



1.4

Lankas

IWE

Turinys:

Bendros žinios apie elektros lanką
Suvirinimo lanko zonos
Suvirinimo lanko sužadinimas
Lanko voltamperinė charakteristika
Dinaminės lanko charakteristikos
Šiluminės suvirinimo lanko savybės
Kintamos srovės suvirinimo lankas
Magnetinis putimas
Metalo lydymas ir pernešimas, suvirinant lankiniu būdu
Metalo lašą veikiančios jėgos
Elektrodo metalo pernešimo valdymas
Literatūros sąrašas

1.4 Lankas

Parengė: Olegas Černašėjus

Vilnius
2007

Lankas

1. Bendros žinios apie elektros lanką

Elektrinis suvirinimo lankas yra ilgai trunkantis elektros išlydis tarp kietų arba skystų elektrodų dujų aplinkoje, kuris vyksta, esant dideliui srovės tankiui ir išsiskiriant dideliu šilumos kiekiui.

Elektros išlydis dujose yra elektros srovė, tekanti per dujas dėl to, kad jose yra laisvų elektronų, taip pat neigiamų ir teigiamų jonų, kurie gali judėti tarp elektrodų, veikiami elektrinio lauko (potencialų skirtumo tarp elektrodų).

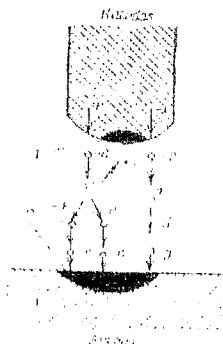
Elektronas - tai labai mažos masės dalelė, turinti elementarų (mažiausią, nedalomą) neigiamo ženklo elektros krūvį. Elektrono masė lygi $9,1 \cdot 10^{-28}$ g, elementarus elektros krūvis lygus $\pm 1,6 \cdot 10^{-19}$ kul.

Jonu vadinamas medžiagos atomas arba molekulė, turinti vieną arba kelis elementarius krūvius.

Teigiami jonai turi perteklinį teigiamą krūvį; jie susidaro, neutraliam atomui arba molekulei netekus vieno arba kelių elektronų iš savo išorinio (valentinio) apvalkalėlio (elektronai, besisukantys išoriniame atomo apvalkalėlyje, yra silpniau susiję tarpusavyje, negu vidinių apvalkalėlių elektronai, ir dėl to jie lengvai atitrūksta nuo atomo, susidūrus atomams arba veikiami spinduliavimo).

Neigiami jonai turi perteklinį neigiamą krūvį; jie susidaro tuomet, kai atomas arba molekulė prisijungia prie savo išorinio apvalkalėlio vieną arba kelis laisvus elektronus. Laisvieji elektronai, teigiami ir neigiami jonai gali susidaryti dujose, susiduriant judantiems dėl šilumos poveikio atomams ir molekulėms, kai jų energija pakankamai didelė (tai esti aukštoje temperatūroje).

Procesas, kurio metu iš neutralių atomų ir molekulių susidaro teigiami ir neigiami jonai, vadinamas jonizacija.



1 pav. Suvirinimo lanko schema: e - elektronas, A⁰ - neutralus atomas, +J - teigiamas jonas, -J - neigiamas jonas, 1 - katodinė dėmė, 2 - anodinė dėmė

1 paveiksle pavaizduotas nuolatinės srovės lankinis išlydis. Vykstant elektronų emisijai (termoemisijai, kai yra aukšta temperatūra, autoemisijai, kai veikia stiprus elektrinis laukas ir kt.), elektrinio lauko veikiami elektronai dideliu greičiu lekia iš katodo prie anodo. Pakeliui jie susiduria su neutraliais dujų atomais A⁰, išmuša iš jų elektronus arba su jais susijungia ir šitaip jonizuoja dujas tarp katodo ir anodo. Jei elektronas, susidūręs su neutraliu atomu, išmuša iš jo du elektronus, susidaro teigiamas jonas +J. Jis dideliu greičiu lekia prie katodo ir išmuša iš jo naujus elektronus. Laisvieji elektronai taip pat dideliu greičiu juda prie anodo, susiduria su juo ir savo kinetinę energiją paverčia šiluma. Jei elektronas, susidūręs su neutraliu atomu, jį prisijungia, susidaro neigiamas jonas -J. Šis irgi lekia dideliu greičiu prie anodo, su juo susiduria, ir jo kinetinę energiją paverčia šiluma. Degant lankui, prie katodo susidaro vadinamoji katodinė dėmė 1, o prie

anodo - anodinė dėmė 2

Jonizaciją galima sukelti šviesos, ultravioletiniais, rentgeno spinduliais, taip pat spinduliuojant radioaktyviosioms medžiagoms.

Įprastinėmis sąlygomis oras, kaip ir visos dujos, turi labai mažą elektrinį laidumą. Šitai paaiškinama tuo, kad dujose esti maža laisvų elektronų ir jonų koncentracija. Todėl, norint sukelti dujose didelę elektros srovę, t. y. sudaryti elektros lanką, reikia jonizuoti tarp elektrodų esantį oro tarpelį (arba kitą dujinę terpę). Jonizuoti galima, prijungus prie elektrodų pakankamai didelę įtampą, tuomet dujose esantys (mažas kiekis) laisvieji elektronai ir jonai, veikiami elektros lauko, pradės smarkiai judėti, ir, įgiję didelę energiją, sugebės suskaldyti neutralias molekules į jonus. Tačiau suvirinimo procese saugumo technikos sumetimais neleistina naudoti aukštas įtampas. Todėl taikomas kitas būdas. Kadangi metaluose yra didelė laisvųjų elektronų koncentracija, tai šiuos elektronus galima ištraukti iš metalo į dujinę aplinką ir juos panaudoti dujų molekulėms jonizuoti. Yra keletas būdų elektronams ištraukti iš metalų: iš jų suvirinimo procesui svarbūs du būdai:

1) termoelektroninė emisija;

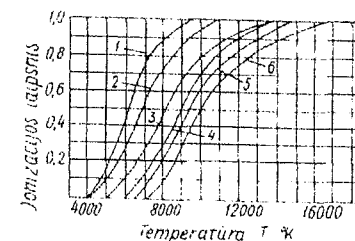
2) autoelektroninė emisija.

Vykstant termoelektroninei emisijai, laisvieji elektronai tarsi „išgaruoja“ iš metalo paviršiaus, kai metalas įkaitinamas iki aukštos temperatūros. Kuo aukštesnė metalo temperatūra, tuo daugiau laisvųjų elektronų įgyja energiją, pakankamą „potencialiniam barjerui“ nugalėti paviršiniame sluoksnyje ir išlekti iš metalo.

Vykstant autoelektroninei emisijai, elektronai iš metalo ištraukiami, išorėje sukūrus elektrinį lauką, kuris šiek tiek pakeičia po-tencialinį barjerą metalo paviršiuje, ir todėl tie elektronai, kurie yra metalo viduje ir turi pakankamai didelę energiją, gali nugalėti šį barjerą ir atsiskirti.

Jonizaciją, sukeltą tam tikrame dujų tūryje, priimta vadinti *tūrinę jonizaciją*. Tūrinę jonizaciją, sukeltą įkaitimo dujas iki labai aukštos temperatūros, vadinama *terminę jonizaciją*.

Esant aukštai temperatūrai, didelė dalis dujų molekulių įgyja pakankamą energiją, kad susidūrusios suskaldytų neutralias molekules į jonus; be to, kuo aukštesnė temperatūra, tuo daugiau molekulių susiduria tarpusavyje. Esant labai aukštai temperatūrai, jonizacijos procese pastebimą vaidmenį pradeda vaidinti taip pat dujų ir karštų elektronų spinduliavimas.



2 pav. Jonizacijos laipsnio priklausomybės nuo medžiagos įkaitimo temperatūros grafikas: 1 - kalis; 2 - natrius; 3 - kalcis; 4 - manganas; 5 - geležis; 6 - silicis.

Dujų jonizacija apibūdinama *jonizacijos laipsniu*, t. y. krūvį turinčių dalelių tam tikrame tūryje skaičiaus ir pradinio dalelių skaičiaus (iki jonizacijos pradžios) santykiu. Esant pilnai jonizacijai, jonizacijos laipsnis lygus vienetui. 2 paveiksle pateiktas kai kurių medžiagų jonizacijos laipsnio priklausomybės nuo įkaitimo temperatūros grafikas. Grafike matyti, kad tokios medžiagos, kaip kalis, natrius, kalcis, turi pakankamai didelį jonizacijos laipsnį. Esant šių elementų garų lanko tarpelyje, lankas lengviau sužadinamas ir pastoviau dega. Ši šarminių metalų savybė paaiškinama mažu šių metalų atomų jonizacijos potencialu.

Jonizacijos potencialu vadinamas darbo W (džauliais), kuris reikalingas vienam elektronui iš medžiagos atomo pasalinti, ir šio elektrono krūvio q (kulonas) santykis:

$$U = \frac{W}{q}; \text{ J/kul.}$$

Kadangi džaulis/kulonas= voltas, tai įvairių medžiagų jonizacijos potencialas nurodomas voltais

1.4	Lankas	IWE
-----	--------	-----

Sudetingi atomai, sudaryti iš daug elektronų, turi kelis jonizacijos potencialus. Pirmasis jonizacijos potencialas yra tas, kai iš atomo pašalinamas silpniau už kitus surištas elektronas, esantis išoriniame atomo apvalkalelyje. Norint pašalinti kitus elektronus, esančius arčiau branduolio ir stipriau su juo surištus, reikia atlikti didesni darbą. Todėl antrasis ir sekantieji jonizacijos potencialai, atitinkantys atnejo ir sekančių elektronų pašalinimą, bus didesni. Kai kurių elementų pirmieji jonizacijos potencialai pateikti 1 lentelėje.

Lentelėje matyti, kad mažiausią jonizacijos potencialą turi kalis, natrius, baris, litis, aliuminis, kalcis ir kt. Todėl, kad pastoviau degtų elektros lankas, šių medžiagų į lanko zoną įvedama per elektrodų glaistus arba flusus.

1 lentelė Kai kurių cheminių elementų pirmieji jonizacijos potencialai

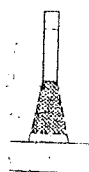
Elementai	K	Na	Ba	Li	Al	Ca	Cr	Mn	C	H	O	N
U_j	4,32	5,12	5,19	5,37	5,96	6,08	6,74	7,40	11,22	13,53	13,56	14,50

Taigi oro tarpelio tarp elektrodų elektrinis laidumas, vadinasi, ir pastovus lanko degimas priklauso nuo katodo emisijos ir dujų tūrinės jonizacijos lanko zonoje, kurių dėka lanko juda stiprūs krūvį turinčių dalelių srautai.

2. Suvirinimo lankas

2.1. Suvirinimo lanko zonos

Suvirinimo lanko zonos: lanko stulpas, anodinė sritis ir katodinė sritis (3 pav.). Visose lanko srityse vyksta skirtingi procesai, lemiantys lanko savybes. Jie iki šiol nėra pakankamai ištirti dėl labai mažų jų matmenų (anodinės ir katodinės sričių ilgis apytiksliai lygus laisvojo elektrono kelui) ir aukštos temperatūros. Degant lankui, prie anodo ir katodo susidaro anodinė ir katodinė dėmės. Suvirinimo srove teka visų šių dėmių plotu, todėl jose temperatūra būna labai aukšta. Tokia temperatūra katodinėje dalyje sukelia elektronų termoeemisiją. Elektrinio lanko veikiami, jie lekia dideliu greičiu, patenka į lanko stulpą, susiduria su neutraliais dujų atomais ir juos jonizuoja. Susidarę teigiami jonai lekia prie katodo (neigiamo elektrodo), neigiami jonai-prie anodo (teigiamo elektrodo).



3 pav. Suvirinimo lanko schema.

1 - katodas, 2 - katodinė sritis, 3 - lanko stulpas, 4 - anodinė sritis, 5 - anodas

Apie 10^{-5} cm ilgio katodinė zona prasideda nuo įkaitinto katodo galo, kuriame yra vadinamoji katodinė dėmė. Iš čia išlekia laisvųjų elektronų, jonizuojančių lanko tarpelį, srautas. Srovės tankis katodinėje dėmėje $60-70 \text{ A/mm}^2$. Link katodo skrieja teigiamų jonų, kurie jį bombarduoja ir atiduoda jam savo energiją, srautai, įkaitindami jį iki $2500-3000^\circ\text{C}$. Teigiami jonai katodinėje srityje sukuria tūrinį teigiamą potencialą, todėl čia labai sumažėja įtampa.

Anodinė zona prasideda nuo teigiamo elektrodo galo, kuriame matyti nedidelis ruožas, vadinamas anodine dėme. Link anodinės dėmės skrieja ir atiduoda savo energiją elektronų srautai, įkaitindami ją iki $2500-4000^\circ\text{C}$ temperatūros. Anodinėje srityje taip pat sumažėja įtampa, nes joje irgi susidaro didelė neigiamų jonų koncentracija. Neigiami jonai ir elektronai, susidūrę su anodu, savo kinetinę energiją paverčia šiluma, dėl to anodinė dėmė labai įkaista.

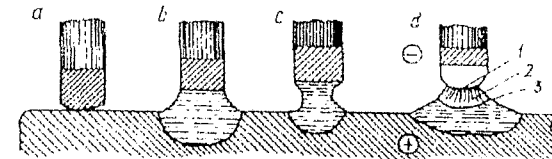
Lanko stulpas tarp katodinės ir anodinės sričių yra pilnas teigiamų ir neigiamų jonų, taip pat neutralių atomų. Teigiamai ir neigiamai jonizuotų dalelių skaičius yra vienodas, todėl lanko stulpas elektrinio krūvio

1.4	Lankas	IWE
-----	--------	-----

neturi - jis yra kvazineutralus. Tokios pakankamai jonizuotos ir kvazineutralios dujos vadinamos plazma. Norint gauti plazmą, reikia dujas kaitinti. Pagal kaitinimo laipsnį plazma skirstoma į žemos temperatūros - šaltą plazmą ir aukštos temperatūros - karštą plazmą. Karštos plazmos temperatūra $T=10^6$ °K. Suvirinimo lanko plazmos temperatūra priklauso nuo lanko degimo sąlygų, todėl svyruoja nuo 4500 iki 50000 °K. Tokioje temperatūroje jonizuojasi tik atomų paviršius, todėl suvirinimo lanko plazma yra šalta.

2.2. Suvirinimo lanko sužadinimas

Elektros lankas sužadinamas, prielietus elektrodo galą prie suvirinamos detalės. Kontaktas susidaro tarp elektrodo ir suvirinamos detalės paviršiuje esančių mikrošikščių. Dėl didelio srovės tankio šie gūbreliai akimirksniu išsilydo, ir susidaro skysto metalo plėvelė, kuri uždaro suvirinimo grandinę ruože „elektrodas - suvirinamoji detalė“. Atitraukus elektrodą nuo detalės paviršiaus per $2-4$ mm, skysto metalo plevelė išsitempia, o jos skerspjūvis sumažėja, dėl to padidėja srovės tankis ir pakyla metalo temperatūra. Plėvelė trūksta, o užviręs metalas išgaruoja. Aukštoje temperatūroje intensyviai vykstant termoelektroninei ir autoelektroninei emisijai, jonizuojasi metalo garai ir tarpelyje tarp elektrodų esančios dujos. Susidariusioje jonizuotoje aplinkoje susižadina elektrinio suvirinimo lankas. Lanko sužadinimo procesas trumpalaikis, suvirintojas jį sužadina per sekundės dalį. Elektrinio suvirinimo lanko, maitinamo nuolatine srove, sužadinimo schema parodyta 4 paveiksle.



4 pav. Elektrinio suvirinimo lanko, kuris maitinamas nuolatine srove, sužadinimo schema. a - trumpasis jungimas, b - skysto metalo tarpšluoksnio susidarymas, c - kaklelio susidarymas, d - lanko sužadinimas

Pradiniu momentu lankui sužadinti reikalinga truputį didesnė įtampa, negu jam vėliau degant. Šitai paaiškinama tuo, kad, sužadinant lanką, oro tarpelis yra nepakankamai įkaitęs ir jonizacijos laipsnis nepakankamai didelis. Todėl, norint suteikti laisviesiems elektronams tokią energiją, kad, jiems susidūrus su dujų tarpelio atomais, įvyktų jonizacija, reikalinga didesnė įtampa.

Lankui sužadinti reikalinga įtampa priklauso nuo srovės rūšies (nuolatinė ar kintamoji), nuo lanko tarpelio dydžio; nuo elektrodo ir suvirinamųjų briaunų medžiagos; nuo elektrodų glaisto ir daugelio kitų veiksnių. Kai tarpelis $2-4$ mm, lankui sužadinti reikalinga $40-70$ V įtampa. Stabilus suvirinimo lanko įtampa gali būti apskaičiuota, pasinaudojant formule:

$$U_l = a + bI_l$$

Čia U_l - lanko įtampa V; a - koeficientas, kurio fizinė prasme yra įtampų kritimų suma katodo ir anodo zonos V; b - koeficientas, išreiškiantis vidutinį įtampos kritimą lanko ilgio vienetu V/mm; I_l - lanko ilgis mm.

Lanko ilgiu vadinamas atstumas tarp elektrodo galo ir išsilydžiusio metalo vonios paviršiaus ant suvirinamos detalės. „Trumpu“ lanku vadinamas $2-4$ mm ilgio lankas. „Normalaus“ lanko ilgis $4-6$ mm ilgesnis kaip 6 mm lankas vadinamas „ilgu“. Geriausias suvirinimo režimas, esant trumpam lankui. Jeigu lankas ilgas, tai suvirinimo procesas eiti netolygus, lankas dega nestabiliu, metalas, praeidamas pro lanko tarpelį, daugiau oksiduojasi ir azotuojasi (nitruojasi), daugiau metalo išgaruoja ir išsitaško.

Atsižvelgiant į tai, kokiame aplinkoje vyksta lankinis išlydis, lankai skirstomi į: 1) atvirą lanką, degantį ore, 2) uždarytą lanką, degantį po flusu, 3) lanką, degantį apsauginėse dujose.

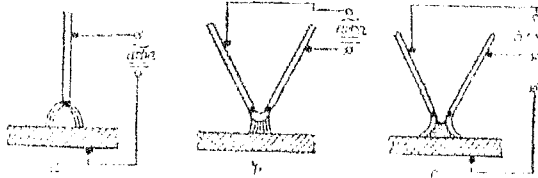
Kai naudojama nuolatinė srovė, lankai būna tiesioginio ir atvirkščio poliarumo. Norint gauti tiesioginio poliarumo lanką, teigiamas polius prijungiamas prie gaminio, neigiamas - prie elektrodo. Kai teigiamas polius prijungiamas prie elektrodo, neigiamas - prie gaminio, gaunamas atvirkščias poliarumas.

Suvirinama lydziaisiais elektrodois (siūlę sudaro išsilydęs elektrodo ir detalių metalas) ir nelydziaisiais

1.4	Lankas	IWE
-----	--------	-----

(volframo, anglies ir kt.)

Pagal darbo principą lankai būna tiesioginio, netiesioginio ir kombinuoto veikimo. Tiesioginis lankas (5 pav., a) dega tarp elektrodo ir gaminio, netiesioginis lankas (5 pav., b), - tarp dviejų elektrodų (pvz., suvirinant atominame vandenyje) arba tarp dviejų elektrodų ir detalės (kombinuotasis lankas, 5 pav., c) - tai tiesioginio ir netiesioginio veikimo lankų kombinacija (pvz., trifazis lankas).

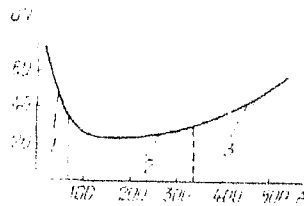


5 pav. Suvirinimo lankas: a - tiesioginis, b - netiesioginis, c - kombinuotasis

2.3. Lanko voltamperinė charakteristika

Praktikoje labai svarbi suvirinimo lanko voltamperinė charakteristika, t. y. įtampos kritimo įvairiose lanko dalyse priklausomybė nuo juo tekančios srovės stiprumo: $U_{lank} = f(I_{suv})$ (6 pav.). Silpnų suvirinimo srovių (iki 12 A/mm²) kreivės dalyje 1 lanko charakteristika yra krintanti, nes, stiprinant srovę, sparčiai kyla jonizuotų dujų temperatūra, taigi - ir jų jonizacija. Dujos jonizuojasi sparčiau, o suvirinimo srovė stiprėja lėčiau, dėl to suvirinimo lanko varža ir įtampos kritimas lanke mažėja. Vidutinių suvirinimo srovių (12-80 A/mm²) kreivės dalis 2 yra nuožulni, nes jonizuotų dalelių jau yra gana daug, ir jų koncentracija didėja proporcingai suvirinimo srovei. Stiprėjant srovei, didėja tik lanko matmenys, o įtampos kritimas lanke beveik nesikeičia.

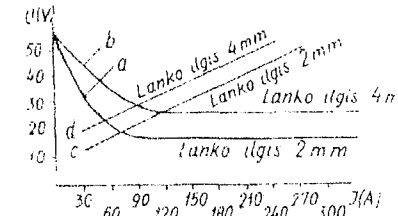
Suvirinimo srovės kreivės dalyje 3, kur srove labai stipri (virš 80 A/mm²), lanko charakteristika yra kylanti. Mat beveik visi dujų atomai lanke jau yra jonizuoti. Šioje charakteristikos dalyje įtampos kritimas, galima sakyti, tiesiog priklauso nuo suvirinimo srovės stiprumo. Suvirinimo lanko varža yra netiesinė, vadinasi, jam, kaip elektrinės schemos elementui, Omo dėsnis netaikomas. (Tiksčiau sakant, Omo dėsnis galioja tik stiprių srovių, t. y. kylančios voltamperinės charakteristikos, daliai.)



6 pav. Suvirinimo lanko voltamperinė charakteristika:
1 - silpnos srovės, 2 - vidutinės srovės, 3 - didelės srovės

Esant staigiai krintančiai lanko charakteristikai, srovei padidėjus iki 40-60 A, smarkiai sumažėja įtampa. Toliau didėjant srovei, lanko įtampa beveik nesikeičia (7 pav., a, b). Tokią charakteristiką lankas turi, kai nedidelis srovės tankis, atitinkantis rankinio lankinio suvirinimo režimą ir automatinio suvirinimo po lūso sluoksniu vidutinius režimus. Padidėjus suvirinimo srovės stiprumui, greičiau lydosi elektrodas ir detalės suvirinamosios briaunos. Esant dideliui srovės tankiui ir intensyvesniam automatinio suvirinimo režimui, lanko statinė charakteristika yra kylanti (7 pav., c, d).

1.4	Lankas	IWE
-----	--------	-----



7 pav. Statinės voltamperinės lanko charakteristikos.

2.4. Dinaminės lanko charakteristikos

Suvirinimo lankas yra efektyvus šilumos šaltinis: 60-80 % jo energijos suvartojama metalams kaitinti ir lydyti. Visose lanko srityse įtampos kritimas (t. y. įtampos skirtumas) yra skirtingas (U_k , U_a , U_s). Suvirinimo lanko galia (W_l) lygi juo tekančios suvirinimo srovės (I_{suv}) ir įtampos kritimo jame (U_l) sandaugai:

$$W_l = I_{suv} \cdot U_l,$$

Lanko ilgį l_l sudaro katodinės srities ilgis l_k (apie 10⁻¹ mm), anodinės srities ilgis l_a (apie 10⁻²-10⁻³ mm) ir lanko stulpo ilgis l_s :

$$l_l = l_k + l_a + l_s;$$

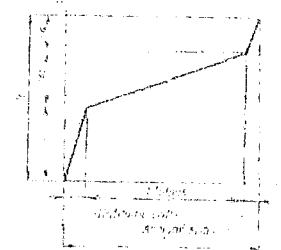
Įtampos kritimas visame lanke:

$$U_l = U_k + U_a + U_s;$$

Įtampos kritimas katodinėje ir anodinėje srityse priklauso nuo elektrodų medžiagos ir aplinkos, kurioje dega suvirinimo lankas, įtampos kritimas lanko stulpe - nuo lanko ilgio. Katodinio ir anodinio įtampos kritimų sumą pažymėjus a , lanko stulpo ilgį - l , įtampos kritimo lanko stulpe gradientą - b (V/mm²), suvirinimo lanko galia

$$W_l = I_{suv}(a + bl),$$

Įtampos kritimas visose lanko dalyse grafiškai pavaizduotas 8 paveiksle. Matome, kad $U_k + U_a + U_s$.



8 pav. Įtampos pasiskirstymas suvirinimo lanke.

Įtampos kritimas anodinėje ir katodinėje srityse priklauso nuo elektrodų medžiagos ir kitų veiksnių. Pavyzdžiui, lankui degant tarp plieninių elektrodų, $U_a + U_k$ svyruoja nuo 3,1 iki 24 V, degant tarp varnių, -

1.4	Lankas	IWE
-----	--------	-----

nuo 10 iki 24 V, degant tarp anglinių, - nuo 21 iki 39 V ir t. t.

2.5. Šiluminės suvirinimo lanko savybės

Krūvį turinčių dalelių, bombarduojančių katodą ir anodą, srautų energija virsta šilumine elektros lanko energija. Šilumos, kurią išskiria lankas katode, anode ir lanko stiebe, suminis kiekis gali būti apskaičiuotas, pasinaudojant šia formule:

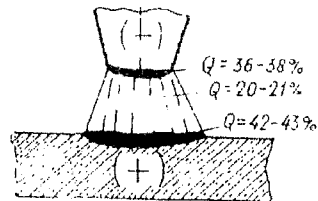
$$Q = 0,24 I U t, \text{ cal } (Q = I U t, \text{ J}), \quad (2)$$

Čia I - suvirinimo srovė A, U - lanko įtampa V, t - lanko degimo trukmė s.

Maitinant lanką nuolatine srove (9 pav.), daugiausia šilumos išsiskiria anodo zonoje (42-43 %) Katodo zonoje išsiskiria 36-38 % šilumos. Likusioji šiluma (20-21 %) išsiskiria lanko stulpe.

Toks šiluminės energijos pasiskirstymas lanke paaiškinamas tuo, kad anodas yra intensyviau bombarduojamas krūvį turinčių dalelių, negu katodas, o susidūrus dalelėms lanko stiebe, išsiskiria mažesnėji bendrojo šilumos kiekio dalis.

Suvinant angliniu elektrodu, temperatūra katodo zonoje siekia 3200 °C, anodo zonoje - 3900 °C, o lanko stiebe vidutinė temperatūra esti 6000 °C.



9 pav. Šilumos, kurią srove išskiria lanko zonoje, pasiskirstymas.

Suvinant metaliniu elektrodu, temperatūra katodo zonoje esti apie 2400 °C, o anodo zonoje - 2600 °C. Skirtinga katodo ir anodo zonų temperatūra ir skirtingas šiose zonose išskiriamas šilumos kiekis panaudojama, sprendžiant technologinius uždavinius. Suvinant detales, kurioms reikia daugiau šilumos briaunų įkaitinimui, taikomas vadinamasis tiesioginis poliarumas, kuriam esant anodas (srovės šaltinis pliusinis gnybtas) prijungiamas prie detalės, o katodas (srovės šaltinio minusinis gnybtas) - prie elektrodo. Suvinant plonasienius gaminius, plonakalstes konstrukcijas, taip pat plienus, kurių negalima perkaitinti (nerūdijančius, atsparius kaitrai, daugiaanglius ir kt.), naudojama atvirkščio poliarumo nuolatinė srovė. Šiuo atveju katodas prijungiamas prie suvirinamos detalės, o anodas - prie elektrodo. Dėl to ne tik sąlygiškai mažiau įkaista suvirinamoji detalė, bet ir greičiau išsilydo elektrodo medžiaga, nes anodo zonoje yra aukštesnė temperatūra ir daugiau išsiskiria šilumos.

Maitinant lanką kintama srove, katodo ir anodo zonų temperatūra ir išsiskiriantis šilumos kiekis susivienodina, nes katodinė ir anodinė dėmės periodiškai keičiasi vietomis dažnumu, lygiu srovės dažnumui.

Pratka rodo, kad vidutiniškai tik 60-70 % lanko šilumos panaudojama metalui įkaitinti ir išlydyti. Likusioji šiluma išspinduliuojama į aplinką arba išnešama konvekcijos būdu su garais ir įkaitusiomis dujomis.

Šilumos kiekis, sunaudojamas suvirinamam metalui įkaitinti ir išlydyti per laiko vienetą, vadinamas efektyviuoju šiluminiu lanko galingumu g_e . Jis lygus visam lanko šiluminiam galingumui, padaugintam iš metalo įkaitinimo lanko efektyviojo naudingumo koeficiento η

$$g_e = 0,24 I U / \eta ; \text{ cal/sec } (g_e = I U / \eta ; \text{ W})$$

η priklauso nuo suvirinimo būdo, elektrodo medžiagos, glaisto sudėties ir kitų veiksnių.

Suvinant rankiniu lankiniu būdu plonai glaistytu elektrodu arba angliniu elektrodu, η lygus 0,5-0,6, o suvinant kokybiškais elektrodais 0,70-0,85. Suvinant argonolankiniu būdu, šilumos nuostoliai esti žymiai

1.4	Lankas	IWE
-----	--------	-----

didesni ($\eta = 0,5-0,6$). Geriausiai šiluma sunaudojama, suvinant po fluso sluoksniu ($\eta = 0,85-0,93$).

Suvinimo proceso šiluminei charakteristikai priimta nustatyti išilginę lanko energiją, t. y. šilumos kiekį, kuris suteikiamas metalui, skaičiuojant vienam siūlės, daromos vienu ėjimu, ilgio vienetui; šis kiekis matuojamas cal/cm (J/m). Išilginė energija $g_{i\text{ilg}}$ lygi efektyviojo šiluminio galingumo g_e ir suvirinimo greičio v santykiui:

$$g_{i\text{ilg}} = \frac{g_e}{v} = \frac{0,24 I U / \eta}{v} \quad (g_{i\text{ilg}} = \frac{I U / \eta}{v})$$

Šilumos nuostoliai, suvinant rankiniu lankiniu būdu, sudaro maždaug 25 %, iš kurių 20 % sudaro nuostoliai į lanką supančią aplinką (ši šiluma išspinduliuojama ir patenka į aplinką garų ir dujų konvekcijos būdu), o likusius 5 % sudaro šiluma, kurios netenkama, garuojant ir taškantis suvirinamajam metalui.

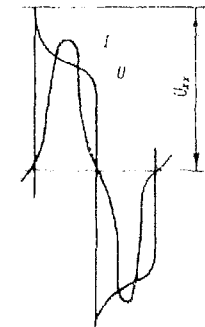
Suvinant automatinu būdu po fluso sluoksniu, šilumos nuostoliai sudaro tik 17 %, iš kurių 16 % sunaudojama flusui išlydyti, o garavimui ir išsitaikymui tenka apie 1 % lanko išskiriamos šilumos.

Elektros lanko išskiriama šiluma susikonzentruoja labai nedidelyje erdumėje, dėl to metalas koncentruotai įkaitinamas lanko zonoje. Likusioji suvirinamos detalės metalo masė įkaista palyginti nedaug.

Elektrodo ir detalės suvirinamų briaunų metalas nuo suvirinimo lanko šilumos išsilydo ir sudaro bendrą išsilydžiusio metalo vonią, kuriai auštant susidaro suvirinta siūlė.

2.6. Kintamos srovės suvirinimo lankas

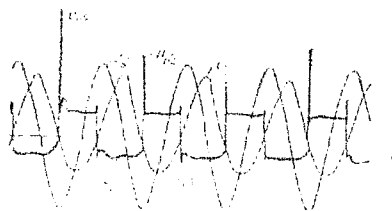
Kintamoji srovė maitinamo lanko įtampa ir srovė periodiškai kinta - keičiasi jų dydis ir kryptis, todėl lankas atitinkamai užgesa ir vėl užsidega. Esant 50 Hz srovės dažniui, lankas užgesa ir užsidega 100 kartų per sekundę. Lanko ir anodinės bei katodinės dėmės temperatūra irgi kinta. Einant srovei per nulį, lankas užgesa, dujų jonizacija, tarsi ir lanko stulpo laidumas sumažėja. Pakartotinai lanką galima uždegti tik padidinus įtampą. Toji padidinta įtampa vadinama lanko pakartotinio uždegimo įtampa, arba uždegimo piku (10 pav.)



10 pav. Srovės ir įtampos kitimo kintamosios srovės lankė schema: U_k - lanko uždegimo įtampa.

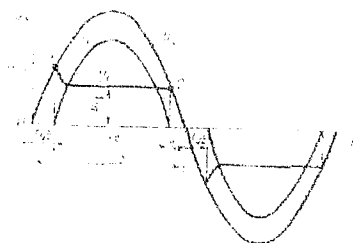
Lanko uždegimo įtampos dydžiui didelę įtaką turi efektinis jonizacijos potencialas (dujų mišinio jonizacijos potencialas). Kai lankiniame tarpelyje dujų jonizacijos potencialas mažas, uždegimo pikas sumažėja. Tam tikslui į glaistus arba flusus įdedama fluoro ar kitų medžiagų, turinčių mažą jonizacijos potencialą. Uždegimo įtampos pikai mažėja ir stiprėjant suvirinimo srovei. Praktiškai lanko uždegimo įtampos pikai 2-3 kartus didesni už stabiliai degančio lanko įtampą.

Suvinant kintamoji srove, ypač nelydžiuoju elektrodu (pvz., suvinant aliuminį volframinio elektrodu), lankas įgyja ventiliinių savybių, t. y. skirtingais pusperiodžiais lanko uždegimo įtampos gerokai skiriasi (11 pav.). Uždegimo įtampa žema, kai katodas yra volframas. Kitą pusperiodį uždegimo įtampa žymiai didesnė, nes aliuminio termoelektroninė emisija yra gana maža. Grandinėje atsiranda srovės nuolatinė dedamoji, t. y. kintamoji srovė iš dalies išlyginama. Dėl nuolatinės dedamosios blogėja suvirinimo procesas, todėl jai panaikinti į suvirinimo grandinę įjungiami kondensatoriai arba imamasi kitų ją silpninančių priemonių.



11 pav. Įtampos ir srovės oscilogramos, kai suvirinama nelydžiuoju volframo elektrodu: u_{a2} - lanko uždegimo įtampa, u_s - šaltinio įtampa, u_f - lanko įtampa; i_f - lanko srovė)

Jei į suvirinimo grandinę įjungta tik aktyvinė varža, šaltinio įtampos u_s fazė sutaps su lanko srovės i_f faze (12 pav.). Kiekvieno pusperiodžio pradžioje lankas turės pakartotinai užsidegti. Bet jis užsidegs tik tada, kai šaltinio įtampa pasieks dydį u_{a2} . t. y. praeis laikas t_{a2} . Lankas užsidegs taške 1.



12 pav. Lanko įtampos u_f srovės i_f ir šaltinio įtampos u_s kreivės grandinėje su aktyvine varža: u_{a2} - lanko uždegimo įtampa, t_{a2} - lanko uždegimo laikas, t_{ne} - jo nedegimo laikas, u_f - lanko įtampa nuo taško 1 iki taško 2, u_{f1} - stabiliai degančio lanko įtampa

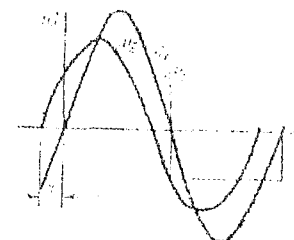
Didėjant šaltinio įtampai, stipres lanko srovė. Po to šie dydžiai pradės mažėti. Kai šaltinio įtampa taps mažesne už lanko įtampą u_f (taške 2), lankas užges. Kitą pusperiodį lankas nedegs tol, kol vėl šaltinio įtampa nebus pasiekusi dydį, reikalingą lankui uždegti. Taigi lankas nedegs laiką

$$t_p = t_{a2} + t_{ne}$$

Čia t_p - pauzės trukmė, t_{ne} - laikas, per kurį lankas nedega.

Kad lankas pakartotinai - lanku užsidegtų, reiktų gana aukštos tuščiosios eigos įtampos, bet tai prieštarauja saugumo technikos taisyklėms

Kad kintamosios srovės lankas degtų stabiliai, į suvirinimo grandinę įjungiamė induktyvinė varža. Tarp šaltinio įtampos u_s ir lanko srovės i_f susidaro fazės poslinkis ϕ (13 pav.), ir, einant srovės kreivei per nulinę reikšmę, šaltinio įtampa jau bus pakankama lankui pakartotinai uždegti, taigi lankas degs stabiliai. Paprastai praktikoje žiūrima, kad grandinės aktyvinės R ir induktyvinės X varžų santykis būtų $X/R > 5$.

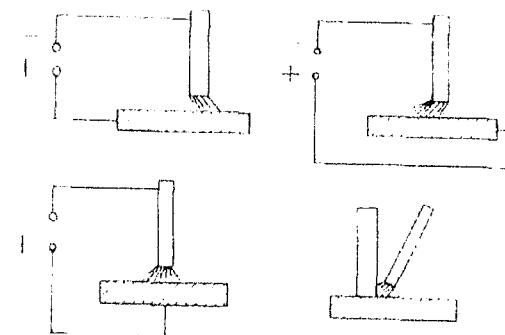


13 pav. Lanko įtampos u_f srovės i_f ir šaltinio įtampos u_s kreivės grandinėje su induktyvine varža ϕ - fazių poslinkio kampas

2.7. Magnetinis putimas

Elektrinį suvirinimo lanką galima laikyti lanksčiu dujiniu laidininku, kuriuo teka srovė, nes lankas gali būti atlenktas nuo normalios padėties. Atlenkiamą, panaudojant magnetinius laukus, sukuriamus aplink lanką ir suvirinamą detalę. Šie laukai veikia judančias krūvį turinčias daleles ir tuo pačiu visą lanką. Toks reiškinys vadinamas *magnetiniu pūtimu*. Magnetinių laukų veikimo į lanką jėga tiesiog proporcinga srovės stiprumo kvadratai; ypač stiprus jo poveikis, kai suvirinimo srovė didesnė kaip 300 A.

Magnetiniai laukai atlenkia lanką tuomet, kai jie netolygiai ir nesimetriškai išsidėstę lanko atžvilgiu. 14 paveiksle parodyta, kokią įtaką lanko atlenkimui turi srovės prijungimo prie suvirinamos detalės vieta ir elektrodo posvyris. Jeigu netoli suvirinimo lanko yra gana didelė feromagnetinė masė, tai pažeidžiamas lanko magnetinio lauko simetriškumas ir lankas atlenkiamas į šių masių pusę.



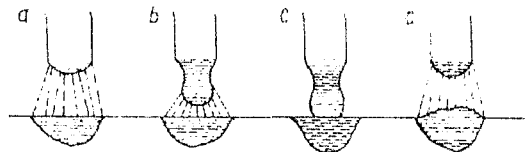
14 pav. Lanko atlenkimas dėl magnetinio pūtimo.

Kartais dėl magnetinio pūtimo sunku vesti suvirinimo procesą, todėl imamasi priemonių jo veikimui į lanką sumažinti. Iš tokių priemonių taikoma: suvirinimas trumpu lanku, suvirinimo srovė prijungiama taške, esančiame arčiausiai lanko, elektrodas palenkiamas magnetinio pūtimo veikimo kryptimi, prie suvirinimo vietos išdėstomos feromagnetinės masės.

3. Metalų lydymas ir pernešimas

3.1. Metalų lydymas ir pernešimas, suvirinant lankiniu būdu

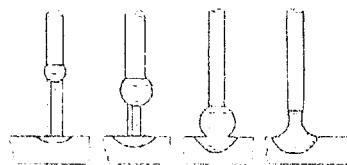
Metallų suvirinimo šilumos šaltinis dažniausiai būna elektros lanko šiluma, kuria išlydomi sujungiamųjų detalių paviršiai (pagrindinis metalas) ir, jei reikia, pridėtinis metalas (elektrodo metalas). Čia suvirinto sujungimo siūlės metalas susideda iš pagrindinio ir elektrodo metalo lydinio. Kadangi išlydytasis metalas yra elektros lanko plazmoje, tai suvirinimo siūlės kokybei didelę įtaką turi ne tik pagrindinio ir elektrodo metalo sudėtis, bet ir sąlygos, kuriomis elektrodo metalas pernešamas į suvirinimo vonią (15 pav.)



15 pav. Elektrodo metalo pernešimo ant suvirinamo gaminio schema.

Kaip pernešamas išlydytas elektrodo metalas į suvirinimo vonią, priklauso nuo suvirinamųjų metalų rūšies, suvirinimo būdo ir režimo. Jis yra dviejų pagrindinių tipų pernešimas trumpuoju jungimu ir pernešimas lašais.

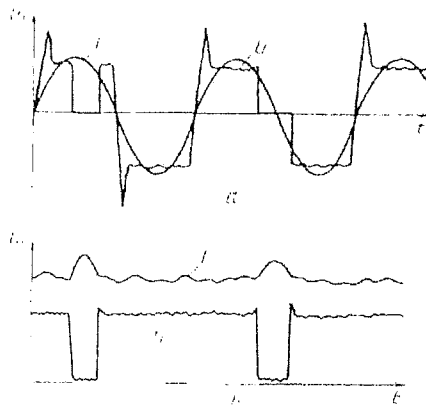
Trumpuoju jungimu dažniausiai elektrodo metalas pernešamas tuomet, kai yra nestipri suvirinimo srovė (pavyzdžiui, suvirinant plienine 1,2 mm skersmens elektrodine viela inertinėse dujose, iki 150 A) arba kai suvirinama aktyviose dujose ir suvirinimo lanką saugo CO₂ dujos (16 pav.). Išlydytas elektrodo metalas patenka į suvirinimo vonią, kai elektrodas tiesiogiai kontaktuoja su pagrindiniu metalu.



16 pav. Elektrodo metalo pernešimas trumpuoju jungimu.

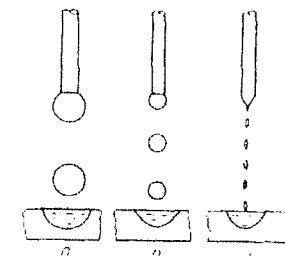
Kaip matyti paveiksle, šiuo atveju smarkiai kinta suvirinimo elektriniai parametrai, nes, lašui krintant į vonią, elektros lankas gęsta (suvirinimo grandinė trumpai sujungiamą). Šiuo momentu pagrindinis šilumos šaltinis, palaikantis metalą skystoje būsenoje, yra dūaulio šiluma. Sumažėjus laidininko skersmeniui tuo metu, kai elektrodo metalas pernešamas į suvirinimo vonią, laidininke labai padidėja srovės tankis, ir išsiskirianti šiluminė energija išgarina likusį skystą metalą. Elektros lankas vėl užsidega.

Kaip kinta pagrindiniai suvirinimo elektriniai parametrai (suvirinimo srovė ir lanko įtampa), kai metalas pernešamas trumpuoju jungimu, parodyta 17 paveiksle.



17 pav. Suvirinimo srovės ir lanko įtampų oscilogramos, kai metalas pernešamas trumpuoju jungimu: a - suvirinimo srovė kintama, b - suvirinimo srovė nuolatine.

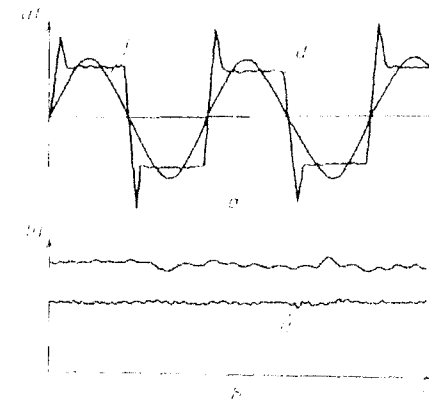
Išlydytas elektrodo metalas lašais pernešamas tada, kai suvirinama stipria elektros srove. Čia elektrodo gale susiformavęs metalo lašas atitrūksta nuo elektrodo ir nukrinta į suvirinimo vonią. Lašo didumas priklauso nuo suvirinimo būdo, srovės stiprumo, elektrodo metalo rūšies. Šio tipo išlydyto elektrodo metalo pernešimą pagal lašų didumą galima suskirstyti į stambialašį, smulkialašį ir srovinį (18 pav.).



18 pav. Elektrodo metalo pernešimas lašais: a - stambialašis, b - smulkialašis, c - srovinis.

Kai lašo skersmuo didesnis už elektrodo skersmenį, metalo pernešimas yra stambialašis, kai jis maždaug lygus elektrodo skersmeniui, - smulkialašis, kai lašo skersmuo mažesnis už elektrodo skersmenį, - srovinis.

Kadangi, pernešant metalą lašais, pastarieji (lašai) atitrūksta nuo elektrodo, tai suvirinimo lanko elektrinių parametų kitimą fiksuojančios oscilogramos rodo tik nedidelį šių parametų svyravimą dėl to, kad netolygiai lydosi elektrodo metalas, svyruoja lašas ir suvirinimo vonia. Tokios suvirinimo srovės ir lanko įtampų kitimo oscilogramos parodytos 19 paveiksle.



19 pav. Suvirinimo srovės ir lanko įtampų oscilogramos, kai elektrodo metalas pernešamas lašais: a - suvirinimo srovė kintama, b - suvirinimo srovė nuolatine.

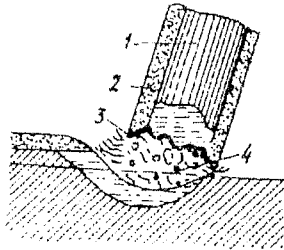
Elektrodo metalo pernešimo būdas daro didelę įtaką suvirinimo siūlės formai ir kokybei. Kad suvirinimo procesas būtų stabilus, reikia kontroliuoti lašo susiformavimo, pereinimo per lanko tarpą ir nukritimo į suvirinimo vonią laiką, susiformavusio lašo didumą, elektrinių parametų kitimo greitį.

Lašelių susidarymo procesui daug įtakos turi elektrodo glaisto sudėtis ir jo sluoksnio storis, taip pat suvirinimo srovės stiprumas. Elektrodo glaistas paprastai sumažina metalo paviršiaus įtempimą beveik 25-30 %. Be to, dujas sudarantys glaisto komponentai išskiria daug dujų ir lanko zonoje sudaro didesnę slėgimą, o dėl to skysto metalo lašai esti smulkesni.

Kuo didesnio stiprumo suvirinimo srovė, tuo mažesnis lašas. Elektrodo metalas stambiais lašais pernešamas, suvirinant mažomis srovėmis plonai glaistytais elektrodais. Esant dideliui suvirinimo srovės tankiui ir naudojant storai glaistytus elektrodus, metalas pernešamas smulkiausių lašelių srautu (vadinamasis

1.4	Lankas	IWE
-----	--------	-----

srautinis metalo pernešimas) Metalo lašų pernešimo lankė procesui turi įtakos taip pat vadinamasis dujinis pūtimas. Dujinis pūtimas yra dujų srautas, nukreiptas išilgai lanko į suvirinimo vonią. Suvirinant storai glaistytu elektrodu, elektrodo strypas greičiau lydosi ir jo galas pasidaro šiek tiek pridengtas glaisto „apvalkalėliu“ (20 pav.). Intensyviai susidarant dujoms nedideliame „apvalkalėlio“ tūryje, atsiranda dujinio pūtimo reiškiny, todėl metalo lašelių perėjimo į suvirinimo vonią procesas paspartėja.



20 pav. „Apvalkalėlio“ ir dujinio pūtimo susidarymas, suvirinant elektrodą su kokybišku glaistu: 1 - elektrodo strypas, 2 - glaistas; 3 - apvalkalėlis, 4 - lankas.

Svarbus veiksnys, kuris turi įtakos metalo pernešimo lankė procesui, yra elektromagnetinės jėgos.

Srove, tekanči per skystą lašą, yra didelio tankio, todėl spaudžiantis (gniuždantis) magnetinio lauko veikimas yra gana didelis. Veikiant magnetiniam laukui, greičiau susidaro ir greičiau suspaudžiamas lašelio kaklelis, vadinasi, jis greičiau nutrūksta nuo elektrodo galo. Elektros laukas, kurio stiprumas nukreiptas išilgai lanko į suvirinimo vonios pusę, veikia skystą lašą, todėl lašelis greičiau atitrūksta nuo elektrodo galo ir pereina į metalo suvirinimo vonią.

Suvinant lubinę siūlę, elektrodo metalo lašeliai pernešami į suvirinimo siūlę dėl to, kad veikia magnetinis ir elektrinis laukai ir kad lankė vyksta dujinio pūtimo reiškiny.

Metalo lašai, einantys per lanką, turi šlako apvalkalėlį, kuris susidaro, lydantis atitinkamoms medžiagoms, esančioms storuose elektrodo glaistuose. Šis apvalkalėlis apsaugo lašo metalą, kad ne-sioksiduotų ir nesinitruotų, dėl to gaunamas geros kokybės siūlės metalas.

Elektrodo metalo kiekis siūlės metalė priklauso nuo suvirinimo būdo ir režimo, taip pat nuo suvirintos siūlės rūšies.

Suvinant rankiniu būdu, elektrodo metalo kiekis siūlėje svyruoja plačiose ribose (nuo 30 iki 80 %), o suvinant automatiškai, jo esti paprastai 30-40 %.

Suvinimo našumas žymiu laipsniu priklauso nuo elektrodo metalo išsilydymo greičio, kuris išreiškiamas iš lydymo koeficientu ir žymimas α_{lyd} .

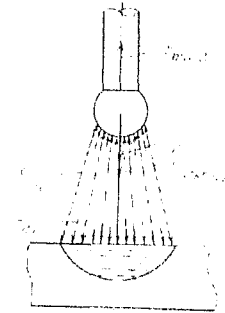
Išlydymo koeficientu vadinamas per vieną valandą išsilydžiusio elektrodo metalo kiekis gramais, kai suvirinimo srovė yra vienas amperas.

Išlydymo koeficientas priklauso nuo daugelio veiksnių, kurie turi įtakos elektrodo metalo lydymosi procesui. Naudojant atvirkščio. poliarumo srovę, išlydymo koeficientas didesnis, negu tada, kai srovė tiesioginio poliarumo, nes anode išsiskiria daugiau šilumos ir jo temperatūra aukštesnė, negu katodo. Išlydymo koeficientas labai priklauso nuo glaisto sudėties ir storio.

3.2. Metalo lašų veikiančios jėgos

Metalo lašų elektrodo gale veikia tam tikros jėgos. Nuo jų priklauso lašo susidarymas ir pernešimas į suvirinimo vonią. Šių jėgų pobūdis ir veikimo intensyvumas priklauso nuo elektrodams lydyti naudojamos energijos rūšies, galios ir koncentracijos, suvinimo būdo ir metalo rūšies. Kadangi dabar plačiausiai naudojamas elektros lankas, panagrinėkime jėgas, veikiančias išlydytą elektrodo metalą šiame lankė (21 pav.).

1.4	Lankas	IWE
-----	--------	-----



21 pav. Metalo lašų veikiančių jėgų tarpusavio priklausomybė

Metalo lašų elektros lankė veikia šios pagrindinės jėgos:

a) gravitacinė jėga F_g (lašo svorio jėga), atsirandanti dėl žemės gravitacijos. Jos didumas priklauso nuo lašo masės ir apskaičiuojamas pagal formulę

$$F_g = m \cdot a;$$

Čia m - lašo masė, a - laisvojo kritimo pagreitis.

Ši jėga žemėje visada veikia žemyn,

b) paviršiaus įtempimo jėga F_{pav} . Ji atsiranda dėl skirtingų tarpatominių ryšių metalo viduje ir paviršiuje. Ši jėga suteikia šlydytam metalui lašo formą. Nuo jos didumo priklauso lašo didumas. Lašų didumui ir atsiskyrimo dažniui ypač svarbu paviršiaus įtempimo jėgos, atsirandančios plokštumoje, skiriančioje elektrodo metalą nuo kietojo metalo. Šios jėgos didumas priklauso nuo elektrodo medžiagos ir jo skersmens:

$$F_{pav} = 2\pi R \alpha;$$

Čia R - elektrodo spindulys, α - paviršiaus įtempimo koeficientas.

Šios jėgos atstojamoji visuomet veikia elektrodo link, t. y. trukdo išlydytam metalui atsiskirti. Paviršiaus įtempimo jėga yra viena svarbiausių, kai elektrodo metalas pernešamas į suvirinimo vonią trumpuoju jungimu. Nuo šios jėgos didumo priklauso tokie svarbūs suvinimo parametrai kaip trumpojo jungimo laikas, ištaškyto metalo nuostoliai, siūlės geometriniai matmenys ir t. t.;

c) lanko slėgio jėga F_{sl} atsiranda, susidarius elektros lanko potencialų skirtumui veikiamų įelektrintų dalelių dinaminiam slėgiui. Šios jėgos didumą galima apskaičiuoti pagal formulę

$$F_{sl} = V \cdot m_e;$$

Čia V - įelektrintų dalelių greitis, m_e - šių dalelių masė. Toji jėga visuomet veikia link elektrodų.

d) elektrodinaminė jėga $F_{elektrodin}$ atsiranda, kai laidininkas, kuriuo teka elektros srovė, sąveikauja su savuoju magnetiniu lauku. Ji kietuose laidininkuose neįtampa, o skystuose ir dujiniuose laidininkuose veikia gana stipriai. Literatūroje ši jėga dažnai vadinama pinčefektu, arba glaudos efektu, nes stengiasi suglausti laidininką toje vietoje, kur pasikeičia jo skerspjūvis. Pinčefektas sukuria dedamąją, kuri veikia išlydyto elektrodo metalo lašą. Ši jėga apskaičiuojama pagal formulę:

$$F_{elektrodin} = \frac{\mu I^2}{4\pi} \ln \frac{R_l}{R_{el\ sp}};$$

Čia μ - skysto metalo magnetinė skvarbė; I - suvinimo srovės stiprumas; R_l - elektros lanko spindulys, $R_{el\ sp}$ - elektrodo spindulys.

Jei skysto metalo skvarbą maždaug lygi vakuumo magnetinei skvarbai μ_0 , $\mu \approx \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ gen/m, tai elektrodinaminė jėga

$$F_{\text{elektrodin}} \sim 10^{-7} \cdot I^2 \ln \frac{R_l}{R_{\text{el.sp}}}$$

Matome, kad šios jėgos veikimo kryptis gali būti įvairi. Kai suvirinimo srovė silpna ir $R_l \approx R_{\text{el.sp}}$, ši jėga veikia nuo lanko stulpo link elektrodo; kai $R_l \approx R_{\text{el.sp}}$, ji lygi nuliui; kai $R_l \gg R_{\text{el.sp}}$ ir suvirinimo srovė palyginti stipri (250-400 A), ši jėga veikia link lanko stulpo, t. y. stengiasi nustumti metalo lašą nuo elektrodo galo.

e) dujų srautų reaktyvinė jėga F_{dr} atsiranda, intensyviai garuojant išsilydžiusiam elektrodo metalui, kai jų elektros lanko temperatūra aukštesnė už metalo virimo temperatūrą. Šios jėgos didumas priklauso nuo metalo garų kiekio.

$$F_{dr} = m_g \cdot \frac{V_g}{S}$$

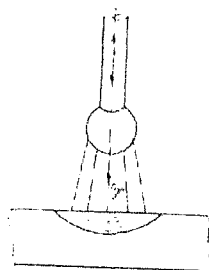
Čia m_g - garų masė, V_g - garų judėjimo greitis, S - garavimo plotas. Šios jėgos atstojamoji visuomet veikia link elektrodų ir trukdo elektrodo metalui pereiti į suvirinimo vonią.

Išlydytą elektrodo metalą tokioje sudėtingoje aplinkoje, kaip elektros lanko plazma, veikia ir daugiau jėgų: lanko plazmos srautai, apsauginių dujų aerodinaminiai srautai ir kt. Vis dėlto, šios jėgos veikia taip silpnai, kad sunku tai pastebėti, todėl jas atsižvelgiama tik tada, kai tenka analizuoti kitas, intensyvesnes jėgas.

3.3. Elektrodo metalo pernešimo valdymas

Įvairiais būdais valdant elektrodo metalo pernešimą į suvirinimo vonią, analizuojamos išlydytą metalą veikiančios jėgos, t. y. jos didinamos arba mažinamos. Panagrinėkime valdymo būdus, pagrįstus įvairių jėgų veikimu.

Gravitacinės jėgos veikimu pagrįstas vibrolankinis suvirinimas. Čia panaudojama išlydyto metalo masės inercija, kai elektrodas virpa išilgai savo ašies (22 pav.). Lašų susidarymo laikas ir jų didumas priklauso nuo elektrodo virpesių amplitudės dažnio ir daro įtaką siūlės metalo struktūrai, formai, suvirinimo efektyvumui. Šis valdymo būdas taikomas gana retai, nes reikia sudėtingų įrenginių ir ne visada yra efektyvus.

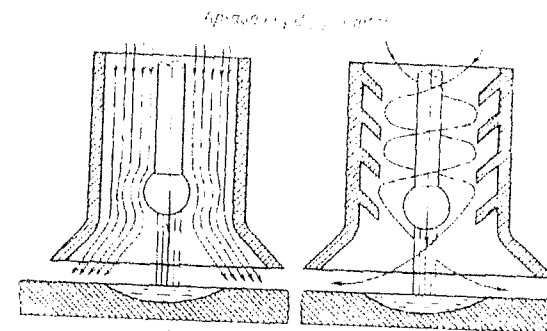


22 pav. Vibrolankinis suvirinimo schema

Paviršinės įtempimo jėgos veikimu pagrįstas suvirinimas aktyvintu elektrodu: elektrodo paviršius padengtas aktyviąja medžiaga, kuri susilpnina paviršinio įtempimo jėgą. Dėl to lašai būna daug mažesni, ir padidėja lašų pernešimo į suvirinimo vonią dažnis. Šis būdas praktikoje plačiai taikomas, nes yra gana paprastas, nereikalingi sudėtingi ir brangūs papildomi įrenginiai, labai padidėja suvirinimo efektyvumas.

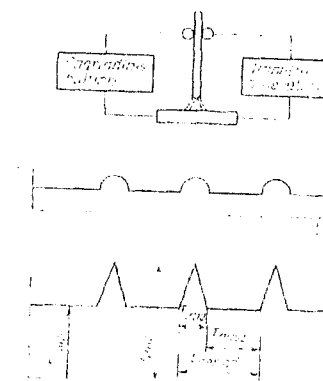
Lanko plazmos srautų bei apsauginių dujų srautų veikimu pagrįstas išlydyto metalo pernešimo

valdymo būdas, kai naudojamos specialios formos suvirinimo galvutės, kurios formuoja norimos formos apsauginių dujų bei plazmos srautus, o jų veikimo bendra dedamoji padeda lašui atsiskirti nuo elektrodo. Šių srautų forma gali būti įvairi: nuo laminarinės - suglaudžiančios a iki sudėtingos - sūkurinės-sraigtinės b (23 pav.), bet visais atvejais stengiamasi sudaryti sąlygas lašui lengviau atsiskirti. Be to, valdomais plazmos srautais galima stabilizuoti elektros lanką erdvėje, o tai ypač svarbu, kai suvirinama ilgesniu lanku arba didelių matmenų gaminiai, t. y. kai būna magnetinis pūtimas.



23 pav. Elektrodo metalo pernešimo valdymas apsauginių dujų srautais: a - laminariniai srautai, b - sūkuriniai-sraigtiniai srautai

Vienas iš pagrindinių dabar naudojamų lašo pernešimo į suvirinimo vonią valdymo būdų yra impulsinis suvirinimas. Čia lašas valdomas elektrodinamine jėga. Ji reikiamu momentu sustiprinama. Suvirinimo lankas martinamas iš dviejų šaltinių: pagrindinio ir impulso (24 pav.).



24 pav. Impulsinio suvirinimo schema.

Laikotarpiu tarp impulsų elektrodo metalą lydo lanko šiluma, gaunama iš pagrindinio suvirinimo šaltinio. Impulsų generatorius pasiuntęs impulsą į lanką, staigiai padidėja lanko galia, padidėja jo stulpo spindulys ir didėja elektrodinaminė jėga. Keičiant impulso amplitudę (I_{imp}) ir trukmę (t_{imp}), taip pat pauzės trukmę (t_{pauz}), galima reguliuoti elektrodinaminę jėgą bei veikimo momentą, t. y. valdyti išlydyto metalo pernešimą į suvirinimo vonią.

Visi čia minėti išlydyto metalo pernešimui valdyti būdai taikomi praktikoje. Jie padeda didinti suvirinimo efektyvumą, plėsti suvirinimo galimybes, gerinti siūlės kokybę. Plačiau apie šių būdų taikymą praktikoje kalbama kitose suvirinimo disciplinose.

1.4	Lankas	IWE
-----	--------	-----

Literatūros sąrašas

1. LIAUDIS, B. Suvirinimo procesų teorija. Vilnius: Technika, 1987. 132p.
2. LANCASTER, J.F. The Physics of Welding. International Institute of Welding, 1986. 340 p.
3. FROLOV, V.V. Teorija svaročnych processov. M.: Vysšaja škola, 1988. 559 p. (rus)
4. PETROV, G.I., Tumarev, A.S. Teorija svaročnych processov. M.: Vysšaja škola, 1978. 510 p (rus.)
5. NARUŠKEVIČIUS, J. Suvirintojo vadovas. Vilnius: Mažoji Evelina, 2003. 350 p.
6. GEVORKIANAS, V. Suvirinimo pagrindai. Vilnius: Mintis, 1973. 240 p.