

## PLAZMA ARC JOINING OF THIN PLATE CONSTRUCTIONS

A. V. Valiulis

To cite this article: A. V. Valiulis (1995) PLAZMA ARC JOINING OF THIN PLATE CONSTRUCTIONS, *Statyba*, 1:1, 76-82, DOI: [10.1080/13921525.1995.10531503](https://doi.org/10.1080/13921525.1995.10531503)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13921525.1995.10531503>



Published online: 26 Jul 2012.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 39

---

## PLAZMINIS PLONALAKŠČIŲ KONSTRUKCIJŲ SUJUNGIMAS

A.V.Valiulis

### 1. Įvadas

Plonasieniai gaminiai (talpos, silfonai, ekranai ir kt.) dažnai suvirinami mikroplazminiu būdu, naudojant argono ar argono ir deguonies, vandenilio bei kitų dujų mišinių plazmą. Plonasienius (0,05-0,1 mm) gaminius sunku suvirinti sandūriniu būdu. Tokiems sujungimams labiau tinka galinės ar atriestinės siūlės. Šios rūšies siūlės skiriasi nuo sandūrinių siūlių savo geometrine forma, šilumos tekėjimu kristalizacijos metu, didelio ploto skysto metalo sąlyčiu su dujine faze. Sujungimo stiprumui ir siūlės metalo kokybei turi įtakos siūlės geometrija ir pirminė metalo struktūra. Šie parametrai labai jautrūs suvirinimo režimo pokyčiams ir gali būti valdomi. Kristalizacijos pobūdis valdo grūdelių formą ir dydį, mikrostruktūrą, segregacijų kiekį, intarpų pasiskirstymą, akytumą, įtrūkimų susidarymą ir tokiu būdu siūlės metalo savybes.

### 2. Siūlės geometrija ir ją sąlygojantys veiksniai

Pastaruoju metu yra nustatyta, kad kristalizacijos parametrai, kurie kontroliuoja siūlės vonelės metalo kristalizacijos eigą - temperatūros gradientas, kristalų augimo greitis, tarpfazinis peraušimas, labai koreliuoja su siūlės metalo mikrostruktūra.

Suvirinant galines siūles, vonelės aukštis ir jos plotis yra susiję. Keičiantis siūlės pločiui, siūlės rumbelė asimptotiškai auga, kol pasiekia tam tikrą aukštį. Siūlės plotis, kintant suvirinimo parametrams, keičiasi labai nedaug, nors išlydyto metalo vonelės tūris gali būti pakitęs labai žymiai. Vonelės aukštį, esant sąlyčio su pagrindiniu metalu kampui lygiam  $\pi/2$ , galima apskaičiuoti pagal formulę:

$$h' = [h / (2\gamma / \rho \cdot g)]^{1/2} = 1. \quad (1)$$

Jei skysto lydinio lydymosi temperatūroje (1455 °C) paviršinis įtempimas  $\gamma = 1,796 \text{ N/m}$ , skysto metalo tankis  $\rho = 7,69 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ , tuomet:

$$h = \sqrt{2\gamma / (\rho \cdot g)} \quad (2)$$

Iš čia:

$$h = \sqrt{2 \cdot 1,796 / (7,69 \cdot 10^3 \cdot 9,81)} = 0,00689 \text{ m}$$

$$\text{arba } h = 6,9 \text{ mm}$$

Skysto metalo paviršinio įtempimo dydis priklauso nuo temperatūros ir, jai didėjant, mažėja. Laikant, kad viršutinėje vonelės dalyje, anodinės dėmės zonoje metalo temperatūra yra 1900 °C, paviršinis įtempimo dydis bus:

$$\gamma = 1796 - 0,35(t - 1455) \text{ nN/m} \quad (3)$$

tuomet skystos vonelės aukštis būtų  $h = 6,58 \text{ mm}$ .

Suvirintų bandinių siūlių matavimai rodo, kad suvirinant 0,4 mm storio metalą vonelės aukštis yra 0,5-0,65 mm. Padidinus metalo storį, t.y. vonelės plotį iki 0,8 mm, vonelės aukštis padidėja iki 0,82 mm, 1 mm pločio vonelės turi 0,88-1,0 mm aukštį. Prieštaravimai tarp matuojamo ir skaičiuojamo dydžių yra labai dideli ir negali būti tik dvimačio skaičiavimo modelio netikslumas.

Matuojant mikroplazminiu suvirinimu gautų galinių siūlių geometriją, nustatytas suvirinamo gaminio storio ir siūlės aukščio santykio koreliacinis koeficientas:

$$k_s = 40 + (1 - S_B) \cdot 100 \quad (4)$$

čia  $S_B$  - suvirinamo metalo storis, mm.

Lygtį papildžius koreliaciniu koeficientu  $k_s$ :

$$h' = \sqrt{h / (2\gamma / (\rho \cdot g \cdot k_s))} = 1 \quad (5)$$

ir apskaičiavus siūlės aukštį  $h$  matyti, kad eksperimento keliu gautų siūlių aukštis nedaug skiriasi nuo aukščio gauto skaičiavimo būdu (1 lentelė).

1 lentelė. Skaičiavimais ir eksperimentais nustatyto galinės siūlės aukščio palyginimas

Metalo storis mm	Galinės siūlės aukštis, mm	
	Išmatuotas eksperimentu	Apskaičiuotas
0,4	0,50...0,65	0,630
0,6	0,68-0,72	0,707
0,8	0,82...0,83	0,836
1,0	0,93-1,06	1,00

Mažo storio galinių siūlių aukštis 20-30% didesnis už suvirinamo metalo storį. Didėjant storiui šis skirtumas mažėja. Suvirinant 1,0 mm storio gaminius siūlės aukštis apytiksliai lygus gaminio storiui.

Suvirinimo vonelės gylis gali būti apskaičiuotas žinant išilginę suvirinimo energiją ir fizikines suvirinamo metalo savybes (šiluminį laidumą, tūrinę specifinę šilumą) pagal Z.Rozenthalio [1], N.Rikalino [2] šilumos sklidimo metaluose lygtį.

Ploniems metalams temperatūros/laiko kitimo išraiška, veikiant judančiam pastoviu greičiu šilumos šaltiniui, bendruoju pavidalu yra:

$$T = T_0 + \frac{q/v}{d(4 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot \rho \cdot c \cdot t)^{1/2}} \exp \frac{t^2}{4at} \quad (6)$$

Čia  $q/v$  - išilginė suvirinimo energija,  $\lambda$  - šiluminis laidumas,  $a$  - temperatūrinis laidumas,  $\rho \cdot c$  - tūrinė šiluminė talpa,  $t$  - aplinkos (pašildymo) temperatūra,  $d$  - suvirinamo gaminio storis.

Suvirinant plonus metalus mažo skerspjūvio ploto ir išlydyto metalo tūrio siūlėmis, metalo vonelės gyliui turės pastebimą įtaką slaptoji lydymosi šiluma. Kai metalo vonelė formuojasi, plazmos energija yra absorbuojama kaip slaptoji lydymosi šiluma. Nors ši šiluma vėliau, kristalizacijos metu, yra išskiriama, lydymosi metu ji paimama iš energijos šaltinio ir saugoma skystame metalo. Tokiu būdu skaičiuojant išlydyto metalo gylį, šį šilumos kiekį reikia minusuoti. Jei suvirinimo vonelė yra aproksimuota kaip pusė cilindro turinčio spindulį  $z_m$ , tuomet, kai efektyvinės energijos įvedimas yra  $q'$ , tai išlydomo metalo tūris per sekundę yra:

$$\pi \cdot z_m^2 \cdot v / 2 \cdot q' = q - \frac{\pi z_m^2 v \cdot L}{2} \quad (7)$$

Čia  $L$  - slaptoji lydymosi šiluma tūrio vienetui,  $v$  - energijos šaltinio judėjimo greitis. Aukščiausia temperatūra  $T_p$ , pasiekama bet kuriame kaitinamo metalo taške žemiau jo paviršiaus  $z_0$ , yra apskaičiuojama pagal redukuotą Z.Rozenthalio [1] pateikiamą formulę:

$$T_p = T_0 + \frac{2}{\pi \cdot e} \cdot \frac{q/v}{\rho \cdot c(z+z_0)^2} \quad (8)$$

Čia  $T_0$  - metalo temperatūra prieš suvirinimą,  $e$  - natūrinio logaritmo pagrindas,  $e=2,718$ ,  $q/v$  - išilginė energija,  $\rho \cdot c$  - tūrinė šiluminė talpa,  $z$  - atstumas nuo vonelės paviršiaus (gylis).

Įstačius lygties (7)  $q'$  reikšmę į lygties (8)  $q$  ir  $T_p$  prilyginus  $T_m$  - metalo lydymosi temperatūrai, galima apskaičiuoti išlydomo metalo vonelės gylį  $z_m$ .

Skaičiavimo rezultatai labai artimi eksperimentų duomenims (2 lentelė).

2 lentelė. Išilginės energijos įtaka išlydomos vonelės gyliui

Suvirinimo parametrai				Vonelės gylis mm	
$I_s$ $A$	$V_s$ $m/s$	$q$ $J/s$	$U$ $V$	Nustatytas eksperimentu	Apskaičiuotas $z_m$
25	$5,83 \cdot 10^{-3}$	250	10	0,88-0,93	0,9
3	$1,39 \cdot 10^{-3}$	30	10	6,25	0,63
3	$0,8 \cdot 10^{-3}$	30	10	1,07	1,22

Svarbiausieji veiksniai lemiantys vonelės skerspjūvio formą yra vonelės plotis ir jos skerspjūvio plotas (1, 2 ir 3 pav.).

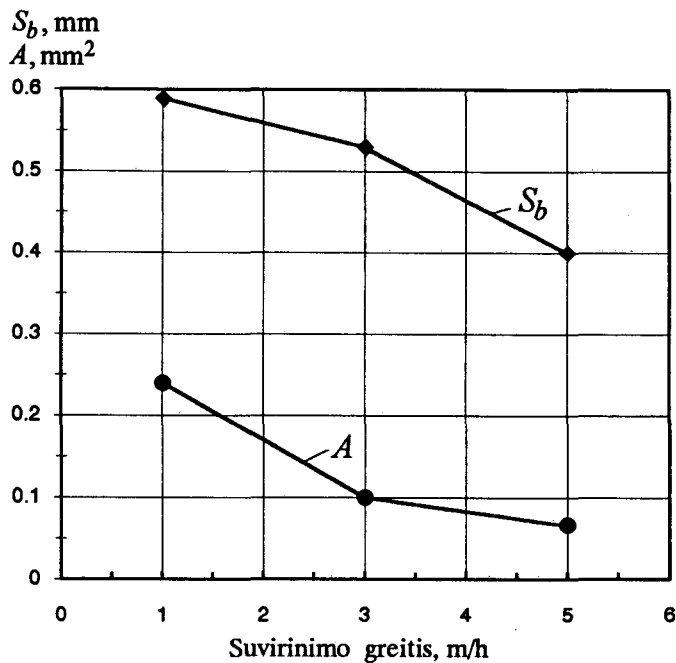
Vonelės skerspjūvio plotas nedimensine išraiška yra:

$$A' = A / (2\gamma / \rho \cdot g), \quad (9)$$

arba 
$$A' = \left[ h' + \frac{1 - \cos \Theta}{h'} \right] \frac{B'}{2} - \sin \Theta, \quad (10)$$

kur 
$$B' = [B / (2\gamma / \rho g)]^{1/2}. \quad (11)$$

Skysto/kieto metalų sąlyčio kampas  $\Theta$  yra nepriklausomas kintamasis. Jis nesusijęs su suminiu paviršinių jėgų veikimu.



1 pav. Suvirinimo greičio įtaka išilginės galinės siūlės geometriniais parametrams:  $A$  - siūlės skersplotis;  $S_b$  - siūlės plotis. Suvirimo režimas: srovė 3 A, plazmos dujų išėiga 0,0072 m<sup>3</sup>/h, apsauginių dujų išėiga 0,24 m<sup>3</sup>/h, lanko ilgis 2 mm, metalo storis 0,4 mm

Vonelės plotis (1 pav.) yra nepriklausomas nuo suvirinimo režimo ir gali būti išmatuotas tiksliai. Skerspjūvio plotas lygus išlydyto metalo tūriui padalintam iš suvirinimo greičio  $v_s$ :

$$A = b / \rho \cdot v_s \quad (12)$$

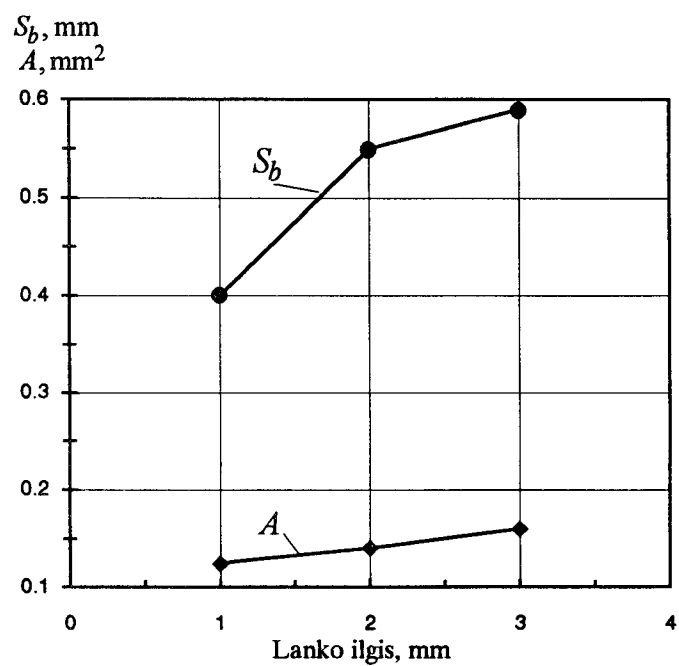
Tuo pat metu siūlės aukštis bus susijęs tik su kontaktinio kampo  $\Theta$  dydžiu ir siūlės vonelės paviršiaus kreiviu  $R_0$ . Taigi žinant išlydomo metalo kiekį, išilginę šiluminę energiją ir suvirinimo greitį galima apskaičiuoti galinės siūlės profilį.

Skysto metalo paviršinis įtempimas yra temperatūros funkcija:

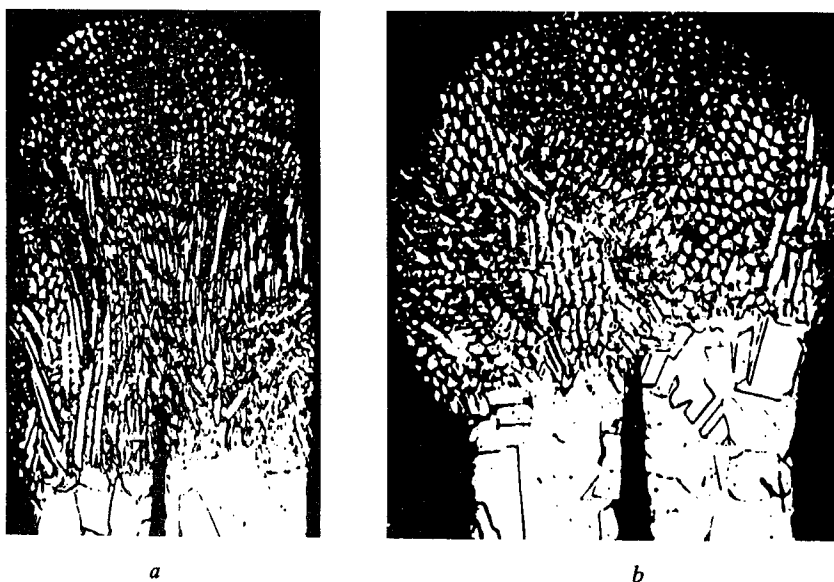
$$\gamma_t = \gamma_m + (d\gamma / dt) \cdot (T - T_m) \quad (13)$$

Čia  $\gamma_t$  - metalo paviršinis įtempimas įkaitinimo temperatūroje,  $\gamma_m$  - metalo paviršinis įtempimas lydymosi temperatūroje,  $T$  - metalo paviršiaus temperatūra,  $T_m$  - metalo lydymosi temperatūra °C.

Paviršinio įtempimo arba paviršinės energijos skirtumas tarp "šaltos" ir "karštos" vonelės paviršiaus srities siekia  $\Delta\gamma = -156m$  N/m. Minuso ženklas reiškia, kad paviršinio įtempimo jėgos tempa metalą iš vonelės viršaus į apačią ir taip metalo vonelėje atsiranda Marangoni tekėjimas, tai yra metalo tekėjimas sukeltas termokapiliarinių jėgų.



2 pav. Lanko ilgio įtaka išilginės galinės siūlės geometriniam parametrams. Suvirinimo greitis 5 m/h, kiti parametrai kaip 1 pav.



3 pav. Lanko ilgio įtaka siūlės geometrijai ir mikrostruktūrai,  $\times 100$ . Suvirinimo greitis 5 m/h, kiti parametrai kaip 1 pav.: *a* - lanko ilgis - 1 mm, *b* - lanko ilgis 2 mm

Galinės siūlės skysto metalo vonelė yra mažo skerspjūvio ploto ir nedidelės masės. Vonelė geometrine forma šiek tiek panaši į metalo lašą susidarantį lydantis elektrodui. Didžiausią panašumą į lašą turi vonelės šonai, o išilgine kryptimi vonelė yra panašesnė į normalią lankinio suvirinimo vonelę. Tiriant metalo tekėjimą laše yra nustatyta [3], kad termokapiliarinės jėgos sukuria į išorę nukreiptą metalo tekėjimą. Skystos fazės tekėjimo kryptis ir charakteris priklauso tik nuo termokapiliarinių jėgų veikimo, bet nepriklauso nuo sunkio jėgos. Atlikti tyrimai rodo, kad ir žemutinėje padėtyje esančioje vonelėje metalo tekėjimą lems ne sunkio jėgų, o termokapiliarinių, elektromagnetinio maišymo ir lanko plazmos aerodinaminio veikimo jėgos.

#### LITERATŪRA

1. Nishiguchi K., Ohij T., Matsui H. Study of bead surface profile. IIW Document 212-391-77.1977.
2. Rosental D. Transactions Amer. Soc. of Metals, 1946, Vol. 68, p. 849.
3. Rykalin N., Uglov A., Kokora A. Laser machining and welding. Pergamon Press, Oxford. 1978.
4. Ishizaki K. Journ. Jpn. Weld. Soc., 1965, 34(2), 146.

#### PLAZMA ARC JOINING OF THIN PLATE CONSTRUCTIONS

A.V.Valiulis

#### S u m m a r y

Heat and fluid flow exist not only in ingots or big size welds but also in small size microplasma arc melted weld pool. Edge weld pool geometry depend from interfacial energy, direction of the fluid flows in the weld pool caused by thermocapillary convection. Thermocapillary convection is the dominant flow mechanism under downhand welding conditions. Comparison are made between calculated size of edge weld and experimental results.