

## APIE GALIMYBES ULTRAGARSĄ NAUDOTI TERMINIO PURŠKIMO TECHNOLOGIJOSE

Jelena Škamat<sup>1</sup>, Algirdas Vaclovas Valiulis<sup>2</sup>

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

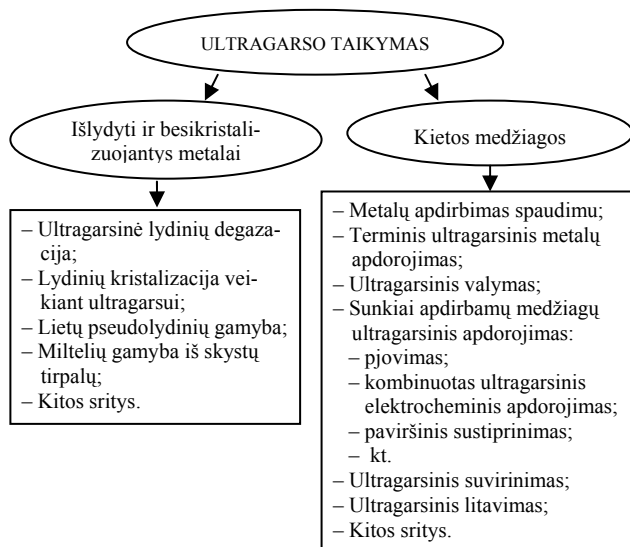
El. paštas: <sup>1</sup>jelena.skamat@vgtu.lt ; <sup>2</sup>algirdas.valiulis@vgtu.lt

**Santrauka.** Straipsnyje apžvelgiamos pagrindinės medžiagų apdorojimo ultragarsu technologijos ir nagrinėjamos galimybės naudoti ultragarso virpesius terminio purškimo procesuose. Pristatoma šios srities tiriamųjų darbų rezultatų apžvalga rodo, kad ultragaras gali būti sėkmingai pritaikytas siekiant gerinti purkštųjų dangų savybes. Remiantis literatūros šaltinių analize pateikiamos išvados apie galimybę ultragarsą naudoti terminio purškimo technologijose.

**Reikšminiai žodžiai:** dangos, terminis purškimas, ultragaras, savybių gerinimas.

### Įvadas

Ultragarso virpesiai yra efektyvi priemonė aktyviai veikti įvairius cheminius ir fizikinius procesus, vykstančius medžiagoje, taip pat kietų kūnų struktūrą ir jų kontaktinės tarpusavio sąveikos procesus.



1 pav. Ultragarso technologinis taikymas

Fig. 1. Application of ultrasound technology

Daugeliu tyrimų įrodyta, kad klasikinių medžiagos apdorojimo būdų – terminio, deformacinio arba mechaninio – derinimas su ultragarsiniu ne tik juos spartina ir intensyvina, bet ir praplečia taikymo ribas. Pavyzdžiui, ultragarsu apdirbant metalus spaudimo būdu medžiagas pavyksta deformuoti gerokai labiau. Įprastomis sąlygomis tokio dydžio deformacijos jos neatlaikytų ir suirtų. Ypač plačiai paplitęs kietų ir trapių medžiagų ultragarsinis pjo-

vimas. Trapiose medžiagose išpjauti sudėtingos konfigūracijos kiaurymės arba ertmės kitais metodais dažnai tiesiog neįmanoma. Ultragaras gerokai padidino tekimo, šlifavimo, gręžimo, sriegimo, detalių paviršių plastinio deformavimo ir kitų technologinių operacijų efektyvumą. Ultragarsą galima naudoti kaip savarankišką technologiją arba derinti su kitais apdorojimo būdais. Savarankiškomis technologijoms priskiriamas ultragarsinis suvirinimas ir ultragarsinis litavimas (1 pav.). Ultragarso virpesiai ypač stipriai veikia skystos būsenos medžiagas, todėl jie sėkmingai taikomi lydiniams degazuoti, paviršiams valyti, kristalizacijos procesams valdyti ir kitur. Minėtieji pavyzdžiai – toli gražu ne visas ultragarso taikymo pavyzdžių sąrašas.

### Ultragarso technologijų plėtra

Ultragarso technikos raida prasidėjo 1880 metais, kai broliai Pjeras ir Žakas Polis Kiuri (*P. Ciuri, J. P. Ciuri*) atrado tiesioginį kai kurių medžiagų pjezoefektą ir vėliau Gabrielis Lipmanas (*G. Lippmann*) nustatė atvirkštinį pjezoefektą. Medžiagoms apdoroti ultragarso virpesiai pradėti naudoti XX a. devintajame dešimtmetyje (Абрамов *et al.* 1984).

Ultragarso poveikis kompaktinėms medžiagoms ir skysčiams ištirtas gana išsamiai, tačiau net kai kurios gerai žinomos metodikos nėra plačiai taikomos. Yra daug priežasčių, stabdančių spartų ultragarso technologijų plitimą. Svarbiausia priežastis – šių technologijų universalumo stoka. Kiekvienu konkrečiu atveju tenka ieškoti optimalių ultragarso parametrų (dažnio, amplitudės, galios ir kt.), kurie leistų pasiekti norimą efektą. Geriausi tokių parametrų deriniai paprastai nustatomi atliekant daug bandymų.

Nors šios technologinės priemonės ir turi trūkumų, susidomėjimas jomis paskutiniuoju metu nesumažėjo. Periodinėje literatūroje nuolat pasirodo straipsnių, rodančių mokslininkų pastangas plėtoti šią temą. Ultragaras yra efektyvus energijos perdavimo būdas. Būtent todėl inžinieriai ieško galimybių pritaikyti šį būdą įvairiuose, tarp jų ir dangų formavimo, technologiniuose procesuose.

### Ultragaras terminio purškimo technologijose

Tyrimų rezultatų, susijusių su ultragarso virpesių poveikiu plonoms dangoms, skelbiama nedaug. Nustatytas teigiamas ultragarso poveikis elektrocheminiu būdu gaminamoms dangoms, nes naudojant virpesius dangų elektrocheminio nusodinimo metu pavyksta padidinti adheziją, tankį ir kietumą, sumažinti porėtumą, pagerinti daugybę fizikinių ir eksploatacinių savybių (Walker *et al.* 1973; Huan-Yu Zheng *et al.* 2008; Абрамов *et al.* 1984).

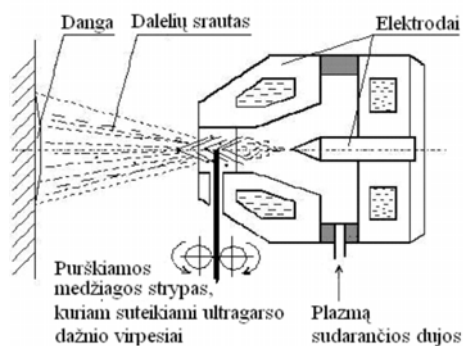
Atliekami tyrimai ir purkštųjų dangų srityje. Dabartiniu metu žinoma daug įvairių paviršių dengimo būdų. Atskirą grupę sudaro terminio purškimo technologijos. Nepaisant daugelio privalumų, dėl kurių šie metodai vertinami ir plačiai taikomi, iki šiol lieka aktualios dangos ir substrato sukibimo, porėtumo ir vidinių liekamųjų įtempių problemos. Kai kurių tyrimų rezultatai rodo, kad iš dalies šios problemos gali būti išspręstos naudojant intensyvių ultragarsą.

Dangos kokybė, eksploatacinės savybės priklauso nuo daugelio veiksnių – dalelių dydžio ir formos, jų vienodumo, tolygaus įkaitimo ir judėjimo dengiamojo gamtinio link, skriejančių dalelių greičio ir greičio gradiento srauto skerspjūvyje, dalelių ir substrato dinaminės sąveikos ir kitų veiksnių.

Paaiškėjo, kad ultragarso virpesiai gali būti efektyvūs, taikant juos įvairiuose purškimo proceso etapuose. Ultragarso virpesiais veikiant plazmos srauto branduolį, pavyksta praplėsti srautą ir padidinti jo turbulenciją, dėl to sumažėja temperatūros gradientas plazmos srauto skerspjūvyje, tolygiau įkaitinami purškiami milteliai ir didesnė jų dalis pasiekia pagrindą išlydytos būsenos (Ильюшенко *et al.* 2008). Derinant ultragarsą su optimaliu lanko galingumu pasiekiamas maksimalus dangos struktūros amorfizacijos lygis, padidėja dangos kohezinis stiprumas ir kietumas.

Kito darbo autoriams (Бекренев *et al.* 2004) purškiamų dalelių dydžio nevienodumo problemą iš dalies pavyko išspręsti purškiant medžiagą ne dujų srautu, o veikiant medžiagos strypelį ir jo gale susidariusį išlydytos medžiagos lašą (purkšti naudota strypo pavidalo medžiaga) ultragarso dažnio virpesiais (2 pav.). Tai leido sufor-

muoti vienodo dydžio dalelių srautą, be to, buvo nustatyta virpesių amplitudės ir dalelių dydžio tarpusavio priklausomybė. Ultragarso virpesiais gali būti veikiami ir dengiami detalė. Purškiamiems lašeliams pasiekus dengiamąjį paviršių virpantis pagrindas užtikrina tolygesnį jų pasiskirstymą paviršiuje. Priklausomai nuo virpesių krypties (statmenai plazmos srautui arba išilgai jo), formuojamas reikiamos krypties dangos paviršiaus mikroreljefas. Ultragarso virpesiai padidino dalelių adheziją, lėmė tolygesnį porų pasiskirstymą ir galimybę varijuoti porų ir porėtumo parametrus. Lygesnis paviršiaus mikroreljefas palengvino tolesnį dangų apdorojimą. Ultragarso virpesiai leido sumažinti purkšti reikalingos srovės galingumą 2–3 kartus ir dėl to gerokai sumažinti gaminių savikainą.



2 pav. Plazminio purškimo modifikavimas

Fig. 2. Modification of thermal spray equipment

Ultragarso energiją galima efektyviai taikyti ne tik purškimo metu, bet ir gaminių paviršių paruošimo etapuose. Žinoma, kad purkštos dangos ir substrato sukibimas priklauso ir nuo to, kaip giliai difunduoja abiejų medžiagų atomai: dangos – į pagrindą, ir atvirkščiai, pagrindo – į dangą (Коберниченко *et al.* 2001). Derinant įprastą paviršiaus paruošimo purškimui operaciją su ultragarsiniu apdorojimu chromo šratais, dėl ultragarso virpesių atsiranda struktūrinių defektų ir nevientisumų šratų ir apdorojamojo paviršiaus medžiagoje. Dėl to padidėja difuzinis paviršinių sluoksnių judrumas ir susidaro paviršiaus ir šratų sukibimo užuomazgų – paviršius pasidengia plonu 250–300 Å storio chromo sluoksniu. Ant tokiu būdu paruošto paviršiaus purškiama danga. Purškimo metu danga, substratas ir tarp jų esantis chromo sluoksnis įkaitinami. Chromas intensyviai difunduoja į pagrindinę medžiagą ir dangos sluoksnį. Taip užtikrinamas didesnis adhezinis stiprumas. Tyrimu nustatyta ryški tiesioginė virpesių amplitudės ir adhezinio stiprumo priklausomybė.

Didelį inžinierių susidomėjimą kelia vadinamasis medžiagų ultragarsinis paviršinis apdorojimas (UPA).

Metodo esmė – plastinis smūginis paviršiaus deformavimas ultragarso dažniu. Taikant UPA metalinėms medžiagoms ir virintinėms jungtims, vyksta struktūriniai paviršinių sluoksnių pokyčiai, lemiantys kompleksinį savybių pagerėjimą, struktūros smulkėjimą ir persiskirstymą (Klubovitch *et al.* 2008; Нетесов *et al.* 2003). Apdorojant ultragarsu virintinę jungtį (Нетесов *et al.* 2003), tolygiau pasiskirsto vidiniai įtempiai ir mikrokietumas, gerėja siūlės plastinės savybės. Manoma, kad UPA struktūros stiprinamasis poveikis susidaro dėl struktūrinių defektų pagrausėjimo, tačiau tuo pat metu gali vykti medžiagos relaksacijos reiškiniai, mažinantys stiprumą. Efektas, kurį sukelia UPA, priklauso ne tik nuo naudojamo ultragarso parametrų, bet ir nuo struktūrinės apdorojamo objekto būsenos.

## Išvados

Literatūros šaltinių analizė leidžia daryti išvadas apie galimybes naudoti ultragarsą dangų purškimo technologijose.

1. Galima teigti, kad didelį mokslinį ir praktinį susidomėjimą kelia UPA poveikio tyrimai, ypač kai UPA taikomas ne tik kompaktinėms medžiagoms, bet ir plonomis dangoms.
2. Akivaizdu, kad intensyvus ultragarsas gali būti sėkmingai naudojamas purškiamų dangų kokybei ir savybėms gerinti. Tai realizuojama įvairiuose purškimo etapuose dangas veikiant ultragarso virpesiais: purškimo įrenginyje intensyvinant ultragarso bangomis vykstančius procesus, ultragarsu veikiant dengiamą detalę purškimo metu, naudojant ultragarso energiją purškiamai medžiagai išpurkšti.
3. Ultragarso poveikis medžiagai pasireiškia dėl dviejų veiksnių: kavitacijos, vykstančios veikiant ultragarsu skystą medžiagą; plastinio kietos medžiagos tekėjimo, kai medžiagą veikia mechaninė apkrova ir ultragarsas. Pastebimo rezultato veikiant dengiamą detalę ultragarsu galima tikėtis tuomet, kai purškiamos medžiagos dalelės pasiekia dengiamą paviršių būdamos skystos arba tąsios plastinės būsenos. Kai dangą formuoja tik stipriai įkaitusios dalelės, kurių plastinio būvio trukmė labai trumpa ( $10^{-3}$  s), gali būti efektyvus jau suformuotos dangos deformacinis ultragarsinis apdorojimas.

## Literatūra

Bhushan, B.; Gupta, B. K. 1991. *Handbook of tribology: materials, coatings, and surface treatments*. New York:

McGraw-Hill Publishing Company. 1168 p. ISBN 0-07-005249-2.

Davis, J. R. 2004. *Handbook of thermal spray technology* [interaktyvus]. Thermal spray Society Training Committee. 338 p., [žiūrėta 2009 m. kovo 3 d.]. Prieiga per internetą: <<http://books.google.lt>>.

Huan-Yu Zheng; Mao-Zhong An. 2008. *Electrodeposition of Zn – Ni – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocomposite coatings under ultrasound conditions* [interaktyvus], [žiūrėta 2009 m. sausio 22 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.sciencedirect.com/>>.

Walker, C. T.; Walker, R. 1973. *Effect of ultrasonic agitation on some properties of electrodeposits* [interaktyvus], [žiūrėta 2009 m. sausio 22 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.sciencedirect.com/>>.

Абрамов, О. В.; Хорбенко, И. Г.; Швецла, Ш. 1984. *Ультразвуковая обработка материалов*. Москва: Машиностроение = Братислава: Альфа. 280 с.

Бекренев, Н. В.; Лясников, В. Н.; Трофимов, Д. В. 2004. *Изобретение «Способ плазменного напыления покрытий»*. Патент RU2283364 [interaktyvus], [žiūrėta 2008 m. lapkričio 19 d.]. Prieiga per internetą: <[http://www.ntpo.com/patents\\_medicine/medicine\\_17/medicine\\_54.shtml](http://www.ntpo.com/patents_medicine/medicine_17/medicine_54.shtml)>.

Ильющенко, А. Ф.; Роман, О. В.; Шевцов, А. И. 2008. *Формирование элементов неравновесных аморфизированных структур композиционных плазменных покрытий в системе «напыленные частицы - подложка»* [interaktyvus], [žiūrėta 2009 m. vasario 26 d.]. Prieiga per internetą: <<http://static.dstu.edu.ru/vestnik/2008-1/main.shtml>>.

Клубович, В. В.; Анисович, А. Г.; Томило, В. А.; Хрущев, Е. В. 2008. *Ультразвуковая обработка упругих элементов* [interaktyvus], [žiūrėta 2009 m. kovo 14 d.]. Prieiga per internetą: <<http://amo.dmt-product.com/amo08/pdfamo08/01.pdf>>.

Коберниченко, А. Б.; Мартынов, С. Н.; Лободюк, А. С. 2001. *Изобретение «Способ дробеструйной обработки изделий»*. Патент № 2132267 [interaktyvus], [žiūrėta 2009 m. kovo 14 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.csti.ryazan.ru/docs/goods-r/vai-6.htm>>.

Нетесов, В. М.; Березняк, П. А.; Ожигов, Л. С.; Хандак, В. В. 2003. *Ультразвуковая поверхностная обработка (УЗПО) реакторных материалов. Сообщение 2. УЗПО сварных соединений* [interaktyvus], [žiūrėta 2009 m. kovo 14 d.]. Prieiga per internetą: <[http://vant.kipt.kharkov.ua/ARTICLE/VANT\\_2003\\_6/article\\_2003\\_6\\_124.pdf](http://vant.kipt.kharkov.ua/ARTICLE/VANT_2003_6/article_2003_6_124.pdf)>.

## ABOUT THE POSSIBILITY OF USING ULTRASOUND IN THERMAL SPRAY TECHNOLOGIES

J. Škamat, A. V. Valiulis

Abstract

The present article introduces a survey on ultrasonic technologies applied to material processing and describes the possibilities of improving the quality of coating made by thermal spraying introducing ultrasound into the covering process. The article contains the results of some other research works and discusses a number of conclusions about the possibilities of applying ultrasound in thermal spray technologies.

**Keywords:** coatings, thermal spraying, ultrasound, amelioration of properties.