

Metųų suvirinimas

Doc. dr. Źilvinas KryŹevičius

Suvirinimas

- Suvirinimas yra technologinis procesas, kuriuo gaunamas neišardomas detalių sujungimas.
- Suvirinami metalai ir jų lydiniai, stiklas, keramikos dirbinių detalės, plastikai, metalai su nemetalais ir kt.
- Suvirinimas yra našus, pigus ir svarbiausias technologinis procesas ištisai laivų korpusams, skysčių ir dujų rezervuarams, cisternoms, metaliniams vagonams, katilams, garo ir hidraulinėms 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 metalo: cheminė sudėtis, struktūra, mechaninės savybės.

Pagal ruošinių sujungimo būdą suvirinimas skirstomas:

- *Lydomojo suvirinimo būdai:*
 - lankinis;
 - dujinis;
 - elektronpluoštis;
 - lazerinis;
 - elektrošlakinis;
 - ir kiti.
- Palyginti su slėginiu suvirinimu, lydomasis suvirinimas yra universalesnis.

Pagal ruošinių sujungimo būdą suvirinimas skirstomas:

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

Pagal ruošinių sujungimo būdą suvirinimas skirstomas:

- *Slėginio suvirinimo būdai:*
 - *kontaktinis;*
 - *ultragarsinis;*
 - *trintinis;*
 - *sprogimu;*
 - *šaltasis;*
 - *ir kiti.*

Pagal vartojamosios energijos rūšį suvirinimas skirstomas:

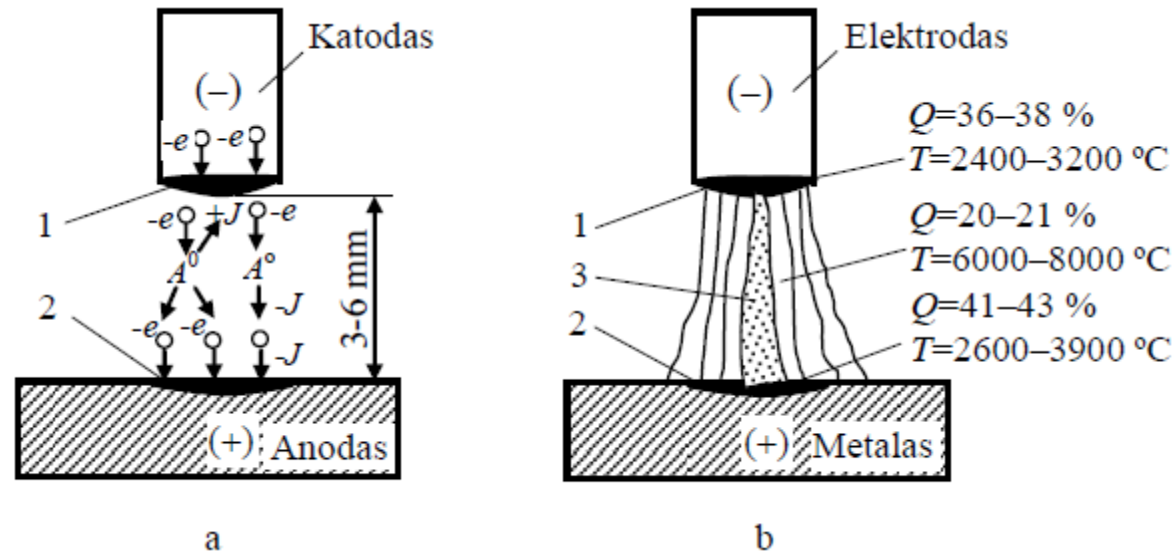
- Elektrinis – elektros energija paverčiama šiluma. Jungties sritis kaitinama tol, kol išsilydo.
- Cheminis – cheminė energija paverčiama šiluma. Suvirinimo zonoje medžiagų briaunos išsilydo. Joms sustingus, gaunamas sujungimas.
- Mechaninis – sujungiami plastiškai deformuoti metalai.
- Elektromechaninis – ruošinių lietimosi zona įkaitinama iki plastinio būvio arba iki tol, kol apsilydo ir, papildomai paspaudus, suvirinama.
- Cheminis mechaninis – sujungimas gaunamas įkaitinus metalą iki plastinio būvio ir jį deformavus.



1 pav. Termitinis suvirinimas

Lankinis suvirinimas

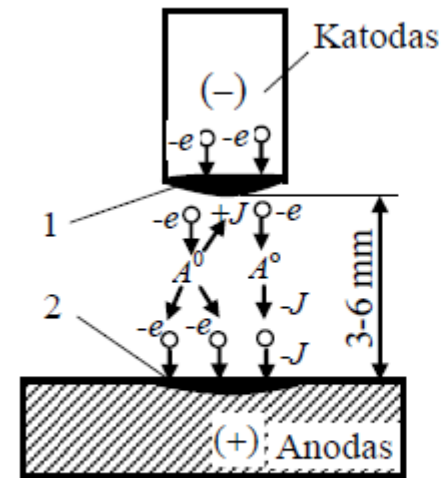
Elektros lankas ir jo savybės



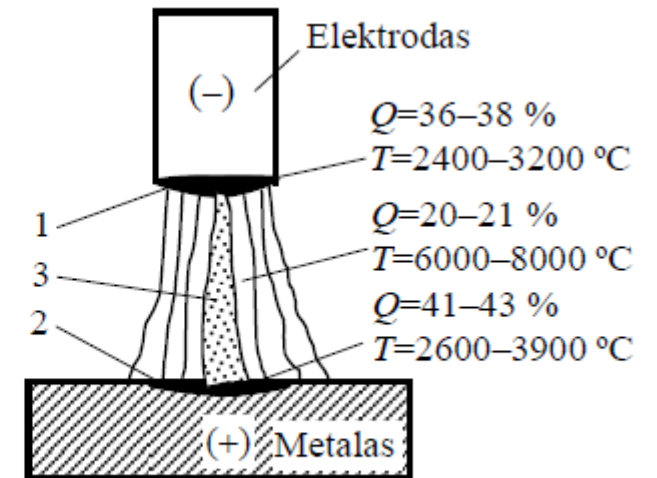
2 pav. Suvirinimo lanko schema: *a* – nuolatinės srovės lanko išlydis jonizuotose dujose; *b* – šilumos ir temperatūros pasiskirstymas: 1 – katodinė sritis; 2 – anodinė sritis; 3 – lanko stulpas; A^0 – neutralus atomas; e – elektronas; $+J$ – teigiamas jonas; $-J$ – neigiamas jonas

Elektros lankas ir jo savybės

- 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.



a

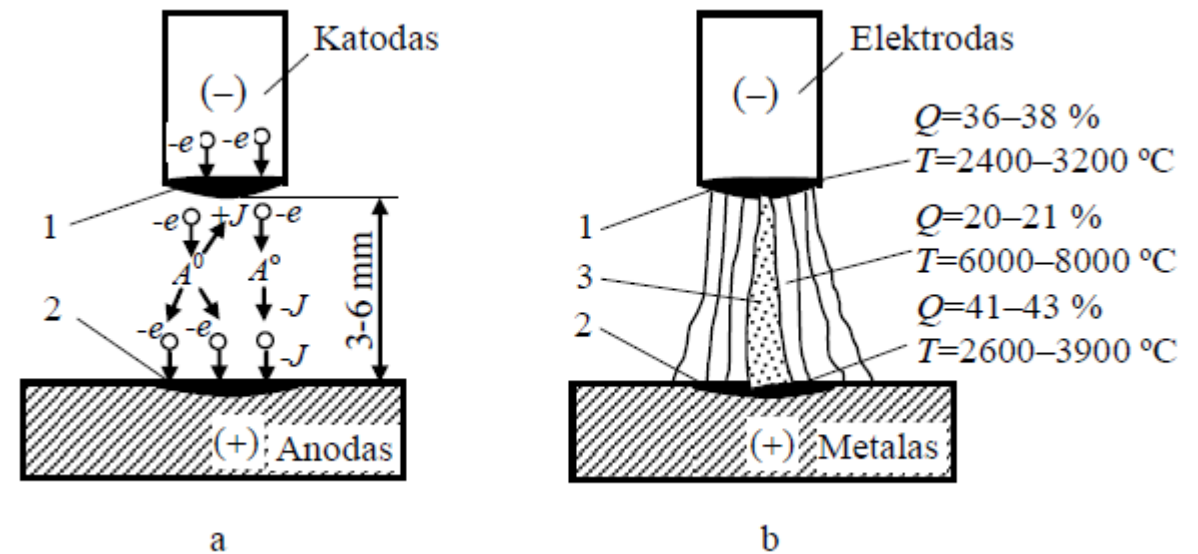


b

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 lankas ir jo savybės

- 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 (2 pav., *b*). Temperatūra šioje zonoje siekia 6000–8000 °C.



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

Suvirinant nuolatine srove

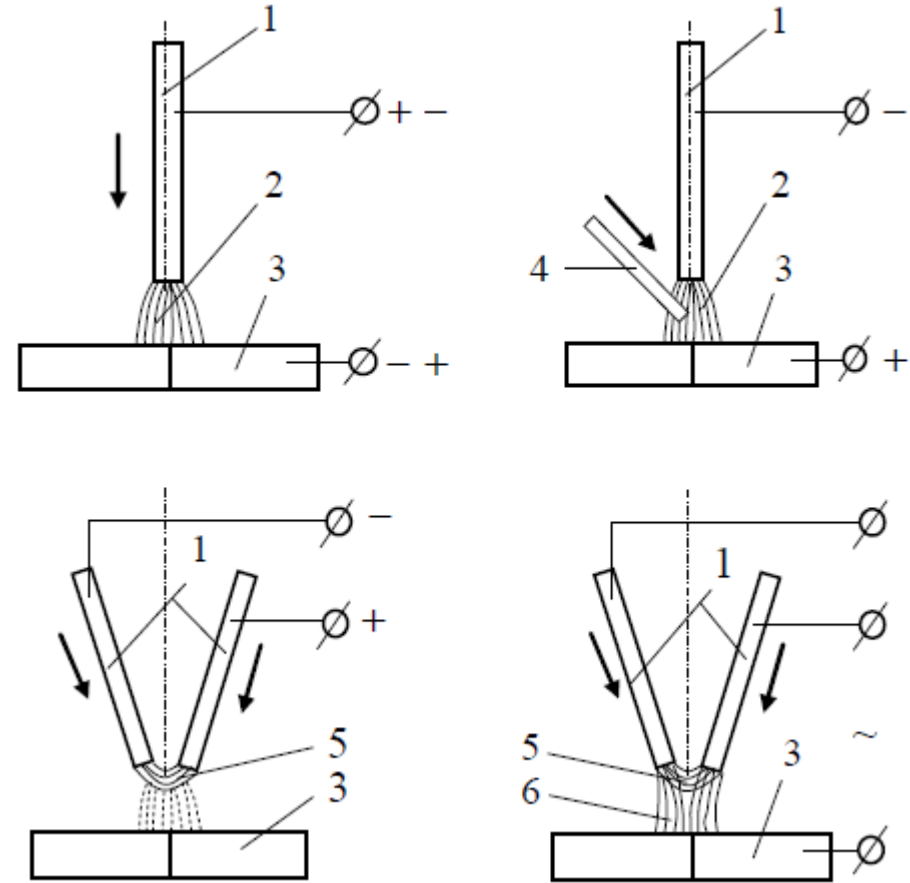
- Daugiausia šilumos išsiskiria anodo srityje (42–43 %). Skirtinga katodo ir anodo zonų temperatūra taikoma technologiniams uždaviniams spręsti:
 - Kai teigiamas polius (anodas) yra detalė, o neigiamas polius (katodas) – elektrodas, gaunamas tiesioginio poliarumo lankas. Suvirinimo briaunos labiau įkaitinamos.
 - 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.

Suvirinant kintamąją srovę

- 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.

- Metālai ir nemetālai savienāmi, apvienāmi ir pjaustomi rankiniu:
 - lankiniu būdu glāstytājiem elektrodai (*MMA welding – manual metal arc welding*),
 - lankiniu būdu vieliniu elektrodu inertinēse dujose (*MIG welding – metal inert gas welding*),
 - lankiniu būdu nelydžiuoju volframo elektrodu inertinēse dujose (*TIG welding – tungsten inert gas welding*),
 - lankiniu būdu lydžiuoju elektrodu po flisu (*SAW – submerged arc welding*),
 - lankiniu būdu lydžiuoju elektrodu aktyviose dujose (*MAG welding – metal active gas welding*).

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



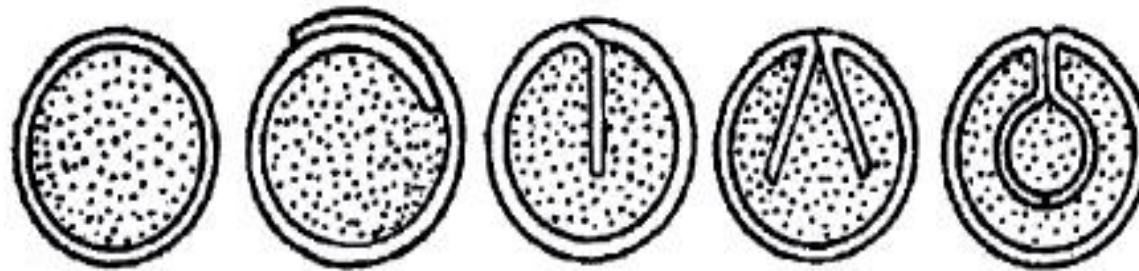
3 pav. Suvirinimo lankas: *a* – tiesioginis (suvirinama lydžiuoju elektrodu); *b* – tiesioginis (suvirinama nelydžiuoju elektrodu); *c* – netiesioginis; *d* – mišrusis; 1 – elektrodas; 2, 5, 6 – elektros lankas; 3 – suvirinamas ruošinys; 4 – pridėtinis metalas

Suvirinimo medžiagos 1

- **Elektrodinė viela.** Siūlės metalas turi būti stiprus, plastiškas, ne prastesnių savybių už pagrindinį metalą. Virinama apsauginėse dujose ir jų mišiniuose įvairiose padėtyse, po flusu ir kt. Suvirinti ir aplydyti gaminama plieninė šaltai traukta apvalaus skerspjuvio 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;
 - 2–8 mm skersmens viela – apvirinti.

Suvirinimo medžiagos 2

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



4 pav. Miltelinės vielos vamzdelių formos

Suvirinimo medžiagos 3

- **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 eksploatavimo 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 lydžiaisiais ir nelydžiaisiais elektrodais.

Suvirinimo medžiagos 4

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

Suvirinimo medžiagos 5

- **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.

Suvirinimo medžiagos 6

- 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.

Suvirinimo medžiagos 7

- *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, atausęs 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.

Suvirinimo medžiagos 8

- **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.
- 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 vonele nuo oksidacijos.

Suvirinimo medžiagos 9

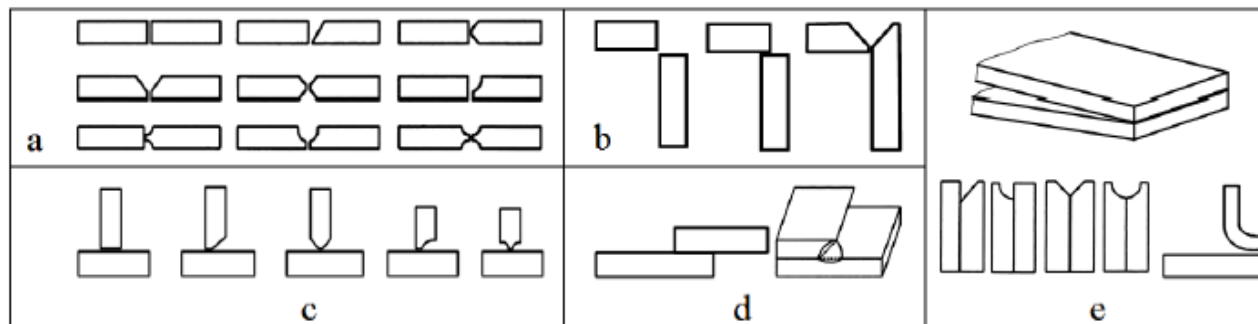
- Fliusai klasifikuojami:
 - Pagal paskirtį (numeracija atitinka fliuso klasę):
 - Nelegiruotajam ir smulkiagrūdžiam, valkšnumui atspariam plienui ir stipriojo plieno rūšims suvirinti.
 - Nerūdijančiajam ir karščiui atspariam plienui, nikeliui ir nikelio lydiniams suvirinti (2B klasė – apvirinimas juostiniu elektrodu).
 - Kietinamasis apvirinimas.
 - Kitos medžiagos (vario ir kt. lydiniams suvirinti).
 - Pagal gamybos būdą:
 - Lydytieji (*F*).
 - Aglomeruotieji (*A*).
 - Mišiniai (*M*).

Suvirinimo medžiagos 10

- **Apsauginės dujos ir jų mišiniai.** Lydomo metalo vonelei apsaugoti nuo oro poveikio ir neleisti jam oksiduotis naudojamos:
- Inertinės dujos chemiškai nereaguoja su išlydytu metalu ir nesudaro su juo junginių.
 - Argonas (*grynas argonas* (99,9–99,99 % *Ar* ir *techninis argonas* (83,3 % *Ar*, iki 16 % *N*₂, 0,4 % *O*₂, 0,3 % *CO*₂))
 - Helis.
- Aktyviosios dujos reaguoja su išlydytu metalu.
 - Anglies dioksidas. Anglies dioksidas yra maistinis, techninis ir suvirinimo.
 - Azotas.
 - Vandenilis.
- Dujų mišiniai:
 - Argonas+*CO*₂; argonas+*O*₂; argonas+*CO*₂+*O*₂; *CO*₂+*O*₂,
 - Suskystintas argonas ir azotas juodiesiems ir spalvotiesiems metalams suvirinti ir pjauti.

Suvirintosios jungtys ir siūlės 1

- Suvirintoji jungtis yra kelių detalių neišardomas sujungimas. Konstrukcijose naudojamos pagrindinės suvirintosios jungtys:
 - Sandūrinė (5 pav., *a*) – jungiamieji elementai yra vienoje plokštumoje.
 - Kampinė (5 pav., *b*) – du jungiamieji elementai liečiasi briaunomis ir dažniausiai sudaro statų kampą.
 - Tėjinė (5 pav., *c*) – prie vieno elemento šoninio paviršiaus statmenai jungiamas kitas elementas ir privirinamas jos galas.
 - Užleistinė (5 pav., *d*) – suvirinamos detalės išdėstytos lygiagrečiai ir viena dengia dalį kitos..
 - Briauninė (5 pav., *e*) – du elementai liečiasi briaunomis, kampas tarp jų yra iki 30°.

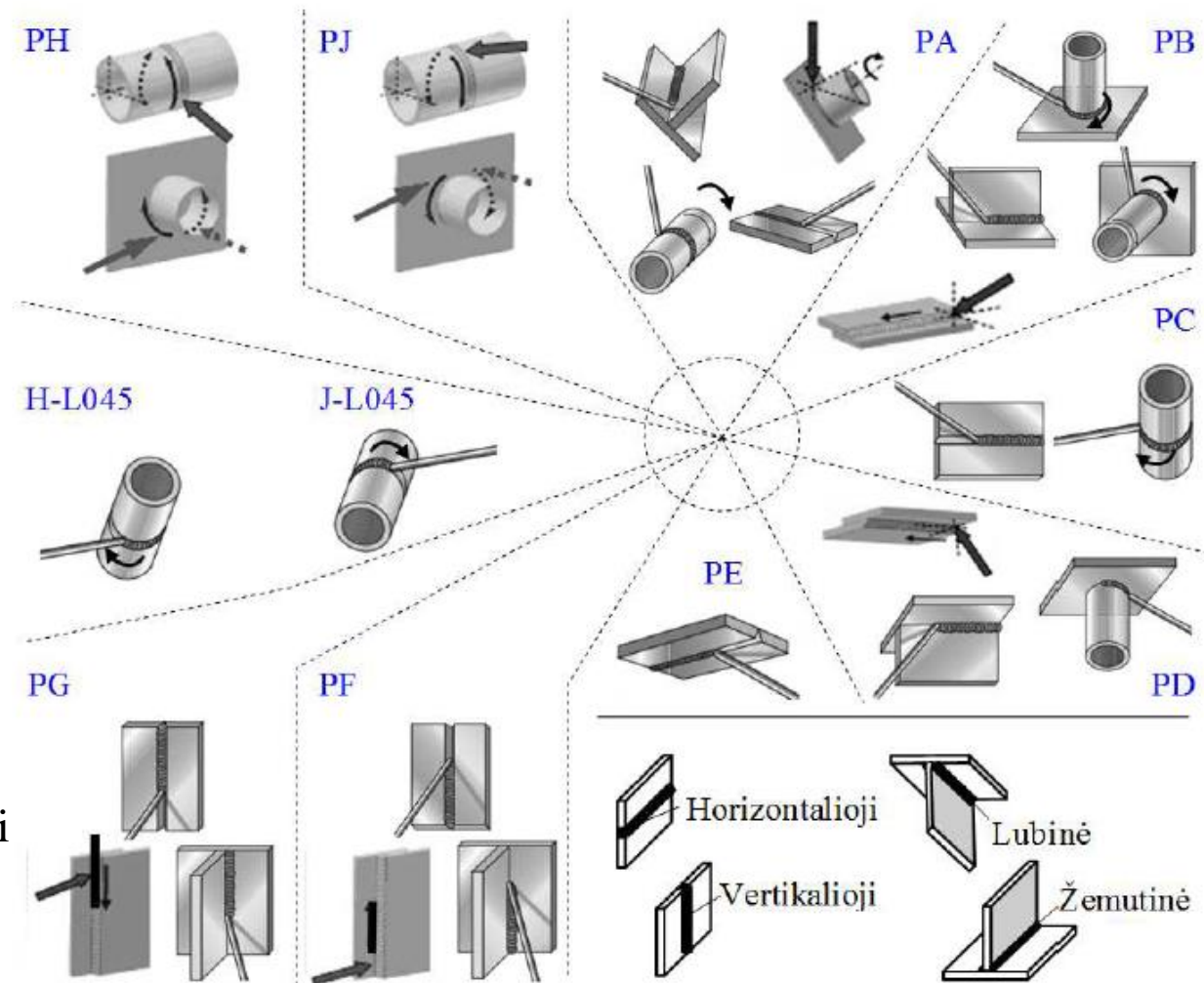


5 pav. Pagrindiniai suvirintųjų jungčių tipai ir jungčių briaunų paruošimas:

a – sandūrinė; *b* – kampinė; *c* – tėjinė; *d* – užleistinė; *e* – briauninė

Suvirintosios jungtys ir siūlės 2

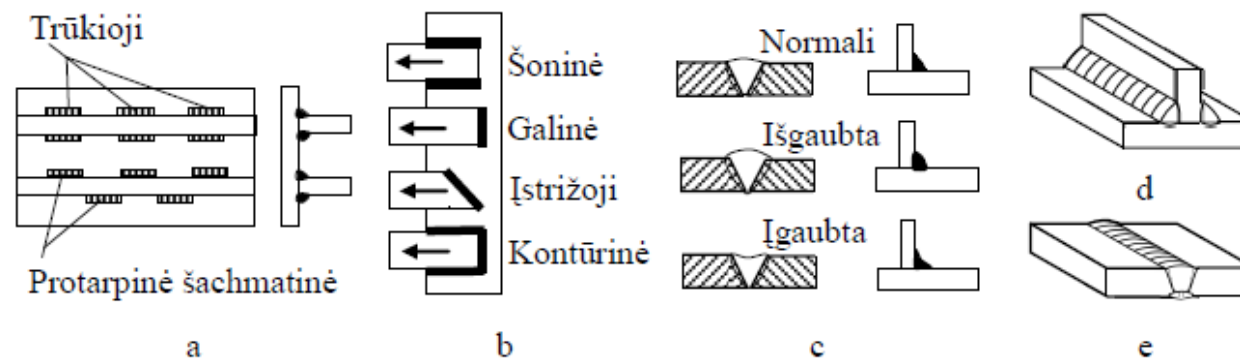
- Suvirinimo siūlės klasifikuojamos
 - *Pagal padėtį erdvėje* (4.9 pav.) – horizontaliosios, vertikaliosios, lubinės, žemutinės.



6 pav. Pagrindinės suvirinimo padėtys: *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)

Suvirintosios jungtys ir siūlės 3

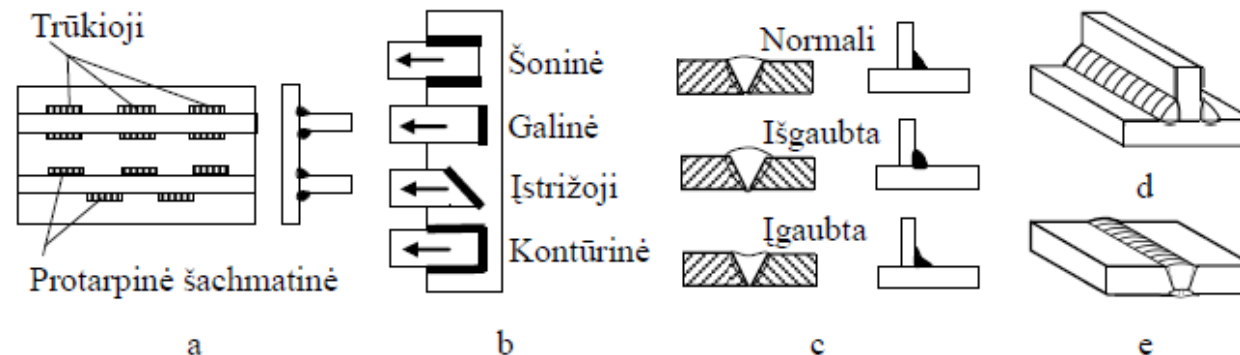
- Suvirinimo siūlės klasifikuojamos
 - *Pagal vientisumą* (7 pav., a) – *ištisinės, trūkiosios*.
 - *Pagal padėtį veikiančios jėgos atžvilgiu* (7 pav., b) – *priekinės, šoninės, galinės, įstrižosios, kontūrinės*.
 - *Pagal paviršiaus formą* (7 pav., c) – *normalios, išgaubtos, įgaubtos*.



7 pav. Suvirinimo siūlių klasifikavimas: *a* – pagal vientisumą; *b* – pagal padėtį apkrovos atžvilgiu; *c* – pagal paviršiaus formą; *d, e* – pagal ilydymo gyli

Suvirintosios jungtys ir siūlės 4

- Suvirinimo siūlės klasifikuojamos
 - *Pagal įlydymo gylį* – dalinio įvirinimo (7 pav., *d*), visiškai įvirintos: vienpusės, vienpusės su šaknies pavirinimu (7 pav., *e*), abipusės.
 - *Pagal virinimo kryptį* – išilginės, skersinės.
 - *Pagal prilydomo metalo sluoksnių skaičių* – vienasluoksnės (suformuotos vienu ėjimu), daugiasluoksnės (suformuotos keliais ėjimais).
 - *Pagal suvirinimo būdą* – sandūrinės. kampinės.



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

Metalurginiai suvirinimo procesai 1

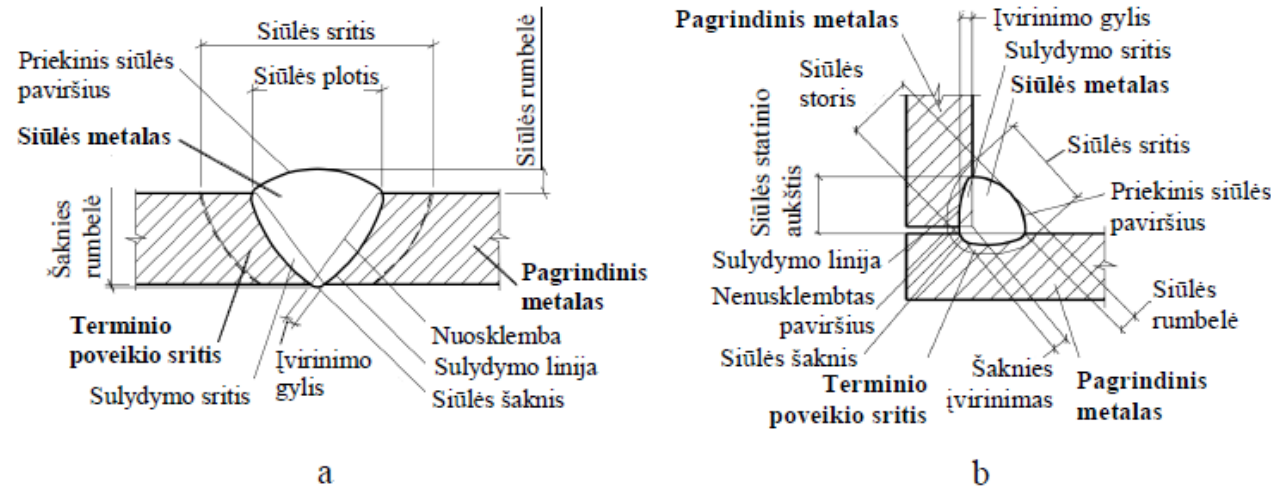
- **Suvirinimo proceso ypatumai.** Aukštoje temperatūroje metalas garuoja, taškosi, lanko zonoje esančios medžiagos išdega. Lydantis elektrodui ir suvirinamo ruošinio briaunoms, susidaro skysto metalo vonelė. Glaiste esančios medžiagos apsaugo elektrodinio metalo lašą ir suvirinimo vonelę nuo oro deguonies ir azoto poveikio, deoksiduoja vonelės metalą, legiruoja siūlės metalą.
- 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. Nuo metalo lydymosi pradžios iki jo sustingimo praeina kelios sekundės.

Metalurginiai suvirinimo procesai 2

- Kokybiškai suvirinimo siūlei gauti, virš skysto metalo vonelės sudaroma dujinė aplinka ir šlako sluoksnis. Ši apsauga nepakankama, todėl metalas yra deoksiduojamas. Tam naudojami *Al*, *Ti*, *Si*, *C*, *Mn*, ferolydiniai (*FeMn*, *FeSi*, *FeTi* ir kt.), rūgštieji oksidai (*SiO₂* ir kt.) ir kt.
- Norint gauti pradinės cheminės sudėties metalą arba pagerinti siūlės metalo mechanines savybes, prilydomas metalas yra legiruojamas elektrodo metalu, elektrodų glaisto priedais arba fliusais. Legiruojantieji komponentai yra ferosilicis, feromanganas, ferochromas, ferotitanas, ferovanadis, feromolibdenas ir kt.
- Suvirinimo metu plienui greitai kaistant ir auštant, siūlės ir šalia siūlės esančios srities metale dažnai atsiranda įtrūkių dėl siūlės metale ištirpusio vandenilio ir dėl siūlės metalo dujinio aktytumo. Plyšiai būna *kristalizaciniai* (įtrūkia siūlėje), *karštieji* (siūlės ir pagrindinio metalo sulydymo ir terminio poveikio srityje), *sluoksniniai* (terminio poveikio srityje), *šaltieji* (terminio poveikio srityje) ir *pakartotinio jungties kaitinimo* (siūlėje ir terminio poveikio srityje).

Metalurginiai suvirinimo procesai 3

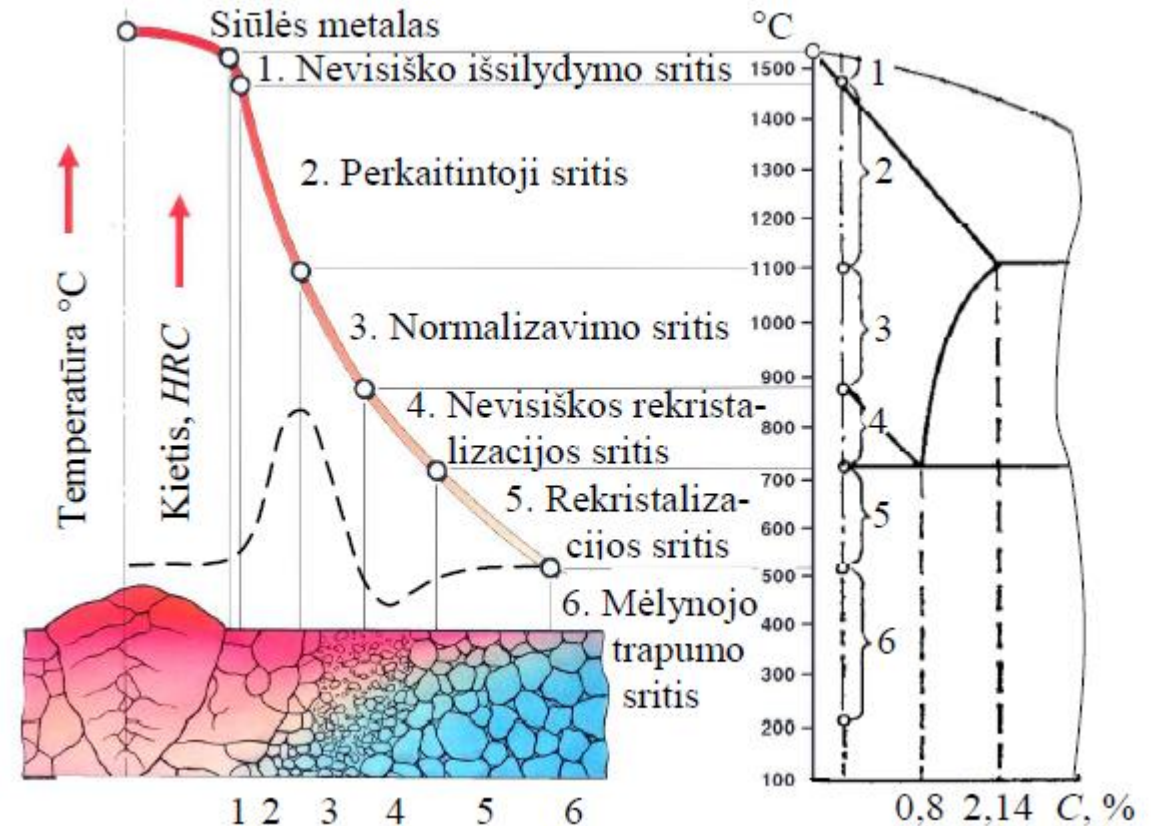
- **Suvirintosios jungties struktūra.** Jungties struktūrą sudaro:
 - Siūlės metalas – pagrindinio ir pridėtinio arba tik pagrindinio metalo lydinys.
 - Terminio poveikio sritis – pakitusios struktūros ir savybių neišsilydžiusi pagrindinio metalo dalis (dėl aukštos lanko temperatūros).
 - Pagrindinis metalas – suvirinamųjų ruošinių metalas.



8 pav. Suvirintosios jungties sritys: *a* – sandūrinė siūlė; *b* – kampinė siūlė

Metalurginiai suvirinimo procesai 4

- Terminio poveikio sritį sudaro:
 - *Nevisiško išsilydymo sritis.*
 - *Perkaitintoji sritis.*
 - *Normalizavimo sritis* (900–1100 °C temperatūra).
 - *Nevisiškos rekristalizacijos sritis* (720–900 °C temperatūra).
 - *Rekristalizacijos sritis* (450–723 °C temperatūra).
 - *Mėlynojo trapumo sritis* (iki 450 °C temperatūros).

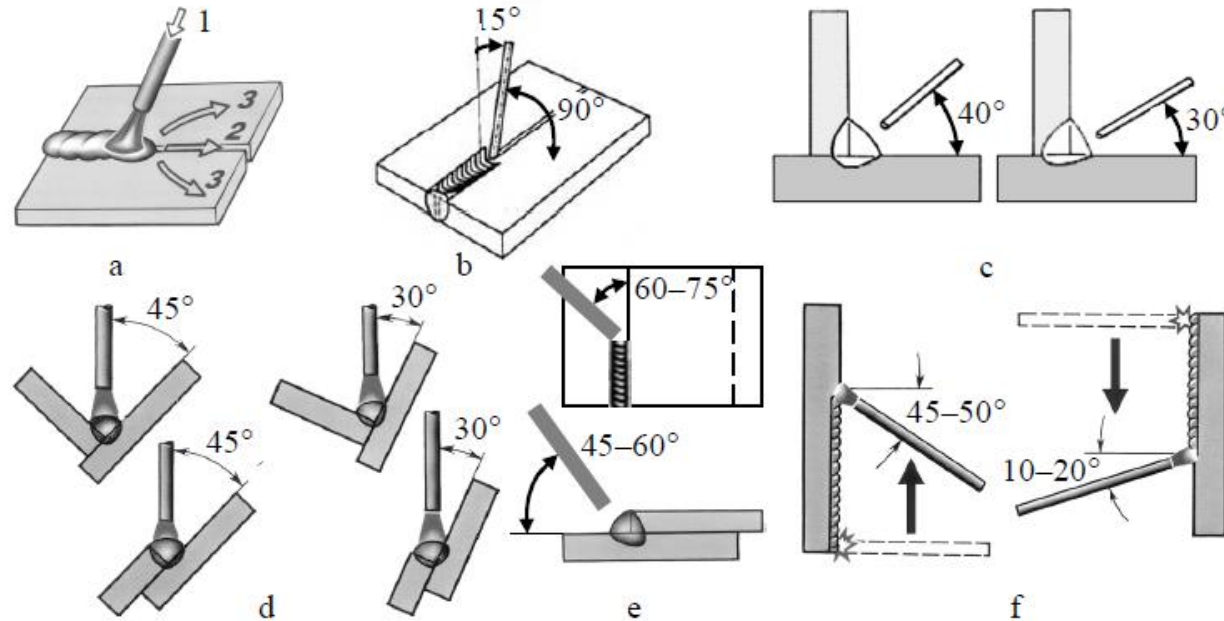


9 pav. Mažaanglio plieno terminio poveikio srities struktūra virinant rankiniu lankiniu būdu

Jungčių suvirinimas 1

- Lankas sužadinamas dviem būdais:
 - Palietus suvirinamąjį gaminį elektrodo galu ir jį atitraukus nuo gaminio paviršiaus 2–4 mm. Liesti reikia labai trumpai, kitaip elektrodas „prilips“ prie paviršiaus.
 - Palietus gaminį greitu šoniniu elektrodo judesiu (degtuko uždegimo metodas) ir atitraukus nuo paviršiaus tokiu pat atstumu.
- Lydantis elektrodui 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 purslai, nelygus siūlės paviršius, siūlės metale yra daug oksidų ir kt.).

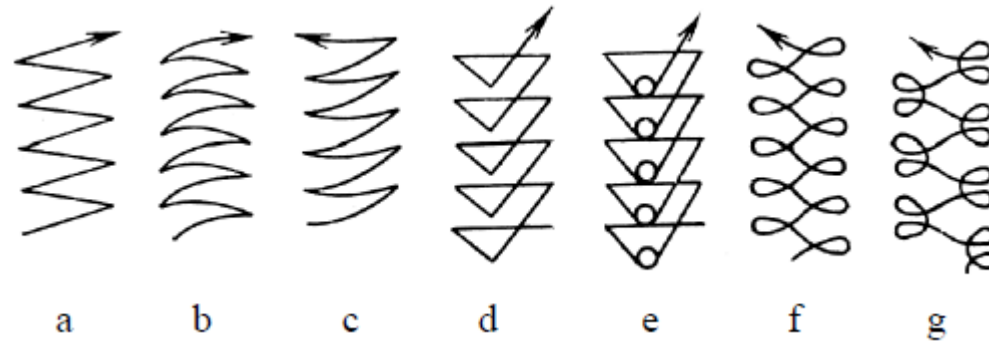
Jungčių suvirinimas 2



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

Jungčių suvirinimas 3

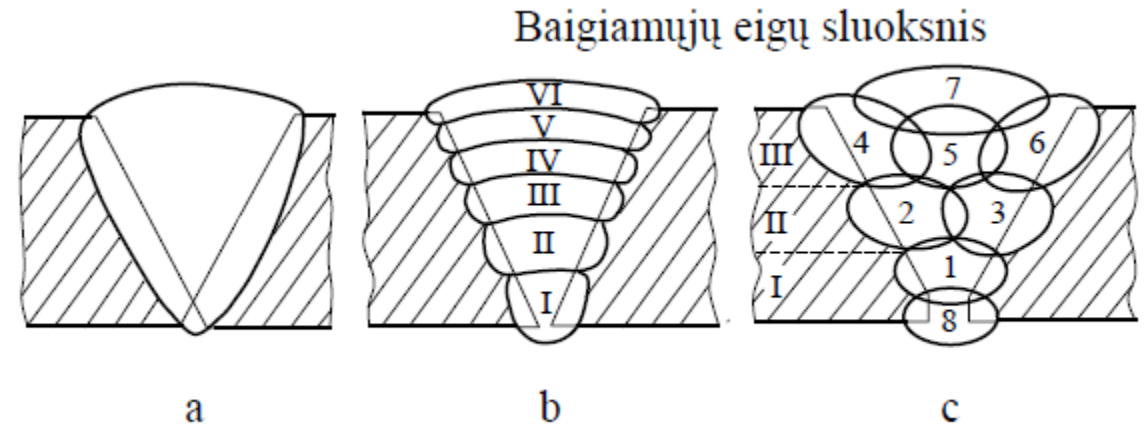
- Stumiant elektrodą išilgai jungties (be skersinių judesių), siūlės plotis lygus 0,8–1,5 elektrodo skersmens. Tokios siūlės naudojamos plonam metalui (4–8 mm) suvirinti arba pirmajam sluoksniui sudaryti daugiasluoksnyje siūlėje.
- Platesnei siūlei gauti atliekami skersiniai judesiai (11 pav.). Dažniausiai suvirinamos 1,5–4 elektrodo skersmenų siūlės. Skersai vedžiojant, lėčiau stingsta prilydytas 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.



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

Jungčių suvirinimas 4

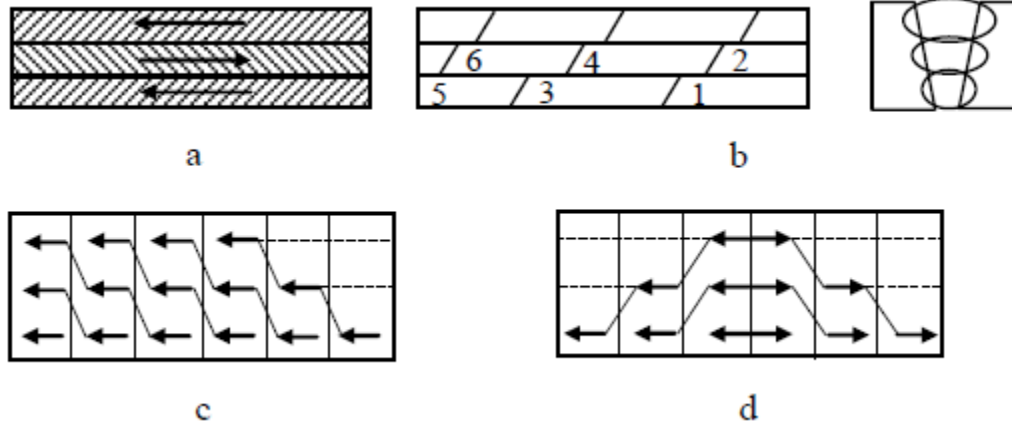
- Pagal atlikimo būdą siūlės skirstomos:
 - vienasluoksnės (12 pav., *a*);
 - daugiasluoksnės, kurių sluoksnių skaičius lygus ėjimų skaičiui (12 pav., *b*);
 - daugiasluoksnės, kurių kai kurie sluoksniai sudaryti keliais ėjimais (12 pav., *c*).



12 pav. V sandūrinė siūlė: *a* – vienasluoksnė 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

Jungčių suvirinimas 5

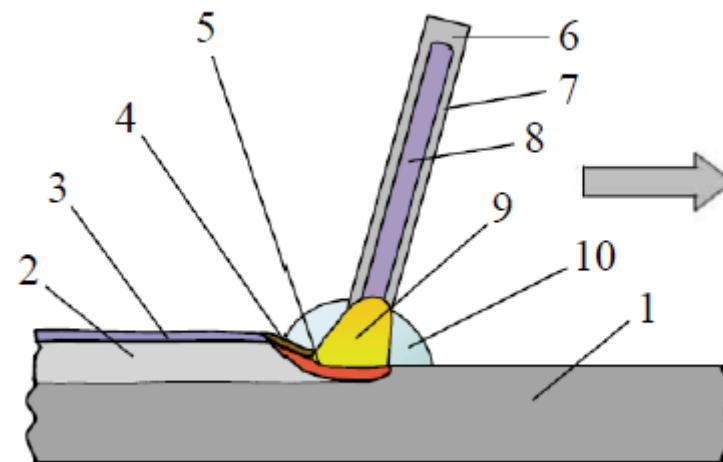
- Kad tolygiau įkaistų visos siūlės metalas, siūlės suvirinamos:
 - Pakopomis dvigubo sluoksnio būdu (13 pav., *a*, *b*) – antrasis sluoksnis užvirinamas ant dar neataušusio pirmojo, nuvalius nuo jo šlaką.
 - Kaskadomis (13 pav., *c*) – antrasis sluoksnis virinamas ant nesustingusio ankstesniojo sluoksnio.
 - Kalneliu (13 pav., *d*) – kaskadinio metodo variantas. Dažniausiai virinama nuo siūlės vidurio į kraštus.



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

Rankinis lankinis suvirinimas

- Suvirinant lankiniu būdu, vyksta sudėtingi metalurginiai procesai: metalas greitai įkaitinamas iki lydymosi temperatūros, mažas išlydyto metalo tūris, didelis kristalizacijos greitis
- Suvirinimo zonos temperatūra yra labai aukšta, todėl skystame metale intensyviai vyksta fizikiniai ir cheminiai procesai: disocijuoja dujos, metalas oksiduojasi ir redukuojasi, legiruojamas.



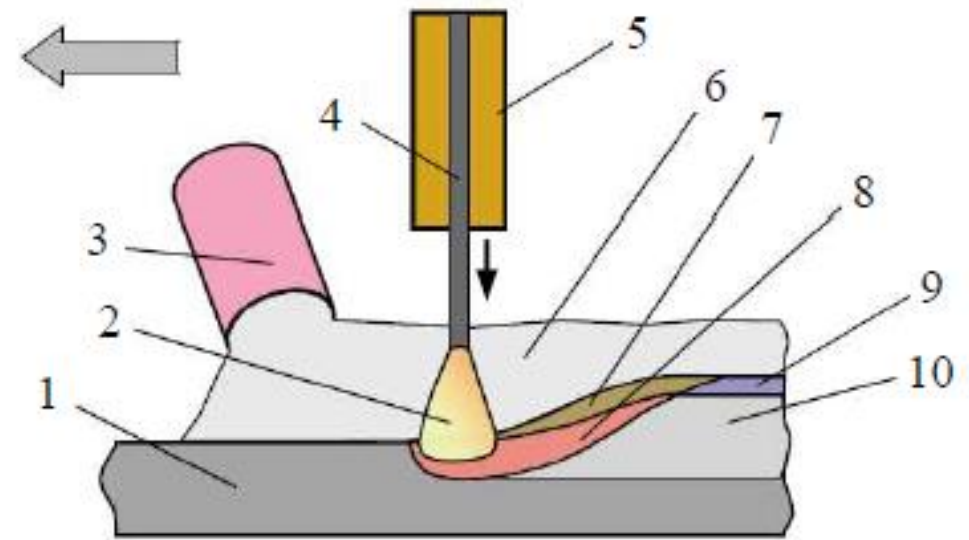
14 pav. Rankinio lankinio suvirinimo schema: 1 – pagrindinis metalas; 2 – siūlė; 3 – kietas šlakas; 4 – skystas šlakas; 5 – prilijdytojo metalo vonelė; 6 – elektrodas; 7 – glaistas; 8 – elektrodo strypas; 9 – elektros lankas; 10 – dujų apsauga

Rankinis lankinis suvirinimas

- https://www.youtube.com/watch?v=hKIh_j-DVLs

Lankinis suvirinimas po fliusu

- Virinant po fliusu galima naudoti du ir daugiau suvirinimo lankų, neišsitaško metalas. Mažinant elektrodo iškyšą, didinama suvirinimo srovė ir įvirinimo gylis. Prilydytas 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.



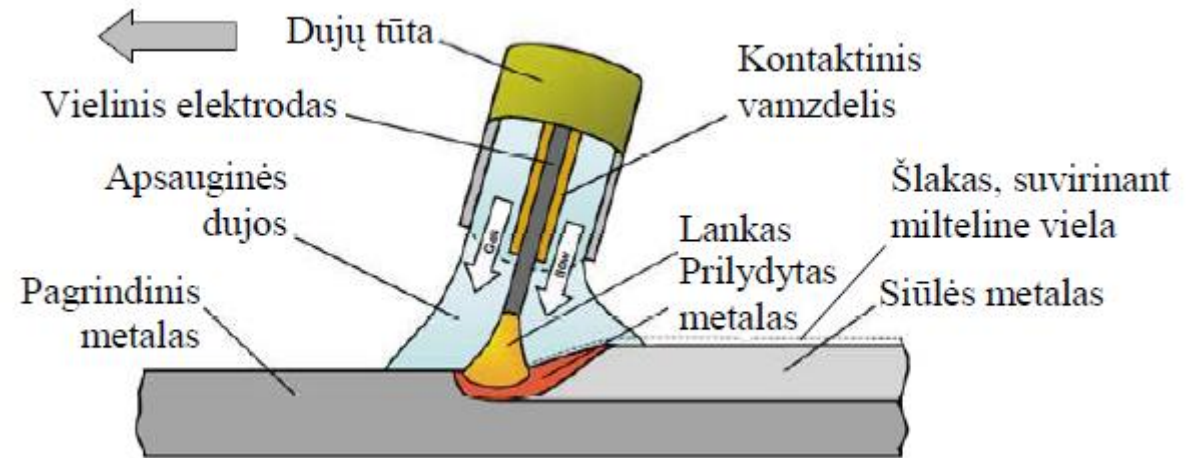
15 pav. Automatinio lankinio suvirinimo po fliusu schema: 1 – pagrindinis metalas; 2 – lankas; 3 – fliuso bunkeris; 4 – elektrodinė viela; 5 – kontaktinis vamzdelis; 6 – fliusas; 7 – skystas šlakas; 8 – prilydytasis metalas; 9 – kietas šlakas; 10 – siūlė

Lankinis suvirinimas po flusu

- <https://www.youtube.com/watch?v=H6QGLGJ-BOE>

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.



16 pav. Suvirinimas apsauginėse dujose *MIG / MAG* būdu

Lankinis suvirinimas apsauginėse dujose

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

Lankinis suvirinimas apsauginėse dujose

- **Suvirinimo *MIG/MAG* būdu ypatumai:**
 - didelis našumas;
 - galima virinti įvairiose padėtyse;
 - nereikia naudoti fliusų;
 - viela (vientisa arba miltelinė) tolygiai tiekiamą į suvirinimo vonelę;
 - virinant išsitaško daug elektrodinės vielos;
 - negalima virinti lauke, kai pučia vėjas, nes nupučiamos apsauginės dujos.

Lankinis suvirinimas apsauginėse dujose

- 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 tiekiamą per greitai, ji panyra į lydalą. Kai lanko įtampa per didelė, o viela tiekiamą 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.

Lankinis suvirinimas apsauginėse dujose

- 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 tiekiamą per greitai, ji panyra į lydalą. Kai lanko įtampa per didelė, o viela tiekiamą per lėtai, taip pat išsitaško daug metalo, o prilydytas metalas gali oksiduotis;
- *suvirinimo greitis* – priklauso nuo metalo storio: kai suvirinimo greitis per didelis, vonelės lydalo apsauginės dujos neapsaugo, kai per mažas – metalas pradega.

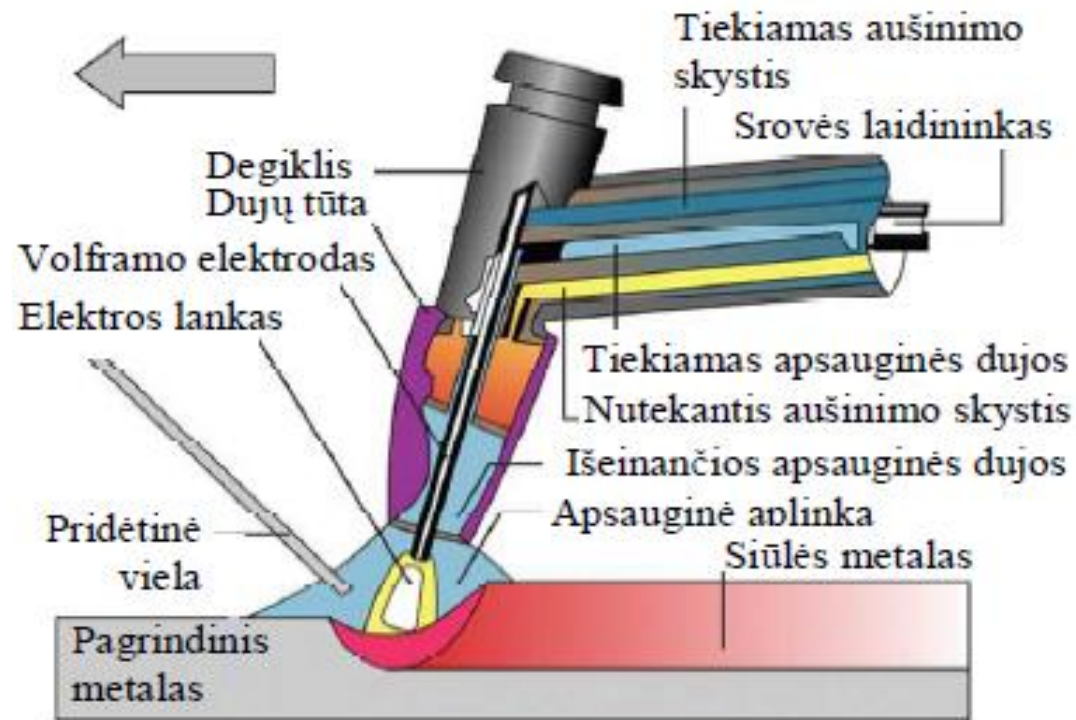
- Papildomi parametrai:

- *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*.

Lankinis suvirinimas apsauginėse dujose

- Suvirinimas apsauginėse dujose *MIG* / *MAG* būdu
- <https://www.youtube.com/watch?v=dJSvS7WyZo4>
- <https://www.youtube.com/watch?v=twUAa5LWUvk>

Lankinis suvirinimas apsauginėse dujose



17 pav. TIG suvirinimo schema

Lankinis suvirinimas apsauginėse dujose TIG

- **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.

Lankinis suvirinimas apsauginėse dujose

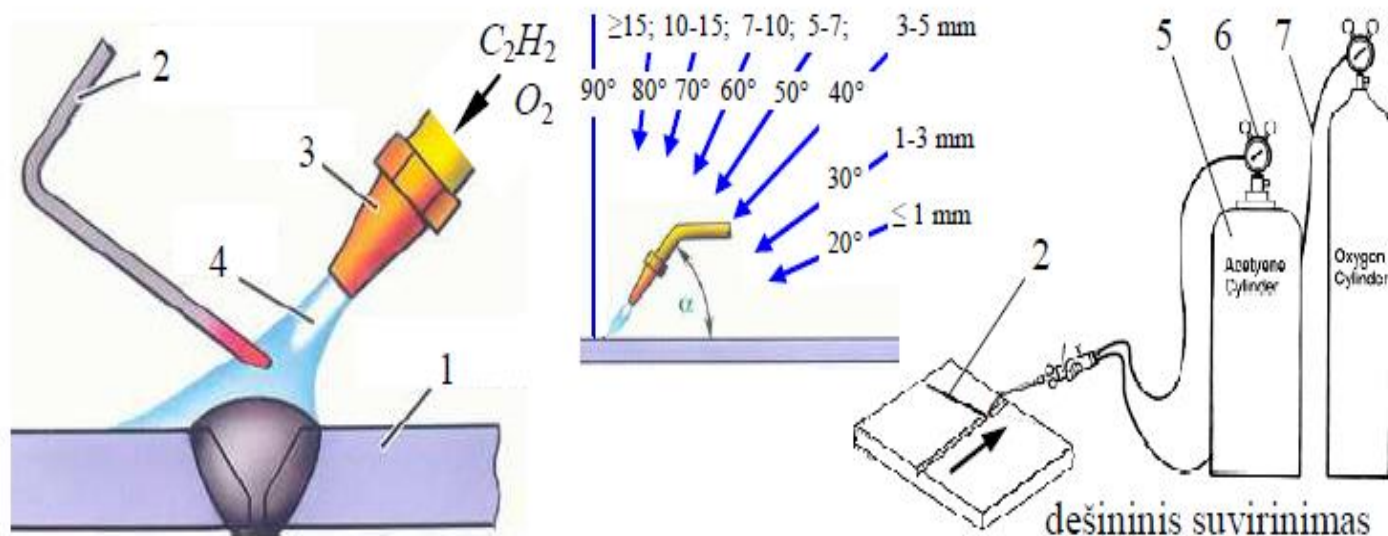
- Pagrindiniai suvirinimo parametrai:
 - *volframo elektrodo skersmuo*;
 - *srovės stipris*;
 - *lanko įtampa*;
 - *suvirinimo greitis*;
 - *pridėtinio strypelio skersmuo*
- Papildomi parametrai:
 - *srovės rūšis*;
 - *poliarumas*;
 - *volframo elektrodo iškyša*;
 - *atstumas tarp degiklio tūtos ir gaminio*;
 - *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;

Lankinis suvirinimas apsauginėse dujose

- *TIG* suvirinimo schema
- <https://www.youtube.com/watch?v=v4Eh0dmGmTs>
- <https://www.youtube.com/watch?v=uO5pVLOAmD4>
- <https://www.youtube.com/watch?v=sUiQfupEwOk>

Dujinis suvirinimas

- 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.



17 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;

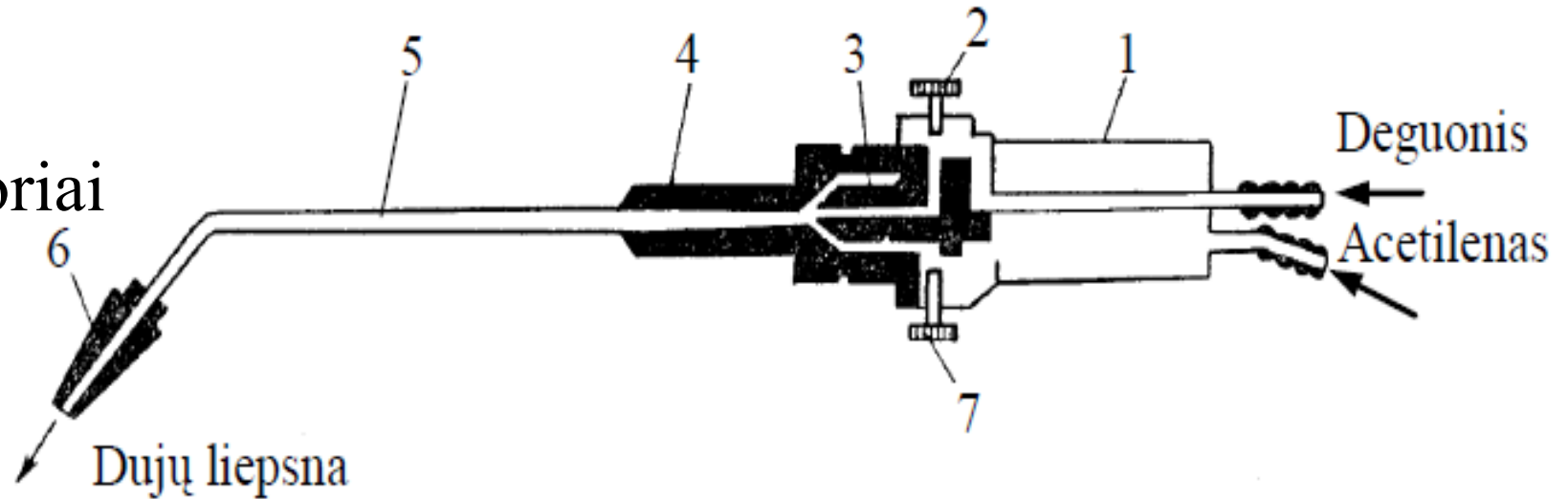
Dujinis suvirinimas

- **Dujiniam suvirinimui naudojamoms medžiagoms**

- **Deguonis.** Deguonis yra bespalvės, bekvapės dujos, nedega, bet aktyviai palaiko degimą. Suvirinimo darbams naudojamas dujinis deguonis. Į vartojimo vietą jis tiekiamas suslėgtas iki 15 (20) MPa plieniniuose balionuose. Eksploatuojant deguonies balionus, būtina griežtai laikytis darbų saugos reikalavimų.
- **Degiosios dujos.** Acetilenas (C_2H_2) yra svarbiausios degiosios dujos, naudojamos suvirinti, nes acetileno ir deguonies mišinio degimo temperatūra yra aukščiausia (apie 3200 °C). 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. Suvirinimo vielos paviršiuje negali būti rūdžių, dažų ir kt. nešvarumų.
- **Fliusai.** Nelegiruotajam plienui suvirinti fliusai nenaudojami, nes lengvai besilydantys geležies oksidai iškyla į vonelės paviršių. Išsilydę fliusai padengia skystą metalą plonu šlako sluoksniu, apsaugo siūlę nuo oksidavimosi, redukuoja oksidus, susidarancius virinamųjų metalų paviršiuje.

Dujinis suvirinimas

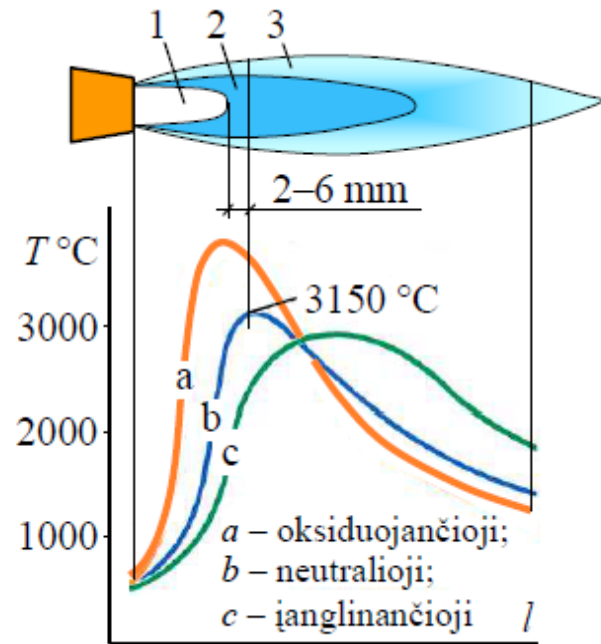
- Dujinio suvirinimo įrenginiai
- Degikliai
- Dujų balionai
- Dujų balionų reduktoriai
- Dujų žarnos



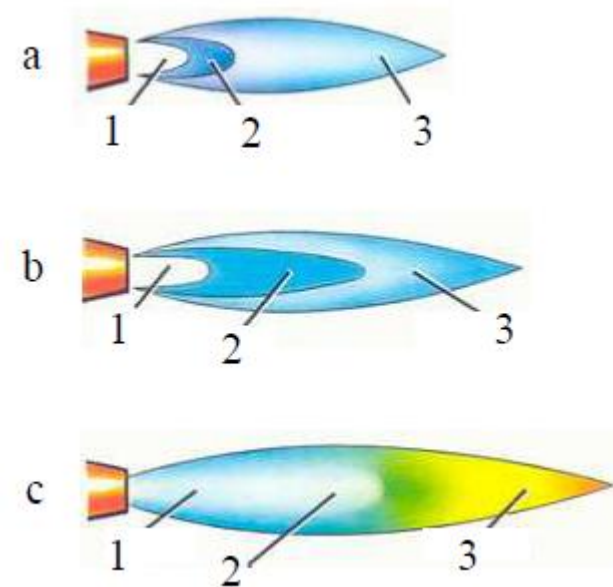
18 pav. Injekcinio degiklio schema: 1 – rankena; 2 – deguonies čiaupas; 3 – injektorius; 4 – maišymo kamera; 5 – dujų mišinio vamzdelis; 6 – antgalis; 7 – acetileno čiaupas

Dujinis suvirinimas

- Dujinio suvirinimo liepsna ir technologija



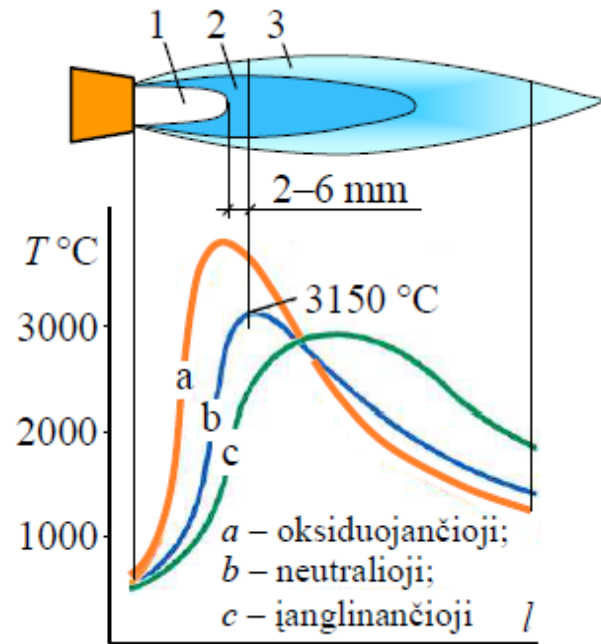
19 pav. Dujinio suvirinimo liepsna: 1 – branduolys; 2 – suvirinimo sritis; 3 – liepsnos fakelas; l – liepsnos ilgis



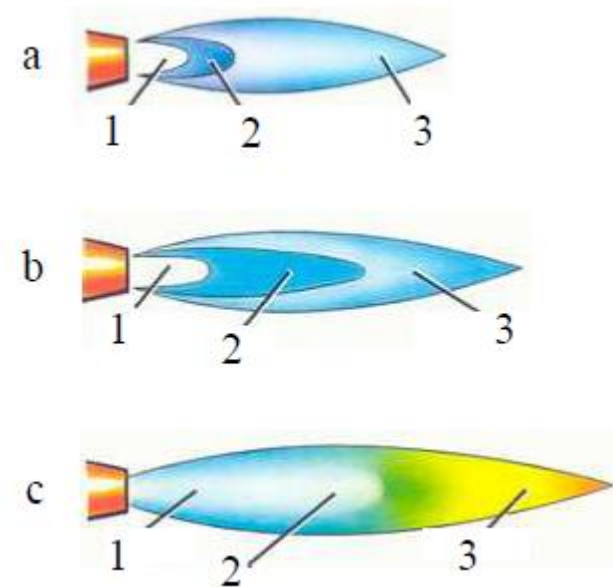
20 pav. Acetileno ir deguonies mišinio liepsnos rūšys: a – oksiduojančioji; b – neutralioji; c – įanglinančioji; 1 – branduolys; 2 – redukuojančioji sritis; 3 – fakelas

Dujinis suvirinimas

- Dujinio suvirinimo liepsna ir technologija



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



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

Dujinis suvirinimas

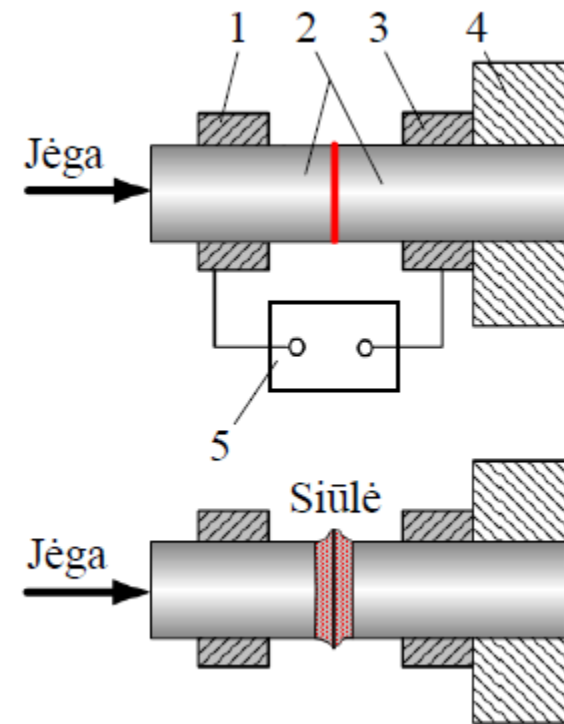
- <https://www.youtube.com/watch?v=QEWEMCwSMuw>
- <https://www.youtube.com/watch?v=PtxbMypT8lM>

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

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 ir suspaudžiami jėga, kuri kaitinant nesikeičia arba staigiai padidinama baigiant kaitinti.



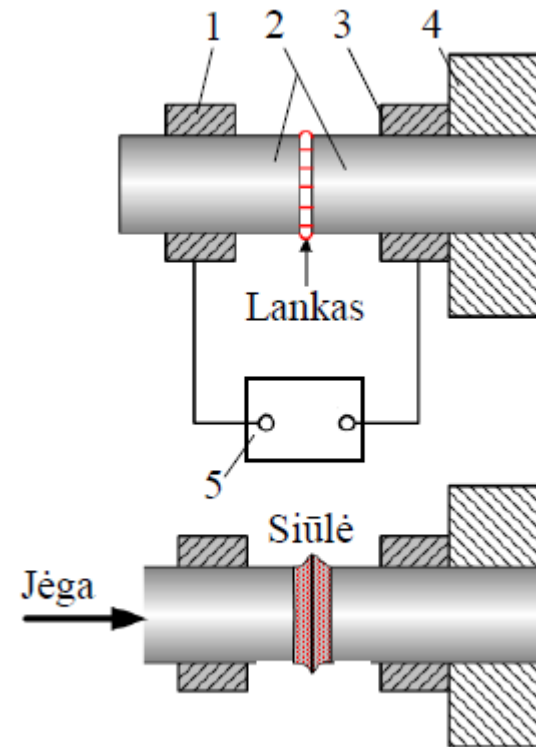
21 pav. Kontaktinio sandūrinio suvirinimo schema: 1; 3 – elektrodai spaustuvai; 2 – suvirinamieji ruošiniai; 4 – neslankioji atrama; 5 – maitinimo šaltinis

Video

- <https://www.youtube.com/watch?v=0j21LBq3OVs>

Kontaktinis aplydomasis suvirinimas

- Virinant aplydomuoju būdu, 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



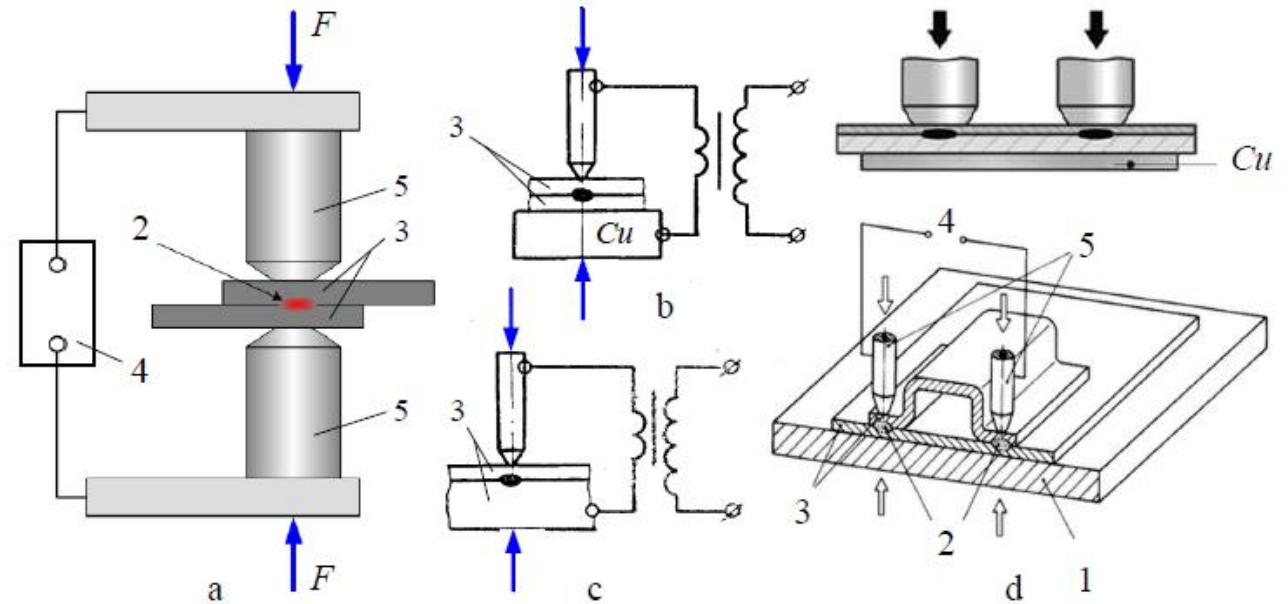
22 pav. Kontaktinio aplydomojo suvirinimo schema: 1; 3 – elektrodai spaustuvai; 2 – suvirinamieji ruošiniai; 4 – neslankioji atrama; 5 – maitinimo šaltinis

Video

- <https://www.youtube.com/watch?v=vInbzT6CmmQ>

Kontaktinis taškinis suvirinimas

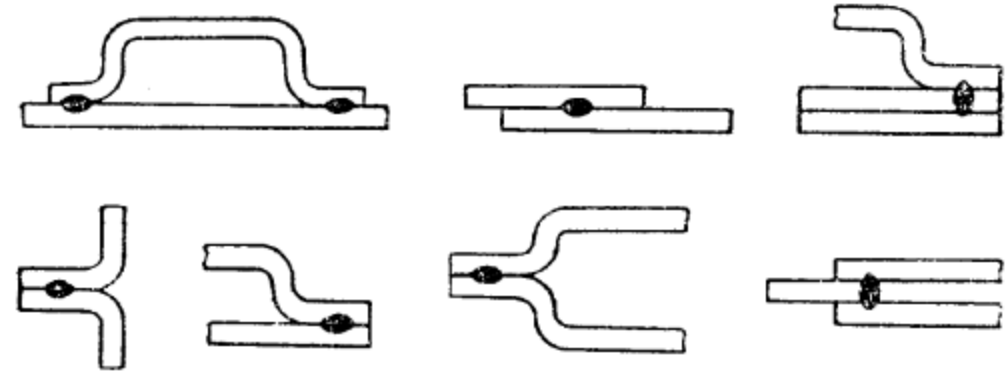
- Ruošinių jungimo vieta suvirinama ne ištisai, o atskiruose taškuose. Praleidžiant elektros srovę per vandeniu aušinamus varinius elektrodus, lietimosi zona įkaista, išoriniuose ruošinių paviršiuose susidaro plastiškai labai maži tūriai, o vidiniai išsilydo. Šiuo momentu srovė išjungiama, nutraukiamas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



23 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

Kontaktinis taškinis suvirinimas

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



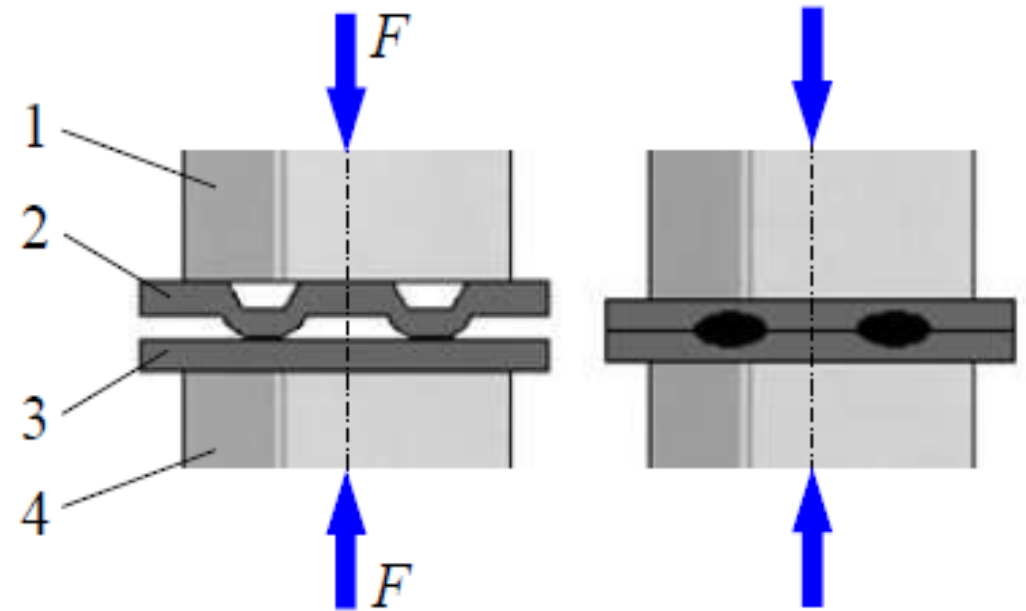
24 pav. Kontaktinio taškinio suvirinimo jungčių tipai

Kontaktinis taškinis suvirinimas

- <https://www.youtube.com/watch?v=WnoZqDzicsU>
- <https://www.youtube.com/watch?v=ogyBd0CWbS8>
- <https://www.youtube.com/watch?v=2K3I0Veq0TM>

Kontaktinis reljefinis suvirinimas

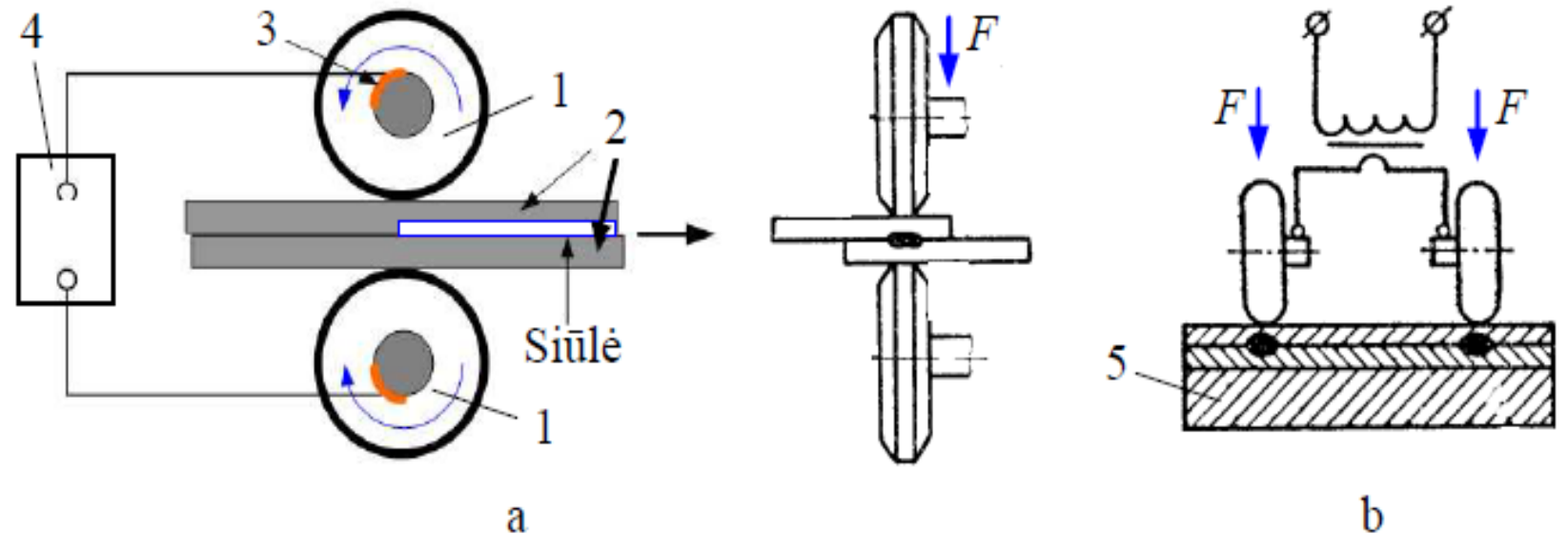
- Kontaktinis reljefinis suvirinimas analogiškas taškiniam suvirinimui. Įjungus srovę, viršutinis elektrodas spaudžia ruošinius ir juos presuoja, kol visiškai išsilygina reljefo iškyšos. Iš karto gaunama tiek suvirinimo taškų, kiek šampuojant buvo iškyšų.



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

Kontaktinis siūlinis suvirinimas

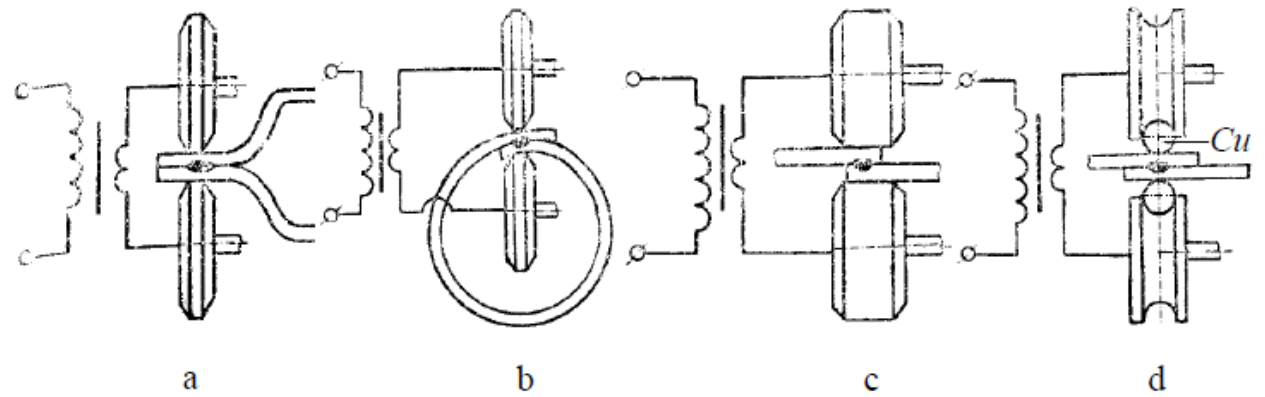
- Kontaktiniu siūliniu suvirinimu detalės sujungiamos ne taškuose, o ištisine siūle. Suvirinus tarp ruošinių gaunamas stiprus ir sandarus sujungimas.



26 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

Kontaktinis siūlinis suvirinimas

- 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.



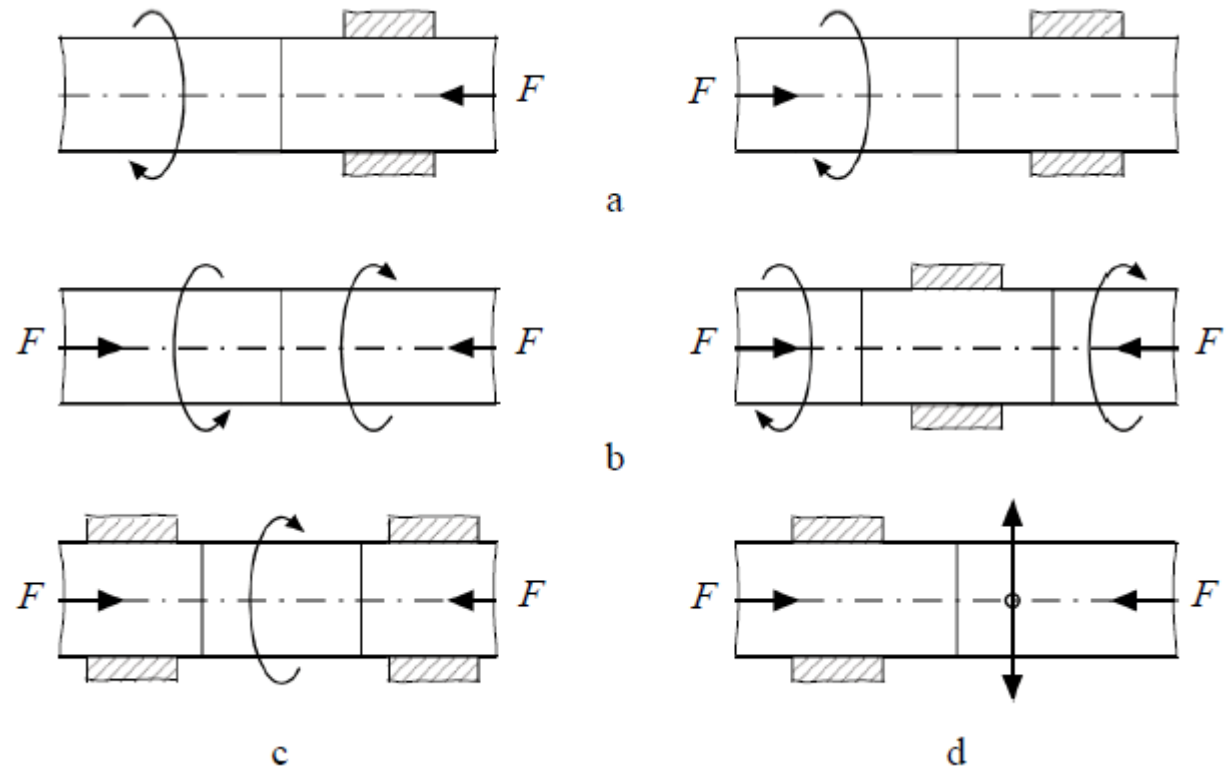
27 pav. Kai kurie siūlinio suvirinimo būdai: *a, b* – užleistinis siaurais elektrodais; *c* – gniuždomasis plačiais elektrodais; *d* – įdubusiais elektrodais

Kontaktinis siūlinis suvirinimas

- <https://www.youtube.com/watch?v=ydfqOnadqlY>
- <https://www.youtube.com/watch?v=ciwXrOtbi3g>
- <https://www.youtube.com/watch?v=jmBgDD2tMJk>

Trintinis suvirinimas

- 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.



28 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

Trintinis suvirinimas

- <https://www.youtube.com/watch?v=-aEuAK8bsQg>
- <https://www.youtube.com/watch?v=42MUVQNPrXE>

Lazerinis suvirinimas

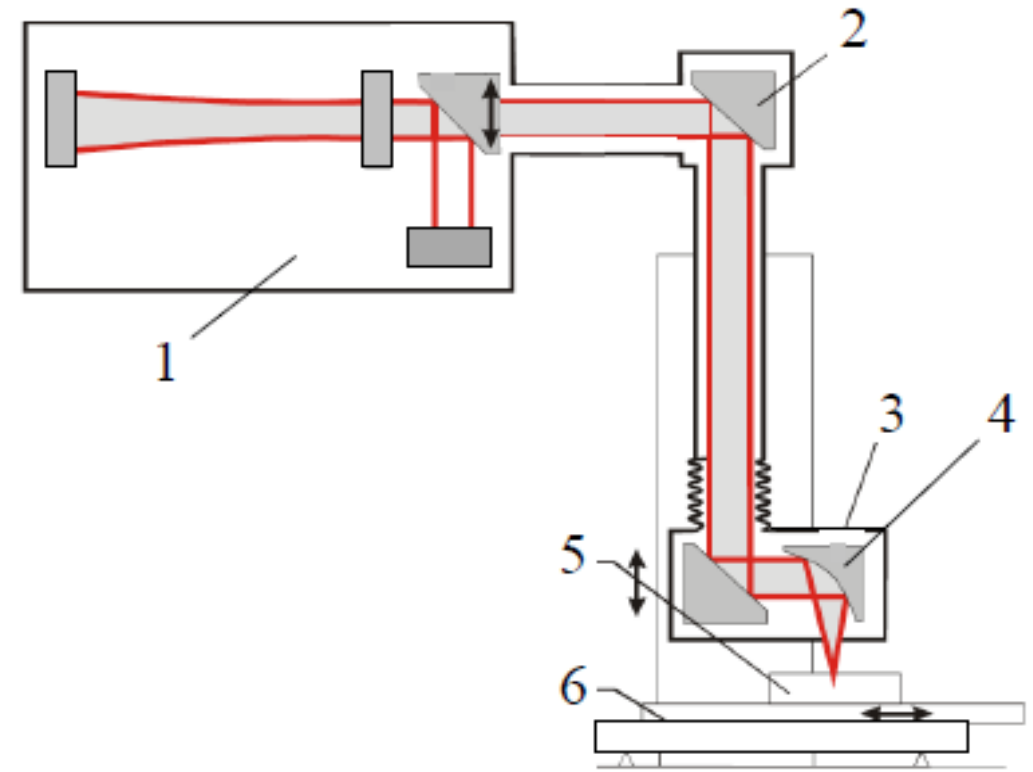
- Lazerio spinduliuotė medžiagos paviršių veikia kaip labai sutelktas (koncentruotas) energijos srautas. Esant didelei energijos koncentracijai kaitinimo srityje, greitai įkaista, išsilydo ir išgaruoja sunkiai lydūs metalai. Lengvai valdomas kryptingas šiluminės energijos srautas gali veikti medžiagą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

Lazerinis suvirinimas

- Pramoneje plačiausiai naudojami nuolatinės veikos ir impulsiniai lazeriai:
 - *CO₂ dujų lazeriai*. Aktyvioji dujų terpė (helis, neonas, anglies dioksidas, azotas, argonas ir kt.) sužadinama stacionaria aukštosios įtampos iškrova. Impulsiniuose CO₂ dujų technologiniuose lazeriuose išspinduliuojamo impulso energija siekia 10–1000 J, impulso trukmė gali būti nuo 100 nanosekundžių iki vienos mikrosekundės. 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 CO₂ 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.

Lazerinis suvirinimas

- 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.



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

Lazerinis suvirinimas

- <https://www.youtube.com/watch?v=mf7twuiYWAk>

Kiti suvirinimo būdai

- Ultragarsinis suvirinimas
- Elektronpluoštis suvirinimas vakuume
- Suvirinimas sproginu