

TERMINIO PURŠKIMO TECHNOLOGINIŲ PARAMETRŲ POVEIKIS DANGŲ SAVYBĖMS

Aleksandr LEBEDEV¹, Olegas ČERNAŠĖJUS², Jelena ŠKAMAT³

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

El. paštas: ¹aleksandras.lebedev@gmail.com; ²olegas.cernasejus@vgtu.lt; ³jelena.skamat@vgtu.lt

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjamas plazminio purškimo būdu ant aliuminio lydinio substrato užpurkštos Ni pagrindo dangos. Substrato paviršius prieš purškimą buvo apdorotas smėliavimo būdu, taip pat ir pakaitinant substratą iki 150 °C temperatūros. Naudojant skirtingus plazminio purškimo proceso parametrus, buvo užpurkštos nikelio-aliuminio dangos. Darbe iširta gautų dangų mikrostruktūra, akytumas ir adhezijos stipris. Įvertintas plazminio purškimo parametrų ir substrato paruošimo poveikis gautų dangų savybėms.

Reikšminiai žodžiai: aliuminio lydinio substratas, Ni pagrindo dangos, plazminis purškimas, adhezija, akytumas.

Įvadas

Šiuo metu pramonėje labai paplitusios dangų technologijos, kurios leidžia apsaugoti darbinius detalių paviršius nuo žalingo aplinkos poveikio bei pagerinti jų eksploatacines savybes. Detalių patikimumas labai priklauso nuo paviršinio sluoksnio savybių – atsparumo dilimui ir korozijai, kieto ir atsparumo cikliniam nuovargiui. Keičiant paviršinio sluoksnio savybes, galima padidinti gaminių patikimumą ir ilgaamžiškumą, o kartu taupyti žaliavas ir energiją. Jeigu detalė apdorojama šiluminiais ar cheminiais metodais, paviršiniame sluoksnyje gali vykti struktūriniai ar faziniai virsmai, keičiasi cheminė paviršinio sluoksnio sudėtis ir paviršiaus morfologija (Vilys *et al.* 2007).

Vienas iš plačiai taikomų dangos formavimo būdų yra plazminis purškimas. Plazminio purškimo technologijos taikomos norint suteikti įvairių mašinų, detalių ir įrenginių metaliniams paviršiams tokias savybes, kaip atsparumą karščiui, atmosferinei korozijai, dilimui ir kt. (Davis 2009).

Aliuminio lydiniai – vieni iš plačiausiai naudojamų spalvotųjų metalų įvairiose pramonės srityse, nes šie lydiniai pasižymi mažu savituoju tankiu, dideliu elektriniu ir geru šiluminiu laidumu. Tačiau dėl mažo kieto ir žemos lydymosi temperatūros aliuminio lydiniių naudojimo apimtis yra ribota esant dilimo sąlygoms ir aukštoms eksploatacijos temperatūroms (Fu *et al.* 1998).

Dengiant aliuminį arba jo lydinius kyla nemažai technologinių problemų. Pagrindinė problema – aliuminio oksido Al₂O₃ plėvelės šalinimas nuo aliuminio

substrato paviršiaus. Ši oksidinė plėvelė sumažina substrato ir dangos adheziją (Bialucki, Kozerski 2006). Norint padidinti dangos sukibimą su substratu, bandiniai turi būti tinkamai paruošti prieš plazminį purškimą. Aliuminio ir jo lydiniių paviršiams apdoroti taikomi cheminiai, mechaniniai, elektriniai (katodiniai) ir kiti valymo būdai (Joshi *et al.* 2011; Cherepy *et al.* 2005; Brossard *et al.* 2010; Elbing *et al.* 2003; Anagreh, Robaidi 2010; Prysiazhnyi *et al.* 2012). Eksploatacinėms dangų savybėms didelį poveikį taip pat turi purškimo proceso parametrai.

Pagrindinis šio tyrimo tikslas – įvertinti substrato paruošimo ir plazminio purškimo parametrų poveikį nikelio pagrindo dangos, suformuotos ant aliuminio lydinio substrato, mikrostruktūrai, akytumui ir adhezijai.

Ekspimentinių tyrimų metodika

Dangos buvo purškiamos plazminio purškimo būdu ant aliuminio-magnio lydinio AW 5754 bandinių, kurių matmenys yra 140×20×4 mm. Plazminio purškimo stendas parodytas 1 pav.

Buvo panaudoti komerciniai 80Ni-5Al „Oerlikon Metco 450NS“ purškimo milteliai, kurių cheminė sudėtis pateikta 1 lentelėje.

Visų Al-Mg bandinių paviršiai prieš plazminį purškimą buvo apdoroti mechaniniu būdu. Apdorojus, naudojant TR-200 profilometrą, buvo išmatuotas bandinių paviršių vidutinis aritmetinis nuokrypis (2 lentelė).



1 pav. Plazminio purškimo stendas: 1 – plazminio purškimo degiklis

Fig. 1. Stand of plasma spray: 1 – torch of plasma spray

1 lentelė. 80Ni-5Al miltelių cheminė sudėtis, masės %

Table 1. Chemical composition (in wt. %) of 80Ni-5Al powder

Ni	Al	Kiti elementai (maks.)
Likutis	4,5 – 5,0	2,5

2 lentelė. Substratų paviršių aritmetinis paviršiaus nuokrypis po mechaninio apdorojimo

Table 2. Average arithmetic deviation of substrate surfaces after mechanical treatment

Mechaninis apdorojimo būdas	Vidutinis aritmetinis nuokrypis, μm
Srautinimas SiO_2 dalelėmis (dalelių dydis 100–500 μm)	7,4

Kaip žymimi bandiniai, priklausomai nuo taikytų plazminio purškimo režimų ir substrato paruošimo, parodyta 3 lentelėje.

Užpurkštų nikelio pagrindo dangų mikrostruktūra buvo analizuojama stebint poliruotų dangų skersinių mikrošlifų paviršius optiniu mikroskopu „Nicon Eclipse MA 200“.

3 lentelė. Plazminio purškimo režimai

Table 3. Modes of plasma spray

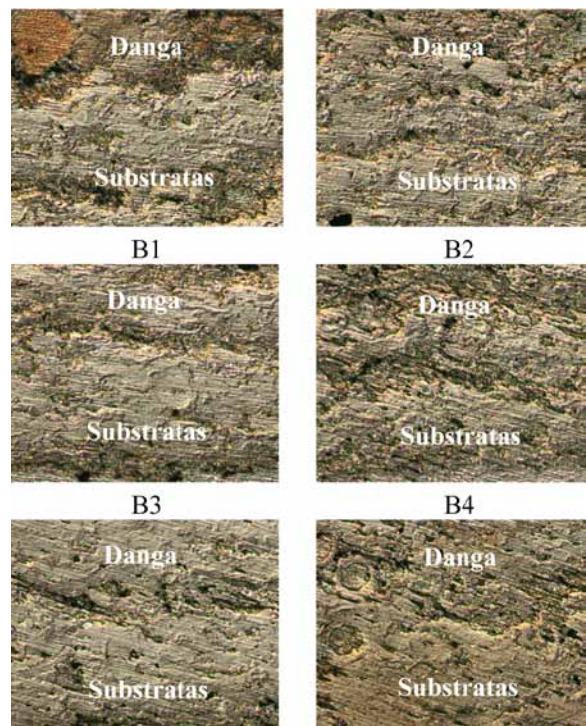
Bandinio žymuo	Srovė, A	Įtampa, V	Purškimo atstumas, mm	Ėjimų skaičius vnt.	Substrato pakaitinimo temperatūra, $^{\circ}\text{C}$
B1	420	48	70	4	–
B2	420	48	70	4	150
B3	420	48	90	4	–
B4	420	48	90	4	150
B5	510	49	70	4	–
B6	510	49	70	4	150
B7	510	49	90	4	–
B8	510	49	90	4	150

Plazminiu būdu užpurkštų dangų akytumas buvo tiriama mikroskopiniu metodu, naudojant programinį paketą „Scion Image“. Juo buvo apdorotos optiniu mikroskopu gautos mikrostruktūros nuotraukos, padidinant 100 kartų. Dangų akytumas buvo įvertintas kaip porų užimamo ploto ir viso analizuojamo mikrošlifo ploto santykis procentais.

Adhezijai įvertinti adhezijos stipris buvo matuotas tempimo bandymu. Šiuo metodu buvo gautos dangos ir substrato adhezijos stiprio skaitinės reikšmės. Bandymai atlikti su „PosiTest Adhesion Tester“ prietaisu, naudojant 10 mm skersmens „Dolly“ bandinius, kurie buvo priklijuoti prie dangų paviršiaus „Araldite 2011“ klijais. Suklijuotos jungtys 14 val. buvo laikomos 40°C temperatūroje ir 24 val. – 20°C temperatūroje.

Eksperimentinių tyrimų rezultatai

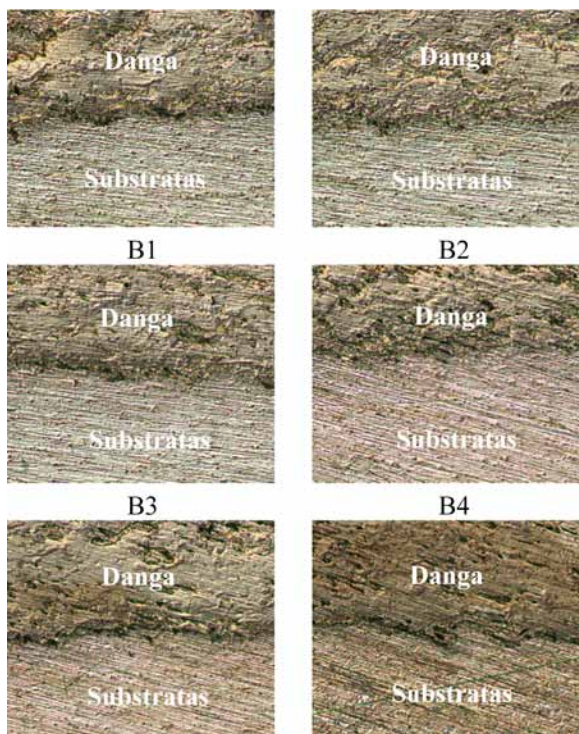
Tiriant plazminiu būdu užpurkštas nikelio pagrindo dangas, nustatyta, kad užpurkšti dangos sluoksniai turi charakteringą sluoksniuotą (plokštelinę) struktūrą su nedideliu akytumu, kuri būdinga daugeliui purkštinių dangų. Vietomis, tarp gerai išiškusių ir tankiai išsidėsčiusių plokštelių, taip pat matyti neišsilydžiusių ir išlaikiusių savo pradinę formą purškimo miltelių dalelių. Kai kurių bandinių tipinės mikrostruktūros pateiktos 2 pav. Daugiausia nevientisumų pastebėta bandiniuose B3 ir B1, kurie buvo purškiami neskaitant substrato, naudojant mažesnę 420A plazmotrono srovę, o atstumas iki substrato buvo 90 mm ir 70 mm atitinkamai.



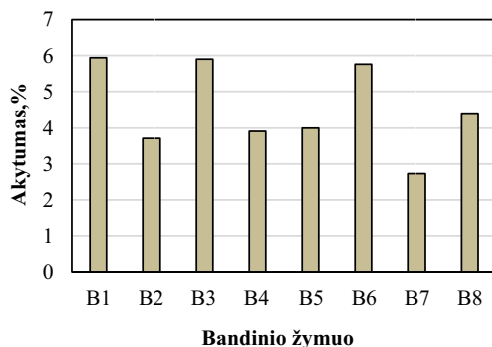
2 pav. Užpurkštų dangų mikrostruktūra ($\times 100$)
Fig. 2. Microstructure of sprayed coatings ($\times 100$)

Tiriant plazminiu būdu užpurkštų dangų sulydymo zonas, nustatyta, kad visuose suformuotuose bandiniuose dangos yra gerai prigludusios prie substrato paviršiaus reljefo nelygumų, o sandūros linijos aiškiai matomos (3 pav.). Tikėtina, kad šiame darbe suformuotoms dangoms labiau būdingas mechaninis negu metalurginis sukibimo su substratu pobūdis. Pagrindiniai užfiksuoti sandūros srities defektai – trumpi tarpeliai ir poros. Šių defektų mažiau aptikta bandiniuose, kurie buvo pakaitinti prieš plazminį purškimą (B2, B4, B6, B8).

Dangų akytumas buvo nustatytas analizuojant polirotų skersinių mikrošlifų vaizdus su „Scion Image“ programiniu paketu ir išreikštas kaip porų užimamo ploto ir viso analizuojamo mikrošlifų ploto santykis procentais.



3 pav. Užpurkštų dangų sulydymo zona (×200)
Fig. 3. Interface zone of sprayed coatings (×200)



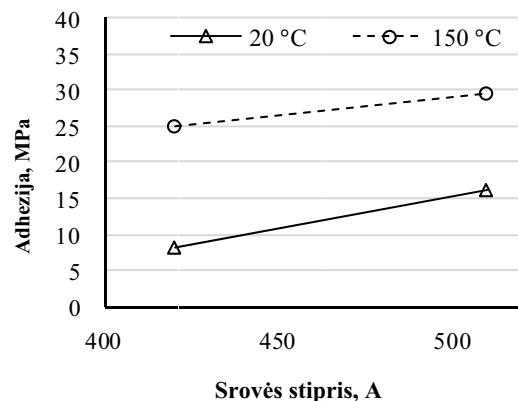
4 pav. Užpurkštų Ni pagrindo dangų akytumas, %
Fig. 4. Porosity of Ni-based sprayed coatings, %

Analizuojant gautus rezultatus (4 pav.) nepavyko nustatyti aiškios priklausomybės tarp dangų akytumo ir nagrinėjamo plazminio purškimo proceso parametru – purškimo atstumo, srovės ir substrato pakaitinimo temperatūros.

Didžiausios akytumo reikšmės, kurios siekė beveik 6 %, buvo aptiktos bandiniuose B1, B3 ir B6, esant skirtingoms plazminio purškimo srovėms, atstumui ir substrato temperatūrai. Mažiausia dangos akytumo reikšmė (2,7 %) nustatyta B7 bandinyje. Taigi šiame darbe taikyti plazminio purškimo proceso parametrai leido suformuoti tankias dangas, kurių akytumas kinta nuo 2,7 iki 6 %.

Dangų adhezijos matavimo rezultatai pateikti 5 pav.

Bandymai buvo atlikti dengiant bandinius pastoviu 90 mm plazminio purškimo atstumu, t. y. su bandiniais B3, B4, B7, B8. Rezultatai pateikti kaip dangų adhezijos reikšmių priklausomybė nuo plazminio purškimo srovės ir substrato pakaitinimo temperatūros. Nustatyta, kad dangos adhezijos reikšmės išsidėsto plačiu intervalu (nuo 8,2 iki 29,6 MPa). Mažiausia dangos adhezijos reikšmė (8,2 MPa) buvo nustatyta bandinyje, dengiant nepakaitintą substratą ir esant mažesnei plazminio purškimo srovei (420 A). Padidinus purškimo srovę iki 510 A, dangos adhezijos stipris padidėjo beveik dvigubai (iki 16,2 MPa). Teigiamą poveikį dangų adhezijai taip pat turėjo substrato pakaitinimas iki 150 °C temperatūros. Tokiu atveju, esant mažesnei 420 A srovei, substrato pakaitinimas leido padidinti dangos adheziją trigubai (nuo 8,2 iki 24,9 MPa), o esant didesnei 510 A srovei – beveik dvigubai (nuo 16,2 iki 29,6 MPa). Taigi gautų tyrimų rezultatai leidžia teigti, kad tiek purškimo srovės didinimas, tiek substrato pakaitinimas iki 150 °C temperatūros turi teigiamą poveikį dangų adhezijos stipriui ir leidžia jį gerokai padidinti.



5 pav. Užpurkštų dangų adhezija
Fig. 5. Adhesion strength of sprayed coatings

Išvados

Keičiant plazminio purškimo srovę ir atstumą ant pakaitintų ir nepakaitintų aliuminio-magnio lydinio bandinių buvo suformuotos nikelio pagrindo dangos. Ištirta dangų mikrostruktūra, akytumas ir adhezija. Gauti rezultatai leidžia suformuluoti tokias pagrindines išvadas:

1. Taikant darbe apibrėžtus plazminio purškimo parametrus, gaunamos tankios 80Ni-5Al dangos ant Al-Mg substratų. Dangų mikrostruktūra turi būdingą plokštelių morfologiją ir pasižymi nedideliu akytumu (2,7–6 %). Didžiausias dangos akytumas, 5,9 ir 5,94 %, buvo nustatytas bandiniuose B1 ir B3, kurie užpurkšti esant mažesnei 420 A plazmos srovei ir papildomai nekaitintus substratų paviršių. Mažiausias dangos akytumas 2,73 % buvo gautas srovę padidinus iki 510 A.
2. Tiek purškimo srovės didinimas, tiek substrato pakaitinimas iki 150 °C temperatūros turi teigiamą poveikį dangų adhezijos stipriui ir leidžia jį gerokai padidinti. Didžiausios dangų adhezijos reikšmės (24,9 ir 29,6 MPa) buvo gautos bandiniuose, kurių paviršiai buvo pakaitinti iki 150 °C temperatūros. Tai leidžia teigti, kad aliuminio lydinų substratų temperatūra purškiant yra svarbus veiksnys užpurkštos dangos kokybės atžvilgiu.

Literatūra

- Anagreh, N.; Robaidi, A. 2010. Improvement in adhesion behavior of aluminum due to surface treatment with arc discharge, *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering* 4(2): 330–339.
- Bialucki, P.; Kozerski, S. 2006. Study of adhesion of different plasma-sprayed coatings to aluminum, *Surface and Coating Technology* 201(5): 2061–2064. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.04.043>
- Brossard, S.; Munroe, P. R.; Tran, A. T. T.; Hyland, M. M. 2010. Study of the splat formation for plasma sprayed NiCr on aluminum substrate as a function of substrate condition, *Surface and Coating Technology* 204(16–17): 2647–2656. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2010.02.013>
- Cherepy, N. J.; Shen, T. H.; Esposito, A. P.; Tillotson, T. M. 2005. Characterization of an effective cleaning procedure for aluminum alloys: surface enhanced Raman spectroscopy and zeta potential analysis, *Journal of Colloid and Interface Science* 282(1): 80–86. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.08.064>
- Davis, J. R. 2009. *Handbook of thermal spray technology*. Materials Park (Ohio): ASM International. 338 p.
- Elbing, F.; Anagreh, N.; Dorn, L.; Uhlmann, E. 2003. Dry ice blasting as pretreatment of aluminum surfaces to improve the adhesive strength of aluminum bonding joints, *International Journal of Adhesion and Adhesives* 23(1): 69–79. [https://doi.org/10.1016/S0143-7496\(02\)00083-0](https://doi.org/10.1016/S0143-7496(02)00083-0)
- Fu, Y.; Batchelor, A. W.; Loh, N. L. 1998. Study on fretting wear behavior of laser treated coatings by X-ray imaging, *Wear* 218(2): 250–260. [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(98\)00158-6](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(98)00158-6)
- Joshi, S.; Fahrenholtz, W. G.; O'Keefe, M. J. 2011. Effect of alkaline cleaning and activation on aluminum alloy 7075-T6, *Applied Surface Science* 257(6): 1859–1863. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2010.08.126>
- Prysiashnyi, V.; Svoboda, T.; Dvořák, M.; Klíma, M. 2012. Aluminum surface treatment by the RF plasma pencil, *Surface and Coating Technology* 206(19–20): 4140–4145. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2012.04.010>
- Vilys, J.; Tamulevičius, S.; Grigaliūnas, V.; Meškiniš, Š.; Guobienė, A. 2007. *Paviršiaus inžinerija ir nanotechnologijos*: mokomoji knyga. Kaunas: Vitae litera. 220 p.

THE INFLUENCE OF THERMAL SPRAY PROCESS TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON THE PROPERTIES OF COATINGS

A. Lebedev, O. Černašėjus, J. Škamat

Abstract

The article deals with the plasma sprayed Ni-based coating on aluminum alloy substrates. Before spraying, the surfaces of substrates were modified employing sandblasting and its combination with preheating. The coatings were sprayed under variation of spray process parameters. The study involves coating microstructure, porosity and adhesion tests. The influence of spray parameters and substrate pre-treatment on the properties of coating were evaluated.

Keywords: aluminum alloy substrate, Ni-based coating, plasma spray, adhesion strength, porosity.