

ELEKTROLANKINIO PURŠKIMO BŪDU UŽPURKŠTŲ DANGŲ
TECHNOLOGINIŲ SAVYBIŲ TYRIMAIJustinas Gargasas¹, Algirdas Vaclovas Valiulis², Irmantas Gedzevičius³, Šarūnas Mikaliūnas⁴*Vilniaus Gedimino technikos universitetas**El. paštas: ¹justinas.gargasas@vgtu.lt; ²algirdas.valiulis@vgtu.lt; ³irmantas@vgtu.lt; ⁴sarunas.mikaliunas@vgtu.lt*

Santrauka. Straipsnyje pateikiami elektrolankinio purškimo būdu užpurkštų dviejų skirtingos cheminės sudėties eksperimentinių *Stein-mesyfil* vielų sausosios trinties tyrimų rezultatai. Terminio purškimo būdu gautų dangų savybės priklauso ne tik nuo cheminės sudėties, bet ir nuo technologinių purškimo parametrų. Kiekviena danga užpurkšta trimis skirtingais režimais. Nustatytas dangų mikrokietumas, porėtumas, oksidų kiekis ir nagrinėta dangų morfologija. Sausosios trinties dilimo rezultatai vertinti nustatant prarastąją bandinių masę.

Reikšminiai žodžiai: elektrolankinis purškimas, sausosios trinties testas, dangų morfologija, mikrokietumas, dangos savybės.

Įvadas

Pramonėje taikomų terminio purškimo procesų ir medžiagų įvairovė leidžia gauti dangas, geriausiai tinkančias konkrečioms gaminių eksploatacijos sąlygoms. Kiekviena purškiamų medžiagų grupė turi konkrečią taikymo sritį, todėl dangos turi pasižymėti tam tikromis struktūra ir savybėmis, kad maksimaliai atitiktų eksploatacinius reikalavimus. Išskiriamos šios pagrindinės dangų grupės:

- **aukštai temperatūrai atsparios ir šilumos izoliacinės dangos** – siekiant padidinti jų atsparumą karščiui, reikia dengti tankia, gerą šiluminį laidumą turinčia danga. Taip pašalinamas dangos paviršių veikiantis šilumos perteklius. Norint gauti geras šilumos izoliacines savybes, danga turi pasižymėti dideliu porėtumu ir mažu šilumos laidumu. Kai darbo sąlygoms būdingi dažni terminiai smūgiai, taip pat reikia naudoti porėtasias dangas. Esant dujinio ir erozinio dėvėjimosi sąlygoms, kad padidėtų atsparumas trinčiai, patartina didinti dangos tankį. Dangų atsparumą aukštai temperatūrai ir šilumos izoliacines savybes lemia šiluminis dangos laidumas, porų kiekis, oksidų pasiskirstymas dangos tūryje, jų matmenys ir formos;
- **gerų dielektrinių savybių dangos**, šios savybės priklauso nuo porėtumo ir oksidų kiekio dangose. Elektrinis laidis didės didinant dangos tankį ir mažinant oksidų kiekį, o norint gauti dangas, pasižyminčias geromis dielektrinėmis savybėmis, reikia didinti dangose porų ir oksidų kiekį;

- **atsparios korozijai dangos** turi pasižymėti dideliu tankiu ir kuo mažesniu porėtumu, neturėti vertikalių plyšių, pro kuriuos iki dangos gali prasiskverbti agresyvioji aplinka;
- **atsparios dilimui ir frikcinių savybių dangos**, eksploatuojamos sausosios trinties sąlygomis ir esant tepimui, turės skirtingas struktūras. Dangose, eksploatuojamose su tepimu, pageidautinas kuo didesnis porų kiekis, o esant sausajai trinčiai reikia stengtis kuo daugiau padidinti dangos kietumą (Bach *et al.* 2006; Froning *et al.* 2008; Davis 2004).

Būtent sausosios trinties dangų bandymai, siekiant nustatyti parametrų įtaką dilimui, pristatomi toliau pateiktuose tyrimuose.

Tyrimų metodika

Elektrolankinis purškimas atliktas naudojant dvi skirtingos cheminės sudėties eksperimentines Vokietijos vielų gamintojo *Drahtzug stein* vielas *Stein-mesyfil* 953 V ir *Stein-mesyfil* 932 V. Cheminė vielų sudėtis pateikta 1 lentelėje. Purškimo vielų skersmuo – 1,6 mm. Kaip pagrindas, ant kurio buvo užpurkšti bandiniai, parinktas plienas S235JR. Purškimai atlikti su įranga *Castolin Eutectic EuTronic Arc*. Elektros lanko išlydytoms dalelėms pernešti naudotas suslėgtasis oras. Slėgis – 5 bar, purškimo atstumas – 170–190 mm. 2 mm storio 150×26 mm bandinių plokštelės pritvirtintos prie 160 mm skersmens besisukančio veleno. Terminis purš-

kimas atliktas vadovaujantis *LST EN ISO 14922-1:2001 Terminis užpurškimas. Terminiškai užpurkštų gaminių kokybės reikalavimai. 1 dalis. Parinkimo ir naudojimo vadovas (ISO 14922-1:1999)* standartu. Purškimo parametrai pateikti 2 lentelėje. Kaip matyti iš 2 lentelės, abi vielos purkštos trimis režimais. Pasirinkta keisti elektros lanko srovę – 320, 350 ir 380 A.

1 lentelė. Cheminė vielų sudėtis

Table 1. Chemical composition of wires

Viela	Cheminė sudėtis (likusi dalis Fe), %					
	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni
953 V	0,5	1,5	0,6	6,0	0,5	–
932 V	0,5	1,1	0,3	0,3	4,8	1,5

2 lentelė. Bandymų parametrai

Table 2. Testing parameters

Danga	Režimas	Srovė, A (-3 +7 A)	Įtampa, V (±1V)
953 V	1	320	31
	2	350	34
	3	380	32
932 V	1	320	31
	2	350	36
	3	380	38

Sausosios trinties testas

Imituoti realias trinties sąlygas laboratorijoje – gana sudėtingas uždavinys. Šiam tikslui pasiekti buvo naudojama sausosios trinties mašina, reglamentuota ASTM G 65 standartu (ASTM G65-04. 2010). Šio tyrimo esmė – besisukantis guminis diskas su pastoviaja 130 N apkrova liečiamas į substratą su danga, pastoviai tiekiamas sausas kvarcinis smėlis, ir taip imituojama sausoji trintis (1 pav.).

Trinčiai naudojamo smėlio grūdelių dydis – 300 μm, kaitinamas 1 val. 100 °C temperatūroje. Bandymo metu sausas kvarcinis smėlis tiekiamas pastoviuoju greičiu. Tiekiamo abrazyvo kiekis varijuoja nuo 300 iki 400 g/min. Bandiniai cikluojami trimis etapais. Vieno ciklo metu trinties kelias siekia 718 m, po trijų ciklavimo etapų šis kelias prilygsta 4309 m. Bandiniai sveriami prieš bandymą ir po bandymo laboratorinėmis svarstyklėmis. Po bandymo bandiniai švariai nuvalomi suslėgto oro srautu ir ultragarso vonelėje, siekiant pašalinti iš dangos kvarcinio smėlio likučius. Vėliau bandiniai sveriami ir lyginama dangos svorio netektis F_{per} tam tikro laiko ir trinties kelio santykį.



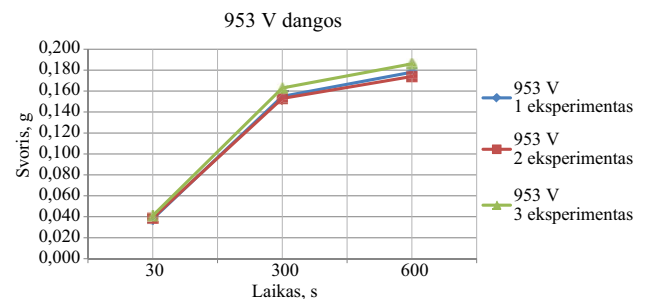
1 pav. Sausosios trinties bandymas pagal ASTM G65

Fig. 1. Dry friction test according ASTM G65

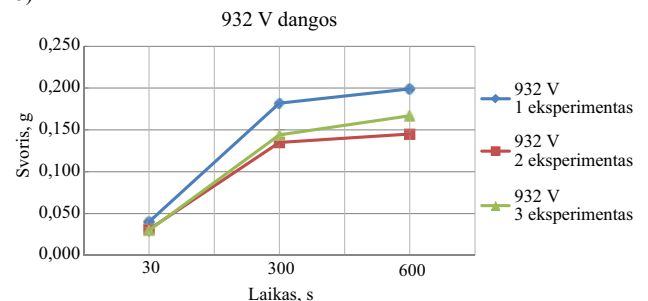
Taip gaunamas dangos svorio netekties koeficientas.

2 pav. pateikti testuotųjų dangų svorio netekties koeficientai. Iš grafikų matyti, kad geriausiomis antifrikcinėmis savybėmis pasižymi *Stein-Mesyfil* 932 V dangos. Svorio netektis čia varijuoja nuo 0,174 iki 0,186 g/600 s ciklą. *Stein-Mesyfil* 953 V dangų svorio netektis yra didesnė: nuo 0,188 iki 0,205 g/600 s ciklą. Mažiausia svorio netektis abiejų dangų atveju gaunama apipurškiant substratus antroju režimu, naudojant 350 A srovę ir 34–36 V įtampą.

a)



b)



2 pav. Svorio netektis po sausosios trinties testo:

a) 953 V dangos; b) 932 V dangos

Fig. 2. Mass loss after dry friction test:

a) 953 V coatings; b) 932 V coatings

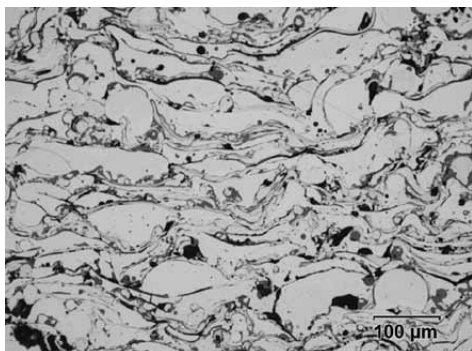
Užpurkštų dangų struktūrų tyrimai

Užpurkštos dangos mikrošlifas suteikia daug papildomos informacijos, leidžiančios įvertinti struktūrą ir užpurkštos dangos kokybę. Vaizdas tirtas optiniu mikroskopu. Išdidinus vaizdą mikroskope analizuojama dangos struktūra. 3 pav. pateiktose struktūrose matyti poros oksidai ir neištyškiosios, į lašelius susikristalizavusios dalelės, kurios darant mikrošlifą buvo išplėtos iš paviršiaus ir liko duobutės. Kaip matyti iš pateiktų nuotraukų (3–8 pav.), vizualiai apžvelgiant vaizdus sunku pasakyti, kiek pro-

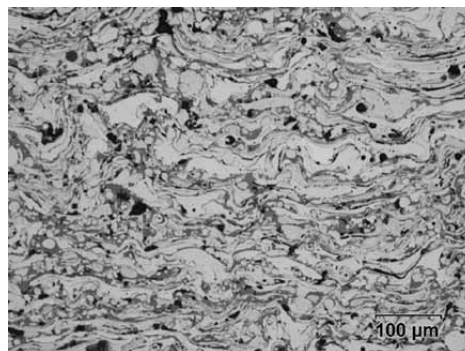
centiškai skiriasi dangų struktūros sudedamosios dalys, todėl mikrostruktūrų vaizdai apdoroti programine įranga *Scion Image* (9–10 pav.).

Gautas sudedamųjų dangos dalių procentinis pasiskirstymas leidžia spręsti apie technologinių partametrų įtaką dangų savybėms.

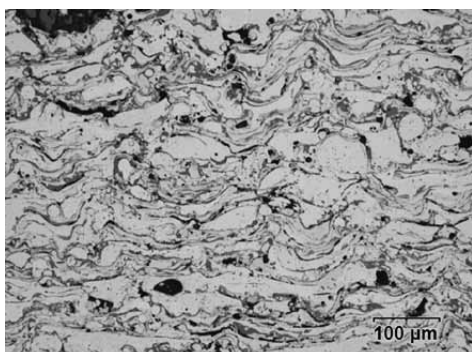
Nustatytas dangų porėtumas ir oksidų kiekis pateiktas 3 lentelėje. Taip pat ištirtas dangų mikrokietumas. Matavimai atlikti naudojant Vikerso indentorių ir 100 g apkrovą (3 lentelė).



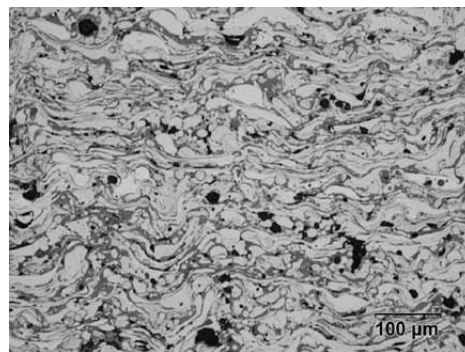
3 pav. 932 V dangos morfologija (1 režimas)
Fig. 3. Coatings 932 V morphology (mode 1)



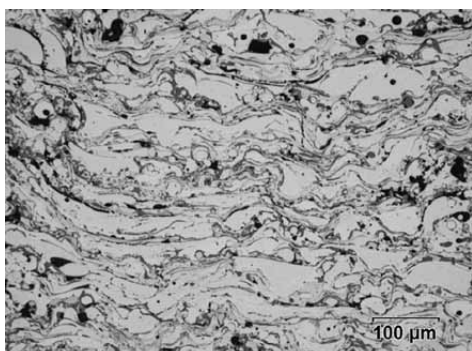
6 pav. 953 V dangos morfologija (1 režimas)
Fig. 6. Coatings 953 V morphology (mode 1)



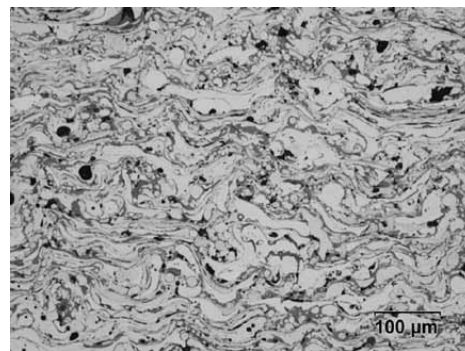
4 pav. 932 V dangos morfologija (2 režimas)
Fig. 4. Coatings 932 V morphology (mode 2)



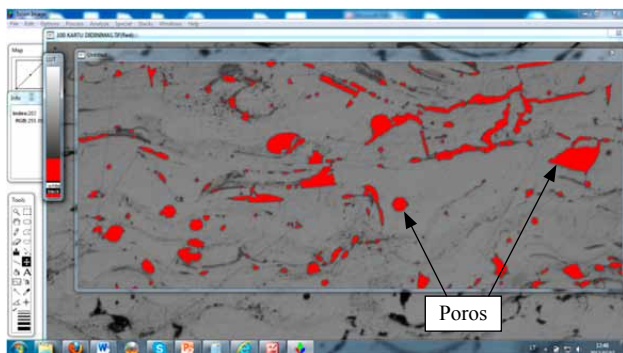
7 pav. 953 V dangos morfologija (2 režimas)
Fig. 7. Coatings 953 V morphology (mode 2)



5 pav. 932 V dangos morfologija (3 režimas)
Fig. 5. Coatings 932 V morphology (mode 3)

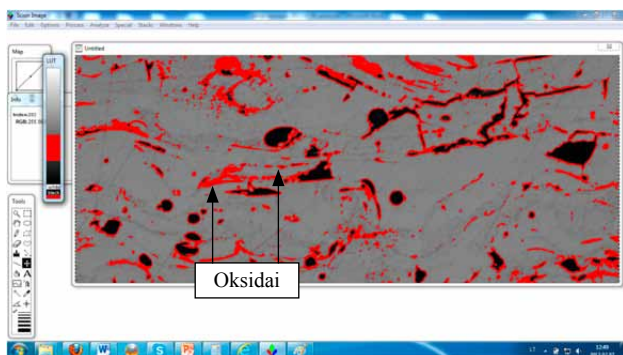


8 pav. 953 V dangos morfologija (3 režimas)
Fig. 8. Coatings 953 V morphology (mode 3)



9 pav. 932 V dangos porėtumas

Fig. 9. 932 V coating porosity



10 pav. 932 V dangos oksidai

Fig. 10. 932 V coating oxides

3 lentelė. Dangų porėtumas, oksidai, mikrokietumas

Table 3. The porosity, oxides and microhardness of coatings

Danga	Porėtumas, %	Oksidai, %	Mikrokietumas, HV
953 V	3,1	15,2	582
	1,5	7,9	643
	3,1	11,9	666
932 V	3,5	10,9	724
	1,9	5,6	805
	2,3	7,0	835

Nors mažiausi išdilimo rezultatai abiem dangoms gauti naudojant antrąjį režimą, didžiausias mikrokietumas gaunamas esant trečiajam režimui. Akivaizdu, kad purškimui naudojamos elektros lanko srovės didinimas didina dangų mikrokietumą. Mažiausias dangų porėtumas ir oksidų kiekis gautas esant antrajam režimui. Šie duomenys sutampa su sausosios trinties bandymų rezultatais. Galima daryti prielaidą, kad bandymo trinties metu į dangoje esančias tuštumas (poras) įsiskverbia smėlio dalelės ir dangos ardymo procesas vyksta intensyviau. Taigi dangų atsparumą sausajai abrazyvinei trinčiai nule-

mia dangų porėtumas. Dangų mikrokietumą galima būtų priskirti prie antrojo pagal svarbumą veiksnio, lemiančio atsparumą dilimui. Dangos mikrokietumas labai priklauso ir nuo purškiamos medžiagos cheminės sudėties bei susidarantių junginių. Kadangi nemaža dalis elementų išdega, vielos pasirinkimo kriterijai turėtų būti panašūs kaip ir suvirinant. Kaip matyti iš 3 lentelės, oksidų kiekis dangose skiriasi net iki dviejų kartų. Tiesioginės priklausomybės tarp sausosios trinties rezultatų ir oksidų kiekio neaptikta.

Išvados

1. Sausosios trinties dilimo rezultatai konkrečiai dangai daugiausia priklauso nuo dangų porėtumo. Dangoje esančios poros didina masės praradimą sausosios abrazyvinės trinties sąlygomis.
2. Dangų mikrokietumas priklauso nuo purškimo medžiagos cheminės sudėties. Purškimo elektros lanko srovės didinimas didina dangų mikrokietumą.
3. Geriausi trinties rezultatai gauti naudojant antrąjį purškimo režimą. Dangos svorio netektis varijuoja nuo 0,174 iki 0,186 g/600 s ciklą *Stein-Mesyfil* 932 V dangose, o *Stein-Mesyfil* 953 V dangų svorio netektis yra nuo 0,188 iki 0,205 g/600 s ciklą.
4. Rezultatai rodo, kad nuo dangų porėtumo ir oksidų kiekio priklauso sausosios trinties svorio netektis. Daugiausia masės netenkama tada, kai yra didžiausias porėtumas (danga 953 V pirmuoju ir antruoju režimu ir 932 V pirmuoju režimu).

Literatūra

- ASM Thermal spray society*: Handbook of thermal spray technology. 2004.
- ASTM G65-04. 2010. *Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus*.
- Bach, F. W.; Laarmann, A.; Wenz, T. 2006. *Modern surface technology*. Weinheim. <http://dx.doi.org/10.1002/3527608818>
- Davis, J. R. 2004. *Handbook of thermal spray technology*. ASM International.
- Froning, M.; Ruggiero, P. F.; Bajan, R. 2008. Thermal spray techniques for deep bore applications, *Welding Journal* 87(8): 34–35.
- Lugbauer Purgstall, M.; Badisch, A. E.; Wiener Neustadt, A.; Kröll, A.; Purgstall, A. 2006. Wear Behaviour and Performance of a Cost-Effective Iron-Based, Carbide-Reinforced, Sintered Coating Thermal Spray: Science, Innovation, and Application, *ASM International*, 1345–1350.
- Schorr, B. S., et al. 1999. *Mater. Charact.*, 42.

**THE RESEARCH OF TECHNOLOGICAL PROPERTIES
OF COATINGS SPRAYED WITH ELECTRIC
ARC SPRAY**

J. Gargasas, A. V. Valiulis, I. Gedzevičius, Š. Mikaliūnas

Abstract

The paper presents dry friction test results of two experimental STEIN-MESYFIL wires with different chemical composition. Thermal spray coatings properties depend on the chemical composition and the technological parameters of the spraying. Each coating was sprayed in the three different modes. The microhardness, porosity, oxides were analyzed in the coatings morphology. Dry friction wear was assessed in the mass loss of the coatings.

Keywords: Arc spray, dry friction test, coatings morphology, microhardness, coatings properties.