

## **Metallų suvirinimas ir litavimas**

### **Lankinis, dujinis, kontaktinis suvirinimas. Specialūs suvirinimo būdai Paviršiaus apvirinimas ir metalizavimas. Metallų pjovimas ir litavimas**

#### **4.1. Pagrindinės žinios apie medžiagų suvirinimą**

**Suvirinimo proceso apibūdinimas.** Suvirinimas yra technologinis procesas, kuriuo gaunamas neišardomas detalių sujungimas. Suvirinami metallai ir jų lydiniai, stiklas, keramikos dirbinių detalės, plastikai, metallai su nemetallais ir kt. Suvirinimas yra našus, pigus ir svarbiausias technologinis procesas ištisai laivų korpusams, skysčių ir dujų rezervuarams, cisternoms, metaliniams vagonams, katilams, garo ir hidrauliniams turbinoms suvirinti. Suvirinant yra mažiau gamybos atliekų, taupiau naudojamos medžiagos, pavyzdžiui, pakeitus kniedytas konstrukcijas suvirintomis, jų sutaupoma apie 15–20 %.

Pagal ruošinių sujungimo būdą suvirinimas skirstomas:

1. Lydomasis suvirinimas – dėl išsiskyrusios šilumos ruošinių briaunos apsilydo, susidaro bendra išlydytų medžiagų vonelė. Jai sukietėjus gaunama suvirinimo siūlė. Suvirinant šiuo būdu, gali gerokai pasikeisti besikristalizuojančiojo siūlės metallo:
  - cheminė sudėtis (suvirinimo vonelėje išlydytas metallas oksiduojasi, tirpsta azotas ir išdega legiruojantys elementai),
  - struktūra (susidaro dendritinė siūlė),
  - mechaninės savybės (sumažėja plastiškumas ir kt.).

*Lydomojo suvirinimo būdai (4.1 lentelė.):*

- lankinis (11, 12, 13, 14, 15, 18) – lydalo vonelė susidaro lydantis pagrindiniam metallui ir elektrodui (ar miltelinei vielai); pagrindiniam metallui, nelydžiajam elektrodui ir pridėtiniam metallui; degant lankui tarp volframo elektrodo ir plazmotrono tūtos arba ruošinio;
- dujinis (31) – gaminio briaunos ir pridėtinis metallas išlydomi liepsna, susidaranti degant degiųjų dujų ir deguonies mišiniui;
- elektronpluoštis (51) – ruošinys kaitinamas kinetine elektronų energija;
- lazerinis (52) – ruošinių jungimo vieta sugeria lazerio spinduliuotę ir susilydo susidarant išlydyto metallo vonelei;
- elektrošlakinis (72) – pagrindinis ir pridėtinis metallas išlydomi šiluma, kuri išsiskiria praleidžiant elektros srovę per skysto šlako vonią;
- kt.

Palyginti su slėginiu suvirinimu, lydomasis suvirinimas yra universalesnis.

2. Slėginis suvirinimas – dėl plastinės deformacijos gaunamas glaudus suvirinamųjų paviršių kontaktas ir lietimosi vietoje (suvirinimo zonoje) vyksta atomų difuzija. Metalo plastiškumui padidinti suvirinamosios siūlės sritis dažniausiai įkaitinama. Suvirinimo zonos savybės artimos suvirinamojo metalo savybėms.

*Slėginio suvirinimo būdai (4.1 lentelė.):*

- kontaktinis (2) – elektros srovė įkaitina suspaustų detalių sąlyčio zoną iki plastinės būsenos arba iki tol, kol apsilydo. Išjungus maitinimą ir papildomai suspaudus, detalės suvirinamos;
- ultragarsinis (41) – neišardomas detalių sujungimas gaunamas jas veikiant ultragarsinio dažnio virpesiais ir kartu spaudžiant nedidele jėga;
- trintinis (42) – du paviršiai suvirinami įkaitę dėl trinties ir papildomo spaudimo;
- sprogimu (441) – detalės spaudžiamos didele jėga, kuri susidaro sprogdant sprogstamajam mišiniui;
- šaltasis (48) – suvirinamosios vietos plastiškai deformuojamos jų nekaitinant;
- kt.

*Slėginio suvirinimo privalumai, palyginti su lydomuoju suvirinimu:*

- neaukšta įkaitinimo temperatūra,
- mažesnės deformacijos,
- tačiau mažiau universalus.

Šiam suvirinimo procesui

- reikalinga sudėtingesnė aparatūra,
- suvirinimo zoną reikia apsaugoti nuo oksidacijos ir užteršimo.

Pagal vartojamosios energijos rūšį suvirinimas skirstomas:

- Elektrinis – elektros energija paverčiama šiluma (lankinis, elektrošlakinis, indukcinis, elektronpluoštis ir kt. suvirinimas). Jungties sritis kaitinama tol, kol išsilydo.
- Cheminis – cheminė energija paverčiama šiluma (dujinis ir kt. suvirinimas). Suvirinimo zonoje medžiagų briaunos išsilydo. Joms sustingus, gaunamas sujungimas (4.1 pav.).
- Mechaninis – sujungiami plastiškai deformuoti metalai (šaltasis, detonacinis suvirinimas, suvirinimas trintimi ir kt.).
- Elektromechaninis – ruošinių lietimosi zona įkaitinama iki plastinio būvio arba iki tol, kol apsilydo ir, papildomai paspaudus, suvirinama (kontaktinis suvirinimas ir kt.).

- Cheminis mechaninis – sujungimas gaunamas įkaitinus metalą iki plastinio būvio ir jį deformavus (dujinis slėginis ir kt. suvirinimas).

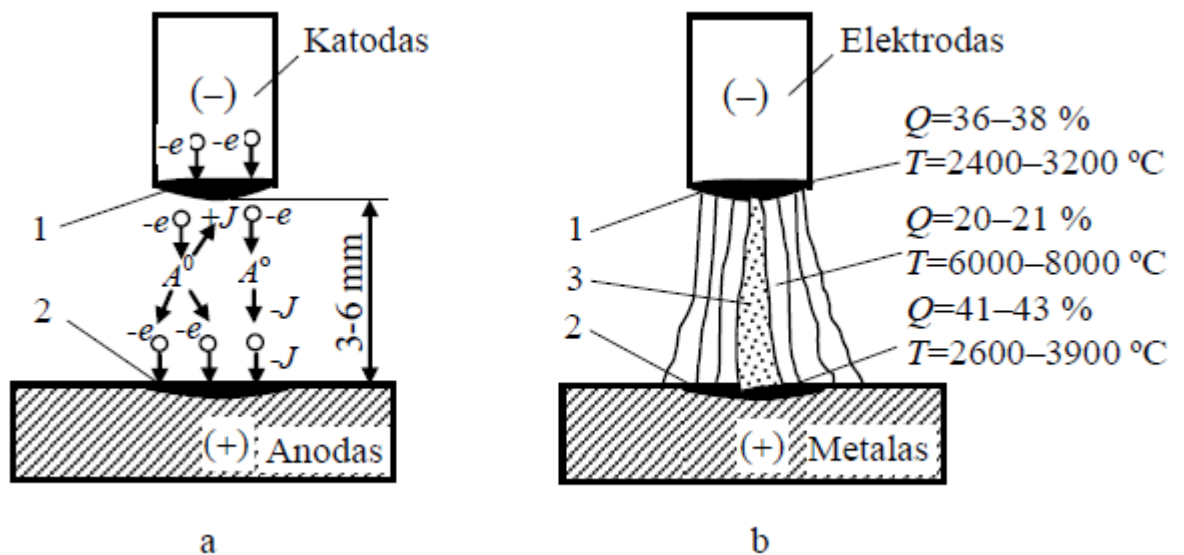


4.1 pav. Termitinis suvirinimas

## 4.2. Lankinis suvirinimas

### 4.2.1. Elektros lankas ir jo savybės

Elektros lankas yra galingas stabilus elektros išlydis jonizuotų dujų terpėje tarp elektrodų. Elektrodai jungiami prie nuolatinės arba kintamosios srovės šaltinio.



4.2 pav. Suvirinimo lanko schema: *a* – nuolatinės srovės lanko išlydis jonizuotose dujose; *b* – šilumos ir temperatūros pasiskirstymas: 1 – katodinė sritis; 2 – anodinė sritis; 3 – lanko stulpas;  $A^0$  – neutralus atomas;  $e$  – elektronas;  $+J$  – teigiamas jonas;  $-J$  – neigiamas jonas

Elektros išlydis dujose galimas dėl jose esančių laisvųjų elektronų ir teigiamų bei neigiamų jonų. Procesas, kurio metu iš neutralių atomų ir molekulių susidaro teigiami ir neigiami jonai, vadinamas jonizacija. Norint gauti elektros lanką, reikia jonizuoti tarp elektrodų esantį oro tarpą (arba kitą dujinę terpę). Kadangi metaluose yra didelė laisvųjų elektronų koncentracija, šiuos elektronus galima panaudoti dujų molekulėms jonizuoti. Elektronams „ištraukti“ iš metalo reikalinga aukšta temperatūra (*termoelektroninė emisija*) ir stiprus elektrinis laukas (*autoelektroninė emisija*).

Vykstant elektronų emisijai (4.2 pav., a), elektronai, veikiami elektrinio lauko, dideliu greičiu skrieja nuo katodo link anodo. Susidūrę su neutraliaisiais dujų atomais  $A^0$ , išmuša iš jų elektronus arba su jais susijungia ir taip jonizuoja dujas tarp anodo ir katodo.

- Jei elektronas, susidūręs su neutraliuoju atomu, išmuša iš jo du elektronus, susidaro *teigiamas jonas* (+ $J$ ). Jis dideliu greičiu skrieja prie katodo ir išmuša iš jo naujus elektronus. Laisvieji elektronai taip pat dideliu greičiu skrieja link anodo, susiduria su juo ir savo kinetinę energiją paverčia šiluma.
- Jei elektronas, susidūręs su neutraliuoju atomu, jį prisijungia, susidaro *neigiamas jonas* (– $J$ ). Šis taip pat skrieja dideliu greičiu link anodo, su juo susiduria, ir jo kinetinė energija virsta šiluma.

Degant lankui, prie katodo (neigiamas polius) susidaro katodinė sritis 1, o prie anodo (teigiamas polius) – anodinė sritis 2. Plieninių elektrodų katodinės srities temperatūra siekia apie 2400 °C, anodinės srities – 2600–3000 °C. Suvirinant angliniu elektrodu, temperatūra katodo srityje siekia iki 3200 °C, anodo srityje – apie 3900 °C. Tarpas tarp elektrodų vadinamas *lanko stulpu* 3 (4.2 pav., b). Temperatūra šioje zonoje siekia 6000–8000 °C.

Praktika rodo, kad 65–75 % lanko šilumos tenka metalui įkaitinti ir išlydyti. Likusi šiluma išspinduliuojama į aplinką, pasišalina su garais ir įkaitusiomis dujomis.

#### **Suvirinant nuolatine srove,**

daugiausia šilumos išsiskiria anodo srityje (42–43 %). Skirtinga katodo ir anodo zonų temperatūra taikoma technologiniams uždaviniams spręsti:

- Kai teigiamas polius (anodas) yra detalė, o neigiamas polius (katodas) – elektrodas, gaunamas tiesioginio poliarumo lankas. Suvirinimo briaunos labiau įkaitinamos.
- Kai neigiamas polius (katodas) yra detalė, o teigiamas polius (anodas) – elektrodas, gaunamas priešingo poliarumo lankas. Tuomet mažiau įkaista suvirinamoji detalė, bet greičiau lydosi elektrodas ir daugiau išsiskiria šilumos. Naudojamas plonasienėms ar plonalakštėms konstrukcijoms, taip pat nerūdijančiajam, atspariam kaitrai, labai anglingam ir kt. plienui suvirinti.

#### **Suvirinant kintamąja srove,**

katodo ir anodo zonų temperatūra ir išsiskiriančios šilumos kiekis suvienodėja, kadangi katodinė ir anodinė sritys periodiškai keičiasi dažniu, lygiu srovės dažniui.

Per tam tikrą laiką įtampa ir srovė periodiškai keičiasi nuo nulinės vertės iki didžiausios. Keičiantis įtampai ir srovei,

- keičiasi lanko temperatūra,
- keičiasi jonizacijos laipsnis lanko zonoje,
- nestabiliai dega lankas.

Kai įtampa lygi nuliui, srovė lanke nutrūksta ir lankas gęsta. Kad lankas degtų, reikalinga didesnė įtampa.

Metalai ir nemetalai suvirinami, apvirinami ir pjaustomi rankiniu lankiniu būdu glaistytaisiais elektrodais (*MMA welding – manual metal arc welding*), lankiniu būdu vieliniu elektrodu inertinėse dujose (*MIG welding – metal inert gas welding*), lankiniu būdu nelydžiuoju volframo elektrodu inertinėse dujose (*TIG welding – tungsten inert gas welding*), lankiniu būdu lydžiuoju elektrodu po flusu (*SAW – submerged arc welding*), lankiniu būdu lydžiuoju elektrodu aktyviose dujose (*MAG welding – metal active gas welding*).

Kai suvirinama lydžiuoju elektrodu, elektros lankui sužadinti

- elektrodo galas trumpai priliečiamas prie suvirinamosios detalės ir įvyksta trumpas jungimas (reikalingas elektrodo galui ir su juo kontaktuojančio ruošinio zonai įkaitinti);
- kontakto vietoje išsiskiria daug šilumos, tarp abiejų paviršių išsilydo nelygumai, metalas lydosi;
- tolinant elektrodą nuo detalės (3–6 mm), skystas lydalas tįsta (susidaro lydalo kaklelis), mažėja jo skerspjūvis, dėl to padidėja srovės tankis (elektros varža), lydalas įkaista iki virimo temperatūros ir išgaruoja;
- aukštoje temperatūroje jonizuojasi metalo garai ir tarp elektrodų esančios dujos;
- susidariusioje jonizuotoje aplinkoje vyksta elektros išlydis (dega lankas).

Lanko sužadinimo procesas trunka sekundės dalis. Įtampa lankui sužadinti priklauso nuo srovės rūšies (nuolatinė ar kintamoji), elektrodo ir suvirinamųjų medžiagų, elektrodo glaisto ir kt.

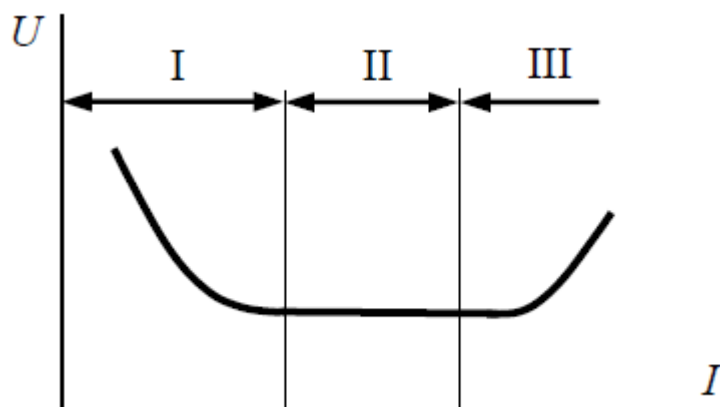
Stabilus lanko degimas priklauso nuo jo srovės stiprio ir įtampos tarpusavio priklausomybės. Ši priklausomybė vadinama lanko statine voltamperine charakteristika (4.3 pav.).

Charakteristiką galima suskirstyti į 3 zonas:

I – *Krintančioji charakteristika*. Elektros lankas nėra pakankamai stabilus, todėl taikomas ribotai.

II – *Kietoji charakteristika*. Įtampa beveik nepriklauso nuo srovės. Šios charakteristikos lankas tinka suvirinti rankiniu lankiniu būdu, automatais po flusu ir apsauginėse dujose nelydžiuoju elektrodu.

III – *Kylančioji charakteristika*. Elektros lankas pritaikytas lankiniam suvirinimui lydžiuoju elektrodu apsauginėse dujose, taip pat automatiškai suvirinti po flisu.



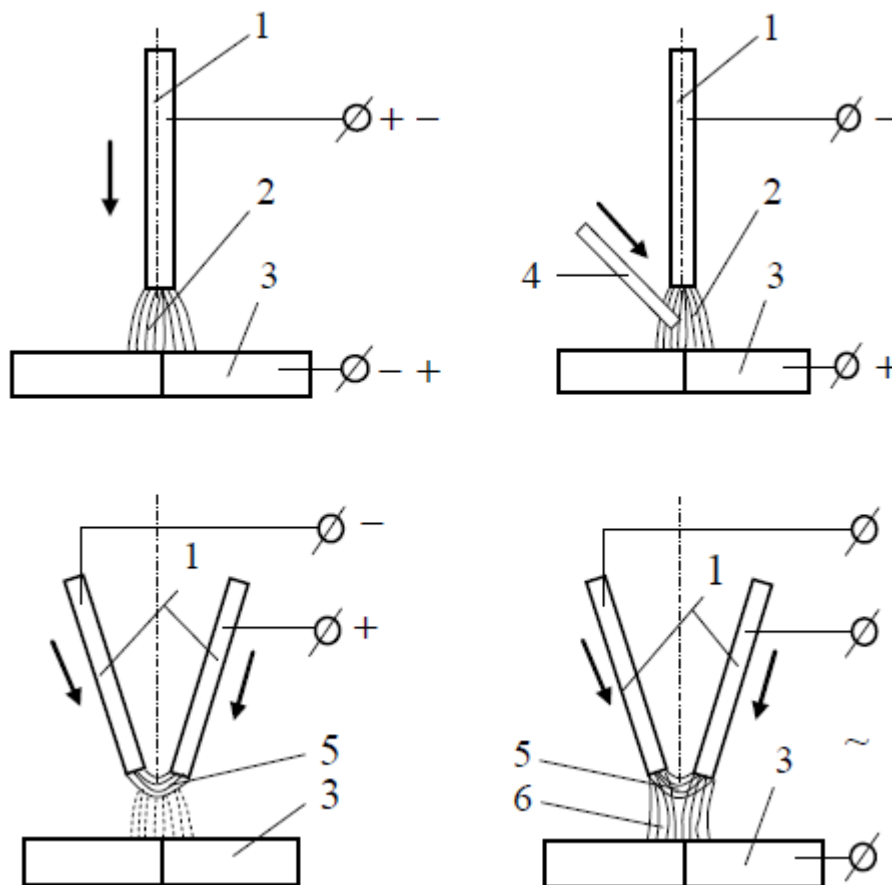
4.3 pav. Statinė voltamperinė suvirinimo lanko charakteristika: I – krintančioji; II – kietoji; III – kylančioji

Pagal darbo principą lankas yra *tiesioginio*, *netiesioginio* ir *kombinuoto* veikimo.

Tiesioginis lankas 2 dega tarp elektrodo 1 (lydžiojo arba nelydžiojo) ir ruošinio 3 (4.4 pav., *a*). Suvirinant nelydžiuoju elektrodu, ruošiniai sujungiami išlydžius ruošinio metalą 3 ir pridėtinį metalą 4 (4.4 pav., *b*).

Netiesioginis lankas 5 dega tarp dviejų, dažniausiai nelydžiųjų, elektrodų 1, kai ruošinys 3 įkaista ir lydosi veikiant elektros lanko stulpo šilumai (4.4 pav., *c*).

Trifazis lankas 5–6 (vartojama trifazė srovė) dega tarp elektrodų 1 ir tarp kiekvieno elektrodo ir ruošinio 3 (4.4 pav., *d*).



4.4 pav. Suvirinimo lankas: *a* – tiesioginis (suvirinama lydžiuoju elektrodu); *b* – tiesioginis (suvirinama nelydžiuoju elektrodu); *c* – netiesioginis; *d* – mišrusis; 1 – elektrodas; 2, 5, 6 – elektros lankas; 3 – suvirinamas ruošinys; 4 – pridėtinis metalas

#### 4.2.2. Suvirinimo lanko maitinimo šaltiniai

**Maitinimo šaltiniams keliami reikalavimai.** Suvirinant rankiniu būdu, trumpai prilietus elektrodą prie ruošinio (lankui uždegti) arba elektrodo metalui susilietus su ruošinio metalu (suvirinimo metu), lanko įtampa krinta iki nulio. Po to lankas vėl užsidega, trumpėja ir t. t. Vykstant suvirinimo grandinėje trumpiesiems jungimams, susidaro didelio stiprio srovės (trumpojo jungimo srovės), dėl ko gali perdegti srovės šaltinio laidai ir apvijos. Stabiliam suvirinimo procesui gauti lanko maitinimo šaltiniai turi atitikti šiuos reikalavimus:

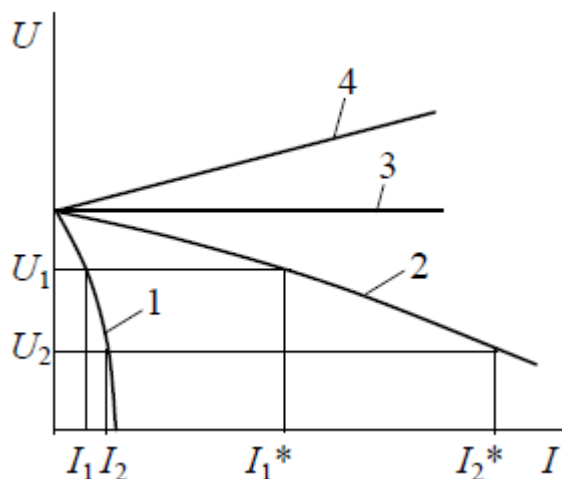
1. Tuščiosios eigos įtampa turi būti pakankama lankui sužadinti, tačiau ne didesnė už leistinąją saugiam darbui užtikrinti, t. y. kintamosios srovės šaltiniams tuščiosios eigos įtampa turi būti ne didesnė kaip 80V, nuolatinės srovės šaltiniams – iki 110V.
2. Geros dinaminės savybės. Kuo greičiau atsikuria įtampa po trumpojo jungimo, tuo geresnės srovės šaltinio dinaminės savybės (įvykus trumpajam jungimui, įtampa nuo 0 iki 30 V turi atsikurti greičiau kaip per 0,05 s).
3. Trumpojo jungimo srovė turi būti didesnė už suvirinimo srovę 1,25–2 kartus.

4. Galimybė reguliuoti suvirinimo srovę reikiamose ribose. Tuomet galima naudoti skirtingo skersmens elektrodus ruošiniams suvirinti.
5. Srovės šaltinis turi būti pakankamos galios suvirinimo darbams atlikti.

#### **Maitinimo šaltinio išorinės charakteristikos.**

Išorinė (voltamperinė) charakteristika vadinama maitinimo šaltinio išėjimo gnybtų įtampos ir srovės grandinėje tarpusavio priklausomybė. Dažniausiai naudojami šaltiniai, kurių išorinė charakteristika yra krintančioji 1, nuožulniai krintančioji 2, mažo nuolydžio 3 ir kylančioji 4 (4.5 pav.). Jos parenkamos pagal suvirinimo būdą.

Srovės šaltiniai su krintančiomis išorinėmis charakteristikomis dažniausiai naudojami suvirinti rankiniu būdu, nes įtampos svyravimai dėl suvirintojo kaltės, suvirinamųjų ruošinių paviršiaus nelygumų ir kt. nesukelia esminių suvirinimo srovės pakitimų, t. y. lankui sutrumpėjus (lanko įtampai  $U_1$  sumažėjus iki  $U_2$ ), srovė padidėja labai mažai (nuo  $I_1$  iki  $I_2$ ) ir suvirinimo režimas iš esmės nesikeičia.



4.5 pav. Suvirinimo šaltinių išorinės charakteristikos: 1 – krintančioji; 2 – nuožulniai krintančioji; 3 – mažo nuolydžio; 4 – kylančioji

Nuožulniai krintančiosios charakteristikos šaltinis dažniausiai naudojamas virinti automatais ir pusautomatais po fliusu, kai nereikia rankomis reguliuoti lanko ilgio. Truputį pakitus įtampai (nukritus iki  $U_2$ ), padidėja srovė (iki  $I_2^*$ ), elektrodinė viela lydosi greičiau ir lanko ilgis atkuriamas. Jei įtampa padidėja per daug, suvirinimo srovė gerokai sumažėja ir viela lydosi lėčiau. Lankas atsikuria savaime.

Mažo nuolydžio ir kylančiosios charakteristikos suvirinimo srovės šaltiniai naudojami virinti lydziaisiais elektrodais apsauginėse dujose.

Visų maitinimo šaltinių pagrindinis parametras yra suvirinimo srovė. Degant elektros lankui, įtampa tarp elektrodo ir ruošinio yra 18–30 V. Tuščiosios eigos metu įtampa siekia 60–80 V.

Suvirinimo lankui maitinti naudojami šaltiniai:



1. Kintamosios srovės (suvirinimo transformatoriai).
2. Nuolatinės srovės (suvirinimo keitikliai, lygintuvai ir kt.).

**Kintamosios srovės suvirinimo šaltiniai.** Su virinimo transformatoriai naudojami 380 V tinklo įtampai pažeminti iki suvirinimo lankui reikalingos įtampos, reikiamai išorinei charakteristikai gauti ir suvirinimo srovei reguliuoti. Kintamosios srovės šaltiniai yra paprastos konstrukcijos ir ekonomiškesni už nuolatinės srovės šaltinius. Jų ilgesnis tarnavimo laikas, didelis naudingumo koeficientas ( $\eta$  iki 0,85). Tačiau, suvirinant silpna srove glaistytaisiais elektrodais ar po fliusu, nestabiliai dega lankas (kas 0,01 s srovė ir įtampa lygi nuliui, todėl nutrūksta lanko tarpo jonizacija).

**Nuolatinės srovės suvirinimo šaltiniai.** Kai kurie metalai, jų lydiniai (spalvotieji metalai, nerūdijantysis plienas ir kt.) ir plonasieniai ruošiniai suvirinami nuolatine srove. Technologiniai privalumai – stabilesnis lanko degimas, geresnės suvirinimo sąlygos įvairiose erdvinėse padėtyse, galima suvirinti tiesioginio arba priešingo poliarumo (aukštesnė elektrodo temperatūra) srove ir kt.

Suvirinimo keitiklį sudaro suvirinimo generatorius ir elektros arba vidaus degimo (benzininis, dyzelinis) variklis.

Suvirinimo lygintuvai kintamąją srovę paverčia reikiamos išorinės charakteristikos nuolatine. Lygintuvai patikimi, pigūs, juose nėra sukamųjų darbinių dalių, jų didelis naudingumo koeficientas, mažesni energijos nuostoliai tuščiosios eigos metu. Lygintuvą sudaro trifazis įtampą žeminantis transformatorius, suvirinimo srovės regulatorius, seleno arba silicio ventilių blokas ir paleidimo bei apsauginė aparatūra. Transformatoriaus išorinė charakteristika yra krintančioji. Keičiant atstumą tarp ričių (artinant apvijas vieną prie kitos), varža mažėja, o srovė stiprėja, ir atvirkščiai. Taip tolygiai reguliuojama suvirinimo srovė. Transformatoriaus tuščiosios eigos įtampa šiek tiek priklauso nuo atstumo tarp ričių: ji sumažinus įtampa paaukštėja. Transformatorių aušina ventiliatoriai.

**Suvirinimas be suvirinimo aparato (4.6 pav.).** Panaudojus specialius suvirinimo elektrodus, galima virinti, lituoti ir pjaustyti be papildomo energijos šaltinio visų rūšių plieną ir ketų, privirinti vario kontaktą prie plieninės plokštelės ar strypo, virinti varį ir jo lydinius ir kt. Suvirinimo elektrodą sudaro specialaus termitinio mišinio (su fliusais) pripildytas cilindrinis apvalkalas ir antgalis laikikliui įstatyti. Elektrodai uždegami kelių degtukų arba žiebtuvėlio liepsna per 4–5 s.

Plienui ir ketui virinti naudojamų elektrodų degančio mišinio temperatūra siekia 1700–1800 °C. Šiais elektrodais galima suvirinti 0,3–6 mm storio metalus.

Pjaustyti skirtų elektrodų degančio mišinio temperatūra siekia 2800 °C. Elektrodais galima pjaustyti 22–25 mm skersmens metalinius strypus ir 6–8 mm storio lakštus. Vidutiniškai pjovimo ilgis sudaro apie 50 % elektrodo ilgio. Elektrodų trūkumas – jų negalima panaudoti dar kartą; reikia leisti jiems sudegti arba gesinti smėlyje (žemėje); draudžiama naudoti esant mechaniniams elektrodo pažeidimams; netinka aliuminiui ir plastikams virinti, ribotai – variui ir jo lydiniams.



4.6 pav. Suvirinimas elektrodu nenaudojant energijos šaltinio

#### 4.2.3. Suvirinimo medžiagos

**Elektrodinė viela.** Siūlės metalas turi būti stiprus, plastiškas, ne prastesnių savybių už pagrindinį metalą. Virinama apsauginėse dujose ir jų mišiniuose įvairiose padėtyse, po flisu ir kt. Suvirinti ir aplydyti gaminama plieninė šaltai traukta apvalaus skerspjūvio viela:

- 0,3–3 mm skersmens viela suvirinama apsauginėse dujose ir jų mišiniuose (*MIG, MAG* suvirinimas);
- 1,6–6 mm skersmens viela naudojama elektrodų strypams gaminti (*MMAW*);
- 2–8 mm skersmens viela – apvirinti.

Vielos paviršius turi būti lygus, glotnus, švarus, neriebaluotas, be rūdžių.

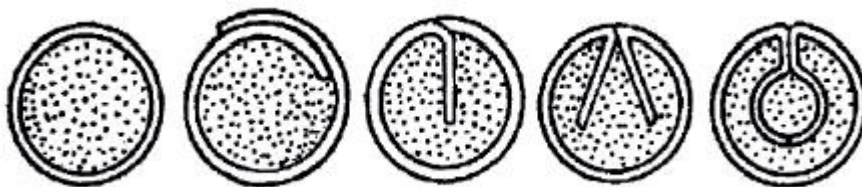
Elektrodinės vielos cheminė sudėtis dažniausiai artima suvirinamojo plieno sudėčiai. Viela, naudojama kaip elektrodas ar kaip pridėtinis metalas suvirinant kitais būdais, turi turėti mažiau priemaišų. Nelegiruotoje vieloje leistinas sieros ir fosforo kiekis neviršija 0,03 %, kitaip suvirintoje siūlėje gali atsirasti plyšių. Kad plienas siūlės metalo neužsigrūdintų ir būtų plastiškas, ribojamas anglies kiekis (0,03–0,15 % C). Tik apvirinimo elektroduose, kai norima gauti atsparų dilimui paviršių, anglies vieloje gali būti daugiau. Siūlės metalo stipri, atsparumą korozijai, oksidacijai ir kt. didina legiruojantieji elementai. Jų suvirinimo vieloje turi būti šiek tiek daugiau, nes dalis legiruojančiųjų elementų suvirinant išdega.

**Miltelinė viela.** Gamyboje plačiai taikoma miltelinė elektrodinė viela, kurią sudaro plieninis vamzdelis, pripildytas dujas ir šlaką sudarančių medžiagų, ferolydinių ir metalo miltelių (4.7 pav.). Miltelinės vielos skersmuo 0,8–4 mm.

Miltelių sudėtis parenkama tokia, kad sustingęs skystasis lydinys atitiktų siūlės metalui nustatytas savybes. Miltelinė viela naudojama įvairiems metalams suvirinti ir apvirinti (4.3 lentelė). Ja suvirinama po flisu arba apsauginėse dujose (virinant milteline viela su rutiliniu užpildu, papildomai naudojama anglies dioksido apsauga). Dažniausiai suvirinamas mažaanglis ir mažai

legiruotasis konstrukcinis, armatūrinis plienas. Ketus, spalvotieji metalai ir jų lydiniai virinami rečiau.

Miltelinė viela nuo oro poveikio apsaugo išlydytą metalą, tačiau į siūlės metalą patenka azoto. Tai priklauso nuo užpildo kiekio, tipo ir virinimo režimo. Užpildas lydosi lėčiau negu apvalkalėlis, todėl neišsilydžiusios dalelės patenka į vonelę ir ją užteršia nemetaliniais intarpais. Kad užpildas lydytųsi greičiau, reikia naudoti miltelinę vielą su didesniu geležies miltelių kiekiu.



4.7 pav. Miltelinės vielos vamzdelių formos

**Elektrodai ir jų glaistai.** Gaminama labai daug įvairios paskirties elektrodų. Pasirinkti tinkamiausių savybių elektrodą nėra lengva, nes reikia įvertinti suvirinamosios medžiagos ir elektrodo cheminę sudėtį, siūlės metalo mechanines savybes, suvirinimo būdą, suvirintojo gaminio eksploataavimo sąlygas, elektrodų kainą ir kt.

Rankinio lankinio suvirinimo ir apvirinimo elektrodai klasifikuojami pagal paskirtį (plienui, ketui, aliuminiui ir kt. suvirinti), glaisto rūšį, siūlės metalo fizikines, chemines, mechanines savybes ir kt.

Suvirinama lydziaisiais ir nelydziaisiais elektrodais.

- Nelydieji elektrodai naudojami tik lankui sužadinti ir jo degimui palaikyti. Gaminami iš volframo, volframo su torio, lantano, cerio, cirkonio, itrio ir kt. oksido priemaisomis (iki 2,2 %), elektrotechninės anglies ir sintetinio grafito. Dažniausiai naudojami volframo elektrodai (gryno volframo ar volframo su sunkiai lydžiomis priemaisomis), pvz.:

WP (99,8 % W, kt. priemaišų  $\leq 0,2$  %. Elektrodo galas žalios spalvos);

WL20 (1,9–2,1 %  $La_2O_3$ , kt. priemaišų  $\leq 0,2$  %, likęs W, %; elektrodo galas mėlynas);

WT20 (1,7–2,2 %  $ThO_2$ , kt. priemaišų  $\leq 0,2$  %, likęs W, %. Elektrodo galas raudonas);

WC20 (1,8–2,2 %  $CeO_2$ , kt. priemaišų  $\leq 0,2$  %, likęs W, %. Elektrodo galas pilkas);

WZ8 (0,7–0,9 %  $ZrO_2$ , priemaišų  $\leq 0,2$  %, likęs W, %. Elektrodo galas baltas).

Jų skersmuo (0,5–10 mm) priklauso nuo srovės stiprio.

Grafitiniai ir angliniai elektrodai nelabai laidūs šilumai. Jų skersmuo 4–18 mm. Grafitiniai elektrodai laidesni elektrai ir atsparesni karščiui nei angliniai. Siūlės metalui sudaryti naudojamas pridėtinis strypas arba viela. Jų skersmuo parenkamas pagal suvirinamojo metalo storį ir virinimo būdą.

- Lydieji elektrodai – naudojami strypai su glaistu arba suvirinimo viela. Pagal glaisto tipą lydieji elektrodai yra:
  - Neglaistytieji elektrodai. Suvirinant tokiais elektrodais, siūlė neapsaugota nuo oro poveikio ir greitai ataušta. Jos metale lieka deguonies ir azoto, nemetalinių priemaišų ir dujų pūslelių, kurios nespėja iškilti. Todėl iš esmės negalima gauti kokybiškos siūlės.
  - Glaistytieji elektrodai. Tai tam tikro ilgio (dažniausiai iki 450 mm) ir skersmens elektrodinės vielos strypai, padengti 0,1–3 mm glaisto sluoksniu.

Elektrodų glaistas gali būti plonas (stabilizuojantis arba jonizuojantis) ir storas.

- *Plonas glaistas* ( $D \cdot d \leq 1,2$  mm, čia  $D$  – elektrodo su glaistu skersmuo;  $d$  – strypo skersmuo) skirtas lanko stabilumui padidinti. Šis glaistas sudarytas iš kreidos ( $CaCO_3$ ) ir skystojo kalio arba natrio stiklo (dažniausiai naudojamas natrio silikatas [ $Na_2(SiO_2)_m$ ]). Kreidoje esantys kalcio jonai lengvai išgaruoja lanko plazmoje ir lankas dega stabiliau. Tačiau plonas glaistas neapsaugo išsilydžiusio metalo siūlės, dėl to suvirinant jis oksiduojasi ir nitruojasi, išdega anglis, manganas, silicis. Siūlė yra trapi, porėta, su įvairiais nemetaliniais intarpais. Plonai glaistytaisiais elektrodais suvirinamos tik nesvarbios siūlės.
- *Storai glaistytuoju* elektrodu ( $D \cdot d \geq 1,5$ ) gaunama aukštos kokybės suvirintoji jungtis.

Nuo glaisto savybių priklauso prilydyto (siūlės) metalo stipris, santykinis pailgėjimas, smūginio suardymo energija, cheminė sudėtis, vandenilio kiekis, srovės rūšis, prilydymo koeficientas, virinimo padėtys. Keičiant glaisto medžiagas ir jų kiekį, galima gauti didelę elektrodo glaistų įvairovę.

Glaisto sudėtyje yra *lanko degimą stabilizuojančiųjų* (kreida, natrio ir kalio silikatai, potašas, marmuras, maži geležies oksido kiekiai), *jonizuojančiųjų* (titano dioksidas), *dujinančių* (celiuliozė, krakmolas, kreida, magnезitas), *šlaką sudarančiųjų* (mangano rūda, marmuras, rutilas, lauko špatas), *deoksiduojančiųjų* (feromanganas, ferosilicis), *legiruojančiųjų* (ferochromas, feromolibdenas, ferotitanas ir kt.) ir *glaisto medžiagas rišančiųjų* komponentų. Riškis sujungia miltelinius komponentus į glaisto masę, o išdžiovinus ir pakaitinus, elektrodų glaistas tampa pakankamai tvirtas.

Legiravimo elementų ( $Ni$ ,  $Cr$ ,  $Mo$  ir kt.) patekimas iš glaisto į siūlės metalą priklauso nuo oksiduojančiosios šlako gebos. Metalurginės šlako rūšių savybės lemia jų klampis, dujų pralaidumas, kristalizacijos temperatūra ir greitis. Kai šlakas labai klampus, metale ištirpusios dujos sunkiai pašalinamos iš suvirinimo vonelės. Siūlės metalą gerai formuoja tik greitai metalo paviršiuje stingstantis šlakas.

Vandenilis siūlės metale atsiranda iš suvirinimo medžiagų, kuriose yra vandenilio ir gali būti įtrūkių ir kitų defektų susidarymo suvirintojoje jungtyje priežastis. Pagrindinis vandenilio šaltinis virinant glaistytaisiais elektrodais yra glaisto drėgmė (leistinas drėgmės kiekis yra 0,4–0,7 %), todėl būtina laikytis elektrodų gamintojų rekomendacijų dėl elektrodų laikymo, džiovinimo ir gabenimo sąlygų.

Suvirinama rūgštinio (*A*), bazinio (*B*), celiuliozinio (*C*), rutilinio (*R*), rutilinio rūgštinio (*RA*), rutilinio bazinio (*RB*), rutilinio celiuliozinio (*RC*) ir rutilinio storo (*RR*) glaisto elektrodais:

*A – rūgštinis glaistas.* Jį sudaro silicis, manganas ir geležies oksidai. Prilydyto metalo negalima daug legiruoti, nes legiravimo priedai greitai išdega. Elektrodai su šiuo glaistu naudojami angliniam ir mažai legiruotam plienui virinti. Rūgštinis glaistas išskiria nuodingų mangano junginių.

*B – bazinis glaistas.* Jį sudaro kalcio ir magnio karbonatai, kalcio fluoridas, feromanganas, ferosilicis, ferotitanas. Šlakuose daugiausia yra kalcio fluorida, kalcio oksido, kurie redukuoja vonelės lydalą, nes į jį patenka daug legiravimo elementų. Virinant žemoje temperatūroje, siūlės metalas būna švarus, susidaro mažiau įtrūkių, prilydytame metale vandenilio kiekis neviršija leistinos ribos (15 ml/100 g). Bazinio glaisto elektrodais galima virinti priešingojo poliarumo nuolatine srove visose padėtyse, išskyrus stačiąją, kai virinama iš viršaus į apačią.

*C – celiuliozinis glaistas.* Degant lankui, dujinančios medžiagos saugo išsilydžiusį metalą nuo oro poveikio, sulaiko šlaką virinant stačiojoje padėtyje.

*R – rutilinis glaistas.* Jį sudaro rutilas (titano dioksidas), silicio dioksidas, kalio ir kalcio karbonatai, feromanganas. Rutiliniu glaistu glaistytais elektrodais virinama kintamąja ir nuolatine srove visose padėtyse, išskyrus stačiąją, kai virinama iš viršaus į apačią. Virinimo lankas dega tolygiai, ataušęs šlakas gerai atsiskiria.

*RA – rutilinis rūgštinis glaistas.* Rutilo jame yra daugiau nei geležies oksido. Elektrodai tinka virinti visose padėtyse, išskyrus stačiąją, kai virinama iš viršaus į apačią.

*RB – rutilinis bazinis glaistas* pasižymi geromis mechaninėmis savybėmis. Šiuo glaistu glaistytais elektrodais virinama visose padėtyse, išskyrus stačiąją, kai virinama iš viršaus į apačią.

*RC – rutilinis celiuliozinis glaistas.* Jame daugiau celiuliozės, todėl tinka virinti stačiojoje padėtyje iš viršaus į apačią.

Elektrodų glaisto rūšies parinkimas priklauso nuo suvirinamosios medžiagos. Elektrodų žymėjimo pavyzdžiai duoti [4.4 lentelėje](#). Siekiant palengvinti elektrodo žymenų standarto taikymą, žymenys skirstomi į privalomąją (nurodomi elektrodo tipo, cheminės sudėties ir glaisto simboliai) ir neprivalomąją dalis.

**Suvirinimo fliusai** saugo suvirinimo zoną nuo oro poveikio ir naudojami siūlės metalui legiruoti reikalingais priedais. Suvirinimo metu tarp išsilydžiusio fliuso ir skystojo metalo vyksta

sąveika (redukuojami oksidai), todėl cheminė metalo sudėtis ir mechaninės savybės labai priklauso nuo naudojamo fliuso cheminės sudėties.

Fliusas ant siūlės metalo sudaro šlako plutelę, dėl to metalas lėčiau aušta, lengviau šalinamos dujos ir priemaišos, gaunama tanki, kokybiška siūlė. Šlako plutelė lengvai atskiriama nuo siūlės metalo. Fliusas taip pat stabilizuoja lanko degimo procesą. Fliuso dalelių dydis yra 2,5–0,1 mm ir mažiau.

Suvirinant spalvotuosius metalus (varį, aliuminį) nelydžiuoju elektrodu arba dujomis, fliusas sunkiai lydžius oksidus (jais padengtas metalo paviršius) paverčia lengvai lydžiu šlaku, kuris iškyla į vonelės paviršių ir apsaugo vonelę nuo oksidacijos.

Fliusai klasifikuojami (4.5 lentelė):

Pagal paskirtį (numeracija atitinka fliuso klasę):

1. Nelegiruotajam ir smulkiagrūdžiam, valkšnumui atspariam plienui ir stipriojo plieno rūšims suvirinti.
2. Nerūdijančiajam ir karščiui atspariam plienui, nikeliui ir nikelio lydiniams suvirinti (2B klasė – apvirinimas juostiniu elektrodu).
3. Kietinamasis apvirinimas.
4. Kitos medžiagos (vario ir kt. lydiniams suvirinti).

Pagal gamybos būdą:

- Lydytieji (*F*) – gaunamas sulydžius komponentus ( $SiO_2$ ,  $MnO$ ,  $CaF_2$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $ZnO_2$  ir kt.) elektrinėse arba liepsninėse krosnyse. Išlydytas ir tekančiu vandeniu atšaldytas fliusas sutrūkinėja į smulkias daleles. Po to jis džiovinamas 300–350 °C temperatūroje ir sijojamas sietais. Suvirinat po lydytuoju fliusu, siūlės metalo sudėtis priklauso nuo pridėtinio metalo sudėties ir tik šiek tiek nuo fliuso.
- Aglomeruotieji (*A*) – komponentai (įvairūs oksidai, ferolydiniai, metalų milteliai) smulkiai sumalami ir sumaišomi su skystuoju stiklu. Gauta masė granuliuojama, gautos dalelės iškaitinamos. Naudojant aglomeruotąjį fliusą, siūlės metalas legiruojamas fliuso elementais.
- Mišiniai (*M*) – gaunami sumaišius fliusus po lydymo arba aglomeravimo su vienu ar keliais priedais ar fliusais.

**Apsauginės dujos ir jų mišiniai.** Lydomo metalo vonelei apsaugoti nuo oro poveikio ir neleisti jam oksiduotis naudojamos:

Inertinės dujos (argonas, helis) chemiškai nereaguoja su išlydytu metalu ir nesudaro su juo junginių.

- **Argonas** nedega ir nesprogsta. Tai bespalvės, bekvapės, nenuodingos ir 1,38 karto sunkesnės už orą dujos. Jose turi būti ne daugiau kaip 0,04 g/m<sup>3</sup> drėgmės.
  - *Grynas argonas* (99,9–99,99 % Ar) naudojamas svarbioms siūlėms, labai legiruotam plienui, titanui, aliuminiui, magniui ir jų lydiniams suvirinti.
  - *Techninis argonas* (83,3 % Ar, iki 16 % N<sub>2</sub>, 0,4 % O<sub>2</sub>, 0,3 % CO<sub>2</sub>) naudojamas mažiau svarbioms siūlėms ir variui suvirinti.
- **Helis** lengvesnis už orą, sunkiau apsaugo vonelę nuo oro poveikio, todėl tenka jo sunaudoti daugiau. Šios brangios dujos daugiausia naudojamos specialioms suvirinimo darbams. Helis yra labai grynas ir techninis.

Aktyviosios dujos (anglies dioksidas, azotas, vandenilis, deguonis) reaguoja su išlydytu metalu. Dažniausiai suvirinti naudojamas anglies dioksidas.

- **Anglies dioksidas** (CO<sub>2</sub>) yra aktyvus, todėl naudojamas virinti tik lydžiuoju elektrodu. Tai bespalvės, bekvapės, nenuodingos, 1,52 karto sunkesnės už orą, dujos. Anglies dioksidas yra maistinis, techninis ir suvirinimo.
- **Azotas**, išskyrus variui virinti, beveik nenaudojamas, nes netirpsta išlydytame metale.
- **Vandenilis** naudojamas kaip antioksidantas arba apsauginių dujų priedas, gerinantis įvirinimą.

Dujų mišiniai:

- Argonas+CO<sub>2</sub>; argonas+O<sub>2</sub>; argonas+CO<sub>2</sub>+O<sub>2</sub>; CO<sub>2</sub>+O<sub>2</sub>,
- suskystintas argonas ir azotas juodiesiems ir spalvotiesiems metalams suvirinti ir pjauti.

Pagal [EN ISO 14175](#) standartą suvirinti naudojamos dujos, atsižvelgiant į jų sudėtį, komponentų rūšį ar reakcijas suvirinimo metu, skirstomos į pagrindines grupes:

- **I** – inertinės dujos ar inertinių dujų mišiniai;
- **M1, M2 ir M3** – oksiduojančiųjų dujų mišiniai, kuriuose yra O<sub>2</sub> arba CO<sub>2</sub> dujų, arba O<sub>2</sub> ir CO<sub>2</sub> dujų kartu;
- **C** – labai oksiduojančiosios dujos ir labai oksiduojančiųjų dujų mišiniai;
- **R** – redukuojančiųjų dujų mišiniai;
- **N** – mažai reaktyvios dujos arba redukuojančiųjų dujų mišiniai, kuriuose yra N<sub>2</sub>;
- **O** – deguonis;
- **Z** – specialios sudėties dujų mišiniai.

Lydomojo suvirinimo apsauginių dujų klasifikavimas duotas [4.7 lentelėje](#), žymėjimo pavyzdžiai – [4.8 lentelėje](#).

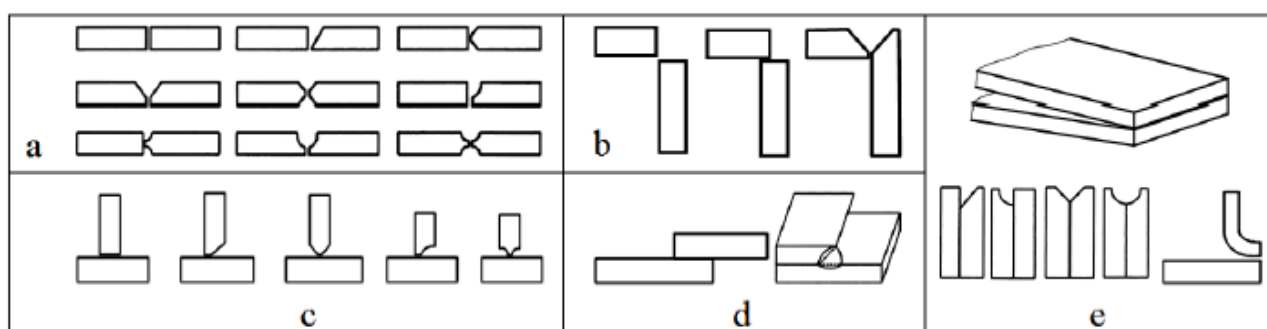


Argono mišiniuose su deguonimi (2–5 %  $O_2$ ) ar anglies dioksidu (10–20 %  $CO_2$ ) metalas šiek tiek oksiduojasi, tačiau ištaškytojo metalo lašeliai neprisivirina prie pagrindinio metalo ir lengviau nuvalomi.

#### 4.2.4. Suvirintosios jungtys ir siūlės

Suvirintoji jungtis yra kelių detalių neišardomas sujungimas. Konstrukcijose naudojamos pagrindinės suvirintosios jungtys (detaliau [EN ISO 17659](#) ir [EN ISO 9692](#)):

1. Sandūrinė (4.8 pav., a) – jungiamieji elementai yra vienoje plokštumoje. Pagal briaunų paruošimą elementai yra nenusklemti ir tiesiai arba kreivai, iš vienos arba abiejų pusių, simetriškai ir nesimetriškai nusklembtomis briaunomis. Tai priklauso nuo suvirinamojo metalo storio, konstrukcijos paskirties ir kt.
2. Kampinė (4.8 pav., b) – du jungiamieji elementai liečiasi briaunomis ir dažniausiai sudaro statų kampą. Detalių briaunos (nusklembtos arba nusklembtos) suvirinamos iš vienos arba abiejų pusių. Kampinės jungtys naudojamos rezervuarams, įvairioms talpoms ir kt. suvirinti.
3. Tėjinė (4.8 pav., c) – prie vieno elemento šoninio paviršiaus statmenai jungiamas kitas elementas ir privirinamas jos galas. Pagal briaunų paruošimą elementai yra be nuosklembų ir nusklembtomis briaunomis (iš vienos ar abiejų pusių).
4. Užleistinė (4.8 pav., d) – suvirinamos detalės išdėstytos lygiagrečiai ir viena dengia dalį kitos. Briaunoms nuosklembos nedaromos. Sujungimai yra vienpusiai ir dvipusiai. Jie blogiau atlaiko kintamas ir dinamines apkrovas nei sandūriniai, sunkiau rasti jų defektus. Naudojami statybinėms konstrukcijoms suvirinti.
5. Briauninė (4.8 pav., e) – du elementai liečiasi briaunomis, kampas tarp jų yra iki 30°.

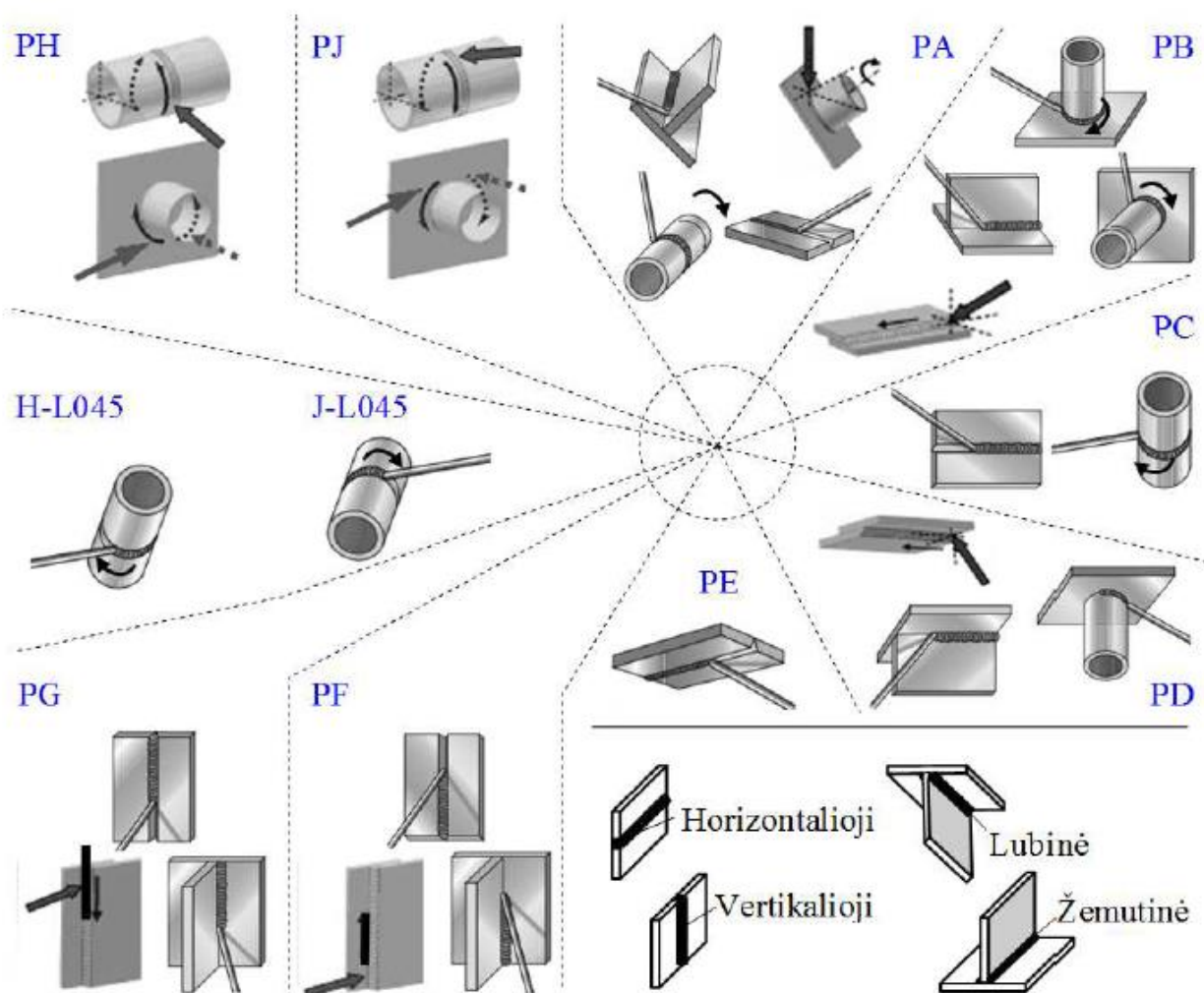


4.8 pav. Pagrindiniai suvirintųjų jungčių tipai ir jungčių briaunų paruošimas: a – sandūrinė; b – kampinė; c – tėjinė; d – užleistinė; e – briauninė

Suvirinimo siūlės klasifikuojamos

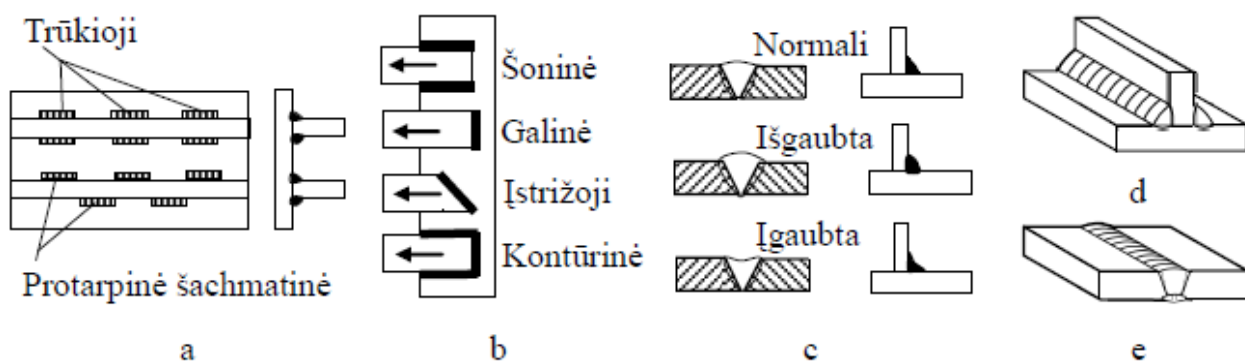
- Pagal padėtį erdvėje (4.9 pav.) – horizontaliosios, vertikaliosios, lubinės, žemutinės.





4.9 pav. Pagrindinės suvirinimo padėtys (EN ISO 6947:2011): PA – žemutinė; PB – horizontalioji žemutinė; PC – horizontalioji; PD – horizontalioji lubinė; PE – lubinė; PF (PH) – vertikalioji aukštynkryptė; PG (PJ) – vertikalioji žemynkryptė; J-L045 – pasviroji žemynkryptė; H-L045 – pasviroji aukštynkryptė (čia  $L$  – posvyrio kampas)

- Pagal vientisumą (4.10 pav., a) – ištisinės, trūkiosios.



4.10 pav. Suvirinimo siūlių klasifikavimas: a – pagal vientisumą; b – pagal padėtį apkrovos atžvilgiu; c – pagal paviršiaus formą; d, e – pagal įlydymo gylį

- *Pagal padėtį veikiančios jėgos atžvilgiu (4.10 pav., b)* – priekinės, šoninės, galinės, įstrižosios, kontūrinės.
- *Pagal paviršiaus formą (4.10 pav., c)* – normalios, išgaubtos (yra didesnio skerspjūvio, todėl vadinamos sustiprintosiomis), įgaubtos (mažesnė įtempių santalka jungties siūlėje).
- *Pagal įlydymo gylį* – dalinio įvirinimo (4.10 pav., d), visiškai įvirintos: vienpusės, vienpusės su šaknies paviršinimu (4.10 pav., e), abipusės.
- *Pagal virinimo kryptį* – išilginės, skersinės.
- *Pagal prilaidumo metalo sluoksnių skaičių (4.16 pav.)* – vienasluoksnės (suformuotos vienu ėjimu), daugiasluoksnės (suformuotos keliais ėjimais).
- *Pagal suvirinimo būdą* – sandūrinės (naudojamos sandūriniams sujungimams), kampinės (naudojamos kampinėms, tėjinėms, užleistinėms jungtims).

Konstruojant virintines jungtis, reikėtų vengti kampinių siūlių, kurių statinio aukštis daugiau kaip 20 % viršija plonesnio iš jungiamųjų elementų storį. Tinkamai padarytose *sandūrinėse jungtyse* yra labai nedidelė įtempių santalka. Jungties paruošimas turi nedidelį poveikį statiškai apkrautų jungčių laikomajai galiai. *Kampinės jungties* su  $U$  ar  $J$  nuosklemba paruošimas dėl mažesnio išlydyto metalo kiekio leidžia labiau sumažinti suvirinimo deformacijas nei  $V$  ar pusinės  $V$  jungties paruošimas. Abipusis jungties paruošimas, siekiant sumažinti liekamasias deformacijas, yra pranašesnis nei vienpusis. *Užleistinėse jungtyse* nenaudojamas briaunų paruošimas. Palyginti su sandūrinėmis jungtimis, jose atsiranda daug didesnė įtempių santalka.

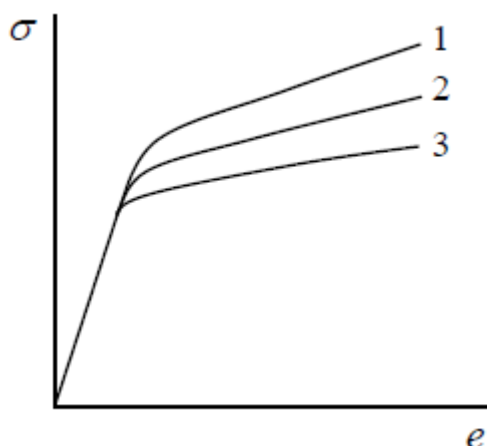
#### 4.2.5. Metalurginiai suvirinimo procesai

**Suvirinimo proceso ypatumai.** Aukštoje temperatūroje metalas garuoja, taškosi, lanko zonoje esančios medžiagos išdega. Lydantis elektrodui ir suvirinamo ruošinio briaunoms, susidaro skysto metalo vonelė. Glaiste esančios medžiagos apsaugo elektrodinio metalo lašą ir suvirinimo vonelę nuo oro deguonies ir azoto poveikio, deoksiduoja vonelės metalą, legiruoja siūlės metalą. Dalis deguonies, azoto ir vandenilio molekulių lanko zonoje skyla į atomus, kurie reaguoja su išlydytu metalu ir jame ištirpsta, sudarydami trapų ataususį metalą.

Dėl mažo metalo vonelės tūrio ir palyginti žemos suvirinamojo metalo temperatūros siūlė greitai stingsta, cheminės reakcijos tarp išsilydžiusio metalo ir šlako vyksta labai sparčiai ir nepasiekia pusiausvyros. Siūlės metalas greitai kietėja ir kristalizuojasi, todėl pasikeičia jo cheminė sudėtis, struktūra ir mechaninės savybės (vonelei greitai auštant, netirpūs junginiai, turintys deguonies, azoto, vandenilio, sieros ir fosforo, kurie patenka iš oro arba iš suvirinamųjų medžiagų, gali likti siūlėje ir sudaryti oksidus, nitridus, dujas, sulfidus, fosfidus ir kt.). Nuo metalo lydymosi pradžios iki jo sustingimo praeina kelios sekundės.

Suvirintosios jungties atskirų sričių (siūlės metalas, terminio poveikio sritis) mechaninės savybės yra geresnės arba prastesnės už pagrindinio metalo savybes, todėl jungtis yra mechanškai nevienalytė. Šis mechaninis nevienalytiškumas (4.12 pav.), jau pasireiškiantis esant statiniam apkrovimui, dar labiau pastebimas ciklinio apkrovimo metu, kai atskiros srities medžiagos yra skirtingų ciklinių savybių (stiprėja, silpnėja).

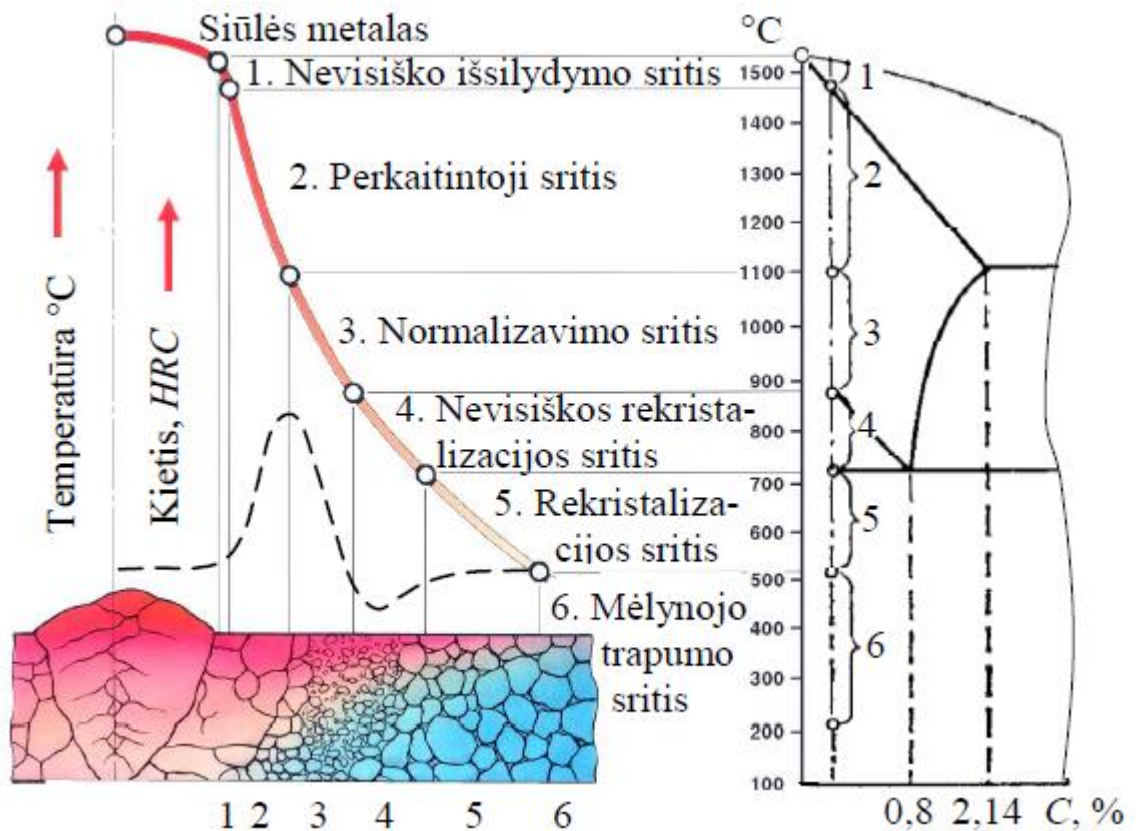
Dažniausiai deformavimo diagramos skiriasi tik tampriai plastinėje srityje (mechaninis nevienalytiškumas), o tampriai deformuojama jungtis dirba kaip viena detalė. Tačiau, viršijus medžiagos proporcingumo ribą, siūlėje kaupiasi plastinės deformacijos, formuojasi triašis įtempių būvis ir atsiranda reiškinys, panašus į įtempių koncentraciją. Esant cikliniam apkrovimui, gerokai sumažėja suvirintosios jungties stipris ir ilgalaikiškumas. Todėl būtina taip parinkti suvirinamąsias medžiagas ir suvirinimo technologiją, kad atskirų jungties zonų medžiagų deformavimo diagramos skirtųsi kuo mažiau.



4.12 pav. Suvirintosios jungties deformavimo diagrama esant cikliniam apkrovimui: 1 – pagrindinis metalas; 2 – terminio poveikio sritis; 3 – siūlės metalas

Terminio poveikio sritį sudaro (4.13 pav.):

1. *Nevisiško išsilydimo sritis*. Šioje zonoje (labai siaura, matuojama mikrometrais) susidaro metalinis ryšys tarp siūlės ir ruošinio metalo. Jei grūdėliai bus pasidengę oksidų plėvele arba tarp jų pateks dujų, tuomet nebus tvirto metalinio ryšio, gali atsirasti įtrūkių.
2. *Perkaitintoji sritis*. Metalas yra įkaitęs iki artimos lydymuisi temperatūros (1100–1450 °C). Šiai zonai būdinga stambiagrūdė struktūra. Dėl perkaitinimo gaunamos prastesnės mechaninės savybės (plastiškumas, tūsumas). Perkaitintas metalas yra silpniausia suvirinimo vieta, todėl dažniausiai šioje zonoje trūksta.



4.13 pav. Mažaanglio plieno terminio poveikio srities struktūra virinant rankiniu lankiniu būdu

3. *Normalizavimo sritis* (900–1100 °C temperatūra). Šioje zonoje įkaitus ir ataušus metalui gaunama smulkiagrūdė struktūra, todėl metalas yra gerų mechaninių savybių.
4. *Nevisiškos rekristalizacijos sritis* (720–900 °C temperatūra). Šioje zonoje yra stambių ir smulkesnių grūdelių. Mechaninės savybės patenkinamos, kadangi gaunama mišri struktūra.
5. *Rekristalizacijos sritis* (450–723 °C temperatūra). Šioje zonoje nevyksta jokių struktūrinių metalo pokyčių, jei metalas prieš suvirinimą nebuvo apdirbtas spaudimu. Jei prieš suvirinimą metalas buvo plastiškai deformuotas, tuomet atsistato pradinė metalo grūdelių forma ir matmenys.
6. *Mėlynojo trapumo sritis* (iki 450 °C temperatūros). Metalo struktūra nesiskiria nuo pagrindinio metalo, tačiau metalas šioje zonoje yra mažesnio plastiškumo ir tūsumo.

Virinant *rankiniu lankiniu būdu*, terminio poveikio sritis siekia 5–6 mm, *automatiškai po fliusu* – 0,5–10 mm (tai priklauso nuo metalo storio ir virinimo režimo – srovės rūšies ir poliarumo, elektrodinės vielos skersmens ir jos pastūmos greičio, įtampos, suvirinimo srovės stiprio ir kt.), virinant *dujomis* – apie 25 mm.



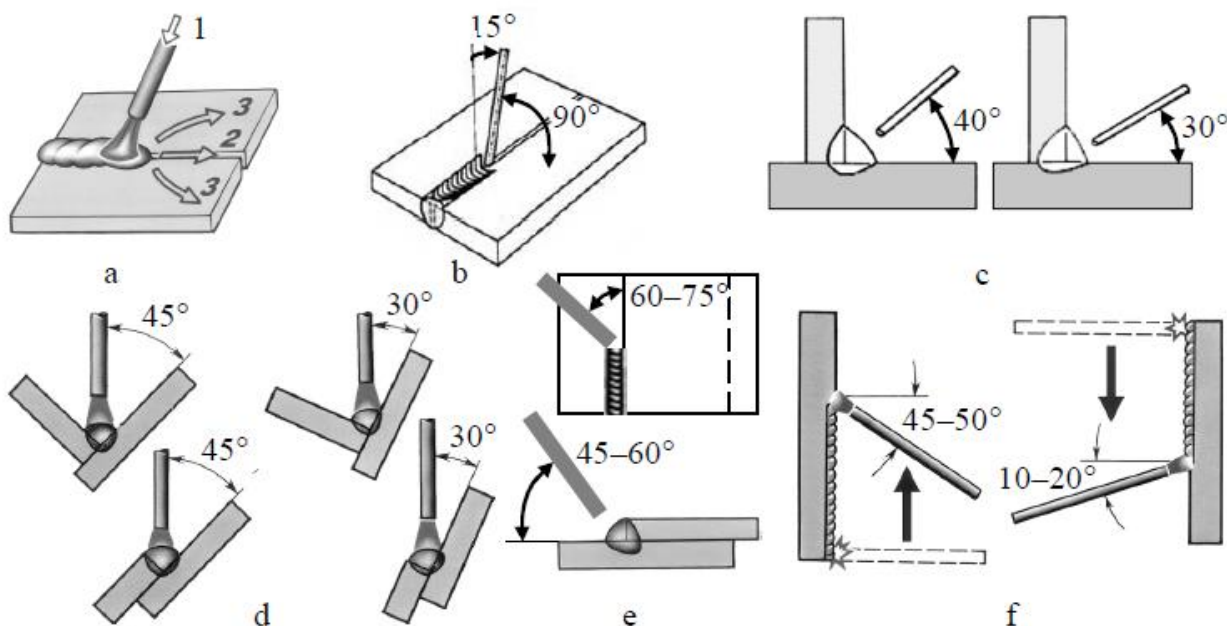
#### 4.2.6. Jungčių suvirinimas

Lankas sužadinamas dviem būdais:

1. Palietus suvirinamąjį gaminį elektrodo galu ir jį atitraukus nuo gaminio paviršiaus 2–4 mm. Liesti reikia labai trumpai, kitaip elektrodas „prilips“ prie paviršiaus.
2. Palietus gaminį greitu šoniniu elektrodo judesiu (degtuko uždegimo metodas) ir atitraukus nuo paviršiaus tokiu pat atstumu.

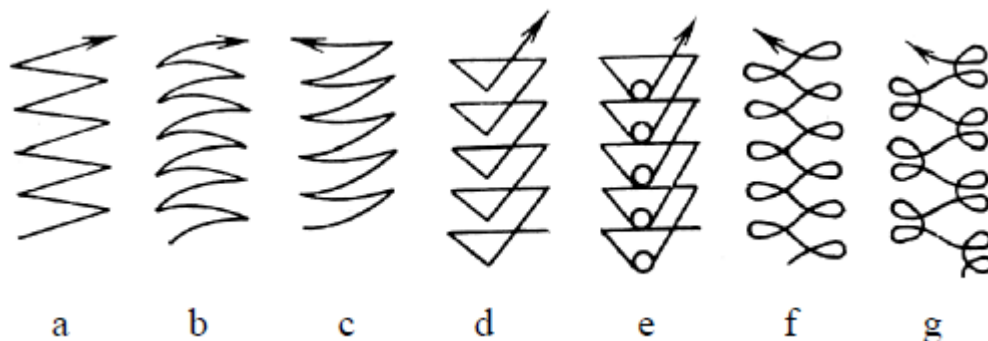
Lydantis elektrodai ir pagrindiniam metalui, susidaro lydalo vonelė. Lanko ilgis turi būti 0,5–1,1 elektrodo skersmens ir vienodas. *Trumpas lankas* (2–4 mm) dega stabiliai ir ramiai. Suvirinus gaunama kokybiška siūlė, nes išsilydęs elektrodo metalas greitai laša lanko tarpeliu ir mažiau oksiduojasi ir nitruojasi. *Kai lankas ilginamas*, mažėja jo stabilumas ir pagrindinio metalo įvirinimo gylis, padidėja elektrodo nuostoliai (nuodegos, tyška pūslai, nelygus siūlės paviršius, siūlės metale yra daug oksidų ir kt.).

Suvirinimo kryptis yra išilgai elektrodo ašies, išilgai ir statmenai siūlės ašies (4.14 pav., a). Elektrodo posvyrio į gaminio plokštumą kampas priklauso nuo suvirinimo padėties, metalo storio ir cheminės sudėties, elektrodo skersmens, glaisto rūšies, jo storio ir kt. Elektrodas pakreipiamas į siūlės ašį ruošinio metalui kuo giliau įsivirinti. Virinant sandūrinės siūlės, elektrodo posvyris nuo vertikalės suvirinimo kryptimi sudaro 15–20° kampą (4.14 pav., b). Tuomet geriau formuojama siūlė, lėčiau stingsta vonelės lydalas, siūlėje išvengiama karštųjų plyšių. Virinant kampines siūlės, elektrodo posvyrio kampas tarp horizontaliosios plokštumos yra 30–40° (4.14 pav., c, d), tarp vertikaliosios – 70–80°. Virinant užleistines jungtis, elektrodo posvyrio kampas priklauso nuo ėjimų skaičiaus: virinant vienasluksnę įvairaus storio siūlę, posvyrio kampas tarp horizontaliosios plokštumos yra 45–60° (4.14 pav., e), virinant daugiasluksnę siūlę, antrojo ir trečiojo ėjimo elektrodo posvyrio kampas yra 30°. Vertikaliosios siūlės suvirinamos iš apačios į viršų arba atvirkščiai (4.14 pav., f).



4.14 pav. Elektrodo judesiai (*a*) ir posvyris virinant: *b* – sandūrinę siūlę; *c, d* – kampines siūles žemutinėje padėtyje; *e* – kampinę siūlę vienu ėjimu žemutinėje padėtyje; *f* – sandūrinę ir kampinę siūlę vertikalioje padėtyje

Stumiant elektrodą išilgai jungties (be skersinių judesių), siūlės plotis lygus 0,8–1,5 elektrodo skersmens. Tokios siūlės naudojamos plonam metalui (4–8 mm) suvirinti arba pirmajam sluoksniui sudaryti daugiasluoksnėje siūlėje. Platesnei siūlei gauti atliekami skersiniai judesiai (4.15 pav.). Dažniausiai suvirinamos 1,5–4 elektrodo skersmenų siūlės. Skersai vedžiojant, lėčiau stingsta prilijdytas metalas, lengviau išsiskiria dujos ir šlakai, geriau susilydo pagrindinis metalas su elektrodo metalu, gaunama aukštesnės kokybės siūlė. Kilpiniai judesiai atliekami, kai reikia gerai įkaitinti metalą siūlės kraštuose. Vietoje kilpinių galimi pusmėnulio formos judesiai.

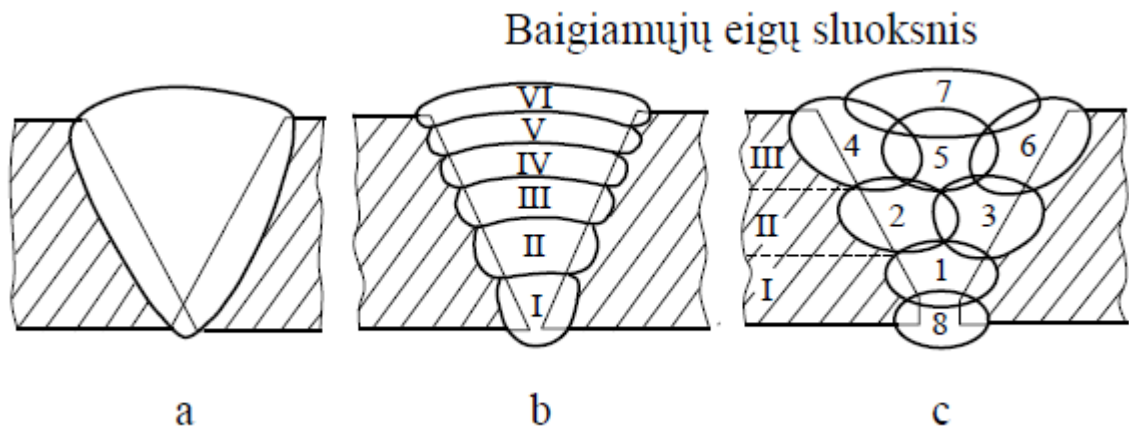


4.15 pav. Pagrindiniai elektrodo skersiniai judesiai: *a, b, c, d* – suvirinant paprastas siūles, *e, f, g* – suvirinant siūles, kai briaunos papildomai įkaitinamos

Elektrodas nuo gaminio neatitraukiamas tol, kol pailgėjęs lankas užgęsta. Užgesus lankui arba keičiant elektrodą, lankas sužadinamas ant dar neišsilydžiusio pagrindinio metalo ir perkeliamas į kraterį (negili įduba siūlės paviršiuje). Per lėtai stumiant elektrodą, lankas metalą išlydo giliai, gali jį pradeginti. Kad gaminys nepradegtų, naudojami padėklai iš šilumai ir elektrai laidžios ar sunkiai lydžios medžiagos.

Pagal atlikimo būdą siūlės skirstomos:

- vienasluoksnės (4.16 pav., *a*);
- daugiasluoksnės, kurių sluoksnių skaičius lygus ėjimų skaičiui (4.16 pav., *b*);
- daugiasluoksnės, kurių kai kurie sluoksniai sudaryti keliais ėjimais (4.16 pav., *c*).



**4.16 pav.** V sandūrinė siūlė: *a* – vienas pusė visiškai įvirinta; *b* – daugiasluoksnė vieno ėjimo (dažniausia sandūrinėse jungtyse); *c* – daugiasluoksnė kelių ėjimų su šaknies įvirinimu (dažniausia kampinėse ir tėjinėse jungtyse); 1–8 – siūlių sudarymo eiliškumas, I–VI – sluoksnių sudarymo eiliškumas

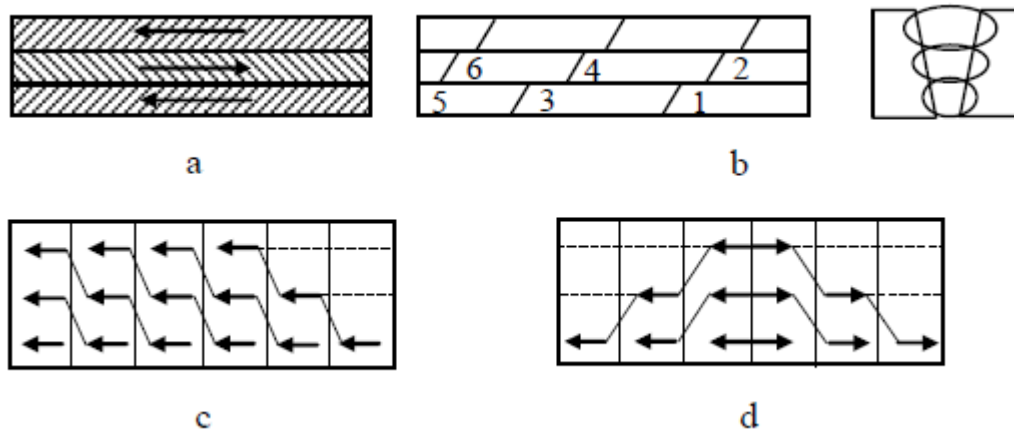
Storas metalas suvirinamas keliais ėjimais. Pirmuoju sluoksniu (2–3 mm skersmens elektrodais) įvirinama siūlės šaknis. Baigiamasis (atkaitinamasis) sluoksnis sudaromas virinant 200–300 A srove 4–6 mm skersmens elektrodais.

Kad tolygiau įkaistų visos siūlės metalas, siūlės suvirinamos:

- Pakopomis dvigubo sluoksnio būdu (**4.17 pav., a, b**) – antrasis sluoksnis užvirinamas ant dar neataušusio pirmojo, nuvalius nuo jo šlaką. Kai suvirinamas 15–20 mm storio ir 200–400 mm ilgio metalas, siūlė formuojama vedant elektrodą atgaline kryptimi. Taip išvengiama karštųjų įtrūkių.
- Kaskadomis (**4.17 pav., c**) – antrasis sluoksnis virinamas ant nesustingusio ankstesniojo sluoksnio.
- Kalneliu (**4.17 pav., d**) – kaskadinio metodo variantas. Dažniausiai virinama nuo siūlės vidurio į kraštus.

Kaskadomis ir kalneliu suvirinamųjų metalo lakštų storis yra 20–25 mm ir didesnis.

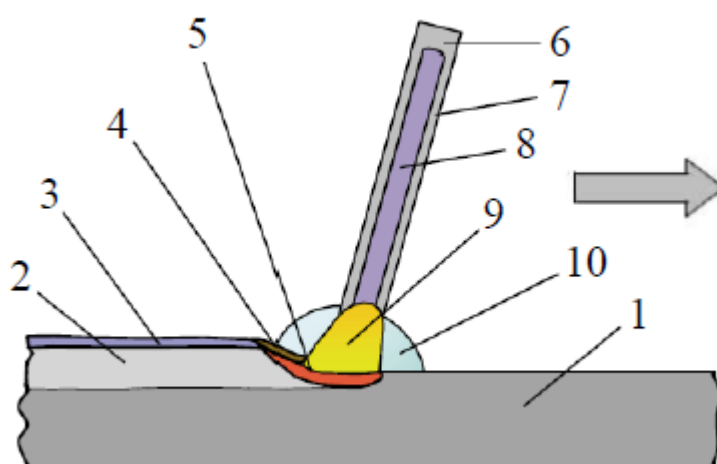




4.17 pav. Daugiasluoksnės siūlės pripildymo schemas: *a, b* – pakopomis; *c* – kaskadomis; *d* – kalneliu

#### 4.2.7. Rankinis lankinis suvirinimas

Suvirinant rankiniu lankiniu būdu (4.18 pav.) lydžiuoju elektrodu, visus judesius elektrodui suteikia suvirintojas. Elektrodas traukiamas išilgai siūlės. Suvirinimo procese, degant elektros lankui 8, lydosi pagrindinio metalo 1 briaunos, elektrodo strypas 7 ir elektrodo glaistas 5. Apsilydžius gaminio briaunoms, susidaro skysto metalo vonelė 10, kurią papildo išsilydžiusio elektrodo 6 metalo lašai. Lydantis glaistui, išsiskiria dujos 4. Jos aplink elektros lanką sudaro apsauginę terpę. Taip pat susidaro skystas šlakas 9, kuris skystą siūlės metalą apsaugo nuo oro poveikio, oksiduoja, išvalo kenksmingąsias priemaišas, legiruoja. Esant šlako ir lėčiau auštant siūlės metalui, gaunama geresnių savybių siūlė. Nutolus elektros lankui, skysto metalo vonelė sustingsta, susidaro suvirinimo siūlė 2, padengta kietu šlaku 3, kuris yra trapus, dėl to lengvai pašalinamas nuo gaminio.



4.18 pav. Rankinio lankinio suvirinimo schema: 1 – pagrindinis metalas; 2 – siūlė; 3 – kietas šlakas; 4 – skystas šlakas; 5 – prilydytojo metalo vonelė; 6 – elektrodas; 7 – glaistas; 8 – elektrodo strypas; 9 – elektros lankas; 10 – dujų apsauga

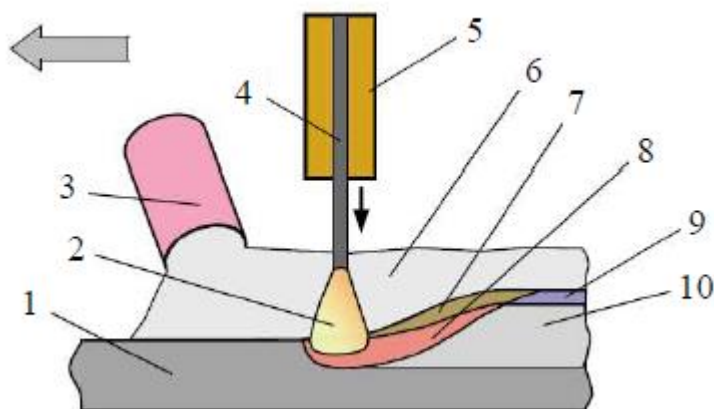
Suvirinant lankiniu būdu, vyksta sudėtingi metalurginiai procesai: metalas greitai įkaitinamas iki lydymosi temperatūros, mažas išlydyto metalo tūris, didelis kristalizacijos greitis. Skystas metalas būna trumpą laiką, cheminės reakcijos nepasiekia pusiausvyros. Suvirinimo zonos temperatūra yra labai aukšta, todėl skystame metalo intensyviai vyksta fizikiniai ir cheminiai procesai: disocijuoja dujos, metalas oksiduojasi ir redukuojasi, legiruojamas. Metalurginiai procesai labai priklauso nuo skystojo šlako sudėties ir dujų. Šlako cheminė sudėtis nusakoma glaisto sudėtimi ir šlaku virstančiais nemetaliniais junginiais, kurie susidaro metalui reaguojant su jį supančiomis dujomis ir kitais elementais.

#### **4.2.8. Rankinis suvirinimas po fliusu**

Rankinio lankinio suvirinimo procesas nėra našus, suvirintojai turi būti aukštos kvalifikacijos (net ir to paties suvirintojo suvirintos siūlės savybės skirtingose zonose yra nevienodos). Suvirinimo po fliusu ypatumai:

- suvirinama neglaistyta elektrodinė viela;
- elektros lankas ir suvirinimo vonelė apsaugota fliuso sluoksniu, todėl geresnė suvirintųjų sujungimų kokybė (geresnės prilydyto metalo mechaninės savybės);
- vielos vertikalioji ir išilginė pastūma yra reguliuojamos ir mechanizuotos;
- naudojant fliusą ir 1,2–2 mm skersmens elektrodinę vielą, virinama 100–200 A/mm<sup>2</sup> tankio srove. Padidinus srovės tankį, kyla lanko temperatūra, didėja įvirinimo gylis ir elektrodo lydymo našumas: suvirinant plonus gaminius, našumas padidėja apie 5 kartus, suvirinant storus gaminius, – 10–30 kartų (palyginti su rankiniu suvirinimu);
- sutaupoma suvirinimo vielos, nes nėra atliekų (suvirinant rankiniu būdu, esanti laikiklyje elektrodo dalis nepanaudojama);
- suvirinami storesni kaip 2 mm ruošiniai (priešingo poliarumo nuolatinė srove 1,2–2 mm skersmens viela galima virinti 1 mm storio metalą);
- iki 30 mm storio metalą vienu ėjimu galima virinti be nuosklembų, nes naudojama labai stipri suvirinimo srovė.

Automatiškai suvirinant po fliusu, elektrodinės vielos 4 (4.19 pav.) pastūma lanko link ir lanko 2 stūmimas išilgai siūlės yra mechanizuoti. Praleidžiant elektros srovę elektrodine viela per kontaktą 5, užsidega lankas (kai viela slinkdama paliečia pagrindinį metalą 1). Lydantis ruošinio briaunoms, elektrodinei vielai ir fliusui 6 (viela slenka vienodu greičiu), susidaro prilydytojo metalo vonelė 8, padengta skystu šlaku 4 (šlakas apsaugo siūlės vonelę nuo oro poveikio). Auštant vonelės metalui, susiformuoja siūlė kieta šlako pluta, kuri lengvai pašalinama. Suvirinimo procese fliusas visą laiką byra iš bunkerio. Dalis fliuso išsilydo, o neišsilydęs fliusas grąžinamas atgal į bunkerį.



4.19 pav. Automatinio lankinio suvirinimo po fliusu schema: 1 – pagrindinis metalas; 2 – lankas; 3 – fliuso bunkeris; 4 – elektrodinė viela; 5 – kontaktinis vamzdelis; 6 – fliusas; 7 – skystas šlakas; 8 – prilijdytasis metalas; 9 – kietas šlakas; 10 – siūlė

Virinant po fliusu galima naudoti du ir daugiau suvirinimo lankų, neišsitaško metalas. Mažinant elektrodo iškyšą, didinama suvirinimo srovė ir įvirinimo gylis. Prilijdytas metalas yra stipresnis ir atsparesnis tarpkristalinei korozijai, nes virinant siūlės metalas legiruojamas elektrodine viela ir fliusu. Po fliusu suvirinama gulsčioje padėtyje. Po fliusu suvirinamas nelegiruotasis ir legiruotasis plienas, varis, aliuminis ir jų lydiniai. Automatinio suvirinimo būdas taikomas katilų gamyboje, skysčių ir dujų rezervuarams, laivų korpusams, tiltų sijoms, tiesioms ir spiralinėms vamzdžių siūlėms ir kt. gaminams suvirinti.

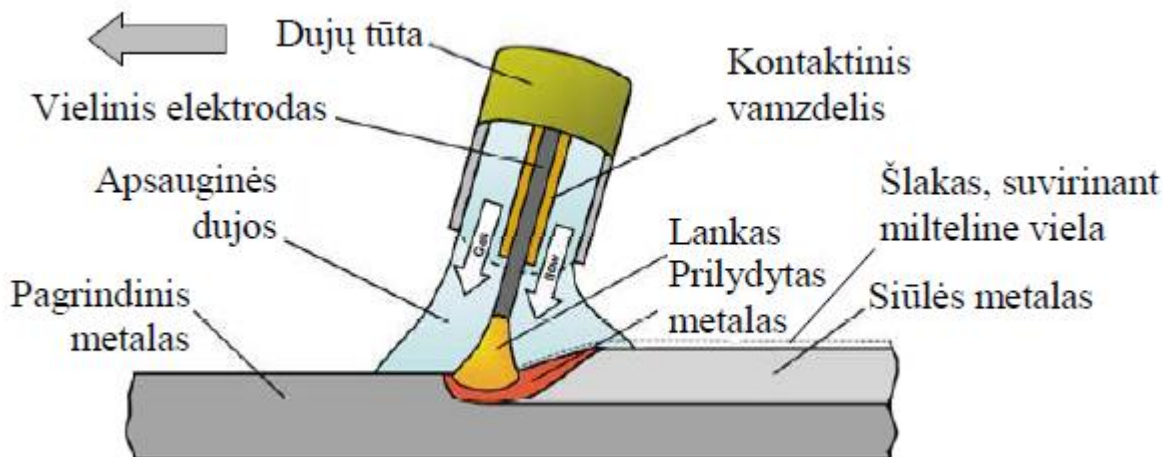
Pramonėje naudojama daug įvairių bendrosios paskirties ir specializuotų suvirinimo automatų, kurie klasifikuojami pagal įvairias savybes. Automatų būna savaeigių, kurie suvirinimo procese slenka gaminio paviršiumi, ir nesavaeigių (pakabinamųjų). Be to, automatai gali būti pritaikyti suvirinti lydžiuoju arba nelydžiuoju elektrodu. Gaminami taip pat automatai, skirti suvirinti apsauginėse dujose ir kt.

Pusiau automatinio suvirinimo procese elektrodinę vielą išilgai siūlės stumia suvirintojas. Mechanizuota tik vielos pastūma lanko link. Pusautomačiais suvirinamos kreivos siūlės įvairiose padėtyse (to neįmanoma padaryti automatais). Suvirinimo srovė 200–650 A, todėl yra didelis našumas. Suvirinant šiuo būdu, negalima stebėti ir tikrinti suvirinimo eigos, todėl per visą ilgį gaunama nevienodos kokybės suvirintoji siūlė. Pusiau automatinis suvirinimo būdas nepaplito.

#### 4.2.9. Lankinis suvirinimas apsauginėse dujose

Apsauginės dujos plačiai naudojamos siūlės metalui apsaugoti nuo oro poveikio. *Suvirinimo apsauginėse dujose ypatumai*: didelis našumas, galima suvirinti visose erdvinėse padėtyse, procesą lengva mechanizuoti ir automatizuoti, gera siūlės kokybė, geros darbo sąlygos.

Apsauginės dujos tiekiamos degiklyje specialiais kanalais (4.20 pav.) į suvirinimo zoną, išstumia orą ir taip išlydytą metalą apsaugo nuo kenksmingo atmosferos deguonies ir azoto poveikio.



4.20 pav. Suvirinimas apsauginėse dujose MIG / MAG būdu

Suvirinti dažniausiai naudojamos:

- inertinės dujos (*argonas, helis ir jų mišiniai*) – suvirinti MIG arba TIG būdu;
- aktyviosios dujos (*anglies dioksidas*) – suvirinti MAG būdu.

Argono dujose suvirinama lydžiuoju ir nelydžiuoju elektrodu. Suvirinimas nelydžiuoju elektrodu dažniausiai taikomas 0,1–6 mm storio ruošiniams suvirinti, lydžiuoju elektrodu – 2 mm ir storesniems. Dažnai labai stori ruošiniai suvirinami taip pat nelydžiuoju elektrodu daugiasluoksne siūle. Argono lankinio suvirinimo būdas taikomas lengvoms konstrukcijoms (iš aliuminio, magnio), sunkiai lydiems metalams (titanui, niobiui, vanadžiui, cirkoniui) ir jų lydiniais, konstrukciniam legiruotajam plienui suvirinti.

Anglies dioksido suvirinama tik lydžiuoju elektrodu priešingo poliarumo nuolatine srove (4.2.1 poskyris), nes, esant tiesioginiam poliarumui, lankas dega nestabiliai. Anglies dioksido aplinkoje daugiausiai suvirinamos nelegiruotojo ir mažai legiruotojo plieno konstrukcijos (dujotiekiai, naftotiekiai, laivų korpusai ir pan.). Šiuo atveju dažniausiai naudojamas CO<sub>2</sub> dujų mišinys, kuriame yra 10 % ir daugiau O<sub>2</sub>. Azotas ir vandenilis suvirinant retai naudojami. Azote suvirinamas varis, nes vario atžvilgiu azotas yra inertinės dujos.

**Suvirinimo MIG/MAG būdu ypatumai:**

- didelis našumas;
- galima virinti įvairiose padėtyse;
- nereikia naudoti fliusų;
- viela (vientisa arba miltelinė) tolygiai tiekama į suvirinimo vonelę;
- virinant išsitaško daug elektrodinės vielos;

- negalima virinti lauke, kai pučia vėjas, nes nupučiamos apsauginės dujos.

Pagrindiniai suvirinimo parametrai:

- *elektrodinės vielos skersmuo* – vielos skersmuo (0,5–2,5 mm) priklauso nuo virinamosios medžiagos storio (0,6–18 mm);
- *srovės stipris*;
- *vielos tiekimo greitis*;
- *lanko įtampa* – jeigu lanko įtampa tinkama, metalo išsitaško mažiau, jeigu lanko įtampa sumažėja arba viela tiekama per greitai, ji panyra į lydalą. Kai lanko įtampa per didelė, o viela tiekama per lėtai, taip pat išsitaško daug metalo, o prilijdytas metalas gali oksiduotis;
- *suvirinimo greitis* – priklauso nuo metalo storio: kai suvirinimo greitis per didelis, vonelės lydalo apsauginės dujos neapsaugo, kai per mažas – metalas pradega.

Papildomi parametrai:

- *srovės rūšis*;
- *poliarumas*;
- *elektrodinės vielos iškyša* (priklauso suvirinimo našumas ir siūlės kokybė – pailginus iškyšą, lankas yra ne toks stabilus, metalo išsitaško daugiau);
- *atstumas tarp degiklio tūtos ir gaminio* (jei tarp degiklio tūtos ir gaminio atstumas yra per didelis, į suvirinimo sritį patenka deguonies, azoto ir vandenilio, siūlė tampa koryta);
- *degiklio posvyrio kampas* (kuo didesnis kampas, tuo metalas daugiau įkaista, siūlės išgauba ir plotis mažėja, o įvirinimo gylis didėja);
- *apsauginių dujų debitas*;
- *išankstinio pakaitinimo temperatūra*.

Suvirinimas milteline viela *MIG/MAG* būdu yra labai našus suvirinimo būdas. Siūlės pasižymi geromis mechaninėmis savybėmis, yra be defektų. Tačiau virinant išsiskiria nuodingųjų medžiagų. Virinant svarbias konstrukcijas naudojamos inertinės arba aktyviosios dujos. Dažniausiai suvirinama tiesioginio poliarumo nuolatine srove. Virinti galima lauke įvairiomis padėtimis.

**Suvirinimo *TIG* būdu ypatumai:**

- suvirinimo lankas dega tarp volframo elektrodo ir pagrindinio metalo (4.21 pav.);
- suvirinimo vonelė apsaugoma inertinėmis dujomis (inertinėse dujose: argone, helyje ir jų mišiniuose – virinami nerūdijantysis plienas, aliuminis, varis, titanas, nikelis ir jų lydiniai);
- siūlės metalą sudaro pridėtinis strypelis;

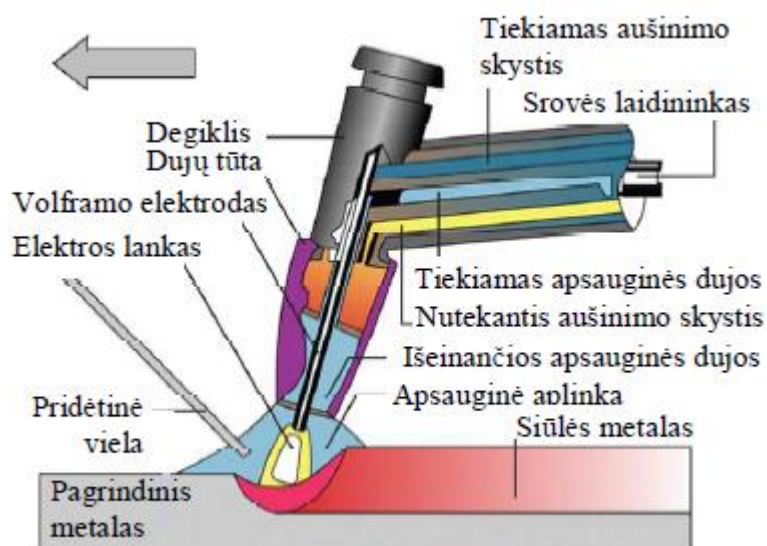
- metalas nesitaško; neišsiskiria dūmų ir šlako;
- virinama įvairiose padėtyse;
- galima virinti  $\geq 0,03$  mm storio metalą;
- negalima virinti nešvarių, drėgnų ir dažytų paviršių;
- virinant lauke reikia specialios uždangos;
- pridėtinė medžiaga tiekama ranka;
- iki 4 mm storio plieno lakštai suvirinami be nuosklembų.

Pagrindiniai suvirinimo parametrai:

- *volframo elektrodo skersmuo;*
- *srovės stipris;*
- *lanko įtampa;*
- *suvirinimo greitis;*
- *pridėtinio strypelio skersmuo.*

Papildomi parametrai:

- *srovės rūšis;*
- *poliarumas;*
- *volframo elektrodo iškyša;*
- *atstumas tarp degiklio tūtos ir gaminio;*
- *tūtos skersmuo;*
- *apsauginių dujų debitas;*
- *išankstinio pakaitinimo temperatūra;*
- *degiklio ir pridėtinio strypelio posvyrio kampas* – tarp degiklio ašies ir gaminio turi būti 60–80° kampas; tarp gaminio ir pridėtinio strypelio turi būti 10–20° kampas;



#### 4.21 pav. TIG suvirinimo schema

Suvirinimo lankas uždegamas aukštojo dažnio aukštosios įtampos srovės kibirkštimi (tuo metu elektrodas nesusiliečia su detale). Virinant plonas medžiagas naudojama  $>3$  A nuolatinė ir  $>10$  A kintamoji srovė. Volframo elektrodu suvirinama:

- tiesioginio poliarumo nuolatinė srove – lankas dega tolygiai, lanko ilgis 1–2,5 mm.
- priešingojo poliarumo nuolatinė srove – lankas dega netolygiai, elektrodas apdega, garuoja.

Virinant sudurtines jungtis, tarp volframo elektrodo ir tūtos galo nuopjovos atstumas turi būti 5–6,5 mm, virinant kampines jungtis – 3–5 mm. Pridėtinis strypelis į suvirinimo vonelę tiekiamas periodiškai, juo negalima liesti lanko liepsnos. Pridėtinio strypelio galas turi būti apsauginėse dujose. Virinant pridėtinis strypelis neturi liesti volframo elektrodo, nes įvyks trumpasis jungimas ir apsilydys elektrodo galas.

#### 4.3. Dujinis suvirinimas

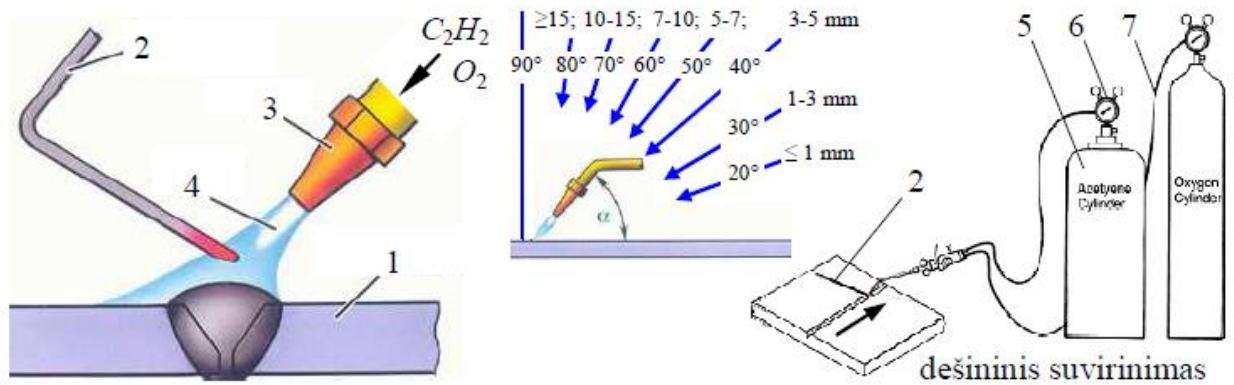
Dujinis suvirinimas – tai lydomojo suvirinimo procesas, kuriame suvirinimo zona įkaitinama iki išsilydymo degant degiųjų dujų ir techniškai gryno deguonies mišiniui. Suvirinamųjų ruošinių 1 briaunos išsilydo kaitinant dujų liepsna 4, o tarpelis tarp jų užpildomas pridėtinio metalu 2 (4.22 pav.).

Dujomis suvirinami plieno (dažniausiai iki 6 mm storio), ketaus, vario, aliuminio ir jų lydinių ruošiniai, kurių storis 10–15 mm (rečiau 40–50 mm), taip pat 0,5–3 mm konstrukcijos. Dažniausiai suvirinamos sandūrinės jungtys. Užleistinės ir tęjinės jungtys virinamos rečiau, nes jose atsiranda vidinių įtempių. Virinant vamzdžius, pirmiausia įvirinama šaknis, paskui sudaroma sustiprintoji siūlė.

Posvyrio kampas tarp degiklio antgalio ir metalo, pridėtinės vielos ir metalo priklauso nuo suvirinamojo metalo storio ir virinimo krypties (dešininė, kairinė). Jungčių briaunų paruošimas priklauso nuo suvirinamojo metalo storio:

- iki 2 mm storio metalas dažniausiai virinamas be nuosklembų ir pridėtinio metalo;
- virinant 2–4 mm storio metalą be nuosklembų, tarp briaunų paliekamas tarpelis;
- didesnio kaip 4 mm storio metalo briaunos nusklembiamos iš vienos ar abiejų pusių.





4.22 pav. Dujinio suvirinimo schema: 1 – ruošinys; 2 – pridėtinis metalas; 3 – degiklio antgalis; 4 – dujų liepsna; 5 – dujų balionai; 6 – suslėgtų dujų balionų reduktoriai; 7 – dujų žarnos;

#### 4.3.1. Dujiniam suvirinimui naudojamos medžiagos

**Deguois.** Deguois yra bespalvės, bekvapės dujos, nedega, bet aktyviai palaiko degimą. Suvirinimo darbams naudojamas dujinis deguois, kuris gaunamas atšaldžius orą arba elektrolizės būdu iš vandens. Į vartojimo vietą jis tiekiamas suslėgtas iki 15 (20) MPa plieniniuose balionuose. Eksploatuojant deguonies balionus, būtina griežtai laikytis darbų saugos reikalavimų. Deguois yra chemiškai aktyvus elementas ir jungiasi beveik su visais metalais. Alyva ir riebalai deguonyje intensyviai oksiduojasi, dėl to išsiskiria šiluma. Vienas deguois nei dega, nei sprogsta, tačiau, esant didelei deguonies koncentracijai, daugelis medžiagų, pvz., paprastos dulkės, purvas ar tepalas, lengvai užsidega ar sprogsta. Todėl, dirbant su deguonimi, reikia žiūrėti, kad ant baliono ir aparatūros nepatektų tepalų ir riebalų ir deguois nenutekėtų. Nuo atvirų kaitinimo įrenginių balionai statomi ne arčiau kaip per 5 m. Išeinančių iš baliono dujų slėgiui sumažinti ir pastoviam darbiniam slėgiui palaikyti naudojami dujiniai reduktoriai.

**Degiosios dujos.** Acetilenas ( $C_2H_2$ ) yra svarbiausios degiosios dujos, naudojamos suvirinti, nes acetileno ir deguonies mišinio degimo temperatūra yra aukščiausia (apie 3200 °C). Techninis acetilenas yra bespalvės, aštraus kvapo, lengvesnės už orą dujos. Kvapą skleidžia sieros ir fosforo vandenilis, amoniakas ir kitos priemaišos, esančios acetilene. Ilgiau pakvėpavus acetileno dujomis ima pykinti, galima net apsinuodyti.

Liečiantis drėgnam acetilenui su variu ir sidabru, susidaro lengvai sproguš junginys. Todėl acetilenui naudojamą aparatūrą leidžiama gaminti iš vario lydinių, kuriuose yra ne daugiau kaip 70 % Cu. Acetileno savaiminio užsiliepsnojimo temperatūra (240–630 °C) priklauso nuo slėgio, taip pat nuo medžiagų, esančių jo aplinkoje.

Techninis acetilenas gaunamas iš kalcio karbido  $CaC_2$  (suvirinant plačiausiai naudojamas), maišant su vandeniu acetileno generatoriuose, arba iš angliavandenilių, kurių yra gamtinėse dujose, naftoje ir kitur.



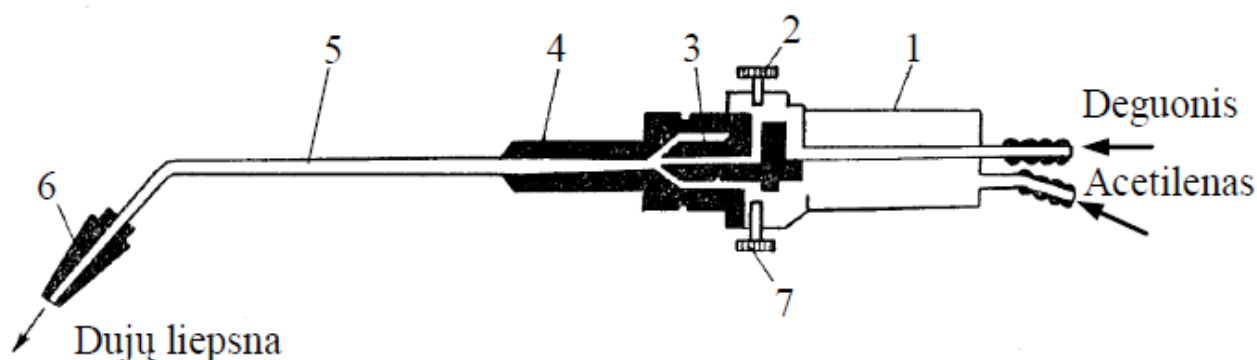
Kai nereikia labai aukštos temperatūros, vietoje acetileno naudojamas propanas, butanas ar jų mišinys (liepsnos temperatūra 2400 °C), gamtinės (metano ir deguonies mišinio temperatūra yra 2100–2200 °C) ir kt. dujos.

**Suvirinimo viela.** Pridėtinio metalo cheminė sudėtis turi būti artima pagrindinio metalo sudėčiai. Plienui suvirinti naudojama apvali suvirinimo viela, kurios skersmuo apskaičiuojamas pagal suvirinamojo metalo storį arba suvirinimo būdą:  $d = a/2(+1)$ , čia  $d$  – vielos skersmuo;  $a$  – suvirinamojo metalo storis, mm; +1 – virinant kairiniu būdu. Suvirinimo vielos paviršiuje negali būti rūdžių, dažų ir kt. nešvarumų. Viela turi lydėtis tolygiai, nesitaškydama tankiai ir be defektų siūlei gauti.

**Fliusai.** Nelegiruotajam plienui suvirinti fliusai nenaudojami, nes lengvai besilydantys geležies oksidai iškyla į vonelės paviršių. Suvirinant varį, aliuminį, magnį ir jų lydinius be fliusų, susidaro oksidai, kurių lydymosi temperatūra aukštesnė už pagrindinio metalo. Todėl šiems metalams gerai suvirinti reikalingi fliusai. Išsilydę fliusai padengia skystą metalą plonu šlako sluoksniu, apsaugo siūlę nuo oksidavimosi, redukuoja oksidus, susidarančius virinamųjų metalų paviršiuje.

#### 4.3.2. Dujinio suvirinimo įrenginiai

Degikliai. Juose sumaišomas deguonis ir degiosiomis dujos, reguliuojamas jų santykis, formuojama liepsna. Skirstomi į injekcinius ir neinjekcinius, universaliuosius ir specialiuosius. Dažniausiai naudojami injekciniai degikliai (4.23 pav.). Jais dirbant naudojamas žemo ir vidutinio slėgio acetilenas.



4.23 pav. Injekcinio degiklio schema: 1 – rankena; 2 – deguonies čiaupas; 3 – injektorius; 4 – maišymo kamera; 5 – dujų mišinio vamzdelis; 6 – antgalis; 7 – acetileno čiaupas

*Injekciniame degiklyje* deguonis 0,1–0,3 MPa slėgiu per vamzdelį ir reguliuojamąjį čiaupą 2 patenka į injektorį 3. Ištekėdamas dideliu greičiu iš injektoriaus korpuso esančio siauro kanalo, deguonis sudaro didelį išretėjimą kameroje ir įsiurbia degiąsias dujas. Maišymo kameroje 4 (difuzoriuje) susidaro degusis mišinys. Per dujų mišinio vamzdelį 5 jis patenka į antgalį 6 ir jo gale

degdamas sudaro liepsną. Tokio tipo degikliai turi keičiamus antgalius, kurių injektoriaus ir antgalio išėjimo skylių skersmenys skiriasi. Dėl to galima reguliuoti acetileno deguonies liepsnos galią.

*Neinjekciniame degiklyje* deguonis ir acetilenas į cilindrinę maišymosi kamerą patenka vienodo slėgio (0,01–0,1 MPa). Jame pastovi mišinio sudėtis.

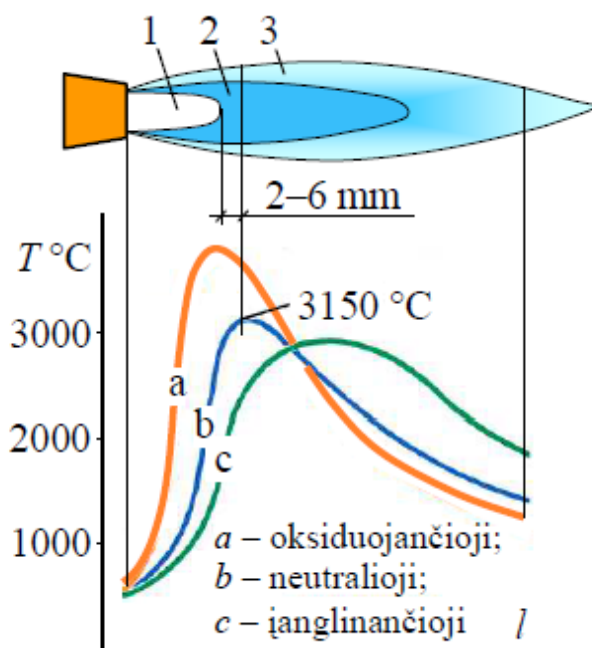
Dujų balionai. Juose laikomos ir transportuojamos dujos ar jų mišiniai: *deguonis* (baliono ar jo viršutinės dalies spalva yra balta), *acetilenas* (baliono spalva kaštoninė), *propano butano mišinys* (baliono spalva raudona), argonas (spalva tamsiai žalia) ir kt.

Dujų balionų reduktoriai. Suslėgtų dujų balionų reduktoriai mažina dujų į degiklį slėgį ir palaiko nustatytą pastovų darbinį slėgį virinant. Apsauginis vožtuvas apsaugo balioną nuo atgalinio deguonies ir acetileno liepsnos smūgio iš degiklio.

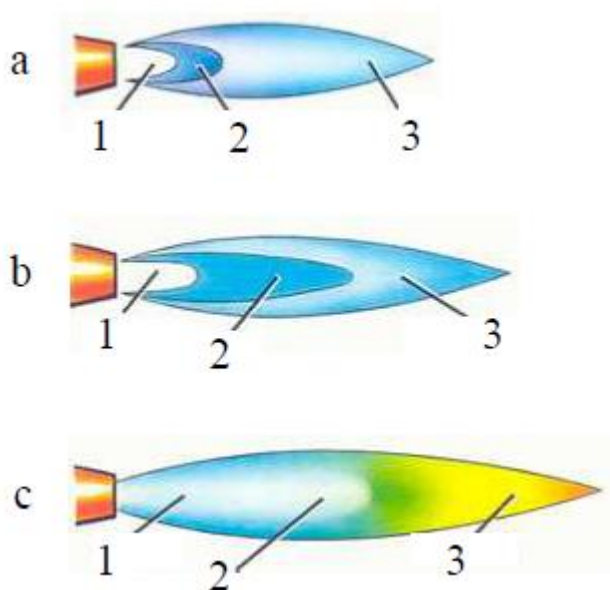
Dujų žarnos. Jomis tiekiamos dujos į degiklį ar pjoviklį. Žarnų ilgis – 3–20 m.

#### 4.3.3. Dujinio suvirinimo liepsna ir technologija

Acetileno ir deguonies liepsna yra karščiausia, palyginti su kitų dujų liepsna. Dujinio suvirinimo liepsna susidaro degant išėjusiam iš degiklio acetilenui, tam tikra proporcija sumaišytam su deguonimi. Acetileno ir deguonies liepsną sudaro trys sritys: liepsnos branduolys 1, vidurinė (virinimo) sritis 2 ir liepsnos fakelas 3 (4.24 pav.).



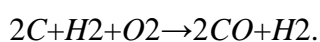
4.24 pav. Dujinio suvirinimo liepsna: 1 – branduolys; 2 – suvirinimo sritis; 3 – liepsnos fakelas;  $l$  – liepsnos ilgis



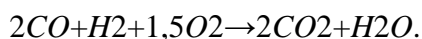
4.25 pav. Acetileno ir deguonies mišinio liepsnos rūšys: *a* – oksiduojančioji; *b* – neutralioji; *c* – įanglinančioji; 1 – branduolys; 2 – redukuojančioji sritis; 3 – fakelas

Kadangi liepsna ašies ir skersine kryptimi yra nevienalytė, atskirose jos srityse susidaro temperatūros skirtumai. Aukščiausia temperatūra yra vidurinėje liepsnos srityje (2–6 mm nuo branduolio), todėl degiklis laikomas taip, kad liepsnos branduolys būtų 2–3 mm atstumu nuo metalo paviršiaus.

Branduolį sudaro labai įkaitusio deguonies ir disocijuoto acetileno  $2C+H_2+O_2$  mišinys. Branduolys ryškiai švyti. Mišinys pradeda degti branduolio išorėje ir toliau dega 2-oje srityje vykstant reakcijai



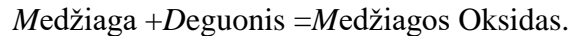
Anglis sudega ne visa. Vandenilis šioje zonoje nesioksiduoja. Visa anglis sudega ir vandenilis intensyviai dega zonoje 3 kartu su oro deguonimi vykstant reakcijai



Anglies dioksidas ir vandens garai, esant aukštai temperatūrai, oksiduoja geležį, todėl ši zona vadinama oksiduojančiąja.

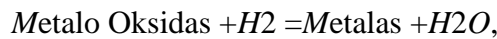
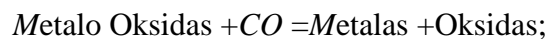
Prilydyto metalo kokybė ir suvirintojo sujungimo stipris priklauso nuo suvirinimo liepsnos sudėties. Keičiant acetileno ir deguonies santykį, liepsna (4.25 pav.) gali būti:

- Oksiduojančioji (su deguonies pertekliumi, t. y.  $O_2/C_2H_2 > 1$ ). Suvirinant oksiduojančiąja liepsna, vonelėje vyksta oksidacijos reakcijos. Pavyzdžiui, suvirinant plieną, intensyviai oksiduojasi *Fe*, *Si*, *Mn*, *C* ir kt. elementai:



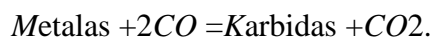
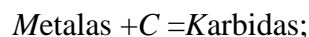
Medžiagų oksidai teršia siūlės metalą ir blogina jo mechanines savybes. Besiskiriančios *CO* dujos ištaško nemažai metalo. Oksiduojančiąja liepsna suvirinamas žalvaris. Šiuo atveju perteklinis deguonis su žalvaryje esančiu cinku sudaro sunkiai lydžius oksidus. Susidarius *ZnO* plėvelei mažiau išgaruoja cinko.

- Neutralioji (dujų santykis  $O_2/C_2H_2 \approx 1$ ). Metalai dažniausiai suvirinami neutraliąja liepsna. Suvirinant vonelėje vyksta atstatomosios reakcijos:



todėl siūlės metalas yra vienodas. Jame nėra dujų porų ir metalo oksidų intarpų, geros jo mechaninės savybės.

- Įanglinančioji (su acetileno pertekliumi, t. y.  $O_2/C_2H_2 < 1$ ). Suvirinant įanglinančiąja liepsna, metalas prisotinamas anglies:



Suvirinimo vonelės prisotinimas karbidais padidina suvirinimo siūlės stiprį, tačiau labai sumažina plastiškumą. Įanglinančiąja liepsna suvirinamas ketus. Branduolys yra neryškus, su žalia aureole.

Efektinė liepsnos galia (šilumos kiekis, perduodamas metalui per laiko vienetą) priklauso nuo tiekiamo į degiklį dujų kiekio, degiklio liepsnos posvyrio kampo į metalo paviršių, degiklio vedimo greičio, degių dujų ir deguonies santykio (kuo daugiau deguonies, tuo aukštesnė liepsnos temperatūra). Liepsnos temperatūra turi būti aukštesnė už metalo lydymosi temperatūrą ne mažiau kaip 250–300 °C.

#### 4.4. Kontaktinis suvirinimas

Kontaktiniu būdu suvirinama esant žemai įtampai (0,5–36 V) ir didelio stiprio srove (100–300000 A). Suvirinant metalus kontaktiniu būdu, praleidžiama elektros srovė įkaitina suspaustą ruošinių sąlyčio zoną iki plastinio būvio arba iki tol, kol apsilydo. Išjungus maitinimą ir papildomai suspaudus, detalės susivirina.

Šilumos kiekis suvirinimo zonoje priklauso nuo srovės stiprio, jos praleidimo trukmės, varžos detalių sąlyčio vietoje. Tarp detalių išsiskiria daugiau šilumos negu tarp detalės ir elektrodo, nes toje vietoje, kur susiliečia detalės, yra didesnė kontaktinė varža.

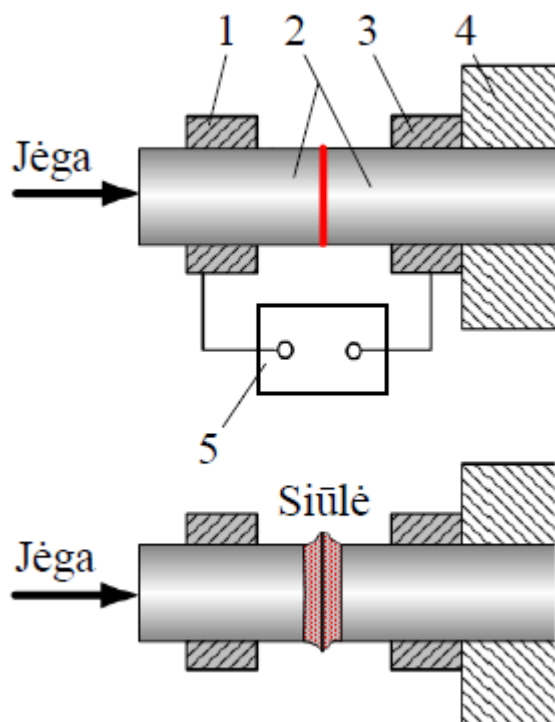
Labai plačiai kontaktinis suvirinimas taikomas lėktuvų, automobilių, vagonų gamybai, vamzdžiams, bėgiams, įrankiams, mikroschemoms ir kitoms elektroninėms detalėms suvirinti. Apie 30 % visų suvirintųjų sujungimų suvirinama kontaktiniu būdu. Kontaktinio suvirinimo procesą galima mechanizuoti ir automatizuoti.

Kontaktinis suvirinimas skirstomas:

- pagal suvirintojo sujungimo tipą: *sandūrinis, aplydomasis, taškinis, reljefinis, siūlinis*.
- pagal suvirinimo transformatoriaus maitinimą: *kintamąja srove; nuolatine impulsine srove*.

#### 4.4.1. Kontaktinis sandūrinis suvirinimas

Kontaktinis sandūrinis suvirinimas yra kontaktinio suvirinimo rūšis, kai dėl temperatūros ir slėgio suvirinami susiliečiantys detalės paviršiai. Suvirinamieji ruošiniai 2 įtvirtinami suvirinimo mašinos elektroduose spaustuvuose 1 ir 3 (4.26 pav.) ir suspaudžiami jėga, kuri kaitinant nesikeičia arba staigiai padidinama baigiant kaitinti. Kaitinama iki plastinio būvio. Kai metalo temperatūra artima lydymosi temperatūrai, slegiamos detalės susivirina. Šiuo būdu sujungiami iki 100–200 mm<sup>2</sup> skerspjūvio ruošiniai, nes storesni suvirinant įkaista netolygiai. Suvirinamas mažai anglingas konstrukcinis plienas, aliuminio ir vario lydiniai. Kontaktui gauti būtina mechaniškai apdirbti galinius paviršius. Sujungiamų ruošinių metalas turi būti vienalytis. Ruošiniai, kurių kraštų plotas vienodas, įtvirtinami spaustuvuose taip, kad sutaptų jų ašys. Apvalių detalių skersmuo gali skirtis apie 15 %, pagal storį – apie 10 %.



4.26 pav. Kontaktinio sandūrinio suvirinimo schema: 1; 3 – elektrodai spaustuvai; 2 – suvirinamieji ruošiniai; 4 – neslankioji atrama; 5 – maitinimo šaltinis

Virinant sandūriniu būdu svarbu vienodai įkaitinti detalių kraštus. Suvirinimo srovės trukmė ir tankis yra įvairūs. Sumažinus srovės trukmę, kraštai įkaista nevienodai, labiau padidinus – oksiduojasi. Pradinė slėgimo jėga ruošinius įkaitina greičiau, bet jai didėjant, metalas gali ištikėti, oksiduotis. Mažiausias ruošinių iškyšos ilgis lygus ruošinio skersmeniui arba 3–4 suvirinamųjų ruošinių storiui.

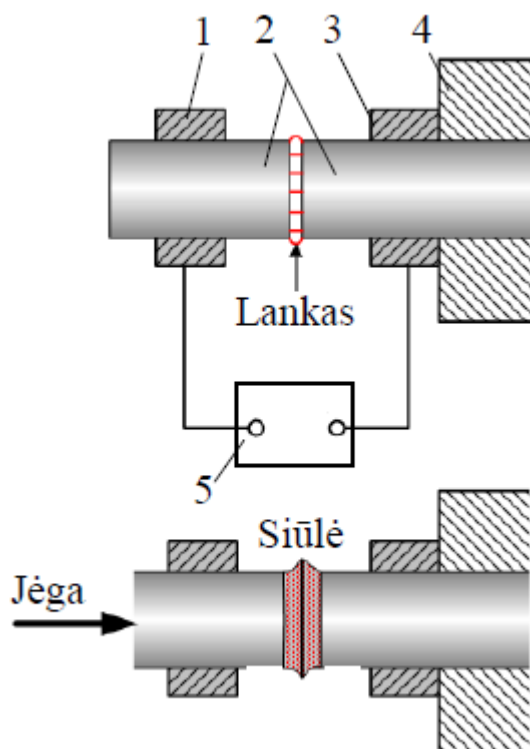
#### **4.4.2. Kontaktinis aplydomasis suvirinimas**

Virinant aplydomuoju būdu (4.27 pav.), ruošinių galai įkaitinami iki lydymosi temperatūros, paskui suslegiami. Tarp spaustuvuose įtvirtintų ruošinių paliekamas tarpas, o įjungus įtampą, jie tolygiai suartinami. Iš pradžių susiglaudžia atskiri nedideli ruošinių ploteliai, per kuriuos praleidžiama didelio tankio elektros srovė. Kai visas sandūrinis paviršius tolygiai apsilydo, išjunginama srovė ir, veikiant nedidelei jėgai, ruošiniai susodinami.

Kai įrenginys yra nepakankamos galios, taikomas aplydomasis suvirinimas pakaitinimu. Ruošinių galai pakaitinami trumpai juos sulietus, po to nedideliu atstumu atitolinus vienas nuo kito. Greitai keičiant suvirinamųjų paviršių kontaktus nuo glaudaus iki neglaudaus, aplydomas visas ruošinių skerspjūvis. Įkaitę paviršiai galutinai suspaudžiami, sąlyčio zona išsilydo, srovė išjunginama ir, veikiant nedidelei jėgai, detalės susivirina.

Aplydomojo suvirinimo privalumai (palyginti su sandūriniu suvirinimu): aplydymo procese išsilygina sandūros nelygumai, oksidai ir priemaišos pašalinamos iš suvirinimo zonos į paviršių, todėl nereikia junginio zonos kruopščiai paruošti, galima suvirinti sudėtingos formos, įvairaus skerspjūvio, skirtingų metalų ruošinius.

Aplydomojo suvirinimo trūkumas – didesni metalo nuostoliai ruošiniams apsilydant.



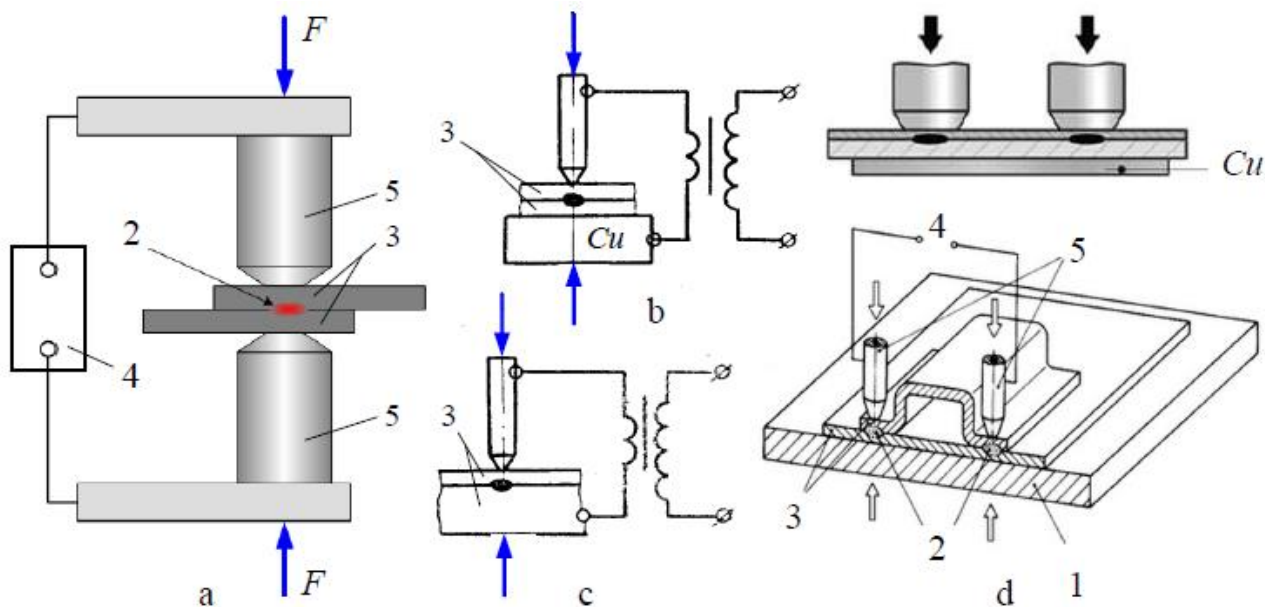
4.27 pav. Kontaktinio aplydomojo suvirinimo schema: 1; 3 – elektrodai spaustuvai; 2 – suvirinamieji ruošiniai; 4 – neslankioji atrama; 5 – maitinimo šaltinis

#### 4.4.3. Kontaktinis taškinis suvirinimas

Ruošinių jungimo vieta suvirinama ne ištisai, o atskiruose taškuose. Praleidžiant elektros srovę per vandeniui aušinamus varinius elektrodus, lietimosi zona įkaista, išoriniuose ruošinių paviršiuose susidaro plastiški labai maži tūriai, o vidiniai išsilydo. Šiuo momentu srovė išjungžiama, nutraukiamas spaudimas, temperatūra sąlyčio zonoje krinta ir iš išlydyto metalo susikristalizuoja lietas suvirinimo taškas. Vienu metu galima suvirinti vieną, du arba keletą taškų.

Svarbiausieji taškinio suvirinimo parametrai: srovės tankis, suvirinimo trukmė ir elektrodo slėgis. Suvirinami 0,5–6 mm storio ruošiniai.

Naudojami įvairūs taškinio suvirinimo būdai, kurie skiriasi elektros srovės tiekimo būdu, elektrodų skaičiumi ir jų išdėstymu. Labiausiai paplitęs suvirinimas dviem elektrodais, kai iš abiejų pusių (dvipusis suvirinimas) praleidžiama srovė (4.28 pav., a). Kartais vietoj apatinio elektrodo yra varinis antdėklas (4.28 pav., b). Jeigu viena iš suvirinamųjų detalių yra gerokai storesnė už kitą, tai prie jos prijungiama srovė (4.28 pav., c). Tuomet reikalingas tik viršutinis elektrodas. Praktikoje taikomas vienpusis suvirinimas, kai abu elektrodai yra vienoje suvirinamų detalių pusėje (4.28 pav., d).

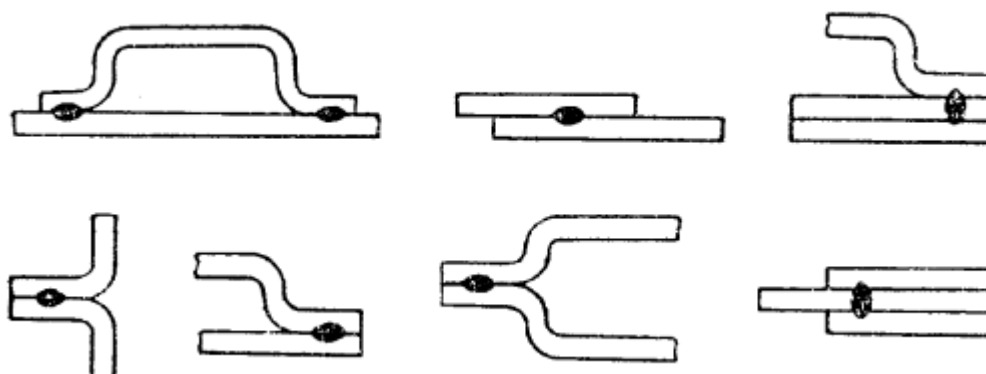


4.28 pav. Kontaktinio taškinio suvirinimo būdai: *a* – dvipusis taškinis suvirinimas; *b*, *c*, *d* – vienpusis taškinis suvirinimas:  $F$  – elektrodo slėgis; 1 – varinis antdėklo lakštas stipresnei srovei gauti; 2 – siūlės suvirinimo taškas; 3 – ruošiniai; 4 – maitinimo šaltinis; 5 – kontaktinio suvirinimo elektrodas

Suvirinant iš vienos pusės (4.28 pav., *d*), srovė pasiskirsto tarp viršutinio ir apatinio lakštų. Šiuo atveju ruošiniai įkaista nuo apatiniu lakštu praleidžiamos elektros srovės. Norint gauti stipresnę apatiniu lakštu praleidžiamą srovę, po juo dedamas varinis padėklas 1. Vienpusiu suvirinimu tuo pačiu metu galima ruošinius sujungti dviem taškais.

Suvirinimo režimai sąlyginai skirstomi į sparčiuosius (našesni, kadangi srovė praleidžiama trumpai, metalas įkaista greitai, didesnės slėgio jėgos) ir švelniuosius (ilgesnė suvirinimo trukmė, mažesnė galia).

Taškiniu būdu suvirinamos atskiros štampuotos detalės. Gaunama paprastesnė suvirintų mazgų gamybos technologija, didesnis darbo našumas. Taškiniu būdu suvirintųjų jungčių tipai parodyti 4.29 paveiksle.



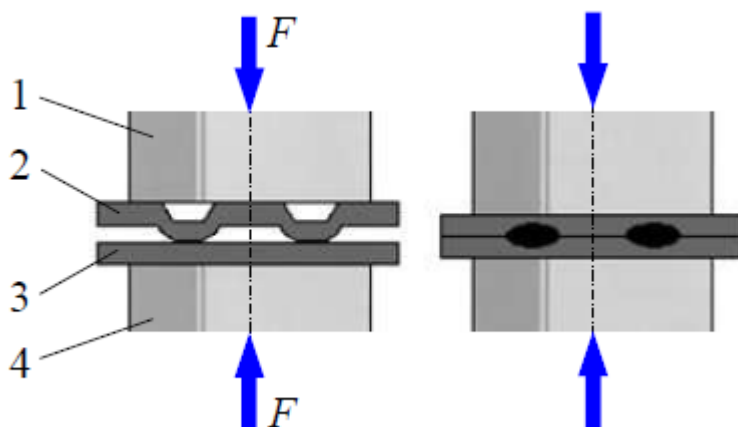


#### 4.29 pav. Kontaktinio taškinio suvirinimo jungčių tipai

Taškinis suvirinimas taikomas mažaaangliam, angliniam, mažai legiruotajam konstrukciniam ir korozijai atspariam plienui, aliuminio ir vario lydiniams suvirinti. Suvirinami 0,5–5 mm storio ruošiniai.

#### 4.4.4. Kontaktinis reljefinis suvirinimas

Kontaktinis reljefinis suvirinimas analogiškas taškiniam suvirinimui. Įjungus srovę, viršutinis elektrodas spaudžia ruošinius ir juos presuoja (4.30 pav.), kol visiškai išsilygina reljefo iškyšos. Iš karto gaunama tiek suvirinimo taškų, kiek štampuojant buvo iškyšų. Tai našus suvirinimo būdas, mažai dyla elektrodai, tačiau suvartojama daug elektros energijos.



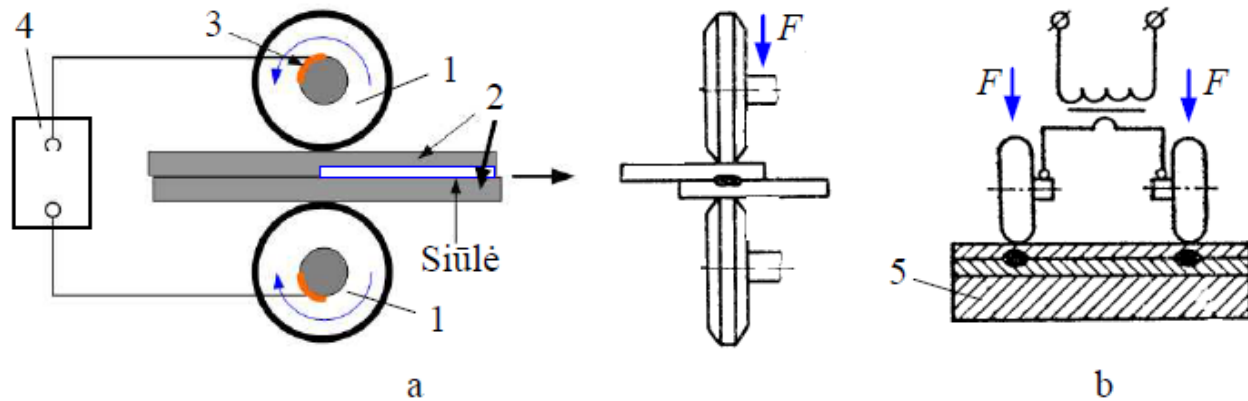
4.30 pav. Kontaktinio reljefinio suvirinimo schema: 1; 4 – vandeniu aušinami variniai elektrodai; 2 – reljefinis ruošinys; 3 – suvirinamasis ruošinys

Virinant reljefiniu būdu, taškų išsidėstymas priklauso nuo iškyšų išsidėstymo. Jei ruošiniai yra skirtingo storio ir pagaminti iš skirtingų medžiagų, reljefų iškyšos daromos ant storesnės detalės arba stipresnio metalo.

#### 4.4.5. Kontaktinis siūlinis suvirinimas

Kontaktiniu siūliniu suvirinimu detalės sujungiamos ne taškuose, o ištisine siūle. Suvirinus tarp ruošinių gaunamas stiprus ir sandarus sujungimas. Siūliniam suvirinimui būdinga tai, kad siūlė susidaro detalėms 2 judant tarp dviejų besisukančių ritininių elektrodų 1, pagamintų iš vario (4.31 pav.). Kai suvirinamos detalės tarp elektrodų juda pastoviu greičiu ir elektros srovė per sąlyčio zoną praleidžiama nuolat, suvirinimo taškai (išlydyto metalo sritys) vienas kitą dengia ir gaunama ištisinė siūlė. Siūlinį suvirinimą, taip pat kaip ir taškinį, galima atlikti elektrodais iš dviejų arba vienos (4.31 pav., b)

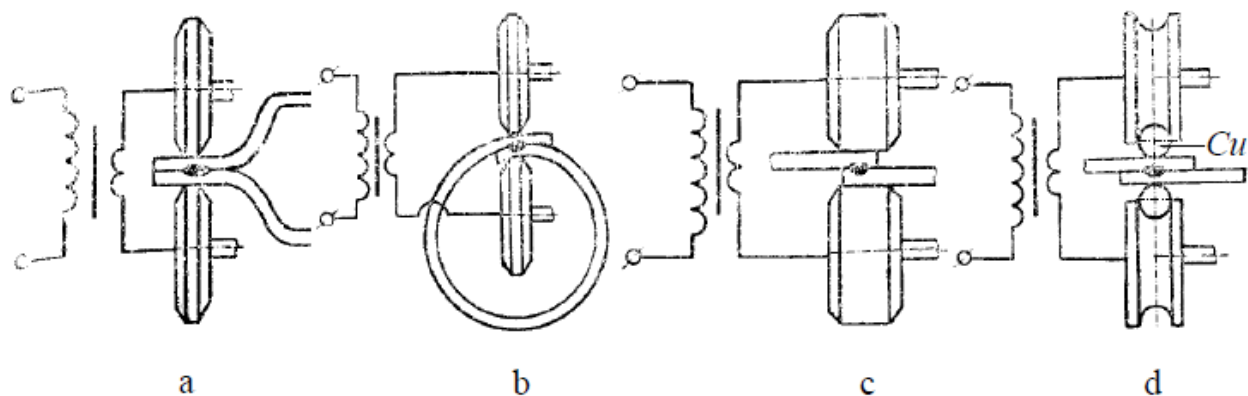
pusės.



4.31 pav. Kontaktinis siūlinis suvirinimas: *a* – dvipusis; *b* – vienpusis;  $F$  – slėgio jėga; 1 – ritininiai elektrodai; 2 – suvirinamieji lakštai; 3 – slankusis kontaktas; 4 – maitinimo šaltinis; 5 – varinis antdėklas

Ištisine siūle suvirinama tik tuomet, kai reikalingas hermetiškumas. Trūkiojo suvirinimo procese detalės juda tolygiai, o srovė įjunginama periodiškai. Kaskart ją įjungus, detalių sąlyčio vietoje išsilydo nedaug metalo, kuriam ataušus, ruošiniai susivirina kaip atskiras taškas (taškinis suvirinimas). Gaunama aukšta suvirintojo junginio kokybė, maža terminio poveikio sritis. Taip suvirinamos ilgos siūlės korozijai atsparaus plieno ir aliuminio lydinių ruošiniuose. Siūlinio suvirinimo srovė yra 15–20 % stipresnė, nei virinant taškiniu būdu (nes didesnis elektrodo ir detalės sąlyčio plotas).

Siūliniu suvirinimu dažniausiai virinama dviem elektrodais (4.32 pav., *a, b*). Tiksliai išdėstytos ir gerai pritvirtintos detalės suvirinamos sugniuždžius briaunas (4.32 pav., *c*). Plonos detalės su apsaugine danga suvirinamos įdubusiais elektrodais; srovė nuo elektrodų detalėms tiekama varine viela, esančia tarp jų (4.32 pav., *d*). Taip daroma tam, kad nebūtų pažeista apsauginė danga.



4.32 pav. Kai kurie siūlinio suvirinimo būdai: *a, b* – užleistinis siaurais elektrodais; *c* – gniuždomasis plačiais elektrodais; *d* – įdubusiais elektrodais

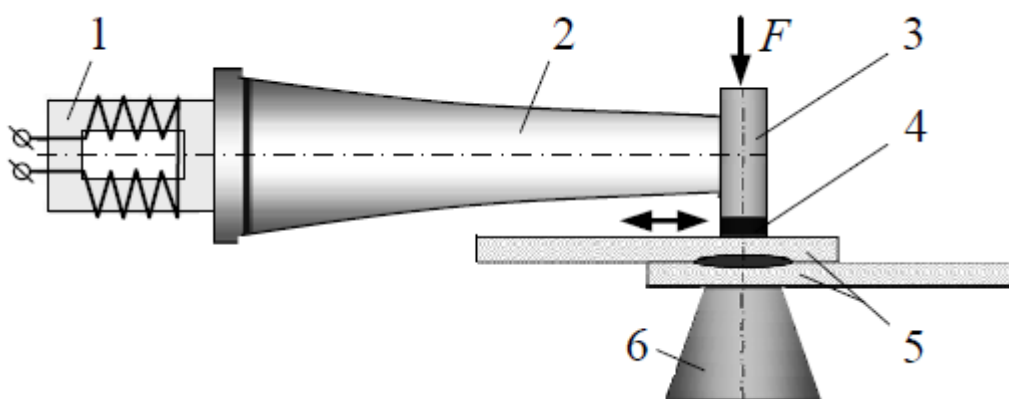
Suvirinami: nelegiruotasis ir legiruotasis konstrukcinis plienas, lengvieji lydiniai, kai kurie vario bei titano lydiniai, cinkuoti, alavuoti, padengti švinu ir kt. 0,5–6 mm storio plieno ruošiniai.

#### 4.5. Ultragarsinis suvirinimas

Neišardoma detalių jungtis gaunama jas veikiant ultragarsinio dažnio mechaniniais virpesiais ir kartu slegiant jėga  $F$  (50–8000 N). Ultragarsinio suvirinimo aukštojo dažnio mechaniniai virpesiai generuojami taikant magnetrostrikcinį efektą (kinta kai kurių metalų lydinių ir keraminių medžiagų matmenys kintamame magnetiniame lauke). Iš generatoriaus tiekiant elektrinį signalą į vandeniu aušinamą magnetrostrikcinį keitiklį 1 (4.33 pav.), jis pradeda virpėti ir elektrinį signalą paverčia mechaniniais virpesiais. Didesnei mechaninių virpesių energijai į suvirinimo zoną (darbo įrankio 3 judančiam antgaliui 4) perduoti, prie magnetrostrikcinio keitiklio tvirtinamas kūgio arba kreivalinijinio kūgio formos bangolaidis 2 (tampriųjų virpesių transformatorius, arba koncentratorius). Virinant metalus, mechaniniai virpesiai veikia išilgai suvirinamųjų paviršių, o prispaudimo jėga – statmenai paviršiams.

Suvirinamieji ruošiniai 5 dedami ant kontaktinės atramos 6. Antgaliui perduodami išilginiai mechaniniai virpesiai veikia suvirinamuosius paviršius 20–75 kHz ultragarsiniu dažniu ir 10–80  $\mu\text{m}$  virpesių amplitudė. Veikiant ultragarsinio dažnio virpesiams, tarp suspaustų suvirinamųjų paviršių atsiranda trintis, dėl šlyties deformacijų suardomos oksidų, adsorbuotų dujų ir skysčių plėvelės, pradeda formotis metalinis ryšys, kaista sąlyčio zona. Įkaitus sąlyčio zonai (700–800 °C), metalas tampa plastiškas ir, veikiant išoriniam slėgiui, detalės suvirinamos.

Temperatūra priklauso nuo metalo savybių ir suvirinimo režimo, suvirinimo trukmė priklauso nuo suvirinamųjų medžiagų ir jų storio, suvirinimo kokybė – nuo vibruojančio antgalio geometrijos ir jo adhezijos prie suvirinamosios medžiagos.



4.33 pav. Ultragarsinio suvirinimo išilginiais svyruojamaisiais judesiais schema: 1 – magnetrostrikcinis keitiklis; 2 – bangolaidis (tampriųjų virpesių transformatorius); 3 – suvirinimo įrankis; 4 – darbinis antgalis; 5 – suvirinamosios detalės; 6 – kontaktinė atrama;  $F$  – slėgio jėga

Palyginti nedidelis šiluminis poveikis į suvirinamąsias medžiagas labai mažai pakeičia jų struktūrą, mechanines ir kitas savybes. Pavyzdžiui, suvirinant varį, kontakto zonoje temperatūra ne aukštesnė kaip 600 °C, o suvirinant aliuminį – 200–300 °C. Tai ypač svarbu suvirinant chemiškai aktyvius metalus.

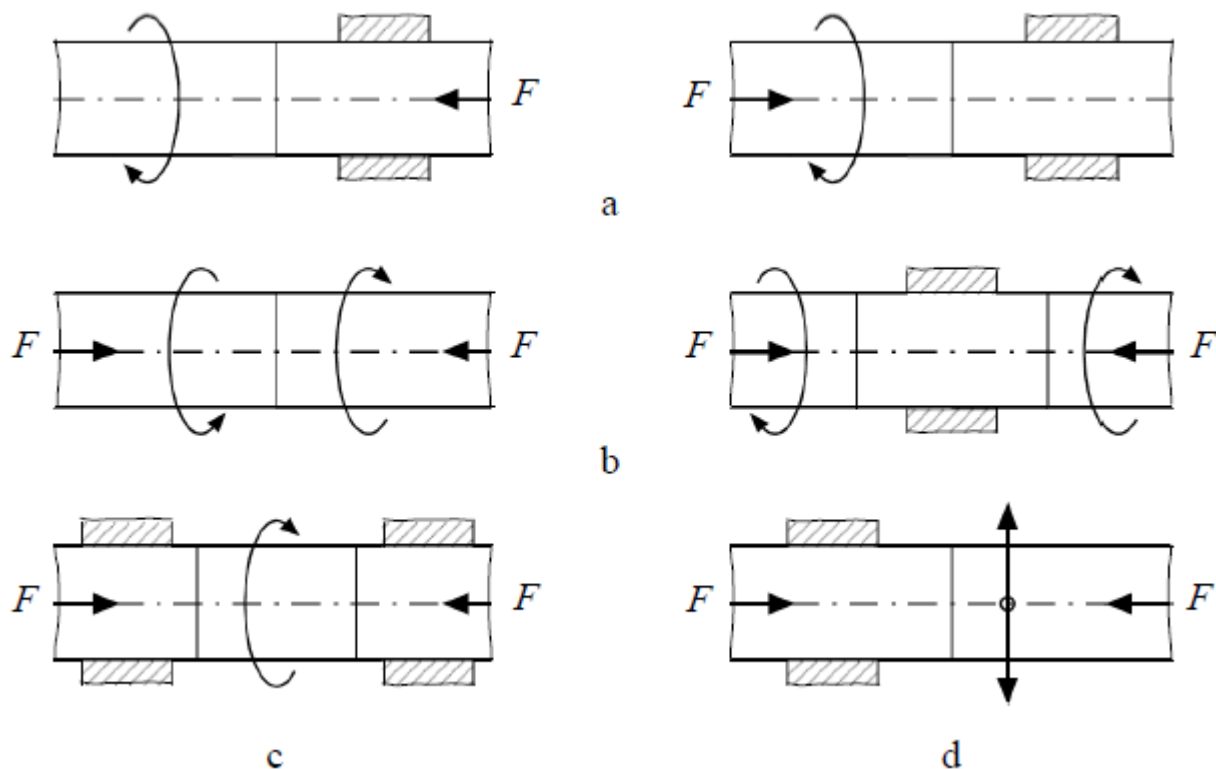
Ultragarsinis suvirinimas plačiai taikomas radioelektronikoje, prietaisų gamyboje, aviacijoje, plastmasėms suvirinti (šiuo atveju ultragarsiniai virpesiai perduodami ne tangentine kryptimi, kaip suvirinant metalus, o vertikalia) ir kt. Ultragarso suvirinimo jungtys yra stiprios. Ultragarso būdu galima suvirinti labai plonus (0,001–1 mm storio) ruošinius, galima privirinti foliją prie storų detalių, plastikų prie metalų, suvirinti vienodus ir skirtingus metalus (aliuminį su variu, varį su plienu, cinką su alavu ir kt.). Gerai suvirinami paviršiai, padengti dangomis ir izoliacinėmis plėvelėmis. Sunku suvirinti metalines, storesnes kaip 2–2,5 mm, medžiagas, negalima suvirinti reaktoplastikų.

#### **4.6. Trintinis suvirinimas**

Paviršiai suvirinami įkaitę dėl trinties ir papildomai suspausti. Suvirinamos trintimi detalės sukamos (viena detalė gali būti įtvirtinta nejudamai, o kita sukama) apie bendrą jų ašį ir slegiamos jėga  $F$  (4.34 pav., *a*, *b*). Detalių sąlyčio zona įkaista iki 950–1300 °C. Įkaitinus iki nustatytos temperatūros ir staigiai nustojus sukuti, detalės susodinamos (suspaudžiamos 2–3 kartus didesne jėga negu kaitinant). Sąlyčio vietoje, susodinimo procese plastiškai deformuojantis paviršiniams metalo sluoksniams, detalės suartėja ir suvirinamos.

Didelės detalės, kurias sunku greitai sukuti ir ypač greitai sustabdyti, sujungiamos per tarpinę detalę (4.34 pav., *c*). Kai vienai iš suvirinamųjų detalių suteikiamas slankiojamasis judesys (4.34 pav., *d*), galima suvirinti ne tik apvalaus skerspjūvio, bet ir kitokios formos detales.

Palyginti su kitais suvirinimo būdais, trintinio suvirinimo privalumai: didelis našumas, nebūtina gerai paruošti suvirinamųjų paviršių, galima suvirinti įvairiarūšius metalus, sunaudojama 5–10 kartų mažiau energijos negu suvirinant kontaktiniu būdu, aukšta suvirinimo kokybė ir kt.



4.34 pav. Trintinio suvirinimo būdai: *a* – sukant vieną detalę; *b* – sukant abi detales; *c* – sukant tarpinę detalę; *d* – vienai detalei suteikiant slankiojamąjį judesį;  $F$  – slėgio jėga

Trintinio suvirinimo įrenginiai yra sudėtingi ir brangūs. Kadangi suvirinimo procesas našus, šis būdas taikomas masinėje ir serijinėje gamyboje. Trintinis suvirinimas naudojamas metalo pjovimo įrankiams gaminti (darbinė dalis privirinama prie koto, pagaminto iš prastesnio plieno), statyboje, mašinų gamyboje ir kt.

#### 4.7. Elektronpluoštis suvirinimas vakuume

Metalai ir kitos medžiagos suvirinami įvairiais būdais (lankiniu, dujiniu, kontaktiniu ir kt.). Visi šie suvirinimo būdai yra plačiai naudojami, tačiau turi trūkumų: nedidelis jungties tikslumas, sunku suvirinti mažų matmenų detales, didelė terminio poveikio sritis, kuri prastina jungties kokybę (nes pakinta metalo vidinė sandara), atsiranda nepageidaujamų įtempių ir kt. Todėl ieškoma būdų kitos rūšies energijai panaudoti ir suvirinimo kokybę prastinantiems veiksniams išvengti.

Elektronpluoščio suvirinimo metu greitai judančių elektronų pluoštui susidūrus su kietuoju kūnu, apie 90 % kinetinės energijos virsta šiluma, kuri šį kūną įkaitina. Tokia energija medžiagas galima lydyti, suvirinti, garinti ir kt.

Pramonėje dažniausiai naudojami universalūs elektronpluoščio apdirbimo įrenginiai. Jais atliekamos tokios operacijos: mikroskylių apdirbimas, smulkių detalių išpjovimas, mikrosuvirinimas,

precizinis skirtingų medžiagų suvirinimas ir litavimas ir kt. Šiam procesui būdingas labai didelis naudingumo koeficientas.

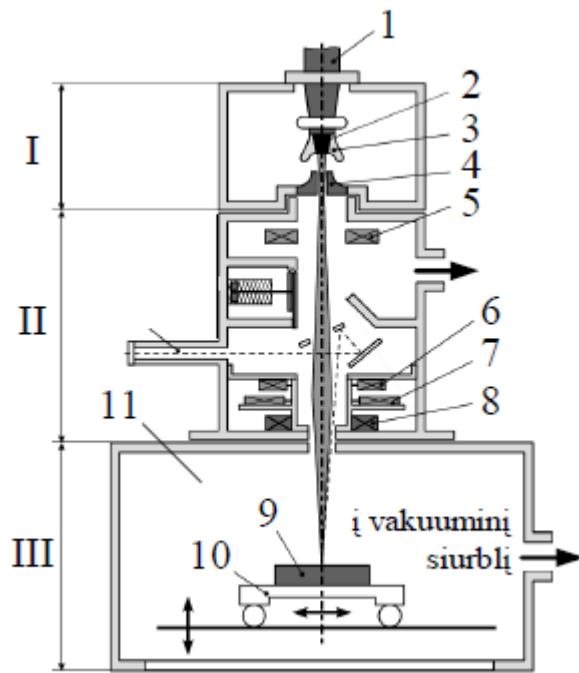
**Elektronpluoščio suvirinimo fizikiniai pagrindai.** Viena iš suvirinimo elektronų pluoštu savybių yra vidinės elektronų energijos išlaisvinimas juos stabdant medžiagoje. Didžioji energijos dalis prarandama ne medžiagos paviršiuje, o giliau. Todėl, skirtingai nei kiti suvirinimui naudojami taškiniai kaitinimo šaltiniai, kurie kaitina metalo paviršių, elektronų pluoštas medžiagą kaitina elektrono skverbimosi kelio pabaigoje. Ši savybė svarbi, nes elektronų pluoštu galima suvirinti aliuminį ir jo lydinius. Tokius metalus suvirinti sudėtinga dėl medžiagos paviršiuje esančios oksidų plėvelės, kuri neleidžia kokybiškai sujungti metalų. Suvirinant elektronų pluoštu, metalas lydosi ir garuoja giliau, todėl, susidarius sprogimo efektui, dujinės medžiagos išsiveržia į paviršių, oksidų plėvelė suardoma ir metalai sujungiami.

Elektronų pluoštu virinamas visų rūšių plienas, *Ta, Nb, W, Mo, Zr, Be, Ti, Al, Mg* ir jų lydiniai, kuriuos labai sunku arba visai negalima suvirinti įprastiniais metodais. Be to, virinant šiuo būdu, siūlės gylis gali būti net 10 kartų didesnis už jos plotį (4.9 lentelė).

**4.9 lentelė.** Elektronpluoščio suvirinimo gylio ir storio santykis

Suvirinamosios medžiaga	Suvirinamųjų detalių storis, mm	Siūlės gylio ir jos pločio santykis, mm
Nelegiruotasis plienas	iki 200	15–20
Nerūdijantysis plienas	iki 250	15–20
Titanas ir jo lydiniai	iki 300	15–20
Aliuminis	iki 400	30

**Elektronpluoščio suvirinimo technologija.** Elektronų pluoštui technologiniams tikslams gauti reikia: laisvųjų elektronų; įgreitinti elektronus ir suformuoti iš jų srautą; sufokusuoti elektronų pluoštą; suteikti elektronų pluoštui reikiamą trajektoriją.



4.35 pav. Elektronpluoščio suvirinimo schema: I – pluošto generacija, II – pluošto formavimas ir valdymas; III – darbo kamera; 1 – aukštos įtampos maitinimo šaltinis; 2 – katodas; 3 – elektrodas; 4 – anodas; 5 – elektriniai lęšiai; 6 – antriniai elektriniai lęšiai; 7 – fokusavimo lęšiai; 8 – pluošto kreipimo lęšiai; 9 – detalė; 10 – technologinis stalas; 11 – vakuuminė kamera; 12 – stebėjimo sistema

Elektronų šaltinis yra termoemisinis katodas 2 (4.35 pav.), pagamintas iš volframo arba tantalio. Elektros srove jis įkaitinamas iki 1300–2500 °C paviršiaus temperatūros. Įkaitintas katodas emituoja elektronų pluoštą, kuris yra greitinamas priešingą potencialą turinčiu anodu 4. Šis elektronų pluoštas yra išsisklaidęs ir jam sufokusuoti naudojami magnetiniai lęšiai 7. Jais elektronų pluoštas yra fokusuojamas į apdirbamąją medžiagą 9. Elektronų pluošto kinetinė energija virsta šilumine, kuri metalą įkaitina ir išlydo. Elektronų pluoštas į norimą detalės vietą nukreipiamas kreipimo sistema 8. Šis procesas vyksta vakuume, todėl suvirinamoji detalė turi būti sandarioje kameroje 11.

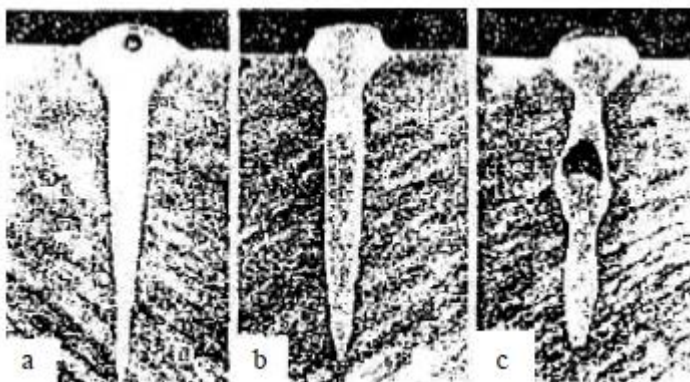
Virinamai detalei arba elektronų pluoštui suteikiama pastūma. Virinant mažų matmenų detales, paprastai juda apdirbamoji medžiaga, tačiau sujungiant stambias, didelių storių detales, pastūma gali būti suteikiama pluošto šaltiniui.

Suvirinimo procese labai svarbus pastūmos greitis, nes nuo jo priklauso suvirinimo gylis ir paviršiaus kokybė: kuo greičiau juda detalė arba pluoštas, tuo sparčiau išsilydęs metalas pasislenka į kristalizacijos zoną. Dėl šio efekto negalima labai padidinti darbo našumo, nes, pagreitinus pastūmą, ima blogėti paviršiaus kokybė, jis darosi nelygus ir korytas. Suvirinimo kokybei įtakos turi ir pluošto fokusavimo tikslumas. Priklausomai nuo to, kurioje zonoje sufokusuotas elektronų pluoštas, keičiasi siūlės matmenys ir kokybė. Pluoštas gali būti:



- Nesufokusuotas (4.36 pav., *a*) – kada ploniausia pluošto dalis pasislenka gilyn į metalą. Šiuo atveju gaunama labai siaura išsilydžiusio metalo zona, kurios apatinėje dalyje dažnai lieka porų ir nesulydymų. Be to, viršutinėje siūlės dalyje gali likti tuštumų arba susidaryti įdubos. Ypač dažnai tai atsitinka suvirinant didelio šiluminio laidumo metalus: varį, aliuminį ir kt.
- Sufokusuotas (4.36 pav., *b*) medžiagos paviršiuje. Gaunama pati geriausia suvirintosios jungties kokybė. Nors virinant šiuo būdu siūlė nėra labai gili, tačiau nesusidaro tuštumos, nėra nesulydymų.
- Perfokusuotas (4.36 pav., *c*) – kada pluošto židiny susidaro aukščiau metalo paviršiaus. Gaunama prastesnės kokybės siūlė. Šiuo atveju viršutinė siūlės dalis susiaurėjusi, toje vietoje, kur krinta didžiausia elektronų pluošto dalis, susidaro didelės tuštumos.

Todėl norint kokybiškai suvirinti jungtį, reikia kuo labiau sumažinti elektronų pluošto fokusavimo kampą, stengtis, kad elektronų srautas būtų lygiagretus kuo didesniu ilgiu ir kartu išlaikytų maksimalią energiją kritimo taške. Šie reikalavimai prieštarauja vieni kitiems, tačiau to galima pasiekti didinant greitinimo įtampą ir naudojant kelių lęšių fokusavimo sistemą.



4.36 pav. Elektronpluoščio suvirinimo siūlių skerspjūvio geometriniai parametrai, kai elektronų pluoštas: *a* – nesufokusuotas; *b* – sufokusuotas; *c* – perfokusuotas

Elektronpluoščio suvirinimo privalumai: didelė energijos koncentracija, kurios negalima gauti kitais šiluminiais apdirbimo būdais; energija sukaupiama mažame plote (gaunamos siauros įšilimo zonos), todėl galima apdirbti miniatiūrines detales ir labai mažo skersmens kiaurymes; galimybė plačiu diapazonu reguliuoti apdirbimo režimus ir kartu valdyti šiluminius procesus; metodas taikomas metalinėms ir nemetalinėms medžiagoms apdirbti; nereikia pridėtinio metalo; metalas apsaugotas nuo oksidacijos; labai švari apdirbimo aplinka (nėra dujų, dulkių) – tai leidžia apdirbti lengvai besioksiduojančias, didelio aktyvumo ir sunkiai besilydančias medžiagas.

Elektronpluoščio suvirinimo trūkumai: apdirbant vakuume būtina apsauga nuo rentgeno spinduliuotės (apie 0,1–3 % kinetinės energijos virsta rentgeno spinduliuote), vakuumui sudaryti reikia laiko, brangi ir sudėtinga aparatūra ir kt.

Elektronpluoštis suvirinimas plačiai taikomas plieno ir spalvotojo metalo lydiniams suvirinti (4.37 pav.). Kai kurių rūšių plienas iki 300 mm storio suvirinamas vienu ėjimu be nuosklembų. Dėl mažo išlydomojo metalo kiekio labai sumažėja deformacijos, todėl pagerėja jungties kokybė ir mažai pasikeičia medžiagos savybės. Elektronpluoščio suvirinimo vakuume technologija netaikoma *Zn*, *Cd*, *Mg* ir iš esmės visoms nemetalinėms medžiagoms.



4.37 pav. Elektronpluoščio suvirinimo pavyzdžiai

#### 4.8. Lazerinis suvirinimas

Lazeris yra energijos spinduliuotės šaltinis, generuojantis didelės galios elektromagnetinių bangų srautą infraraudonojoje, regimojoje, ultravioletinėje spektro dalyse. Šis bangų srautas yra monochrominis (generuotas siaurame elektromagnetinių bangų intervale), koherentiškas (vienodos fazės bet kokiame spindulių srauto skerspjuvyje), kryptingas (orientuotas tiksliai viena kryptimi), mažos sklaidos, stabilus, didelio skaisčio, gali būti poliarizuotas.

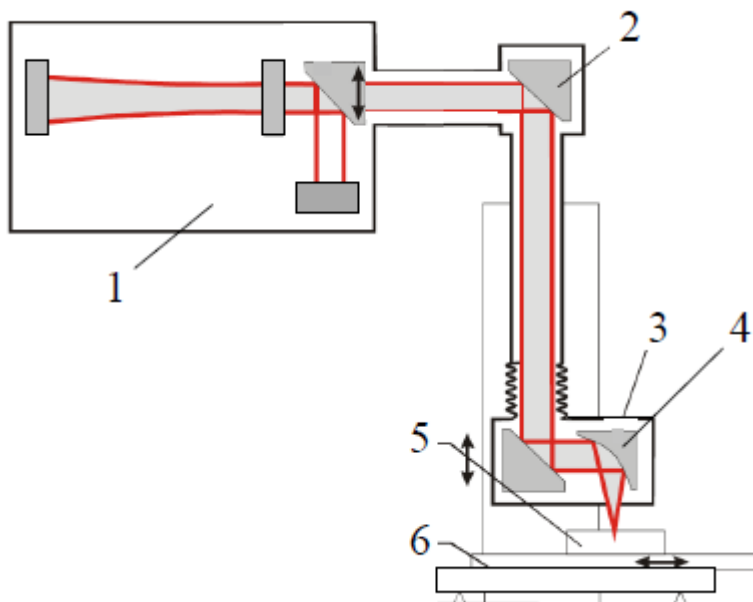
Lazerio spinduliuotė medžiagos paviršių veikia kaip labai sutelktas (koncentruotas) energijos srautas. Esant didelei energijos koncentracijai kaitinimo srityje, greitai įkaista, išsilydo ir išgaruoja sunkiai lydūs metalai. Lengvai valdomas kryptingas šiluminės energijos srautas gali veikti medžiagą lokaliai, dėl to nėra liekamųjų deformacijų, gaunama gili ir siaura išlydyto metalo sritis. Terminio poveikio sritis taip pat nedidelė.

Lazerio spinduliuotės srautu galima apdirbti bet kurią šiandien žinomą medžiagą. Lazeriniai technologiniai procesai nesudėtingi ir labai našūs. Dažnai vieno lazerio energiją stengiamasi panaudoti keliose darbo vietose, paskirstant ją laike. Medžiagos gali būti apdirbamos įvairiais technologiniais lazeriais (5.5.1 skirsnis), kurių spinduliuotės galia siekia nuo kelių dešimčių vatų iki šimtų kilovatų.

Pramonėje plačiausiai naudojami nuolatinės veikos ir impulsiniai lazeriai:

- *CO<sub>2</sub> dujų lazeriai.* Aktyvioji dujų terpė (helis, neonas, anglies dioksidas, azotas, argonas ir kt.) sužadinama stacionaria aukštosios įtampos iškrova. Impulsiniuose CO<sub>2</sub> dujų technologiniuose lazeriuose išspinduliuojamo impulso energija siekia 10–1000 J, impulso trukmė gali būti nuo 100 nanosekundžių iki vienos mikrosekundės. Dujiniai lazeriai, kurių galia nuo 50 W iki 15 kW, pasižymi gera spinduliuotės kokybe. Šie lazeriai pritaikomi gilaus suvirinimo srityje.
- *Kietojo kūno lazeriai.* Iš kietojo kūno lazerių labiausiai paplitę itrio ir aliuminio granato arba neodimiu aktyvinto stiklo lazeriai. Šie lazeriai kompaktiškesni už CO<sub>2</sub> lazerius, bet pagrindinis jų pranašumas virinant – galimybė perduoti lazerio energiją dideliais atstumais šviesolaidžiais, pvz., 300–400 μm diametro skaidula sėkmingai transliuojama 4 kW galios lazerio spinduliuotė iki 200 m. Šių lazerių taikymo sritis yra plonų plieno lakštų ir spalvotųjų metalų suvirinimas. Esant impulsiniam režimui, populiarius taškinis suvirinimas ir litavimas. Apdirbant impulsais, neištaškomas lydalas, galima reguliuoti aušimo greitį. Virinti naudojami 0,3–20 milisekundžių trukmės impulsai.

Metalo išlydymo gylis labai priklauso nuo lazerio optinės fokusavimo sistemos židinio nuotolio, apdirbamojo metalo sugeriamosios gebos, spinduliuotės kritimo kampo metalo paviršiaus atžvilgiu ir kt. Todėl, suvirinant lazeriu, labai svarbu tiksliai fokusuoti spinduliuotės srautą. Daug įtakos išlydymo gyliui ir siūlės oksidavimuisi turi technologinės dujos, kuriose vyksta procesas.



4.38 pav. Lazerinio suvirinimo įrenginio schema: 1 – lazeris; 2 – spinduliuotės perdavimo sistema; 3 – suvirinimo galva; 4 – fokusavimo sistema; 5 – detalė; 6 – technologinis stalas

Lazerinio suvirinimo įrenginį (4.38 pav.) sudaro šios svarbiausios dalys ir mazgai:

- *Lazerio maitinimo, aušinimo ir valdymo sistemos.*

Maitinimo sistema yra skirta aukštajai įtampai gauti ir lazerio aktyviajai terpei sužadinti; aušinimo sistema naudojama lazerio aktyviajam ir optiniam elementui aušinti; valdymo ir kontrolės sistema – lazerio spinduliuotės parametrams stabilizuoti, darbo režimams kontroliuoti, blokuotei valdyti ir kt. Intelektualioms suvirinimo greičio ir lazerio galios reguliavimo sistemoms valdyti gali būti panaudoti jutikliai.

- *Optinė sistema lazerio spinduliuotei į darbo vietą perduoti.*

Lazerio spinduliuotė perduodama į darbo vietą veidrodžių sistema arba šviesolaidžiais (optinėmis skaidulomis). Specializuotomis optinėmis sistemomis galima apdirbti sunkiai pasiekiamas vietas.

- *Suvirinimo galva su fokusuojančia optika, apsauginių dujų tiekimu ir proceso kontrolės prietaisais.*

Optinio fokusavimo ir nukreipimo sistema skirta spinduliuotės srautui židinyje formuoti ir jį nukreipti reikalinga kryptimi. Nešiojamos lazerinio suvirinimo galvos, sujungtos šviesolaidžiais su lazeriu, daro procesą universalesniu, kai reikia suvirinti dideles konstrukcijas remonto ir kt. darbuose. Šiuolaikinės lazerinio suvirinimo galvos turi integruotas reljefo (aukščio) ir virintinės siūlės sekimo sistemas. Judesio sekimo sistema visada užtikrina gerą suvirinimo kokybę.

Apsauginės dujos dažnai tiekiamos į suvirinimo zoną, siekiant apsaugoti metalus nuo oksidacijos. Praktika rodo, kad tinkamiausios technologinės dujos yra helis, nes jo didelis jonizacijos potencialas ir didelis šilumos laidumas. Be šių dujų, gali būti naudojamas argonas, helio ir argono dujų mišinys. Apsauginių dujų tiekimas ir lazerio saugos priemonės yra integruotos į prietaisą.

- *Pavara suvirinimo galvai arba detalėms pozicionuoti arba perstumti.*

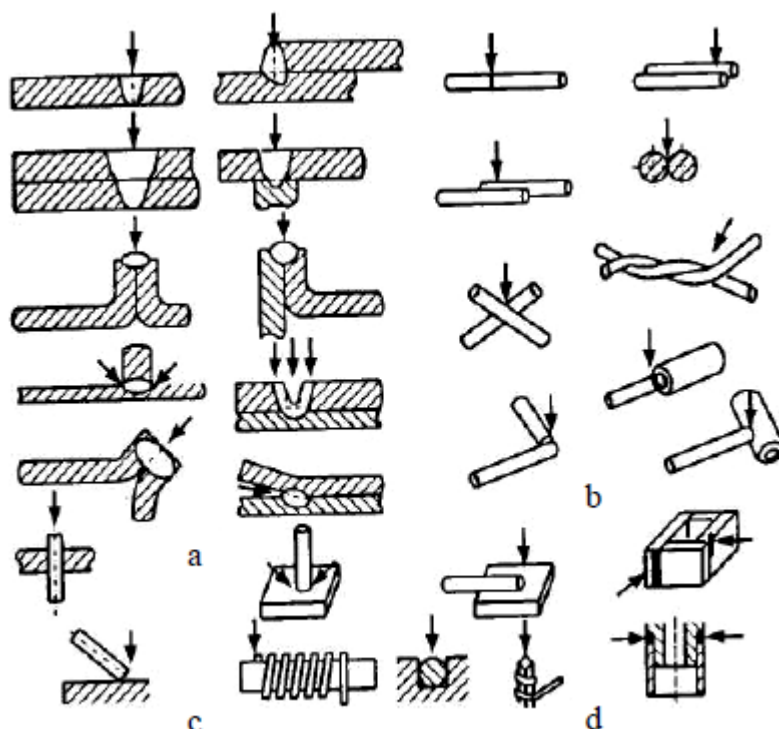
Pavara (arba robotas) užtikrina suvirinamo kontūro sekimą ir vienodą suvirinimo greitį. Precizinio suvirinimo įrenginiai aprūpinami televizinėmis sistemomis.

Lazeriu suvirintų lakštinių medžiagų, vielos, vielos ir masyvių detalių, hermetiškų sujungimų tipai parodyti 4.39 paveiksle.

Lazerinio suvirinimo privalumai: gaunama mažiausių matmenų siūlė, procesas vyksta labai greitai, yra lokalizuotas, suvirinamos dalys mažai deformuojamos, galima suvirinti kitais būdais sunkiai suvirinamus metalus, procesą nesudėtinga automatizuoti.

Lazerinis suvirinimas naudojamas mikroelektronikos, radijo technikos, tikslųjų prietaisų, automobilių pramonėje ir kt. Kai kurios užsienio šalių (JAV, Šveicarijos ir kt.) firmos lazerinį suvirinimą taiko aerolinių balionėlių gamyboje. JAV firmos, gaminančios elektrines mašinas,

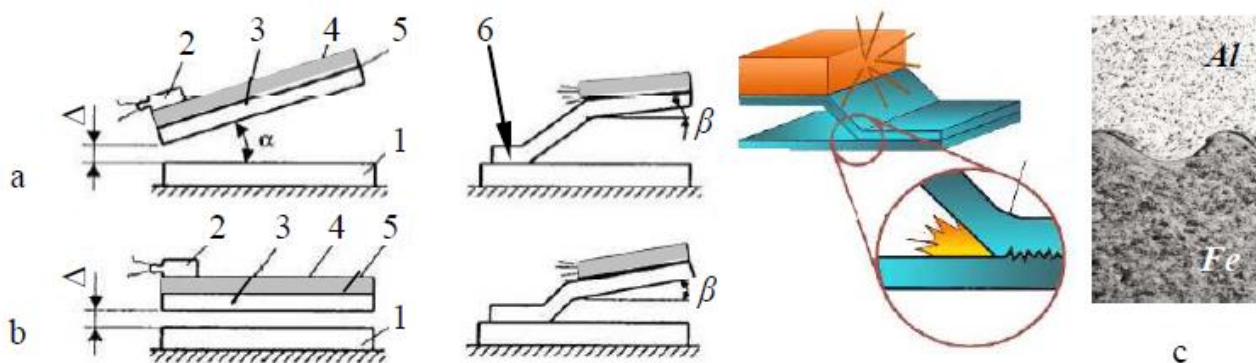
lazeriu pjausto rotorų ir statorių plokšteles, suvirina paketus. Lazerinės technologijos leidžia atsisakyti brangių ir imlaus darbo šampų gamybos.



4.39 pav. Lazerinio suvirinimo pavyzdžiai: *a* – lakštinių medžiagų; *b* – vielos; *c* – vielos ir masivių detalių; *d* – hermetiškų sujungimų

#### 4.9. Suvirinimas sprogimu

Sprogimo metu suvirinami kartu sudėti du ar daugiau metalo lakštų, plakiruojami ir suvirinami vidiniai ir išoriniai vamzdinių detalių paviršiai. Sprogimu paprastai suvirinami skirtingos sudėties metalai, taip pat metalai, kurių tradiciniais būdais negalima suvirinti.

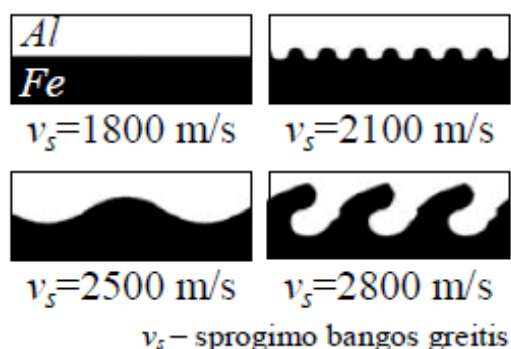


4.40 pav. Suvirinimo sprogimu schemas: *a* – kampu padėtos suvirinamosios detalės iki sprogimo ir po sprogimo; *b* – lygiagrečiai padėtos suvirinamosios detalės iki sprogimo ir po sprogimo; *c* – Fe-Al bimetalias; 1 – apatinė detalė; 2 – detonatorius; 3 – viršutinė detalė; 4 –



sprogstamoji medžiaga; 5 – tarpiklis; 6 – suvirintoji jungtis;  $\Delta$  – pradinis tarpelis tarp jungiamųjų detalių

Viršutinio lakšto paviršiuje tolygiai paskleidžiamas vienodo storio sprogstamosios medžiagos sluoksnis (4.40 pav.). Naudojamos sprogstamosios medžiagos pagrindas yra amonio nitratas. Ši medžiaga išsilepsnoja nuo degtuvo. Suvirinimo procesas vyksta dėl to, kad susiliečiantys lakštų paviršiniai sluoksniai, veikiami sprogstant susidariusio slėgio, per akimirką suskystėja ir susivirina. Dangos lakštas dažnai būna siauresnis už dengiamąjį lakštą. Medžiagoms sujungti naudojama didelio greičio (iki 5000 m/s) ir didelio slėgio (>15000 MPa) smūgio banga.

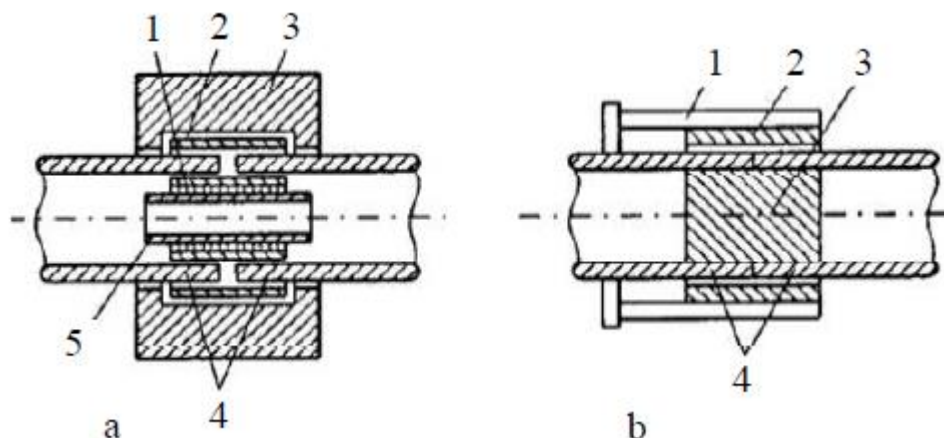


4.41 pav. Sujungimo srities banguotumo priklausomybė nuo sprogimo bangos greičio.

Suvirinimo sprogimu ypatumai: suvirinimo parametrai yra smūgio greitis ir smūgio kampas; judančios detalės kinetinė energija turi būti pakankama, kad suvirinamos detalės plastiškai deformuotųsi; pradinis tarpelis tarp jungiamųjų detalių turi būti didesnis už pusę viršutinės detalės storio; suvirinamos detalės, kurių jungimo vietos sunkiai prieinamos; gana nesudėtingas procesas; pigūs įrenginiai; patogų suvirinti didelius ir skirtingų medžiagų lakštų paviršius; suvirinamųjų paviršių nereikia kruopščiai paruošti (užtenka metaliniais šepečiais nuvalyti oksidus ir pašalinti riebalus); padidėja sujungimo stipris ir jungiamųjų paviršių sąlyčio plotas, kadangi paviršiniai sluoksniai plastinės deformacijos metu įgauna banguotą formą (4.41 pav.).

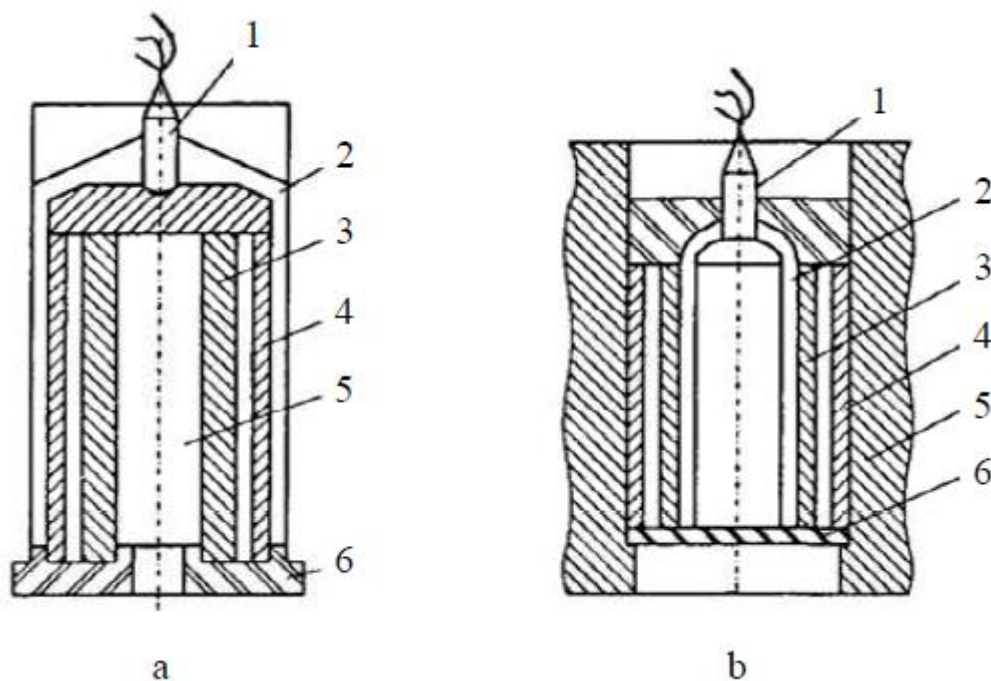
Šiuo metu suvirinimas sprogimu naudojamas įvairiems metalams ir jų lydiniams: aliuminiui su titanu, mažaaangliam plienui su nerūdijančiuoju karščiui atspariu plienu arba su greitapjoviu plienu, aliuminiui su plienu, variui su sidabru ir kt. sujungti. Viena iš pagrindinių suvirinimo sprogimu taikymo sričių yra metalų plakiravimas. Plakiravimo tikslas yra gauti bimetalines detales arba ruošinius (4.40 pav., c), kurie bus naudojami intensyvaus dilimo aplinkoje. Be to, plakiravimas leidžia taupyti brangesnes medžiagas. Galima plakiruoti lakštus, plokštes ir vidinius detalių ar ruošinių paviršius. Prie plieno lakštų prijungiami ploni nerūdijančiojo plieno, vario, žalvario, bronzos, aliuminio, titano, sidabro ir kitų metalų sluoksniai.

Vamzdinėms detalėms sujungti sprogimu naudojami specialūs įtaisai. Principinė vamzdžių suvirinimo schema parodyta 4.42 paveiksle.



4.42 pav. Vamzdžių suvirinimas: *a* – matricoje; *b* – ant spraudiklio; 1 – sprogmuo; 2 – jungiamasis žiedas; 3 – matrica (spraudiklis); 4 – suvirinamieji vamzdžiai; 5 – gilzė, laikanti sprogmenį

Panašiu būdu plakiruojami vidiniai ir išoriniai vamzdinių detalių paviršiai (4.43 pav.). Jungiamieji vamzdžiai dedami vienas į kitą ir į matricą (plakiruojant vidinius paviršius) arba uždedami ant spraudiklio (plakiruojant išorinius paviršius).

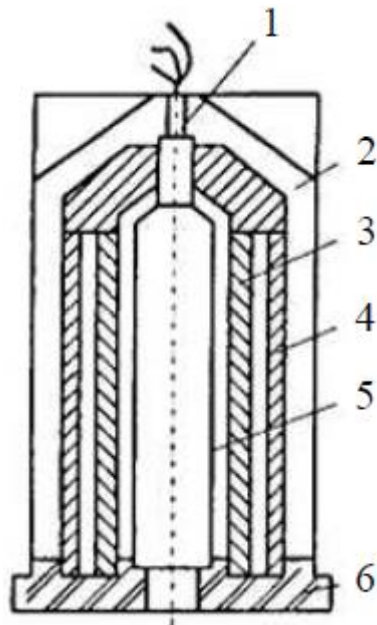


4.43 pav. Vamzdžių sprogdinamasis plakiravimas: *a* – išorinių paviršių; *b* – vidinių paviršių; 1 – detonatorius; 2 – sprogmuo; 3 – plakiruojamasis vamzdis; 4 – viršutinė detalė; 5 – spraudiklis; 6 – korpusas



Taip pat naudojama schema, kai sprogmėnys išdėstomi suvirinamųjų detalių išorėje ir viduje (4.44 pav.). Šis suvirinimo būdas plačiai taikomas užsienyje. Kompanija „International Research and Development“ (JAV) šiuo būdu suvirina nuo 25 mm iki 200 mm skersmens vamzdžius. Kompanijoje taip pat suvirinami 800 mm skersmens vamzdžiai, kurie naudojami giliai po vandeniu.

Kita sprogdinamojo suvirinimo taikymo sritis yra armuotų konstrukcijų gamyba. Gaunami daugiasluoksniai paketai, kuriuos sudaro pagrindinio metalo ar jo lydinių lakštai ir armatūra, pvz., aliuminio lydinio lakštai, armuoti plienu.



4.44 pav. Kombinuotas vamzdžių suvirinimas: 1 – detonatorius; 2 ir 5 – sprogmėnys; 3, 4 – suvirinamieji vamzdžiai; 6 – korpusas