

PĒTĪJUMS PAR LĀZERMARKĒŠANAS KANĀLU ĢEOMETRISKO IZMĒRU ATKARĪBU NO STAROJUMA PARAMETRU IZMAIŅĀM UZ NERŪSĒJOŠA TĒRAUDA

RESEARCH OF LASER MARKING CHANNEL GEOMETRICAL DIMENSIONS DEPENDENCE OF CHANGE OF LASER RADIATION PARAMETERS ON STAINLESS STEEL

Autori: **Vitālijs Dunkins**, e-pasts: dvitaly2@inbox.lv, +37126372733, **Jurijs Komkovs**, e-pasts: ljurixl@inbox.lv, +37126127773, **Pavels Narica** e-pasts: pavels.narica@rta.lv, +37129273276, **Jānis Valiniks** e-pasts: janis.valiniks@inbox.lv, +37126146246
Zinātniskā darba vadītāji: **Andris Martinovs, Dr.sc.ing. asoc. profesors, Edmunds Teirumnieks, Dr.sc.ing. profesors, Ļubomirs Lazovs, Dr.-Ing. prof.**,
Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmija, Atbrīvošanas aleja 115, Rēzekne

Abstract: *Publication describes results of the stainless steel laser marking, which shows relationship between geometry of the treated surface and parameters of the laser radiation, such as power, pulse frequency, and processing speed.*

Keywords: *geometry, laser marking, stainless steel, surface.*

Ievads

Pēdējos gados ļoti aktīvi attīstās lāzertehnoloģijas. Tās tiek pielietotas, visdažādākās nozarēs: metālapstrādē, medicīnā, izklaidē u.c. Metālapstrādē tās izmanto metāla griešanā, gravēšanā, marķēšanā, rūdīšanā un citās sfērās. Pētījumi tiek veikti dažādās jomās, un tie atrod jaunus pielietojuma vietas un veidus. Daudz pētījumu ir saistīti ar marķēšanu un gravēšanu, piemēram, dažādu materiālu gravēšana, marķēšana un krāsainā marķēšana.

Rakstā „Aluminum alloy nanosecond vs femtosecond laser marking” tiek apskatītas atšķirības starp alumīnija marķēšanu ar nanosekundes lāzeri un femtosekundes lāzeri. Pēc teorijas femtosekundes lāzeriem būtu kvalitatīvāk jāmarķē. Tas tāpēc, ka femtolāzeris var koncentrēt lielāku enerģiju uz laukuma vienību. Šis raksts paredzēts, lai noteiktu un apspriestu mikrostrukturālas un funkcionālas atšķirības starp virsmām, uz kurām tika veikti eksperimenti ar divu lāzeru palīdzību. Tika izmantots nanolāzeris: Nd:YAG Trumpf VectorMark TruMark Station 1000 (viļņa garums 1064 ns; vidējā jauda 5.5 W; impulsa enerģija ~ 0.5 mJ), femtolāzeris: Clark CPA-2101 (viļņa garums 775 ns; vidējā jauda 1.3-1.5 W; impulsa enerģija >700 μJ). [1]

Citā rakstā „Controlled nanostructures formation by ultra fast laser pulses for color marking” autori apraksta kā ļoti īss impulss ietekmē nerūsējošu tērauda virsmas nanostruktūru. Šajā pētījumā tika izmantots Ti:Sa lāzeris ar impulsu 150 fs, un frekvenci 5 kHz, stara diametrs bija robežās no 5 līdz 100 μm. Materiāls – 316L nerūsējošais tērauds. Darbā var apskatīt rezultātus kā mainās virsmas nanostruktūra un krāsa atkarībā no lāzera jaudas un apstrādes ātruma.[2]

Līdzīga tēma tiek apskatīta arī rakstā „Controlled oxide films formation by nanosecond laser pulses for color marking”. Tur izmanto lāzeri, ar sekojošiem parametriem: viļņa garums $\lambda = 1.06 \mu\text{m}$, impulsa ilgums $\tau = 100 \text{ ns}$, frekvence $f = 20\text{-}99 \text{ kHz}$, ātrums V no 1 līdz 250 mm/s. Eksperimenta materiāls nerūsējošais tērauds AISI 304 markas. Rezultatā tika iegūti režīmi, kas dod krāsainas krāsas uz nerūsējoša tērauda virsmas.[3]

Autori Amara E.H., Haïd F., Noukaz A. savā rakstā „Experimental investigations on fiber laser color marking of steels” izmanto faiber lāzeri. Rezultāts tika analizēts ar elektronisko mikroskopu un spektroskopijas palīdzību. Rezultāti atspoguļoti gan attēlos, gan tabulās: krāsu atkarība no lāzera stara parametriem.[4]

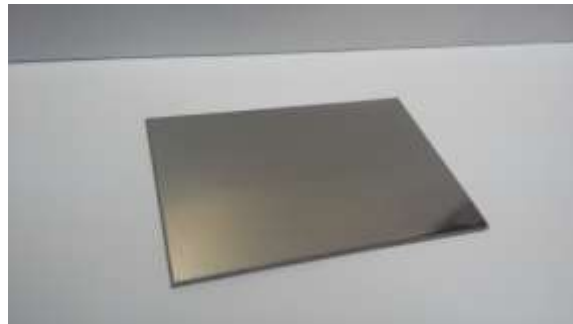
Šajā rakstā tiks apskatīts, kā mainās lāzera atstātās rievīņas ģeometriskie izmēri atkarībā no lāzera parametriem.

Materiāli un metodes

Materiāls. Nerūsošais tērauds ir tērauds, kas ir korozijizturīgs dažādās vidēs, piemēram, gaisā, ūdenī, kā arī dažādās agresīvās vidēs. To iegūst, sakausējot dzelzi ar dažādiem metāliem. Nerūsējošais tērauds ir vairāku metālu grupa, kuriem kopējas sekojošas īpašības: galvenā tā sastāvdaļa ir dzelzs ($> 50\% \text{ Fe} = \text{„tērauds”}$) un vismaz 10–12% hroms (Cr). Parastākajam sakausējuma veidam nav nepieciešami citi metāli, lai to uzskatītu par „nerūsējošo tēraudu”, jo visparastākajā nerūsējošā tērauda paveidā (EN 1.4003) ir tikai 10,5% Cr, bet pārējo daļu veido dzelzs. [5]

Par pētāmo paraugu tiek ņemts nerūsējošais tērauds AISI 304. Plāksnītes tiek sagrieztas ar giljotīnas palīdzību 80x50x1.5 mm izmērā un viena puse pulēta līdz spoguļvirsmai (1.att.). Lai ar mikroskopu izmērītu lāzerapstrādes dziļumu, jānodrošina perpendikularitāti starp pulēto virsmu un plāksnītes galu, jo pēc sagriešanas šī prasība nav apmierināta. Perpendikularitātes iegūšanai piemēroti šādi paņēmieni:

1. Elektroerozijas griešana ar stiepli. Tās rezultātā virsmas ir perpendikulāras, bet vizuāli nav iespējams noteikt starpību starp elektroerozijas un lāzerapstrādes virsmām. Tādēļ šādu paņēmieni nav iespējams izmantot.
2. Slīpēšana uz plakanslīpēšanas darbgalda ar rupjas apstrādes slīpriņu 25A40. Slīpēšanas rezultātā veidojas atskabargas, kuras traucē veikt precīzus mērījumus.
3. Slīpēšana uz plakanslīpēšanas darbgalda ar vulkanita slīpriņu 14A16. Rezultātā tiek iegūta nepieciešama virsmas tīrība, lai veiktu mērījumus.



1.attēls Parauga spoguļvirsmā

Lāzeris

Tiek izmantots Rofin firmas skanier lāzeris PowerLine F 20 Varia ar sekojošiem parametriem:

1.tabula

Lāzera iekārtas parametri

Viļņa garums λ [nm]	1050-1075
Vidējā jauda P_{AV} [W]	>19
Frekvence f_p [kHz]	2-1000
Stāra kvalitāte M^2	<2.0
Skānēšanas laukums [mm]	120x120
Impulsa enerģija Q [mJ]	0.95 @ 200 kHz, 200ns
Maksimālā jauda P_{PK} [kW]	12.5 @ 200 kHz, 8 ns
Stara izkliedes leņķis [mrad]	± 0.5
Impulsa garums τ [ns]	4/8/14/20/30/50/100/200 pēc izvēles
Lāzera stara diametrs [μm]	~ 30



2.attēls Skanēšanas galvas funkcionālais princips

Mikroskops: Mikroskopa modelis Nikon AZ100. Tehniskie dati ir atteloti 2.tabulā.

2.tabula

Mikroskopa parametri

Palielinājums	5x līdz 400x
Palielinājums ar koaksialo apgaismotāju	6.25 līdz 500x
Transfokācijas diapazons	1x līdz 8x
Okulāra palielinājums	10x/22mm
Objektīvu palielinājums	AZ-Plan Apo 0,5x, 1x, 4x; AZ-Plan Fluor 2x, 5x

Rezultāti

Tiek iegūti 3 paraugi ar izmēriem 80x10x1.5 mm. Uz katra no parauga tika izmēģināti 10 dažādi lāzermarķēšanas režīmi. Katrs režīms izdedzina pa 10 dažāda platuma un dziļuma rievās. Tika izmēģināti sekojošie parametri:

1. pirmajam paraugam tika mainīts apstrādes ātrums no 20 mm/s līdz 200 mm/s ar soli 20 mm/s. Frekvence un jaudas intensitāte nemainās – $f=250$ KHz, $q=2.3 \cdot 10^6$ W/cm².

2. otrajam paraugam tika mainīta apstrādes jaudas intensitāte no $1.1 \cdot 10^6$ W/cm² līdz $2.4 \cdot 10^6$ W/cm² ar soli $0.14 \cdot 10^6$ W/cm². Frekvence un ātrums nemainās – $f=250$ KHz, $v=80$ mm/s.

3. trešajam paraugam tika mainīta apstrādes frekvence no 50 KHz līdz 500 KHz ar soli 50 KHz. Jauda un ātrums nemainās – $q=2.3 \cdot 10^6$ W/cm²; $v=80$ mm/s.

Jaudas intensitāte tiek aprēķināta, izmantojot formulu (1);

$$q = \frac{P}{S}; \quad (1)$$

kur, q – jaudas intensitāte [W/cm²];

P – jauda [W];

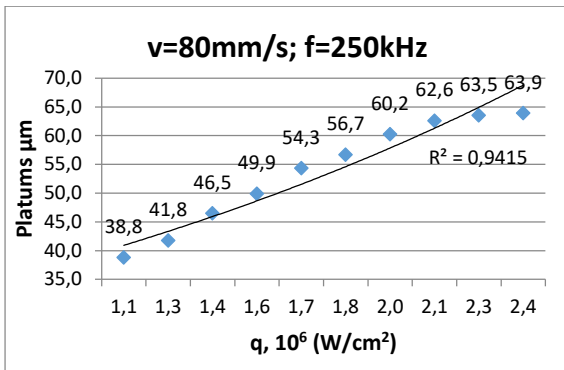
S – lāzera stara punkta laukums [cm²].

Eksperimenta rezultāti parāda sakarību starp lāzera stara parametriem (jauda, apstrādes ātrums, frekvence) un lāzera stara uz parauga izveidotās rievīgas ģeometriskajiem izmēriem.

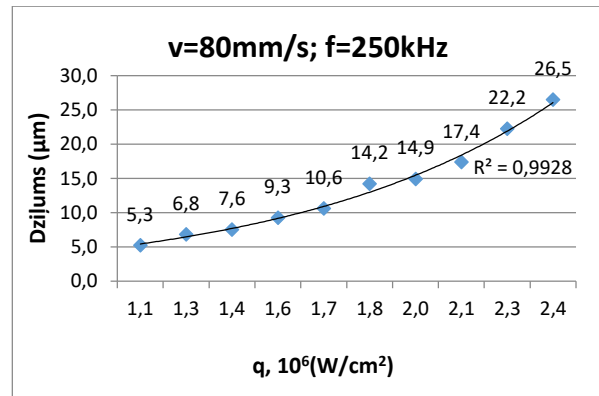
Pirmajā paraugā ar parametriem $v=80$ mm/s, $f=250$ kHz, $q=1.1 \div 2.4 \cdot 10^6$ W/cm², var redzēt, jo lielāka jauda, jo rievīna ir plātāka un dziļāka. (3.att., 4.att.)

Otrajā paraugā ar parametriem $v=80$ mm/s, $q=2.3 \cdot 10^6$ W/cm², $f=50 \div 500$ kHz, var redzēt, jo lielāka frekvence, jo rievīna ir plātāka un dziļāka. (5.att., 6.att.)

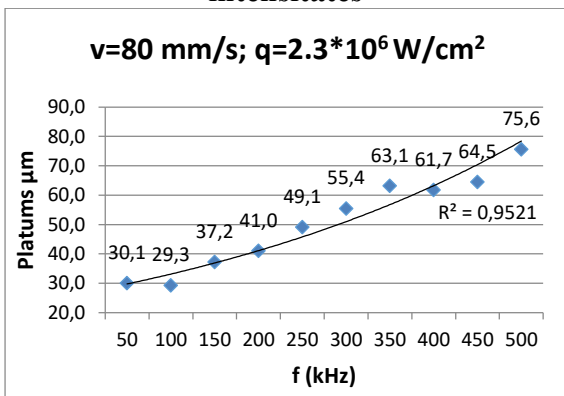
Trešajā paraugā ar parametriem $q=2.3 \cdot 10^6$ W/cm², $f=250$ kHz, $v=20 \div 200$ mm/s, var redzēt, jo lielāks ātrums, jo rievīgas dziļums kļūst mazāks un platums samazinās. (7.att., 8.att.)



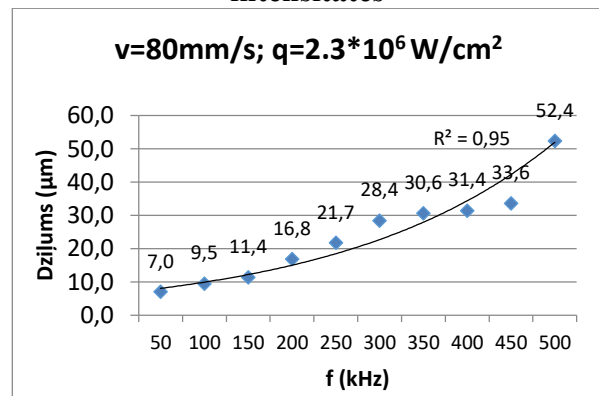
3.attēls Platuma atkarība no jaudas intensitātes



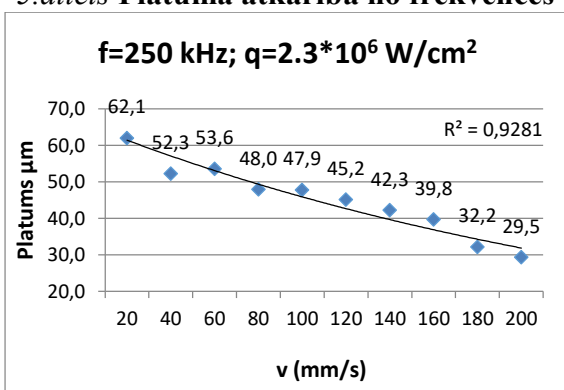
4.attēls Dziļuma atkarība no jaudas intensitātes



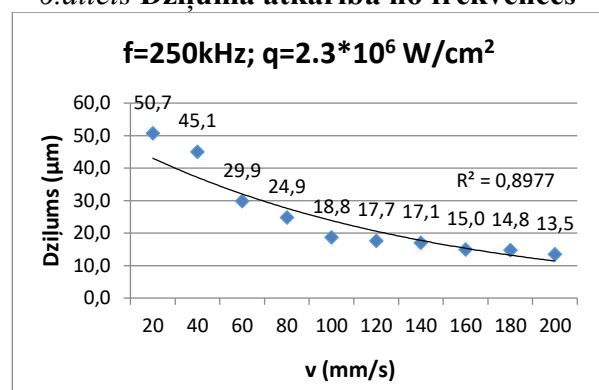
5.attēls Platuma atkarība no frekvences



6.attēls Dziļuma atkarība no frekvences



7.attēls Platuma atkarība no ātruma



8.attēls Dziļuma atkarība no ātruma

Katrā grafikā tika uzrādītas teorētiskas, eksponenciālas līknes. R² ir determinācijas koeficients, kas parāda, cik eksperimentālās vērtības ir tuvas teorētiskai līknei. Jo koeficients pēc moduļa ir tuvāks vieniniekam, jo labāki ir mērījumi.

Katrā grafikā ir punkti ar vienādiem parametriem: v=80mm/s, q=2.3*10⁶ W/cm², f=250 kHz. Šo eksperimentu ģeometriskie izmēri salīdzināšanai ir apskatāmi 3.tabulā.

3.tabula

Vienādu režīmu salīdzinājums uz dažādiem paraugiem

Paraugs	Platums	Dziļums
v=80mm/s, f=250kHz, P=40-85%	63.5 μm	22.2 μm
v=80mm/s, P=80%, f=50-500kHz	49.1 μm	21.7 μm
P=80%, f=250kHz, v=20-200mm/s	47.5 μm	24.9 μm

Tabulā var redzēt, ka uz trim paraugiem pie vienādiem parametriem, ģeometriskie izmēri ir aptuveni vienādi. Vienīgi platums ir nedaudz platākās robežās. Tas viss liecina, kā rezultāti ir patiesi, un likumsakarīgi.

Secinājumi

No iegūtiem rezultātiem var secināt, ka veikto mērījumu robežās ietekme uz materiālu eksponenciāli pieaug attiecībā pret pievadīto enerģiju noteiktā laika vienībā. Lāzera starojuma virzītas iedarbības dēļ likumsakarība ir izteiktākā attiecībā uz virsmas rievīņu dziļumu.

Visiem mērījumiem tika aprēķināta kvadrātiskā kļūda. Visas kļūdas ir robežās no 0.5 līdz 2 μm . Tas nozīmē, ka visi mērījumi ir pietiekoši precīzi.

Summary

Publication describes results of the stainless steel laser marking, which shows relationship between geometry of the treated surface and parameters of the laser radiation, such as power ($q=1.1 \div 2.4 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$), pulse frequency ($f=50 \div 500 \text{ kHz}$), and processing speed ($v=20 \div 200 \text{ mm/s}^2$). Marking was carried out using a PowerLine F20 Varia (laser pulse wavelength: 1050-1075 nm; power: 20 W; laser pulse energy: $\sim 0.95 \text{ mJ}$; repetition frequency: 2-1000 kHz; laser pulse duration: 4-200 ns, selectable).

Literatūra

1. Aluminum alloy nanosecond vs femtosecond laser marking. Rusu, S., Buzaianu, A., Galusca, D., Ionel, L., Ursescu, D., Source: Bulletin of Materials Science. Nov2013, Vol. 36 Issue 6, p1037-1042. 6p.
2. Dusser B., Sagan Z., Soder H., Faure N., Colombier JP., Jourlin M., Audouard E, Controlled nanostructures formation by ultra fast laser pulses for color marking. Source: Optics Express [Opt Express] 2010 Feb 1; Vol. 18 (3), pp. 2913-24.
3. Veiko V., Odintsova G., Ageev E., Karlagina Y., Loginov A., Skuratova A., Gorbunova E. Controlled oxide films formation by nanosecond laser pulses for color marking. Source: Optics Express [Opt Express] 2014 Oct 6; Vol. 22 (20), pp. 24342-7.
4. Amara, E.H., Haïd, F., Noukaz, A., Experimental investigations on fiber laser color marking of steels. Source: Applied Surface Science. Oct2015, Vol. 351, p1-12. 12p.
5. Damstahl macību materiāls, Ver.1.1/ CQJ 2008. gada 8. augusts, Tulkojums JTI 2009. gada 9. decembris.