

TERMIŠKAI PURKŠTŲ DANGŲ TYRIMAS ULTRAGARSINIAIS METODAIS

Justinas Gargasas¹, Irmantas Gedzevičius², Saulius Nagurnas³

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹justinas.gargasas@vgtu.lt; ²irmantas@vgtu.lt; ³saulius.nagurnas@vgtu.lt

Santrauka. Straipsnyje pateikiami elektrolankiniu terminio purškimo būdu užpurkštų dangų tyrimai taikant ultragarsinius tyrimų metodus. Purkšta skenuojant besisukančius bandinius 30 cm/s greičiu. Atlikti dangos mikrostruktūros, ultragarsiniai storio, porėtumo, mikrokietumo ir dangos tamprumo modulio tyrimai.

Reikšminiai žodžiai: terminis purškimas, ultragarsiniai tyrimų metodai, mikrostruktūros, dangos mikrokietumas.

Įvadas

Terminio purškimo technologijos taikomos įvairiose pramonės šakose, kadangi palyginti pigiai galima modifikuoti paviršių ir pakeisti jo savybes norima kryptimi užpurškiant ant beveik bet kokio kieto paviršiaus reikiamą dangą (metalus, keramiką, polimerines medžiagas). Terminio purškimo dangos leidžia apsaugoti gaminio paviršių nuo kontakto su agresyviąja terpe, todėl terminio purškimo technologijos plačiai taikomos įvairiose srityse:

- medicinoje ir maisto pramonėje apsauginėmis dangomis apipurškiami ar aplydomi implantai, įvairios konstrukcijos, turinčios sąlytį su maisto produktais;
- chemijos pramonėje konstrukcijų paviršiai dengiami įvairiomis dangomis siekiant užtikrinti patikimą apsaugą su chemiškai agresyviomis dujomis ar skysčiais;
- mechanikoje medžiagų paviršiaus savybėms ir matmenims keisti ar juos atkurti;
- aviacijos pramonėje;
- elektronikoje ir elektrotechnikoje, siekiant gauti sluoksnį, pasižymintį specialiomis elektrinėmis savybėmis.

Užpurškus dangą susiduriama su problema, kaip pamatuoti jos storį ir patikrinti kokybę negadinant gaminio. Vienas iš sprendimo variantų – ultragarsinių tyrimo metodų taikymas – ir pateikiamas šiame straipsnyje.

Darbo tikslas

Šio darbo tikslas – purškiant elektros lanku padengti substratą dangą, ištirti dangų savybes ultragarsiniais metodais, išmatuoti jų storį, ištirti technologinių purškimo parametrų įtaką dangų savybėms.

Tyrimo metodai ir įranga

Dangos užpurkštos „Eutronic“ purškimo įranga („Castolin Eutectic Arc Spray“). Ultragarsiniai užpurkštų dangų tyrimai atlikti remiantis standartais LST EN ISO 1712; LST EN ISO 1714; LST EN ISO 583-1 ir naudojant ultragarsinį defektoskopą „KRAUTKRAMER USM 32XB“ bei dangų storio matuoklį „TT260“. Mikrostruktūros tirtos naudojant optinį mikroskopą „Nicon Eclipse MA200“ ir skaitmeninę kamerą „Nicon INFINITY 2“. Pasitelkus programinę paketą „Scion Image“ ištirtas dangų porėtumas ir oksidacijos laipsnis. Dangų mikrokietumas ir tamprumo modulis nustatytas Vikerso ir Knupo matavimo metodais.

Visi tyrimai atlikti Vilniaus Gedimino technikos universitete Medžiagotyros ir suvirinimo mokomojoje laboratorijoje atsižvelgiant į Europos Sąjungos šalyse priimtus technikos reikalavimus ir metodikas.

Eksperimento planavimas ir tyrimų metodikos parinkimas

Terminis purškimas atliktas vadovaujantis „LST EN ISO 14922-1:2001 Terminis užpurškimas. Termiškai užpurkštų gaminių kokybės reikalavimai. 1 dalis. Parinkimo ir naudojimo vadovas (ISO 14922-1:1999)“ standartu.

Kiekviena bandymų serija turėjo po 4 bandinukus. Dviejų iš jų paviršius buvo nustumtas, o kitų dviejų – pašiurkštintas mechaniškai. Bandiniai buvo pritvirtinti prie 15 cm skersmens cilindro, įstatyto į besisukančią tekėlą. Purškiant bandiniai aplink horizontalią ašį sukosi pastoviuoju 15 aps./s greičiu (1 pav.). Purkšta skenuojant besisukančius bandinius 30 cm/s greičiu. Purškimo atstumas – 20 cm.



1 pav. Terminis purškimas

Fig. 1. Thermal spraying

Parinkti 5 skirtingi purškimo režimai. Kiekvieno iš jų charakteristikos skiriasi. Bandymų režimai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Bandymų režimai

Table 1. Parameters of testing

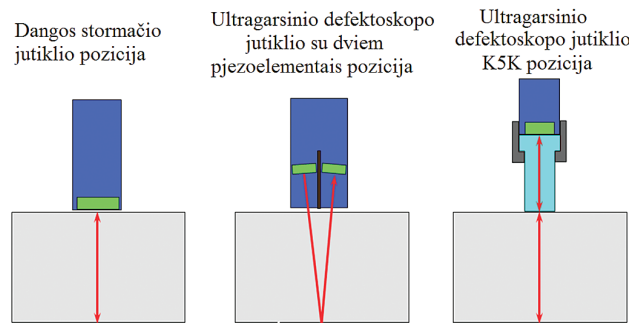
Bandymo Nr.	Vielių tiekimo greitis, m/min.	Srovė, A	Įtampa, V	Bandinio temperatūra, °C	Oro slėgis, bar.
1	4	260	30	130	5
2	6	330	32	140	5
3	6,5	350	30	140	5
4	5	300	26	140	5
5	3,5	250	28	140	5

Dangų storis matuotas skirtingais ultragarsiniais jutikliais. Dangos storio matuoklis „TT260“ naudotas kartu su specifiniu jutikliu, skirtu purkštų dangų storiui matuoti. Matuojant dangos storį ultragarsiniu defektoskopu, naudoti du jutikliai. Jie skyrėsi pagal vidinę konstrukciją. Jutiklis „MSEB 4“ sudarytas iš dviejų pjezoelementų: vienas iš jų eksperimento metu ultragarso bangas siuntė, o kitas priiminėjo nuo tiriamo paviršiaus atsispindėjusią ultragarsinę bangą. Taip pat kartu su defektoskopu „USM 32XB“ naudotas specialios paskirties jutiklis, skirtas termiškai purkštų dangų storiui matuoti. Jutiklių pozicijos pavaizduotos 2 pav.

Struktūrinė dangų analizė atlikta optiniu metalografiniu mikroskopu „Nikon Eclipse MA200“ ir skaitmenine kamera „Nikon INFINITY 2“.

Porėtumas ir procentinis oksidų kiekis matuotas „Scion Image®“ programiniu paketu, o gauti rezultatai apdoroti programiniu paketu „Microsoft Office Exel 2007“.

Matuojant dangų mikrokietumą aplink indentorių susidaro tamprųjų ir plastinių deformacijų zonos. Matuojant indentoriaus padarytą deformaciją, nustatomas kietumas, o remiantis kietumo matavimu, apskaičiuojamas tamprumo modulis. Knupo indentoriaus įspaudo rombo įstrižainės yra



2 pav. Ultragarsinių jutiklių matavimo pozicijos

Fig. 2. Measurement positions of ultrasonic sensors

skirtingos. Jų proporcijas nulemia indentoriaus geometrija. Įstrižainių ilgių santykis $b' / a' = 0,14$. Panaikinus apkrovą, tampriosios deformacijos sumažina įstrižainių įspaudų ilgį, bet didžiosios įstrižainės ilgio pokytis yra nedidelis, todėl laikoma, kad $a \cong a'$.

Kietumas pagal Knupo metodą nustatomas taikant formulę:

$$Hk = 14229 \frac{P}{a^2}, \quad (1)$$

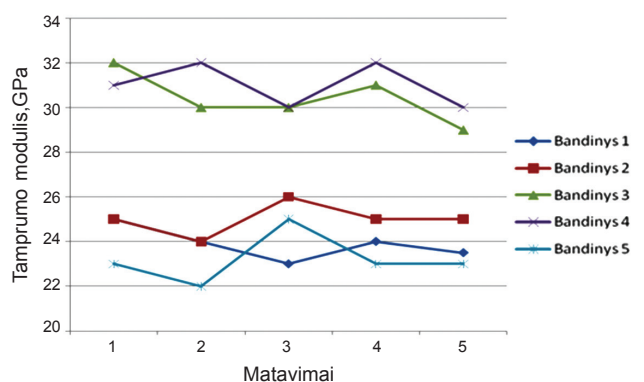
čia Hk – mikrokietumas, kg/mm^2 ; P – svoris, kuriuo spaudžiamas indentorius, g ; a – didžioji įspaudo rombo įstrižainė, μm .

Tamprumo modulis E apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\frac{b}{a} \cong \frac{b'}{a'} = \frac{b'}{a'} - \frac{\alpha Hk}{E}, \quad (2)$$

čia a – didžioji įspaudo rombo įstrižainė, μm ; b – mažoji įspaudo rombo įstrižainė, μm ; a' ; b' – didžiosios ir mažosios indentoriaus įstrižainių ilgiai, μm ; α – konstanta; $\alpha = 0,45$; E – tamprumo modulis, kg/mm^2 .

Iš tamprumo modulio matavimo rezultatų matyti (3 pav.), kad priklausomai nuo purškimo parametrų gautos dangos tamprumo modulis gali gerokai skirtis. Rezultatai varijuoja nuo 22 iki 32 Gpa.



3 pav. Dangų tamprumo modulis

Fig. 3. An elastic modulus of coatings

Struktūrinės dangų analizės tyrimas

Pagrindinis metalografinių tyrimų tikslas – ištirti dangos struktūrą, pamatuoti dangos storį ir gautus rezultatus palyginti su dangos storio rezultatais, gautais ultragarsiniais metodais.

Dangos storiai įvairiais režimais varijuoja nuo 0,18 iki 0,55 mm (2 lentelė). Substratai padalyti į dvi grupes, vieni prieš purškiant nuvalyti smėliarove, kiti mechanškai – abrazyviniu disku. Penktu režimu užpurkštos dangos ištirti ultragarsiniais metodais nepavyko dėl pernelyg didelio dangos porėtumo.

2 lentelė. Palyginamieji dangų storio matavimo rezultatai

Table 2. Comparable results of coating thickness

Bandinys	1	2	3	4	5
Ultragarsinis defektoskopas USM 32 (smėliuota)	0,18	0,35	0,5	0,34	0
Ultragarsinis defektoskopas USM 32 (mechaninis valymas)	0,17	0,34	0,47	0,36	0
Dangos stormatis TT 260 (smėliuota)	0,19	0,34	0,55	0,34	0
Dangos stormatis TT 260 (mechaninis valymas)	0,17	0,32	0,5	0,34	0
Optiniai matavimai naudojant „Scion Image“	0,18	0,34	0,5	0,34	0,19

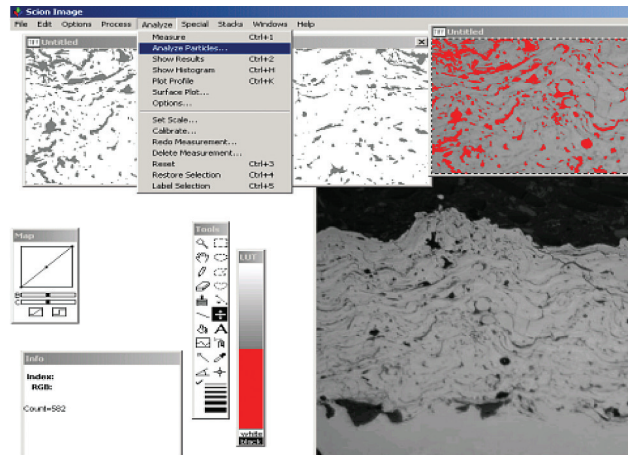
Porėtumo nustatymas

Porų dangose dažniausiai atsiranda, kai lašeliams kristalizuojantis mažėja dujų tirpumas. Purškiant elektros lankas išlydo vielą, o suspaustas oras nuneša skystos medžiagos lašelius formuojamos dangos link. Judančiuose fakelo trajektorija lašeliuose ištirpsta deguonis, azotas ir kitos dujos. Formuojantis dangai ir lašeliams kristalizuojantis išsiskiria ištirpusios dujos. Dujos, negalinčios prasiskverbti į paviršių, lieka dangoje ir suformuoja mažas sferos pavidalo poras. Tokių mikroporų dangoje gali būti ties žvynelių ribomis arba pačiuose žvyneliuose.

Porėtumas nustatytas analizuojant mikrošlifų vaizdus grafine programa „Scion Image®“ (4 pav.).

Metodo esmė – porų ploto ir analizuojamo mikrošlifto ploto santykio nustatymas. „Scion Image®“ programa analizuojamas grafinis vaizdas ir apskaičiuojami atskirų grafinių objektų plotai.

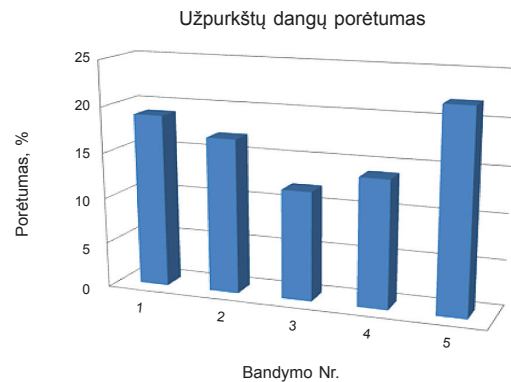
Tamsiausios zonos pilkas atspalvis rodo tuštumas – poras ir (darant mikrošlifą ir poliruojant) paviršių, išplėštas nesubliūškusias daleles. Pilkoji dalis – oksidai. Šviesiausioji dalis – metalas. Kiekvienos bandymų serijos rezultatai apdoroti programiniu paketu „Microsoft Office Exel 2007“.



4 pav. Darbas su grafine programa „Scion Image®“

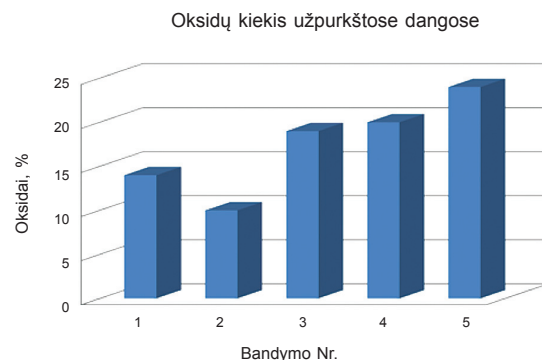
Fig. 4. The analysis of coating structure applying program “Scion Image®”

Nustačius dangų porėtumą, paaiškėjo, kad, esant 22 % ar didesniai dangos porėtumui, jų tirti ultragarsiniais metodais negalima. Pagrindinė priežastis, dėl kurios neįmanoma atlikti ultragarsinių tyrimų, – didelis porų, tuštumų samplaičių skaičius. Tai lemia prastą ultragarso bangos sklaidimą. Dangų porėtumo ir oksidų kiekio rezultatai pateikti 5–6 pav.



5 pav. Dangų porėtumas

Fig. 5. Porosity of coatings



6 pav. Oksidų kiekis dangose

Fig. 6. Oxides of coatings

Išvados

1. Elektros lanku užpurkštas dangas galima tirti ultragar-siniais tyrimų metodais. Tam būtina naudoti specifinę tyrimo metodiką ir specialius jutiklius, kurie veikia esant 20–25 MHz dažniams. Naudojami specialūs juti-kliai, skirti termiškai purkštoms dangoms tirti. Tačiau šis tyrimų metodas turi trūkumų. Nustatyta, kad tirti galima dangas, kurių porėtumas neviršija 20 %.
2. Tirtųjų dangų storis varijuoja nuo 0,17 iki 0,55 mm. Storis priklauso nuo pasirinktų purškimo režimų.
3. Ištyrus dangų storį metalografiniu mikroskopu nusta-tyta, kad duomenų tikslumas skiriasi. Tiksliesni storio matavimo duomenys gauti tiriant ultragarsiniu defek-toskopu „KRAUTKRAMER USM 32“. Matavimų paklaida buvo 5 %, o stormačio – „TT260“ 7–8 %.
4. Dangų porėtumas priklauso nuo lašelių dydžio, lašelių oksidacijos laipsnio ir bloškiamų į formuojamą paviršių lašelių kinetinės energijos dydžio. Pastebėta, kad 3 ir 4 bandiniai, užpurkšti naudojant didžiausią elektros srovę, pasižymi mažiausiu dangos porėtumu. Todėl ga-lima daryti prielaidą, kad didinant elektros lanko srovę mažėja purškiami lašeliai, o jų greitis fakele didėja.
5. Purškimo režimai turi didelę reikšmę gaunamų dangų tamprumo moduliui. Tirtųjų dangų tamprumo modulis varijuoja nuo 23 iki 31 GPa.
6. Pastebėta, kad dangoms, turinčioms mažiausią oksidų kiekį, būdingas didžiausias tamprumo modulis (3 ir 4 bandiniai).

Literatūra

- Bach, F. W.; Laarmann, A.; Wenz, T. 2006. *Modern Surface Technology*. Weinheim.
- Froning, M.; Ruggiero, P. F.; Bajan, R. 2008. Thermal spray techniques for deep bore applications, *Welding Journal* 87(8): 34–5.
- Kelkar, M.; Hussary, N.; Schein, J.; Heberlein, J. 1998. *Optical Diagnostics and Modeling of Gas and Droplet Flow in Wire Arc Spraying*. ITSC –1998, France, 329–334.
- Trapaga, G.; Szekely, J. 1991. Mathematical modeling in the isot-hermal impingement of liquid droplets in thermal spraying, *Metallurgical Transactions* 22B: 901–914.
- Zeng, C.; Ding, S.; Lee, W. 2002. Young’s modulus and residual stress of plasma-sprayed boron carbide coatings, *J. European Ceramic Society* 21: 87–91.

RESEARCH INTO THERMAL SPRAYED COATINGS WITH ULTRASONIC METHODS

J. Gargasas, I. Gedzevičius, S. Nagurnas

Abstract

Research on thermal sprayed coatings with ultrasonic methods is the main object of this thesis. Metal surface coating was applied to modify its mechanical and physical-chemical properties and resistance to external impact and improve aesthetics. Spraying was carried out by scanning the rotating sample of 30 cm/s speed. Surface microstructure, ultrasonic thickness, porosity, micro hardness and surface modulus tests performed. Conclusions were formulated.

Keywords: thermal spray, ultrasound testing, microstructure, micro hardness of coatings.