defektoskopijos jautrumas defektų formai:
a – pailgas defektas; b – apvalus defektas; c – plokščias defektas

Radiacinės defektoskopijos metodai yra šie: radiografinis, radioskopinis ir radiometrinis.

Radiografija – metodas gauti detektoriuose gaminio vidinės struktūros statinį matomą vaizdą, apšviečiant jį jonizuotu spinduliavimu. Praktikoje šis metodas plačiausiai taikomas, nes yra paprastas ir gaunamus rezultatus galima dokumentiškai patvirtinti. Nelygu kokie naudojami detektoriai, skiriama: juostinė radiografija ir kserografija (elektrografija). Pirmu atveju uždaro vaizdo detektorius ir statinio matomo vaizdo registratorius yra jautri fotojuosta. Kserografuojant detektorius bus puslaidininkinės juostos, o registratorius – paprastas popierius. Nelygu koks naudojamas spinduliavimas, skiriama keletas radiografijos rūšių: rentgenografija, gamagrafija, betatroninė ir neutroninė. Kiekvienas iš išvardintų metodų turi savo panaudojimo sferą, papildo ir praturtina vienas kitą.

Rentgenografija naudojama cecho, rečiau – lauko sąlygomis. Gamagrafija dominuoja kontroliuojant suvirintų sujungimų, esančių sunkiai pasiekiamose vietose, kokybę lauko ar montavimo sąlygomis. Betatroninė radiografija taikoma atliekant didelio storio suvirintų sujungimų defektoskopiją, daugiausia cecho sąlygomis. Neutroninė radiografija – vienintelis metodas, užtikrinantis sunkių metalų, vandenilio turinčių medžiagų ir radioaktyvių gaminių suvirintų sujungimų kokybės kontrolę.

Radioskopija – metodas, kuriuo ekrane gaunamas gaminio, apšviečiamo jonizuotu spinduliavimu, vidinės struktūros matomas dinaminis vaizdas. Šio metodo jautrumas mažesnis negu radiografijos. Pranašumas tas, jog padidėja gaunamų rezultatų patikimumas dėl defektų stereoskopinio matymo ir galimumo suvirintus sujungimus apžvelgti iš įvairių kampų.

Radiometrinė defektoskopija – metodas, kuriuo gaunama informacija apie kontroliuojamo gaminio, apšviečiamo jonizuotu spinduliavimu elektrinių signalų pavidalu (įvairaus didumo, ilgumo ir kiekybės), vidinę padėtį. Taikant šį metodą, garantuojama didžiausia kokybės kontrolės proceso automatizavimo galimybė ir automatiškas grįžtamasis ryšys nuo kontrolės prie suvirinimo technologinio proceso arba gaminio pagaminimo. Metodas jautrumu nenusileidžia radiografijai.

Radiacinės defektoskopijos praktikoje plačiau naudojami dviejų tipų rentgeniniai aparatai: pastovios apkrovos ir impulsiniai. Pastovios apkrovos aparatai leidžiami dviejų tipų: 1) aparatai monoblokai, kurių rentgeninis vamzdelis ir transformatorius sumontuoti į vientisus blokus-transformatorius, užpildus alyva arba pripildytus dujų, kurių paskirtis – frontalinis orientuotų spinduliavimo srautų apšvietimas, taip pat ir panoraminis žiedinių spinduliavimo srautų apšvietimas, 2) kabelinio tipo aparatai, susidedantys iš savarankiško generatorinio įtaiso, rentgeninio vamzdelio ir valdymo pulto. Jie skirti frontaliniam ir panoraminiam apšvietimui.

Dabartiniu metu γ defektoskopijoje naudojami išimtiniai dirbtinai gaminami radioaktyvūs izotopai. Šaltinių aktyvioji dalis telpa vienoje ar dviejose ampulėse, kurių kiekvina hermetiškai užvirinama (11.10 pav.). Dviguba ampulė naudojama tiek spinduliavimo šalti-

niams su dideliu radioaktyviniu išėjimu, tiek ir šaltiniams, kurių aktyvioji dalis sudaryta iš skystos arba birios medžiagos.



11.10 pav. γ -spindulių šaltiniai

Gama-defektoskopais nustatomi suvirintų sujungimų ir kitų gaminių defektai peršviečiant juos radioaktyviu izotopu γ -spinduliais. Jie susideda iš šių mazgų: radiacinės galvutės su apsauginiu bloku, kuriame yra γ spinduliavimo šaltinis, išspinduliavimo srauto išleidimo ir uždarymo valdymo mechanizmo ir nukreipimo į kontrolinį objektą signalizacijos sistemos (Višniakas 1998).

Rentgenogramos iššifruojamos negatoskopais. Kadangi rentgeno juosta yra detektorius su aukštu savuoju triukšmu, atsiradusiu dėl emulsijos užliejimo netolygumų, nekokybišku ryškinimu ir t. t., tai būtina mokėti atskirti juostos defektus nuo gaminio defektų. Abejotinais atvejais reikia pakartotinai peršviesti arba iš karto naudoti kasetes, užtaisytas dviem juostom.

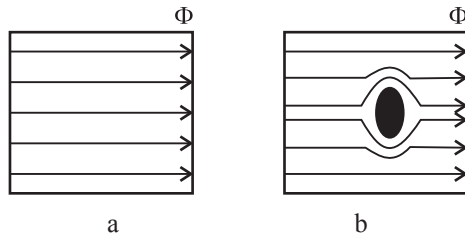
Radiogramose pastebimi šie defektai:

- 1) išilginiai ir skersiniai įtrūkimai, kurių kryptys sutampa su peršvietimo kryptimi esant kampams nuo 0° iki $10\text{--}12^\circ$.
- 2) ištisiniai ir su pertrūkiais neįvirinimai;
- 3) volframiniai ir šlakiniai intarpai;
- 4) poros ir dujiniai intarpai;
- 5) nesulydymai;
- 6) įpjovimai, įkirpimai, išdeginimai.

11.6. Magnetiniai ir elektromagnetiniai kontrolės metodai

Elektromagnetiniai kontrolės metodai registruoja pasikeitimus sąveikaujančio elektromagnetinio lauko su kontroliuojamu ir etalonišku objektu. Šiam tikslui naudojamas platus elektromagnetinių reiškinių spektras, pradedant nuo nuolatinio elektrinio-magnetinio lauko iki kintamų laukų, kurių dažnis siekia iki dešimčių MHz. Dar labiau didinant dažnį gaunamas diapazonas, kuriam būdingas skvarbiosios radiacijos prasiskverbimo metodas.

Elektromagnetinis laukas sąveikauja su kontroliuojamu objektu. Sąveikaujant kontroliuojamą objektą supančios medžiagos įgauna lauko struktūrą, būdingą tik tam objektui (11.11 pav.).



11.11 pav. Magnetinių linijų išsidėstymas vienalyčiame kūne (a) ir kūne, turinčiame defektą paviršiuje (b)

Elektromagnetiniais (sūkuriniais) metodais tikrinamos detalės iš srovei pralaidžių feromagnetinių medžiagų. Elektrosroviniai, elektrostatiniai, radiobanginiai ir šiluminiai metodai kol kas nėra plačiai taikomi.

Pagal magnetinių laukų registravimo metodus ir jų nevienalytiškumą magnetinės kontrolės metodai skirstomi į: magnetomiltelinius, magnetografinius, magnetoferozondavimo, indukcinius, magnetopulsuotuosius. Elektromagnetiniai metodai klasifikuojami pagal lauko sklaidimo sistemą, kur pasikeitusio magnetinio lauko registratorius dažniausiai būna ritė. Lauko sklaidimo sistemos gali būti praeinančios, jeigu ritė su srove apgaubia detalę ar įstatoma į ją, ir uždedamos, kada ritės su srove ant detalių dedamos galu.

Atsižvelgiant į pradinės informacijos apie elektromagnetinio lauko parametrus, indikacijos būdą, skiriamos kontrolės schemas, nekei-

čiančios elektrinių signalų ir kuriančios elektrinius signalus (metrinius). Pirmoje kontrolės schemų grupėje informacija apie defektus gaunama tiesiogiai stebint požymius, lemiančius elektromagnetinio lauko pasikeitimus, pavyzdžiui, poliarizuotų ar magnetinių dalelių nusėdimas ant kontroliuojamojo paviršiaus arti defekto. Antra schemų grupė paremta tuo, kad elektromagnetinio lauko parametrai paverčiami elektriniais signalais. Ši kontrolės grupė leidžia surasti ne tik nevientisumo defektus, bet ir medžiagos nevientisumą, geometrinius nukrypimus nuo etalono ir t. t. Be to, antra schemų grupė lengvai suderinama su automatinėmis informacijos sistemomis, taip pat automatizuoto technologinio proceso valdymo sistemomis.

Magnetiniai kontrolės metodai grindžiami magnetinių srautų (laukų) išsisklaidymo netolygumų radimų (įvairių defektų ar struktūros nevienodumo) įmagnetintuose gaminiuose iš feromagnetinių medžiagų.

Magnetinio miltelinio metodo esmė ta, kad ant įmagnetintos detalės paviršiaus užpilama feromagnetinių miltelių suspensijos pavidaļu su žibalu, alyva, muilo tirpalu arba magnetinio aerozolio pavidaļu. Veikiant magnetinio lauko pritraukiančiai jėgai, miltelių dalelės juda paviršiumi ir susikaupia volelių pavidaļu virš defektų. Susikaupimo forma atitinka defekto pavidaļu.

Taikant magnetinių dalelių metodą aptinkami paviršiniai ir popaviršiniai defektai:

- įpjovos;
- plyšiai;
- šlakai ir intarpai;
- nesulydymai ir nesuvirinimai.

Tarp magnetinių defektoskopijos metodų plačiausiai paplitęs magnetografinis metodas. Šio metodo esmė ta, kad įmagnetinama kontroliuojama siūlės dalis įrašant magnetinį lauką į magnetinę juostą ir nuskaitydamas magnetogramą specialiais įrenginiais. Magnetinėje juostoje registruojamos jautriausios magnetinio lauko dedamosios, turinčios informaciją apie defektų pobūdį ir dydį.

Magnetinio-miltelinio metodo jautrumas priklauso nuo miltelių dalelių dydžio ir jų savybių, pridėto įmagnetinančio lauko stiprumo

arba kontroliuojamo gaminio indukcijos, defektų dydžio ir formos, taip pat ir nuo jų išsidėstymo, gaminio paviršiaus būvio ir formos.

Miltelių dalelių dydis turi daug stipresnę įtaką metodo jautrumui negu magnetinės savybės. Padidinus lauko stiprumą, padidėja jautrumas, lengviau aptinkami ieškomi defektai.

Atliekant magnetinę-miltelinę kontrolę optimaliomis sąlygomis, galima lengvai aptikti plonus ir mažus įtrūkius. Šiuo būdu galima nustatyti paviršinius ir vidinius defektus su 0,01 mm atsidengimu ir 0,05 mm ir didesniu gilumu (defekto aukštis). Apvalios formos (pavyzdžiui, poros) nustatomi sunkiau.

Magnetiniu-milteliniu metodu gerai nustatomi tokie paviršiniai ir vidiniai defektai kaip įtrūkimai, neįvirinimai, nesulydymai ir t. t. Taip galima aptikti ir defektus, kurie yra 10 mm nuo kontroliuojamo paviršiaus. Labai aiškiai nustatomi defektai, kurių didžiausias matmuo sudaro tiesų arba artimą tiesiam kampą su magnetinio srauto kryptimi.

Milteliai paruošiami dažniausiai iš smulkiai sumalto geležies oksido (Fe_3O_4), kurio dalelių dydis yra 9–10 mkm. Nikelio ir kobalto milteliai naudojami retai, nes jie brangūs, bet defektams surasti yra geresni.

Atliekant skirtingų spalvų detalių kontrolę, geresnei defekto laukų indikacijai naudojami spalvoti milteliai (raudoni, sidabriniai, tamsiai rudi ir kt.). Jie gaunami dažant tamsius miltelius arba kaitinant pagal specialią technologiją. Labai gerai matomos miltelių sankaupos („piešiniai“) specialiai apdorotos, kad šviestų ultravioletiniuose spinduliuose (liuminescencija).

Ruošiant magnetines suspensijas, dažniausiai naudojami alyvos ir žibalo mišiniai su alyvos ir žibalo santykiu 1:1 imant 50–60 g miltelių vienam litrai skysčio. Galima pritaikyti ir vandens suspensijas, pavyzdžiui, muilo-vandens (viename litre vandens 5–6 g muilo, vienas gramas skysto stiklo ir 50–100 g magnetinių miltelių).

Optimalus įmagnetinimo režimas ir būdas priklauso nuo magnetinių kontroliuojamos medžiagos savybių, formos detalių dydžio, minimaliai leidžiamo dydžio, t. y. kontrolės sąlygų.

Kontroliuojami gaminiai įmagnetinami pastoviu, pulsuojančiu (impulsiniu) arba kintamuoju lauku. Įmagnetinant pastoviu lauku, vidiniai defektai išryškėja geriau negu įmagnetinant kintamuoju (Višniakas 1998).

Kontroliniai klausimai

1. Kas tai yra tiesioginė apžiūrimoji kontrolė?
2. Kuo skiriasi tiesioginė apžiūrimoji kontrolė nuo netiesioginės apžiūrimosios kontrolės?
3. Kokie reikalavimai taikomi vietinei apžiūrimajai kontrolei?
4. Kokia reikalinga mažiausia apšvieta bendrosios apžiūrimosios kontrolės atveju?
5. Paaiškinkite kapiliarinės defektoskopijos procesą.
6. Kokie defektai yra nustatomi kapiliarinės defektoskopijos metodu?
7. Kokios medžiagos yra tikrinamos kapiliarinės defektoskopijos metodu?
8. Kas tai yra ultragarsas?
9. Kaip ultragarsas yra taikomas defektoskopijoje?
10. Paaiškinkite ultragarsinės kontrolės procesą.
11. Kokie yra taikomi ultragarsinės kontrolės būdai?
12. Radiacinės kontrolės metodo esmė.
13. Kokie taikomi radiacinės kontrolės metodai?
14. Kokius defektus galima patebėti radiogramose?
15. Paaiškinkite magnetinės kontrolės procesą.
16. Kokie defektai yra nustatomi magnetiniu-miltelinio metodu?
17. Kokios medžiagos yra tikrinamos magnetinės kontrolės būdu?
18. Nuo ko priklauso magnetinio-miltelinio metodo jautrumas?

Literatūros sąrašas

- Ashby, M.; Hugh Shercliff, H.; Cebon, D. 2007. *Materials Engineering, Science, Processing and Design*. University of Cambridge. UK. 527 p.
- Aušrienė, M. 2002. *Metallų korozija ir sauga*. Klaipėda: Klaipėdos universiteto leidykla. 139 p.
- Buinevičienė, G., et al. 1991. *Bendroji chemija*: vadovėlis. Vilnius: Mokslas. 376 p.
- Denny, A. J. 1992. *Principles and prevention of corrosion*. New York (N.Y.): Macmillan Publishing Company. 568 p.
- EN ISO 17637:2011. *Virintinių siūlių neardomieji bandymai. Lydomojo suvirinimo jungčių apžiūrimasis tikrinimas (ISO 17637:2003)*, 2011. 13 p.
- Gedzevičius, I. 2007. *Specialieji suvirinimo būdai. Laboratorinių darbų metodikos nurodymai*. Vilnius: Technika. 57 p.
- Girčienė, B., et al. 1995. *Chemijos laboratoriniai darbai*. Vilnius: Technika. 127 p.
- Janickis, V., et al. 2000. *Neorganinė chemija*: vadovėlis. Kaunas: Technologija. 315 p.
- Janickis, V., et al. 2003. *Bendrosios ir neorganinės chemijos pagrindai*: vadovėlis. Kaunas: Technologija. 339 p.
- Jankauskas, J., et al. 2006. *Bendrosios chemijos teoriniai pagrindai ir uždaviniai*: mokomoji knyga. Vilnius: Technika. 246 p.
- Juodelis, V.; Bendikas, J.; Valiulis, V. A. 2004. *Metalotyros pagrindai*: vadovėlis. Vilnius: Technika. 159 p.
- Kačerauskas, J. 2006. *Kad metalai ilgiau tarnautų*. Vilnius: Kronta. 143 p.
- Kulikauskas, L. 1997. *Medžiagotyra. Konstrukcinės medžiagos*: vadovėlis. Vilnius: Žara. 509 p.
- LST EN ISO 8044: 1999. *Metallų ir lydinių korozija. Pagrindiniai terminai ir apibrėžtys. Lietuvos standartizacijos departamentas*, 39 p.
- Naruškevičius, J.; Petrovičėvas, V. 2010. *Suvirinimas*. Vilnius: SENOJA. 239 p.
- Petrošėvičiūtė, O. 2007. *Bendroji chemija*: vadovėlis. Kaunas: Technologija. 168 p.
- Sajauskas, S. 2002. *Paviršinės išilginės bangos*. Kaunas: Technologija. 159 p.
- Skaistgirienė, A.; Jakubauskaitė, V. 2005. *Bendrosios chemijos laboratorinių darbų ataskaitos*. Klaipėda: Klaipėdos universiteto leidykla. 45 p.
- Skučas, V. 2007. *Metallų korozija*: paskaitų konspektai. Vilnius: Pilių tyrimo centras „Lietuvos pilys“. 87 p.

- Šulčius, A. 2008. *Metallų korozija ir sauga*: vadovėlis. Kaunas: Technologija. 300 p.
- Šulčius, A.; Griškonis, E. 2009. *Metallų korozija ir jų sauga nuo korozijos*: laboratoriniai darbai. Kaunas: Technologija. 72 p.
- Valiulis, A. V. 1993a. *Litavimas*. Vilnius: Technika. 215 p.
- Valiulis, A. V. 1993b. *Specialūs suvirinimo metodai*. Vilnius: Technika. 124 p.
- Valiulis, A. V. 2007. *Legiruotieji plienai ir jų suvirinimas*: vadovėlis. Vilnius: Technika. 248 p.
- Valiulis, A. V. 2008. *Welding and thermal cutting : an introduction : the textbook*. Vilnius: Technika. 291 p.
- Višniakas, I. 1998. *Suvirintų sujungimų kokybės kontrolė. Mokomoji knygelė*. Vilnius: Technika. 147 p.
- Višniakov, N. 2005. *Polimerinės medžiagos ir jų jungimas*. Vilnius: Technika. 117 p.
- Лахтин, Ю. М. 1979. *Металловедение и термическая обработка*: учебное пособие. Москва: Металлургия. 359 с.
- Эшби, М.; Джонс, Д. 2010. *Конструкционные материалы. Полный курс*: учебное пособие. Перевод 3-го английского издания. Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект». 672 с.