

# NERŪSĒJOŠA TĒRAUDA KRĀSAS MAIŅA MARKĒŠANAS PROCESĀ ATKARĪBĀ NO LĀZERA PARAMETRU IZMAIŅĀM *STAINLESS STEEL COLOR CHANGE, DEPENDING ON THE LASER PARAMETERS IN LABELING PROCESS*

Autori: **Aleksejs Gribovskis**, e-pasts: [gribalex@inbox.lv](mailto:gribalex@inbox.lv), **Normunds Bernāns**, e-pasts: [nomka1993@inbox.lv](mailto:nomka1993@inbox.lv), **Oskars Počekajevs**, e-pasts: [o.pocekajevs@inbox.lv](mailto:o.pocekajevs@inbox.lv)  
Zinātniskā darba vadītājs: **Pāvels Narica, Dr.phys., doc.**, e-pasts: [Pavels.Narica@rta.lv](mailto:Pavels.Narica@rta.lv)  
Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmija, Atbrīvošanas aleja 115, Rēzekne, LV-4601

**Abstract.** *This research describes color marking on stainless steel using various laser parameters. As a process, laser marking has been known for a long time, however, usage of this technology is rarely found for industrial needs. New fiber laser allows user to change the laser parameters in order to change color scheme, quality and visual appearance on the engraved surface.*

**Keywords:** *Laser engraving, color, thin-film effect, optimal solution.*

## Ievads

Dotā darba mērķis: izpētīt, lāzera apstrādes laikā, uz metāla virsmām izveidojušos krāsu jeb oksīda slāni atkarībā no lāzera parametriem, atrast lāzera parametrus pie kuriem marķēta krāsa nemainīsies izmainot apskates leņķi.

Dotā darba problēma: Mainot marķējuma krāsas apskātāmo leņķi, mainās apskātāma krāsa vai tās tonis.

Pētījuma laikā apskatīti dažādi literatūras avoti, lai gūtu priekšstatu par dotās tēmas aktualitāti un problēmas atrisināšanas metodēm, kā arī lai uzzinātu citu publikāciju autoru sasniegumus šajā nozarē.

## Pētījumā objekti un metodes

Pētījuma objekts ir nerūsējošā tērauda deviņas plates ar izmēriem 100x100x2mm, un to ķīmiskas un fizikālās īpašības ir identiskas, jo tika sagrieztas no vienas nerūsējoša tērauda AISI 304L markas lielas plāksnēs.

Kopā izgatavoti deviņi paraugi ar vienādiem izmēriem. Tika mainīti lāzera parametri: jauda, apstrādes ātrums, kā arī attālums starp marķētam līnijām. Nemainīgi palika sekojošie parametri: frekvence, lāzera stara fokuss uz materiāla virsmas.

Eksperimenti tika veikti izmantojot 6 kW firmas IPG lāzera iekārtu YLS 600/6000. Izmantojamai lāzerekārtai ir gaisa dzesēšanas sistēma, ar gaisa kondicioniera palīdzību un tas atrodas noslēgtā skapī. Firma piedāvā dažādās lāzera komplektācijas, modeļus ar dažādām jaudām, kā arī iespēju sadalīt lāzerstaru līdz pat sešiem darbapaldiem no viena lāzera stara avota. Šīs sistēmas ir paredzētas, lai darbotos rūpnieciskās ražošanas vidēs. Šāda tipa lāzери, pateicoties tehniskajiem parametriem ir ieguvuši plašu pielietojumu un ir pieprasīti automobiļu, aviācijas, naftas, gāzes un citās nozarēs, pie tam daudzi no tiem veic darbu vairākās maiņās.

Izmantojama IPG firmas lāzera YLS 600/6000 tehniskie parametri apskatāmi 1 tabulā.

*1.tabula*

### Lāzera tehniskie parametri

Lāzera veids	Yb Šķiedru lāzers
Izstarotāja maksimāla jauda (kW)	6 kW
Izstarotāja dzesēšanas veids	Gaisa
Apstrādes laukums (mm)	800*604*605mm
Interfeiss	LasPaint
Ekspluatācijas režīmi	CW un QCW

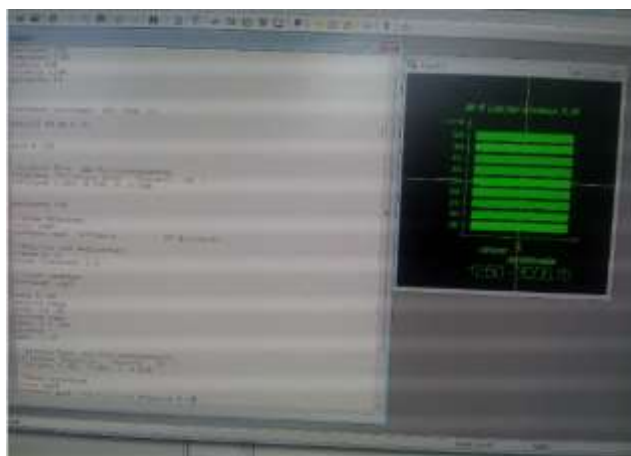
Paraugu marķēšanai tika izvēlēti trīs lāzera jaudas lielumi, trīs dažādas atstarpes starp līnijām, marķēšanas ātrumi uz kuru pamata arī tika veiktas paraugu apstrādes, skatīt 2. tabulu.

Lāzeriekārtas vadības programmatūrā Laspaint tika uzrakstīta programma ar izvēlētajiem lāzera parametriem, skatīt 1.attēlu.

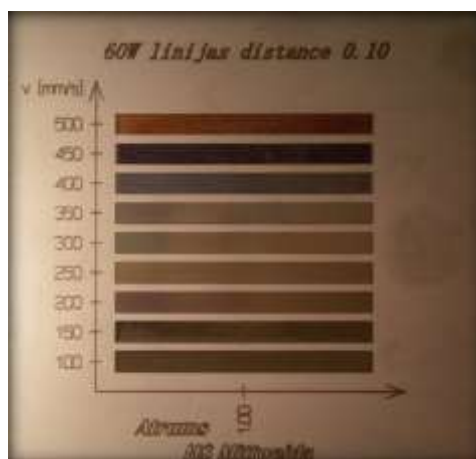
2.tabula

**Izmantotie lāzera parametri**

Parametrs	Vērtība/ Lāzera jauda		
	60w	88w	100w
Līniju distance [mm]	0,1mm; 0,15mm; 0,2mm		
Marķēšanas ātrums v[mm/s]	100-500 mm/s		
Kopējais apstrādes lauks vienai krāsai (mm)	5x50		



1.attēls Programmas paraugs



2.attēls Iegūtais paraugs ar jaudu 60W


















































































Lāzera apstrādes laikā uz metāla virsmām veidojas oksīda slānis. Šī slāņa biezums nosaka, kā baltā gaisma atspoguļosies uz parauga, kas cilvēka acij atstarojas dažādās krāsās, kas apskatāmas 2. attēlā. Atšķirībā ar citām marķēšanas metodēm, lāzera marķēšanā neizmanto ķīmikālijas vai papildus instrumentus. [3]

Pētījuma uzdevums bija izveidot oksīda slāņus uz virsmas, kas parādītu kvalitatīvu krāsu marķējumu. Marķēšanas kvalitāte tiek vērtēta vizuāli. Lāzera parametru ietekme uz krāsu tiek analizētas pamatojoties uz iegūtajiem rezultātiem. [1][2][3]

Izvēlēto parametru krāsu apkopojums apskatāms 3. tabulā.

3.tabula

**Iegūto krāsu apkopojums**

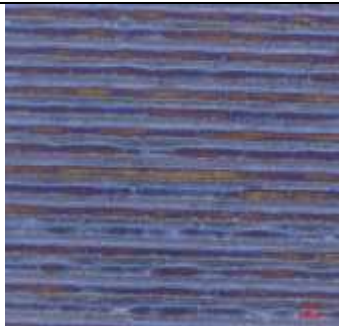
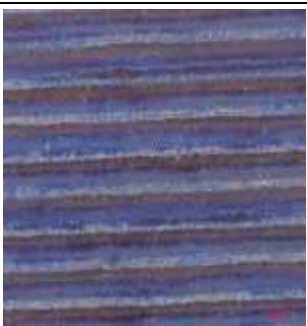

Nr.	Ātrums v[mm/s]	Jauda								
		60W			88W			100W		
		Attālums starp marķētam līnijām[mm]								
		0,1	0,15	0,20	0,1	0,15	0,2	0,1	0,15	0,2
1	500									
2	450									
3	400									
4	350									
5	300									
6	250									
7	200									
8	150									
9	100									

Ievadot visus iegūtos eksperimenta rezultātus tabulā, jāsecina, ka palielinoties lāzera jaudai, krāsu spektrs samazinās. Visas iegūtās krāsas 100w sagatavēs bijušas ar pelēcīgu, melnu krāsas toni, kas ļoti stipri neatšķiras viena no otras. Reālajā dzīvē 88w un 100w sagatavēm krāsas izskatu noteica leņķis, no kura skatās uz apstrādāto virsmu. Respektīvi: zemākā apgaismojumā krāsas manāmi atšķiras. 60w sagatavēm pie ātrākiem marķēšanas ātrumiem var novērot sarkanus, zilus un brūnus krāsas toņus. Apskates leņķis krāsu maiņu neietekmē un tas arī ir vēlamais rezultāts.

Lai maksimāli iekonomētu laiku ir jāpalielina marķēšanas ātrums, attālumu starp marķēšanas līnijām un lai nezaudētu kvalitāti, ar mikroskopa palīdzību jāsalīdzina vizuāli vienādas krāsas dažādos paraugos, lai izvēlētos labāku. Zilās krāsas paraugu salīdzinājums apskatāms 4. tabulā.

4.tabula

**Zilās krāsas salīdzinājums**




Jauda – 60w	Jauda – 88w	Jauda – 100w
Attālums starp līnijām – 0,15mm	Attālums starp līnijām – 0,15mm	Attālums starp līnijām – 0,15mm
Marķēšanas ātrums – 450mm/s	Marķēšanas ātrums – 450mm/s	Marķēšanas ātrums – 450mm/s
		

Salīdzinot sagataves zem mikroskopa, jāsecina, ka samazinot jaudu zilās krāsas marķējums var nebūt tik dziļi iegravēts kā būtu vēlamas, taču izmantojot pārāk lielu lāzera jaudu, darba virsmā tiek izdarīti pārāk dziļi gravējumi, kas noved pie tumšākas krāsas toņa. Jo mazāka jauda, jo viendabīgāks ir marķējums. Atstatums starp līnijām arī atšķiras no programmā iestatītā.

Brūnās krāsas marķējumiem ar vienādu jaudu un marķēšanas ātrumu, mainot tikai attālumu starp līnijām ir redzams kā jo mazāks ir attālums starp līnijām, jo viendabīgāka ir krāsa, taču jāizvēlas tāds attālums, lai lāzera stara veidotas marķējuma līnijas nepārklātos. Brūnas krāsas ietekmi no attāluma starp marķējamām līnijām apskatāms 5.tabulā

5.tabula

**Brūnas krāsas salīdzinājums**

Jauda – 60w	Jauda – 60w	Jauda – 60w
Attālums starp līnijām – 0,1mm	Attālums starp līnijām– 0,15	Attālums starp līnijām– 0,2
Marķēšanas ātrums– 500mm/s	Marķēšanas ātrums– 500mm/s	Marķēšanas ātrums – 500mm/s
		

**Rezultāti un izvērtējums**

Visi iegūtie paraugi tika apskatīti, salīdzināti zem mikroskopa detalizētākai salīdzināšanai, taču gala rezultāta izvērtēšanai speciālas ierīces netiks izmantotas, paļaujoties tikai uz dažādu cilvēku krāsu uztveri, ņemot vērā vairākuma viedokli.

Apstrādes rezultāti liecina, ka galvenie ierobežojošie faktori, kas ļauj iegūt augstas kvalitātes marķējumu, ir enerģijas pulss un impulsa maksimālā jauda. Tomēr būtu jāatzīmē, ka pareizo apstrādes parametru atrašanai, lai izveidotu noteiktu krāsu, ir jāpatērē daudz laika un krāsu maiņa nav lineāra. Bet tad, kad parametru kombinācija ir atrasta, marķējumu var veikt bez piepūles un papildus laika patēriņa.

Lai izmantotu krāsaino marķēšanu rūpniecībā, marķēšanas procesiem jābūt ātrākiem. Tas var būt paveikts, izmantojot pareizo lāzera jaudu, attālumu starp marķējamām līnijām, vai izvēlētajam marķēta attēla aizpildījuma veidam un marķēšanas ātrumu. Marķēšanu veicot paaugstināta skābekļa klātbūtnē iespējams paaugstināt oksīda plēves augšanas ātrumu.

Nerūsējošajam tēraudam krāsainu marķējumu gadījumā jāizmanto lāzera jauda līdz 90w, jo lielākas jaudas gadījumā ir jāpaaugstina apstrādes ātrums, taču vairums lāzera strara pārvietošanās sistēmas nespēj attīstīt tik lielu ātrumu. Pie pārlietu lielas jaudas un maziem ātrumiem metāls tiek gravēts nevis marķēts, kā rezultātā metāla virsma paliek tumša un gaišas krāsas iegūt nav iespējams.

Krāsaina lazermarķēšana ir daudzsološa metode, kas ir plaši pazīstama jau vairākus gadus. Krāsainā zona faktiski ir atstarojošā metāla virsma, kas ir pārklāta ar plānu oksīda plēvi. Krāsa ir definēta ar oksīda biezuma slāni. [5]

Lāzera krāsu marķēšanas process ir pievilcīga alternatīva drukāšanai, anodēšanai, emulsijas pārklājumu vai uzlīmju izmantošanai. Lāzera marķēšanā netiek izmantotas ķīmikālijas vai papildus instrumenti un tai ir ļoti laba precizitāte.

Marķēšanas process joprojām ir ierobežots, jo trūkst informācijas par koroziju, nodilumu un skrāpējumu ietekmi uz apstrādājamo virsmu.

Var secināt, ka lāzera krāsu marķēšanai ir liels potenciāls kļūt par plaši lietotu paņēmieni produkta marķēšanā un apdarē. Tomēr, pirms šis paņēmieni var būt izmantots liela apjoma patēriņa precēm, jāveic vairākus pētniecības un aplikāciju testus, lai izveidotu pietiekami atbilstošu un aizsargātu virsmu. Ir arī svarīgi, šādu pētījumu veicot, radīt vairāk informācijas par to, kā izvēlētie apstrādes parametri attiecas uz krāsu konkrētā lāzera sistēmā.

### Secinājumi

Veicot pētījumu tika secināts kā ir jāizvēlas pēc iespējas mazāka lāzera jauda un mazāks marķēšanas līniju atstatums, lai iegūtu kvalitatīvu marķējumu, kas mainot apskates leņķi nemainītu krāsu vai krāsas toni.

Neskatoties uz iespēju mainīt apstrādes parametrus plašā diapazonā, daži lāzери ir vairāk piemēroti krāsas marķēšanai, nekā citi.

Impulsa platums, šķiet, ir svarīgākais parametrs, nosakot marķējumu kvalitāti un kontrastu. Tāpēc lāzериem, kas ļauj noregulēt impulsa platumu neatkarīgi no frekvences, ir priekšrocības marķēšanā.

Lai radītu vienotu augstas kvalitātes zīmējumu, jābūt pietiekami labai lāzera stara kvalitātei un stabilitātei. Jaunie šķiedras lāzери ir labi piemēroti šai metodei. Krāsu marķēšana ar lāzериem ir vienkārša un padara virsmu vizuāli pievilcīgāku. Piemērotas krāsas var izvēlēties izdarot pareizu parametru kontroli. [4]

Daudzu pazīstamu uzņēmumu logo ir atpazīstami tikai pareizā krāsu toņa dēļ, piemēram, Microsoft Windows, McDonald, DHL, Google, IBM. Tieši tāpēc krāsainajā marķēšanā arī turpmāk jāveic inovatīvus pētījumus par to, kā tērauda marķēšanu padarīt vieglāk lietojamu.

### Acknowledgements

Thank to Laser Institute of the University of applied sciences of Mittweida, Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Horst Exner, [Dipl.-Ing. Manfred Glätzner](#), [Dipl.-Ing. \(FH\) Lars Hartwig](#) and other Laser Institute personnel, [Rezeknes Academy of Technology](#), Mg.sc.oec, dipl.ing. Pāvels Narica and Prof. Lyubomir Lazov.

### Literatūra

1. A.M. Carey et al., Laser Surface Ornamentation, Proceedings of International Congress on Application of Lasers & Electro-optics, ICALEO 1998.
2. Z Hongyu, Laser-induced colours on metal surfaces. SIMTech Technical Report PT/01/005/AM, 2001.
3. R. Rusconi, J. Gold, Color marking. Industrial Laser Solutions, p. 16-18, Dec 2005.
4. L. Ming et al., Colour marking of metals with fiber lasers. Proceedings of the 3rd Pacific International Conference on Application of Lasers and Optics 2008.
5. D. Bäuerle, Laser Processing and Chemistry, 3rd edition, Springer, Berlin- Heidelberg 2000.