

VIBROMECHANISKAI VEIKIAMŲ PERLYDIMO METU PURKŠTINIŲ DANGŲ MECHANINIŲ SAVYBIŲ TYRIMAS

Tomas Kuzma¹, Olegas Černašėjus², Jelena Škamat³

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹tomassoul@yahoo.com; ²olecer@vgtu.lt; ³jelena.skamat@vgtu.lt

Santrauka. Dujiniu liepsniniu terminiu purškimu gautos dangos yra plačiai taikomos įvairiose pramonės srityse. Terminio purškimo technologija jau yra pakankamai gerai išnagrinėta bei įsisavinta, tačiau vis dar nėra atlikta išsamių tyrimų apie minėtųjų dangų vibromechaninį apdorojimą. Šio tyrimo tikslas yra nustatyti, ar galima pagerinti dujiniu liepsniniu būdu užpurkštų dangų mechanines, o kartu ir eksploatacines savybes, veikiant mechaninėms vibracijoms perlydymo metu. Tyrimo objektas yra statybinio konstrukcinio plieno S235J0 plokštelės (100x100x10 mm) padengtos milteline Ni-Cr-B-Si danga. Po apipurškimo proceso yra atliktas dangų perlydymas, veikiant skirtingo dažnio bei amplitudės skersiniams mechaniniams virpesiams. Atlikti dangos porėtumo, kietumo, mikrokietumo bei atsparumo dilimui tyrimai, pateiktos darbo išvados.

Reikšminiai žodžiai: terminis purškimas, mechaninės vibracijos, Ni-Cr-B-Si miltelinė danga.

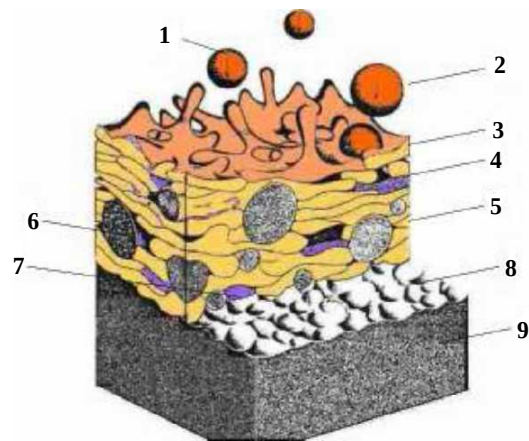
Įvadas

Detalių patikimumas labai priklauso nuo paviršinio sluoksnio savybių – atsparumo dilimui, kietumo, korozinio atsparumo, ciklinio nuovargio. Keičiant paviršinio sluoksnio savybes, galima padidinti gaminių patikimumą ir ilgaamžiškumą, o kartu taupyti žaliavas ir energiją. Metalų paviršius dengiamas norint pakeisti jo mechanines, fizikines-chemines savybes, suteikti jam atsparumo išorės poveikiui, pagerinti jo estetinį vaizdą ir t.t. Dangos turi būti gerai sukibusios su dengiamuoju paviršiumi, atsparios aplinkos poveikiui (temperatūrai, drėgmei, dujų įtakai, šviesai), neatsisluoksnuoti, darbo metu nekeisti suteiktų savybių (Tamulevičius *et al* 2007).

Purškiant terminio liepsninio purškimo būdu, danga formuojama iš atskirų išlydytų ar artimų lydymosi temperatūrai dalelių, kurios dideliu greičiu bloškiasi ir sluoksniojasi ant substrato paviršiaus. Substrato paviršius būna ne arčiau kaip 100 mm nuo degiklio tūtos galo.

Dalelių susijungimas įvyksta joms mechaniškai sukibant su substrato makronelygumais ir substratą dengiančio plono oksido sluoksnio pažeidimo vietomis (1 pav.).

Purškiamo metalo arba lydinio dalelės (priklausomai nuo jų giminingumo deguoniui) oksiduojasi pernešimo metu dėl to dar iki susidūrimo su substrato paviršiumi dalelių paviršius pasidengia plona oksido plėvelė. Atsitrenkus dalelei į substratą ir subliūškus, oksidų plėvelė ištyška ir dalelės paviršius toliau oksiduojasi, kol ant viršaus ją uždengia kita dalelė.

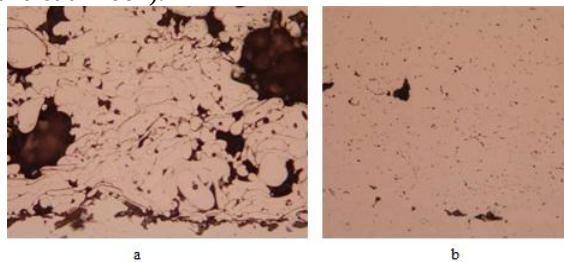


1 pav. Dangos formavimasis purškimo metu: 1 – oksidų plėvelė; 2 – purškiamos medžiagos lašeliai; 3 – susidūrę su paviršiumi ir subliūškę lašeliai; 4 – mechaninio sukibimo zona; 5 – lokalinio susilydymo zona; 6 – nepilnai išsilydžiusi dalelė; 7 – pora; 8 – substrato paviršius; 9 – substratas

Fig. 1. Thermal spraying metal coating: 1 – oxides; 2 – melted coating drop; 3 – lamellar grain; 4 – zone of mechanical adhesion; 5 – zone of local fusion; 6 – unmelted particle; 7 – void; 8 – substrate surface; 9 – substrate

Dangos medžiaga turi žemesnę lydymosi temperatūrą nei metalinis pagrindas, ant kurio purškiama danga. Kada danga yra nusodinta ant pagrindo, danga pakaitinama. Dangos temperatūra turi būti tarp likviduso bei soliduso linijų. Vykstant pakaitinimui danga persilydo, susidaro tvirtas metalurginis ryšys su substratu. Atlikus dangų perlydymą, sumažėja dangų porėtumas (korytumas). Perlydymo metu kinta susilydymo srities cheminė sudėtis, kadangi tarp dangos ir substrato vyksta tarpatominė difuzija. Po perlydymo susilydymo srities mikrokietumas gali sumažėti net iki 50 %. Gaunamos

tankios, gerai su pagrindu sukibusios dangos (2 pav.) (Sindhu *et al* 2007).



2 pav. Dujinio purškimo dangos mikrostruktūra: **a** – be perlydimo; **b** – atliktas dangos perlydimas

Fig. 2. Microstructure of flame spraying coating: **a** – without re-fuse; **b** – after re-fuse process

Vibracinio apdorojimo technologijos panaudojimo galimybių ribos plačios. Vibracinės technologijos taikymo sritys labai įvairios:

- žemės ūkis;
- pramoninė gamyba bei statybos sektorius;
- transporto sfera;
- medicina;
- komunalinis ūkis;
- mokslinės laboratorijos ir bandymų stotys.

Vibracinės technologijos panaudojimas daugelyje sričių jau yra reikšmingas, kitose – ji vis dar yra plėtojama. Vibracinė technologija medžiagotyros srityje leidžia gauti labai plonas medžiagas, kuriose nepasireiškia komponentų segregacija, medžiagos yra homogeniškos, pasižyminčios specifinėmis savybėmis (Taghavi *et al* 2009).

Žinoma, kad mechaninės vibracijos lydinio kristalizacijos metu turi didelę įtaką susidarantiai mikrostruktūrai ir mechaninėms savybėms. Tačiau vis dar nėra visiškai išsiaiškinta, kaip mechaninės vibracijos keičia mikrostruktūrą, koks yra jų veikimo mechanizmas. Svarbiausieji vibracinio apdorojimo parametrai yra vibracijos amplitudė bei dažnis. Dažniausiai didinant vibracijos amplitudę, didėja gaminio paviršiaus šiurkštumas. Virpesių amplitudė lemia ir tokius rodiklius kaip santykinis pailgėjimas (A_5 , A_{10}) bei tamprumo riba (R_e) (Rumbutis *et al* 2010).

Tyrimų metodika

Bandymai atlikti ant išpjautų iš plieno S235J0 juostos plokštelių, kurių matmenys 100x100x10 mm. Bandiniai supjaustyti juostiniu pjūklų, naudojant aušinimo skystį tam, kad bandiniai neįkaistų iki temperatūros, kurioje prasideda struktūriniai plieno pakitimai. Prieš plokštelių apipurškimą, atliktas paviršiaus pašiuurkštinimas,

apipurškiant plokšteles šratų srautu (pagal standarto LST EN 14616:2005 rekomendacijas).

Substrato bei dangos miltelių cheminė sudėtis pateikta 1 bei 2 lentelėse. 3 lentelėje pateikti pagrindiniai substarto paruošimo bei purškimo proceso parametrai.

1 lentelė. NiCrBSi miltelių cheminė sudėtis, %

Table 1. Chemical composition of NiCrBSi powder, wt in %

Medžiaga	Ni	Cr	Fe	B	Si	C
NiCrBSi milteliai	bal	10,2	2,8	1,6	3,2	0,4

2 lentelė. Substrato cheminė sudėtis, %

Table 2. Chemical composition of substrate, wt. in %

Medžiaga	Fe	C	Mn	S	P	N	Cu
Plienai S235J0	bal	0,17	1,40	0,030	0,030	0,012	0,55

3 lentelė. Substrato paruošimo ir purškimo parametrai

Table 3. Preparation of substrate and spraying parameters

Substrato paruošimas	Nuriebalinimas ir abrazyvinis pašiuurkštinimas	Purškimo atstumas	170 mm
Substrato pakaitinimas	250-290 °C neutrali liepsna	Purškimo greitis/žingsnis/ėjimai	250 mm/s/5/8
Purškimo liepsna	0,7 bar C ₂ H ₂ / 4 bar O ₂	Užpurkšto sluoksnio storis	1,2-1,4 mm

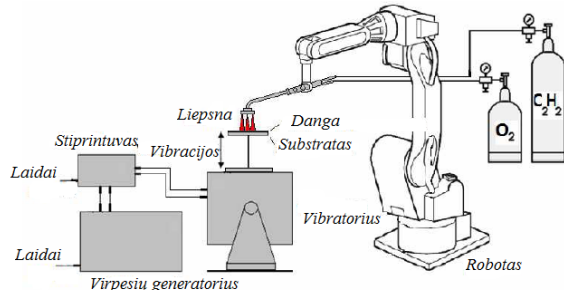
4 lentelė. Vibracinio apdorojimo parametrai

Table 4. Parameters of vibrational treatment

Nr.	1	2	3	4	5	6	7
Dažnis, Hz	20	100	200	1000	2000	10000	Nėra vibracijos
Virpesių amplitudė, μm	255	57	52	31	10	<1	

Padengtos NiCrBSi danga bandymo plokštelės buvo perlydytos. Perlydymo metu įvedami skirtingo dažnio bei amplitudės mechaniniai virpesiai (žr. 4 lentelė). Vienas bandinys perlydytas be vibracijos tam, kad būtų galima palyginti gautus rezultatus su bandiniais perlydytais esant vibraciniam virpesiui. Perlydymas atliktas naudojant acetileno-deguonies degiųjų dujų neutralią liepsną, kaitinant dangą iki 1100 °C. Mechaniniai virpesiai įvedami perlydymo metu bei po jo tol, kol plokštelės atvėsdavo iki 500 °C. Mechaninių virpesių kryptis

statmena plokštelės plokštumai. Dangų purškimo bei perlydymo procesas atliktas naudojant robotizuotą purškimo stendą, kad visiems bandiniams būtų vienodos sąlygos (3 pav.).



3 pav. Robotizuoto vibracinio perlydymo stendo schema

Fig. 3. Scheme of re-melting of as-sprayed coatings under vibration treatment

Dangų porėtumas nustatytas stereoskopinės metalografijos metodu, naudojant kompiuterinę programą SCION IMAGE. Šlifuotų bei poliruotų bandinukų nuotraukos atliktos esant padidinimui X90. Poliravimui naudota deimantinė poliravimo pasta, kurios abrazyvinių dalelių dydis iki 1 μm . Kiekvienam bandinukui atlikta po 20 nuotraukų bei išvestas aritmetinis vidurkis, apibūdinantis dangos porėtumą kiekvienu atveju.

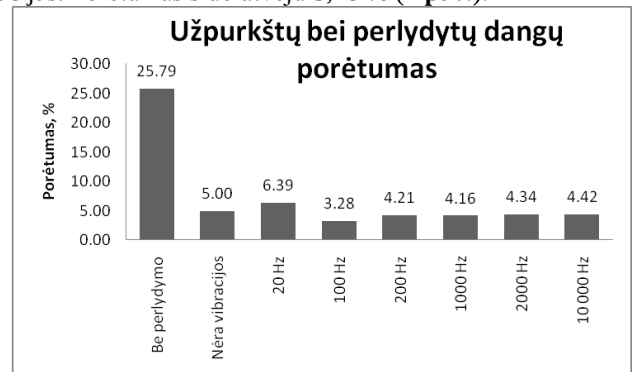
Kietumo bandymas atliktas naudojant standartinį Vikerso kietmatį. Naudota 30 kg apkrova. Kietumas matuotas dangos paviršiaus mikrošlifuose. Kiekvienam bandiniui atlikta po 10 matavimų. Didžiausia bei mažiausia reikšmės atmestos, o iš likusiųjų išvestas aritmetinis vidurkis.

Mikrokietumas matuotas Vikerso mikrokietmačiu. Naudota apkrova 200 g, išlaikymo laikas 10 s. Matavimai atlikti skersiniuose pjūviuose.

Dviejų kūnų sausos trinties dilimo bandymas atliktas dilimo mašinoje, naudojant SiC abrazyvinį popierių #220 (grūdėlio dydis 58 μm). Bandinukai prie abrazyvo buvo spaudžiami 35 N jėga. Kiekvienas bandinys sukamas po 16 000 apsisukimų. Pirmieji 2 000 apsisukimų nebuvo vertinami, kadangi reikėjo pašalinti dangos šiurkštumą bei susidariusius purškimo ir perlydymo metu šlakus. Abrazyvas buvo keičiamas kas 2 000 apsisukimų. Pakeitus abrazyvą, matuoti įspaudo matmenys. Įspaudas padarytas po pirmųjų 2 000 apsisukimų. Taip pat kiekvienas bandinys pasvertas po to, kai buvo atliktas įspaudo matmenų matavimas.

Tyrimų rezultatai

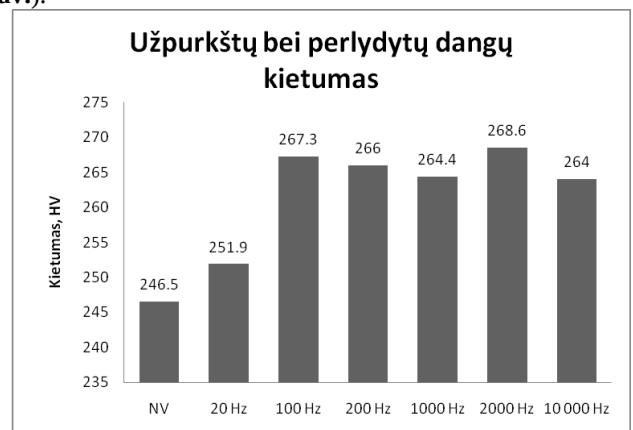
Dangų, perlydytų įprastiniu būdu, porėtumas siekė 5 %. 20 Hz dažnio virpesių panaudojimas padidino porėtumą iki 8,95 %. Didesnio dažnio vibracijos (100, 200, 1 000, 2 000 bei 10 000 Hz) sumažino porėtumą vidutiniškai iki 4 %. Geriausias rezultatas gautas, naudojant 100 Hz vibracijas. Porėtumas šiuo atveju 3,18 % (4 pav.).



4 pav. Porėtumo bandymo rezultatai

Fig. 4. Results of porosity test

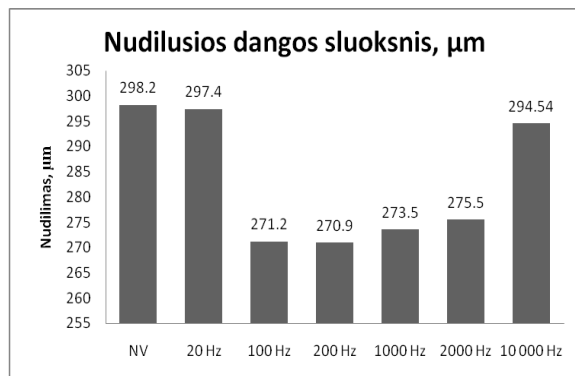
Kietumas padidėjo, naudojant vibracinį perlydymą. Esant žemo dažnio virpesiams (20 Hz) kietumas nežymiai skyrėsi nuo dangos kietumo po įprastinio perlydymo. Dangų kietumo reikšmės padidėjo, naudojant didesnio dažnio vibracijas (100, 200, 1 000, 2 000 bei 10 000 Hz). Didžiausias dangos kietumas gautas naudojant 2 000 Hz dažnį. Šiuo atveju kietumas siekė beveik 267 HV (5 pav.).



5 pav. Kietumo matavimo rezultatai

Fig. 5. Results of hardness measurement

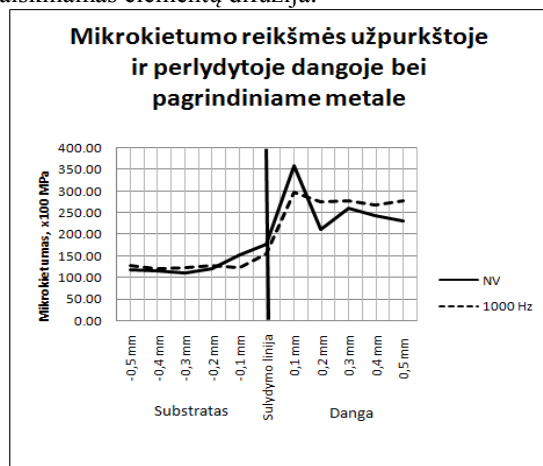
Geriausias atsparumas dilimui pasiektas naudojant vidutinio dažnio vibracijas (100 bei 200 Hz). Kiek prastesnis atsparumas dilimui nustatytas naudojant 1 000 bei 2 000 Hz vibracijas. Esant 20 Hz ir 10 000 Hz vibracijoms dangų atsparumas dilimui nežymiai skyrėsi nuo be vibracijos perlydytų dangų (6 pav.).



6 pav. Dilimo bandymo rezultatai (po 16 000 apsisukimų)

Fig. 6. Results of wear resistance test (after 16 000 revolutions)

Mikrokietauto matavimas parodė, kad vidurinėje dangų zonoje bei artėjant arčiau substrato mikrokietauto reikšmės svyruoja nuo 250 iki 300. Iš esmės mikrokietautas dangose, perlydytose veikiant vibracijoms, nepakito. Visuose bandiniuose buvo pastebėtas substrato mikrokietauto padidėjimas prie sulydymo linijos. Toks mikrokietauto padidėjimas gali būti aiškinamas elementų difuzija.



7 pav. Mikrokietauto reikšmės esant 1 000 Hz dažniui bei nesant vibracijų

Fig. 7. Microhardness of coatings remelted under 1 000 Hz vibration and without vibration

Išvados

1. Vibracinis apdorojimas perlydymo metu įtakoja dangų, sudarytų NiCrBSi pagrindu, formavimąsi bei kristalizacijos procesus.
2. Dangos porėtumas sumažėja nuo 5,0 % perlydytoje be vibracijų dangoje iki 3,18 %, naudojant 100 Hz dažnį.
3. Dangos atsparumas dilimui padidėja 9,15 %. Geriausias rezultatas gautas, naudojant 200 Hz dažnio virpesius.

4. Dangos kietumas padidėja 9 %, o mikrokietautas keičiasi nežymiai. Mikrokietautas iš esmės nesiskiria, naudojant įvairaus dažnio vibracijas.

Literatūra

- L. Rumbutis, I. Višniakas, A. Jurčius. 2010. Konstrukcinio plieno suvirinimo siūlių mechaninių savybių tyrimas suvirinimo metu naudojant vibracijos energiją [Research of the mechanical properties of the weld seams of constructional steel using vibration energy method during welding], iš *Mechanika, medžiagų inžinerija, pramonės inžinerija ir vadyba* [Mechanics, Material Science, Industrial Engineering and Management]: 13-osios Lietuvos Jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, įvykusios Vilniuje 2010 pranešimų medžiaga. Vilnius.
- B. S. Sindhu, D. Puri, S. Prakash. 2005. Mechanical and metallurgical properties of plasma sprayed and laser remelted Ni-20Cr and Stellite-6, *Journal of materials Processing Technology* 159 349-355.
- F. Taghavi, H. Saghafian, Y. H. K. Kharzari. 2009. Study of the effect of prolonged mechanical vibration on the grain refinement and density of A 356 aluminium alloy, *Materials and Design* 30 1604-1611.
- S. Tamulevičius, J. Vilys, V. Grigaliūnas, Š. Meškiniš, A. Guobienė. 2007. Paviršiaus inžinerija ir nanotechnologijos. Mokomoji knyga. Kaunas: Vitae litera. 225 p.

THE RESEARCH OF VIBROMECHANICAL TREATMENT OF SPRAYED COATINGS MECHANICAL PROPERTIES DURING RE-FUSE PROCESS

T. Kuzma, O. Černašėjus, J. Škamat

Abstract

Flame spraying coatings are widely used in various industry branches. The technology of thermal spraying is well known. Still any comprehensive researches of vibromechanical treatment of flame sprayed coatings during re-fuse process are not made. This research aim is to investigate vibromechanical treatment of flame sprayed coatings during re-fuse process of possibility improve mechanical and performance properties. Ni-Cr-B-Si powder coatings were sprayed on structural low carbon steel S235J0 (dimensions 100x100x10 mm) samples. Vibromechanical treatment of flame sprayed coatings during re-fuse process was made. Variety of different frequency and amplitude vibration was applied during re-fuse process. The research of coatings porosity, hardness, microhardness and wear friction was carried out. Conclusions are given.

Keywords: thermal spraying, mechanical vibration, Ni-Cr-B-Si powder coating.