

**DIOŽU ITERBIJA (YB) ŠĶIEDRAS LĀZERMARKĒŠANAS PROCESA
PARAMETRU IETEKME UZ POLIVINILHLORĪDA (PVC)
MATERIĀLU LĀZERMARKĒJUMA KVALITĀTI**
*DIODE PUMPED YTTERBIUM FIBER LASER MARKING PROCESS
PARAMETER IMPACT ON MARK QUALITY OF POLIVINYLCHLORIDE (PVC)
MATERIAL*

Autori: **Andris Igavens, Jānis Riekstiņš, Artūrs Sivenkovs**, e-pasti:
andris@promold.lv, janis.riekstins@gmail.com, artur41k@inbox.lv

Zinātniskā darba vadītāji: **Lubomirs Lazovs, Dr.-Ing., prof.**, e-pasts: Lyubomir.Lazov@rta.lv,

Pāvels Narica, Dr.phys., doc., e-pasts: Pavels.Narica@rta.lv

Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmija, Atbrīvošanas aleja 115, Rēzekne, Latvija

Abstract: *Laser technology is undergoing unbelievably rapid expansion. A laser is a device that emits light through a process of optical amplification based on the stimulated emission of electromagnetic radiation. Nowadays laser cuts many different materials, including wide range of plastics and plastic material products. PVC plastic materials, is relatively light, cheap and durable material. Plastics it's self is also recyclable and recoverable materials. Polyvinylchloride plastics is widely used in manufacturing of wide range of plastic details, pipes, toys, credit cards, window frames, interior and exterior facades and decorations. Laser marking of PVC plastics can be used to provide application of various symbols, such as part numbers, barcodes, instructions and graphic picture on the surface of PVC plastic objects. To reach the necessary quality of marked symbols and smooth surface of PVC detail, is necessary to choose the appropriate power and speed of laser marking process. The aim of this work is to relate the mark quality parameters and the operating process parameters. The research was conducted in the period of time from March 2016 till April 2016, in the Rēzekne Academy of Technology, Laser Technology center.*

Keywords: *Fiber, Laser marking, Power, PVC, Speed, Ytterbium*

Ievads

Lāzers tika atklāts 20 gadsimta sešdesmitajos gados, drīz pēc tā atklāšanas tas rada pielietojumu daudzās industriālajās nozarēs, īpaši materiālu apstrādē, piemēram griešanā un metināšanā, kā arī medicīnas nozarēs.

Lāzers ir elektroniski optiska ierīce, kura izstaro koherentu starojumu. Termins "Lāzers" ir akronīms no angļu valodas, (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) ko latviešu valodā var tulkot kā "gaismas pastiprināšana, izmantojot inducēto starojumu". Tipisks lāzera starojums ir gaismas kūlis ar mazu izkliedi un ar monohromatisku viļņa garumu. [2]

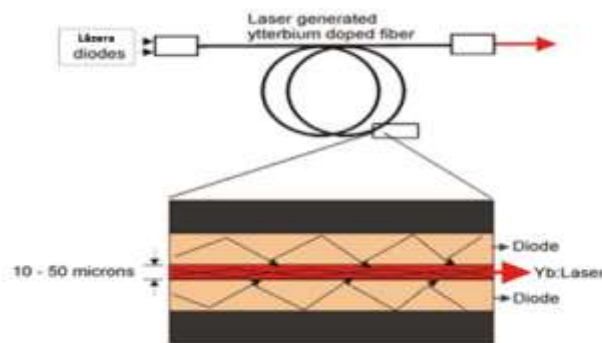
Pateicoties lāzera stara lielā jaudas blīvuma un precizitātes īpašībām, to var pielietot visdažādāko materiālu - koka, metāla, ādas, plastmasas, keramikas un kompozītmateriālu apstrādē, veicot griešanas, metināšanas, gravēšanas un marķēšanas procesus. Augstā precizitāte un lielā lāzerapstrādes procesu automatizācijas spēja, ir viena no galvenajām, lāzertehnoloģiju priekšrocībām.

Līdz ar plastmasu attīstību, no to izgatavoto materiālu un detaļu klāsts pieaug, daudzās nozarēs, ar plastmasas materiāliem tiek aizstāts, koks, stikls, metāls un citi materiāli. Plastmasa ir lētāka, vieglāka, kā arī tai piemīt daudzas citas īpašības, kā izturība, elastība, elektroizolācija, tā ir arī noturīgāka pret mitruma un citu apkārtējās vides iedarbību. Pieaugot plastmasas pielietojumam, rodas nepieciešamība pēc to apstrādes, un šeit lieti noder izmantot lāzeriekārtas. Tā kā vairumam plastmasu, salīdzinājumā ar izplatītākajiem metāla materiāliem, ir daudz zemāka kušanas temperatūra, plastmasu lāzerapstrāde ir ekonomiski izdevīga, jo nav nepieciešami lāzeri, kas ģenerē staru ar lielu jaudu, ir lielu gabarīta izmēru un patērē daudz elektroenerģijas.

Viena no jaunākajiem lāzera stara ģenerēšanas metodēm, lāzeros ir izmantojot diožu ierosmes lampas. Šādus lāzerus sauc par diožu lāzeriem. To ekspluatācija ir salīdzinoši lētāka, tiem ir neliela jauda (aptuveni līdz 100W), ar kuru pilnīgi pietiek plastmasu apstrādei. [6] Dotajā pētījumā, tiek izmantots diožu it Rofin Power Line f 20 Iterbja (Yb) šķiedras lāzers (*diode-pumped fiber Yb*), ar kuru tiek veikta polivinilhlorīda (PVC) plastmasas paraugu lāzermarkēšana, un iegūto rezultātu analizēšana. PVC plastmasa, ir izvēlēta, jo tā tiek plaši izmantota tautsaimniecībā, dažādu detaļu, produktu, konstrukciju un iekārtu korpusu izgatavošanā, piemēram PVC logi, durvis, trauki, dadži lūku vāki, elektroinstalācijas piederumi, ID, banku un čipu kartes, iekārtu korpusa detaļas. Uz kurām ir nepieciešams izvietot dažādu informāciju, nosaukumus, logotipus, sērijas numurus utml. Veicot šīs informācijas uznešanu ar lāzera palīdzību, ir iespējams, nodrošināt augstu tās vizuālo kvalitāti un ilgstošu noturību, kas nepiemīt līmētājai, vai krāsotājai informācijai.

Šī pētījuma mērķis, ir izpētīt diožu lāzera iedarbību un tās sekas un PVC materiāliem. Atrast optimālos lāzermarkēšanas procesa parametrus diožu lāzeriem, kvalitatīva markējuma iegūšanai uz PVC materiāliem.

Diožu iterbija (Yb) šķiedras lāzers un lāzermarkēšana



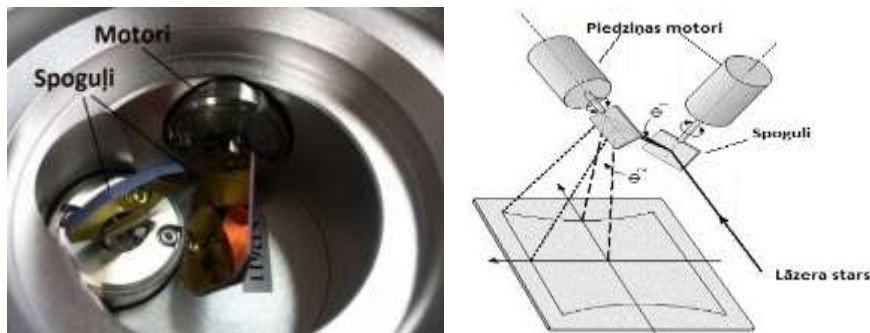
1.attēls Diožu iterbija šķiedras lāzera ģeneratora principiālā shēma [8]

Lāzera galvenās sastāvdaļas ir aktīvā viela, enerģijas avots un pastiprinātājs — tā sauktais optiskais rezonators. Patērējot enerģiju no enerģijas avota, tiek ierosināti aktīvās vielas atomi (molekulas kristālrežģis), kas ģenerē inducētā starojuma kvantus. Rezonators pastiprina inducētā starojuma kvantu plūsmu un veido lāzera staru. Vienkāršākajā gadījumā optiskais rezonators sastāv no diviem plakani paralēliem spoguļiem. Starp tiem, izplatās inducētā starojuma kvanti, kas daudzkārt šķērso aktīvo vielu. Atkārtoti ejot caur aktīvo vielu, inducētie kvanti izraisa aizvien jaunu inducēto kvantu rašanos, un kvantu plūsma lavīnveidīgi pieaug. Ja viens no spoguļiem ir gaismu pus-caurlaidīgs, tad daļa plūsmas nokļūst ārpusē un caur spoguļi tiek izstarots lāzera stars. [6]

Iterbijs (Yb) ir ķīmiskais elements, kas pieder pie retzemju grupas metāliem. Lāzera tehnoloģiju, tas ir ieguvusi nozīmīgu lomu, trīsvērtīgā jona formā Yb^{3+} , kas tiek izmantots kā lāzera aktīvās vielas stimulators ar dažādiem ierosmes materiāliem, tostarp gan kristāliem, gan stiklam. To bieži izmanto, viļņu garuma noskaņošanai cietvielu lāzeros. Iterbijs lāzeros, nodrošina ļoti augstu efektivitāti un stara kvalitāti. Izejas jauda, spēj sasniegt vairāk nekā 1 kW. Šādas izejas jaudas, ir sasniedzamas ar iterbija leģētu dubultā klātu šķiedru lāzeri un pastiprinātāju. Iterbija lāzeri, sniedz augstu lāzera staru kvalitāti, vai pat lielākas jaudas, kurās nav difrakcija, neierobežotā staru kvalitāti. [9]

Diožu iterbija šķiedras lāzers, sastāv no gaismas diodēm, kas izstaro gaismu, uz ar iterbija joniem piesātinātu optiskās šķiedras vadu. No gaismas diodēm tiek izstarota gaisma, un gaismas fotoni, plūst pa optiskās stikla šķiedras vadu, kas ir piesātināts ar iterbija atomiem. No diodēm

plūstošie fotoni ierosina optiskajā vadā esošos atomus, un tie sāk izstarot gaismas kvantus, vajadzīgajā frekvencē. Optiskās šķiedras tinums, stabilizē šķiedrā plūstošos gaismas kvantus, veidojot virzītu, precīzu un ļoti augstas kvalitātes gaismas staru (Skat 2.att).



2.attēls Skenējošā galva- atvērta un principiālā skice [9]

Ģenerētais lāzera stars, plūst caur virkni lēcu un spoguļu, kas to savāc, nofokusē un nobīda vajadzīgajā virzienā. Rofin Power Line f 20 lāzerī, stars nokļūst lāzera skenējošajā galvā, kurā ir divi kustīgi spoguļi, kuru kustīgumu elektromotoru piedziņa, kas tiek vadīta ar lāzerekārtas datoru, atbilstoši programmai un iekārtas lietotāja iestatītajiem parametriem, novirzot lāzera staru uz apstrādājamo virsmu, ar nepieciešamo jaudu un virzot to pa apstrādājamo virsmu, ar vajadzīgo ātrumu.

Tā kā diožu lāzeri neģenerē lielas jaudas lāzera staru – aptuveni līdz 100W, to ekspluatācija organisko vielu apstrādē, ir lietderīga, jo netiek patērēta liela elektriskā strāva, salīdzinot ar CO₂ vai Nd: YAG lāzeriem.

Lāzermarķēšana ir tehnoloģija, kas praksē izpaužas kā dažādu materiālu un objektu apzīmēšana (marķēšana) izmantojot lāzeru iekārtas. Lāzera marķēšana, ir plaša kategorija metožu, kā atstāt zīmes uz objekta, kas ietver termisku iedarbošanos uz materiālu, kas izraisa, krāsu maiņu, sakarā ar ķīmiskām, molekulām izmaiņām materiālā, pārogļošanas, putošanas, kušanu, ablāciju, un daudz ko citu.[3] Galvenās priekšrocības lāzera marķēšanas procesiem ir bezkontakta darbība, augsta atkārtojamība, liels skenēšanas ātrums, apstrādāja platība ir pielīdzināma ar lāzera izmēriem, augsta elastība un automatizācija. Turklāt izmantot īsāku viļņa garumu, ko labāk absorbē materiāls, tas ļauj apstrādāt materiālus ar maziem izmēriem. Tā kā, izmantojot īsākus impulsus, samazinās siltuma skartās zonas, tas paver jaunus ceļus nanometriskai precizitātei. [4]

Pētījuma objekts

Pētījuma objekts ir marķējuma kvalitāte uz PVC plastmasas materiāla, kas ir iegūta ar diožu lāzeri. Lai sasniegtu labu marķēto simbolu kvalitāti un noturību uz PVC plastmasu virsmas, vienlaikus saglabājot materiāla formu un virsmas gludumu, ir nepieciešams atrast piemērotu lāzermarķēšanas procesa jaudu un ātrumu.

Produktu lāzermarķēšanā, ir svarīgi atrast optimālos parametrus, lai tiktu saglabāts augsts veikspējas ātrums un marķēto simbolu kvalitāte. Vienlaikus saglabājot materiāla formu, fizikālās un ķīmiskās īpašības. Pārāk liels marķēšanas ātrums, var izveidot zemas kvalitātes marķējumu, kas ir slikti redzamas vai ātri izzudīs. Tas pats var notikt, arī, ja tiek izmantota pārāk maza jauda. Pie lielas jaudas un maza ātruma, materiāls var tikt sabojāts, tajā var izkust caurumi. Virsma nebūs gluda, vai pat priekšmets zaudēs savu formu un izturību. [5]

Materiāli un metodes

Pētījumā, tika izmantota, balta 2 mm bieza (200 x 300 (mm)) polivinilhlorīda (PVC plastmasas) loksne. Tīra polivinilhlorīda materiāla krāsa ir balta, šo materiālu, kausējot un

pievienojot krāsvielas var iegūt dažādu krāsu PVC materiālus, tomēr, gan sadzīvē gan rūpniecībā, visizplatītākie ir baltas krāsas PVC materiāli.

Polivinilhlorīds ($C_2H_3Cl)_n$ - saīsinājumā PVC, ir trešais visizplatītākais un vairāk ražotais sintētiskais plastmasas polimērs, pēc polietilēna ($C_2H_4)_n$ un polipropilēna ($C_2H_6)_n$. [1] Polivinilhlorīds ir termoplastisks plastmasas materiāls ar amorfu struktūru. Šis materiāls ir ļoti ciets un tam ir augsts elastības modulis. Polivinilhlorīds ir ķīmiski izturīgs un tam ir izcila ugunsizturība (tas ir pašnodziestošs). Arī elektriskās īpašības PVC materiālam ir izcilas, sevišķi pie zemām frekvencēm un spriegumiem. Tā izmantošanas temperatūra ir $-10^{\circ}C$ līdz $+60^{\circ}C$. Līdz $+60^{\circ}C$ temperatūrai PVC materiāls ir izturīgs pret lielāko daļu atšķaidīto un koncentrēto skābju. Polivinilhlorīdi ir labi elektriskie izolatori, tiem ir maza ūdens uzsūkt spēja, turklāt tos ir iespējams savstarpēji sametināt un salīmēt. [11]

Lāzermarķēšanas pētījumā, marķēšanai uz PVC materiāla, tika izmantots diožu ierosmes iterbija šķiedras lāzers (*diode-pumped fiber Yb*) Rofin Power Line f 20 Varia, ar maksimālo jaudu 20 (W), frekvenci 200 (kHz) un viļņa garumu 1200 (nm). Šī lāzera iekārta kā to paredz tās izgatavotājs, ir piemērota plastmasas materiālu apstrādei, kā arī tā nodrošina marķēšanas parametru maiņu, ko var veikt šis iekārtas operators. [12] Lāzera galvenās sastāvdaļas, ir vadības dators un elektriskais skapis, rezonators un skenējošās galva. Vadības dators kalpo kā lietotāja-iekārtas interfeiss. Izmantojot datoru tiek izveidots marķējuma 2D modelis – simboli, logo utml. Pēc tam, šim modelim, vai atsevišķiem tā segmentiem tiek piešķirts noteikta jauda un ātrums, ar kādu tie tiks uzmarķēti uz materiāla. Skenējoša galva, nodrošina lāzera stara virzīšanu pa marķējamā materiāla virsmu, nepieciešamajā ātrumā un trajektorijā. Datorvadāmā lāzeriekārta, ar skenējošo galvu, nodrošina jebkuras sarežģītības simbolu lāzermarķēšanu, ar augstu precizitāti, kā arī iespēju operatoram iestatīt vajadzīgo darbības režīmu, ātrumu un lāzera jaudu.

Pētījuma lāzermarķēšanas eksperimenti uz PVC materiāla, tika veikti Rēzeknes Tehnoloģiju Akadēmijas, Inženieru fakultātes, Lāzertehnoloģiju centrā esošo diožu ierosmes iterbija šķiedras lāzeri (*diode-pumped fiber Yb*) Rofin Power Line f 20. To laikā, tika mainīts lāzermarķēšanas ātrums un jauda. Vispirms lāzeriekārtas programmā, tika izveidota parametru matrica, kas paredz 5 x 5 mm laukumiņu marķēšanu, minot marķēšanas ātrumu un jaudu, pie konstantas frekvences 200kHz.

Veicot plastmasu marķēšanu ar doto iekārtu, ir jāievēro visas drošības prasības un instrukcijas, darbā ar 4 klases lāzera iekārtu. Papildus ir jāņem vērā, ka apstrādājot organiskās vielas, lāzera iedarbes procesā, var notikt to un atsevišķu to daļu kušana, degšana un iztvaikošana. Marķēšanas procesā no plastmasām izgarojošie dūmi un tvaiki, var būt kaitīgi iekārtas operatora un apkārtējās vides veselībai. Tāpēc eksperimenta, laikā tika nodrošināta izgarojumu un dūmu atsūkšana no marķēšanas virsmas, tos izlaižot caur atbilstošiem filtriem, lai nepieļautu iespējamu kaitīgu daļiņu nokļūšanu apkārtējā vidē.

Rezultāti un to izvērtējums

Eksperimentos, tika veikta balta PVC materiāla lāzermarķēšana, mainot marķēšanas jaudu un ātrumu. Mainot jaudu mainās lāzera stara intensitāte un uz marķējamo virsmu iedarbojošās enerģija. Mainot ātrumu, mainās laiks, ar kādu lāzera stars un tā enerģija iedarbojas uz marķējamo virsmu. Eksperimenta laikā iegūtos rezultātus var apskatīt 3. attēlā.

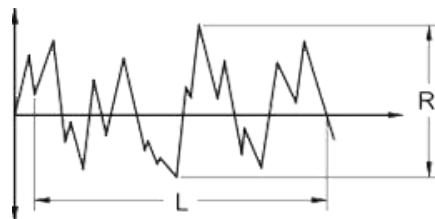


3.attēls Lāzermarkēšanas eksperimenta rezultāti uz PVC materiāla paraugiem

Veicot eksperimentu tika apstrādāti 5x5(mm) PVC plastmasas materiāla virsmas laukumi, veidojot eksperimenta rezultātu matricu (Skat, 3att.) Katrai 5x5 (mm) laukuma vienība ir apstrādāta ar citu jaudu, intervālā no 2 – 20 (W) un ātrumu, intervālā no 200 – 2000 (mm/s), ar nemainīgu impulsu frekvenci, 200(kHz).

Polivinilhlorīda plastmasa ir organiskās ķīmijas materiāls, kur oglekļa (C) atomi kopā ar ūdeņraža (H) un hlorā (Cl) atomiem veido ķīmiskās saites, veidojot molekulas un vielu. Lāzera staram, iedarbojoties uz polivinilhlorīda materiāla virsmu, tā tiek sildīta, kas izraisa atomu elektronu kustības paātrinājumu un molekulu svārstību palielināšanos, lāzera stara iedarbes punktā. Šāda iedarbība, atkarībā no pievadītās jaudas lieluma un iedarbības laika, noved pie vielas kuršanas, ķīmisko saišu saraušanās, pārorganošanās un materiāla iztvaikošanas procesiem.

Lai noteiktu un novērtētu lāzera stara iedarbības rezultātu uz materiālu, ir nepieciešams saskatīt un novērtēt rezultāta īpašības un apjomu. Ar lāzera staru iedarbojoties uz materiāla virsmu, kas sākotnēji ir gluda, sildīšanas rezultātā, ko rada lāzera stars, tā iedarbes punktā notiek kušanas procesi, kas pārveido virsmas reljefu. Virma no gludas, pēc lāzera stara iedarbes kļūst par raupju t.i. tajā rodas dažāda izmēra un formas, izciļņi un bedres. Raupjuma principiālā struktūra ir parādīta 4. attēla.



4.attēls Raupjuma principiālā struktūra

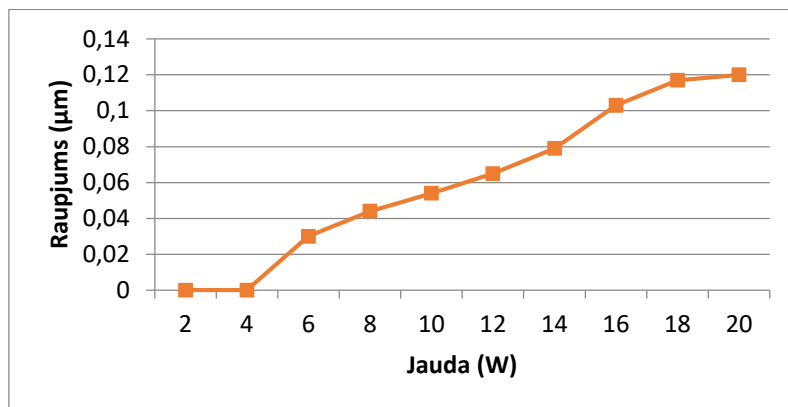
Reālais raupjums, lāzera stara iedarbības 5x5(mm) laukumā, tika mērīts ar virsmas raupjuma mērītāju MarSurf PS1(Skat. 5.attēlu).



5.attēls Ar lāzera apstrādātās virsmas raupjuma mērīšana ar virsmas struktūras mērīšanas ierīci MarSurf PS1

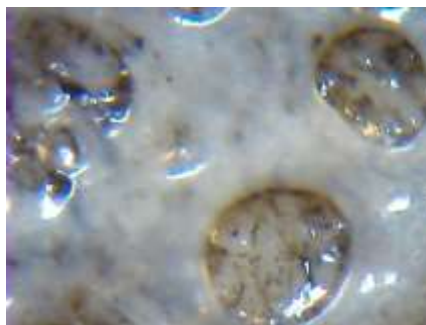
Raupjums tika izmērīts katram parauga matricas 5x5 (mm) laukumam. Iegūstot apstrādātās virsmas laukuma vidējo raupjuma vērtību. Raupjuma vērtība mainās atkarībā no

jaudas ar kādu lāzera stars iedarbojas uz virsmu un laika, cik ilgi lāzera stars iedarbojas uz virsmu. Iegūtie ar lāzeru apstrādātās virsmas raupjuma rezultāti atkarībā no jaudas izmaiņas, pie konstanta ātruma – 1600 (mm/s) un frekvences 200(kHz), ir parādīti grafikā (Skat 6. attēlu)



6.attēls Apstrādātās virsmas raupjuma izmaiņa atkarībā no lāzera jaudas

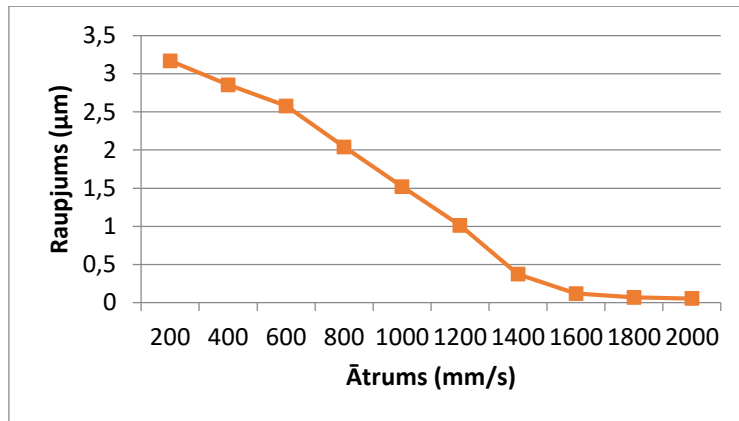
6.attēlā, ir redzams, ka pieaugot lāzermarķēšanas lāzera stara jaudai, vidējā raupjuma vērtība palielinās. Tas ir izskaidrojams, ar to ka palielinot lāzera jaudu, pieaug arī uz virsmu iedarbojošais siltuma daudzums, kas palielina materiāla kušanas un iztvaikošanas apjomu, kā rezultātā virsma kļūst nelīdzena. Kā ir redzams grafikā un no eksperimentā iegūtajiem rezultātiem uz materiāla, zema lāzermarķēšanas jauda, - 2 līdz 4 (W) neatstāj nekādu saskatāmu un izmērāmu ietekmi uz materiālu. Turklāt liela jauda izraisa pārlietu lielu materiāla kušanu un iztvaikošanu, padarot virsmu raupju un marķējumu estētiski nepievilcīgu. (Skat 7.attēlu)



7.attēls Lāzermarķēšanas rezultāts, (x25 palielinājumā). Jauda 20 (W) ātrums 400 (mm/s) redzami kušanas un iztvaikošanas procesa sekas

Ar lāzeru marķētās virsmas raupjums, ir atkarīgs, ne tikai no lāzera jaudas, ar kādu tas iedarbojas uz virsmu, bet arī no šīs iedarbības laika. Lāzertehnoloģijās, šo iedarbes laiku izsaka kā marķēšanas procesa ātrumu (mm/s).

Iegūtie ar lāzeru apstrādātās virsmas raupjuma rezultāti atkarībā no marķēšanas ātruma izmaiņas, pie konstantas jaudas – 18(W) un frekvences 200(kHz), ir parādīti grafikā (Skat 8.attēlu)

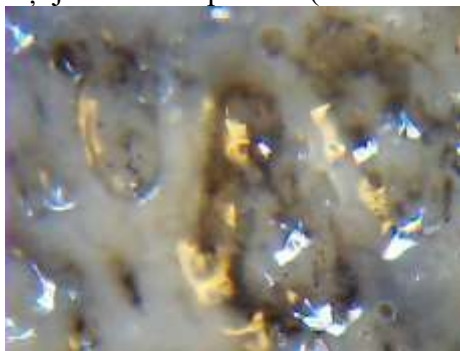


8.attēls Apstrādātās virsmas raupjuma izmaiņa atkarībā no lāzermarķēšanas ātruma

Grafikā ir redzams, ka pieaugot lāzermarķēšanas ātrumam, vidējā apstrādātās virsmas raupjuma vērtība samazinās. Pie maksimālā marķēšanas ātruma, tā ir tuva nullei ($0.047(\mu\text{m})$). No tā var secināt ka marķēšana ar lielu ātrumu, neizraisa kušanas procesus, jo lāzera stars uz virsmas punktu iedarbojas pārāk īsu laiku un nespēj to sasildīt. Savukārt lēns marķēšanas ātrums noved pie liela raupjuma rašanās, jo lāzera stars iedarbojas pārāk ilgu laiku, un noved pie pārlietu lielas materiāla kušanas, kas var izraisīt materiāla sabojāšanu un estētiskās pievilcības zūšanu.

Tāpēc ir svarīgi izvērtēt eksperimenta rezultātus un izsecināt kādi ir optimālie marķēšanas parametri baltam polivinilhlorīda (PVC) materiālam un priekšmetiem, kas izgatavoti no tā.

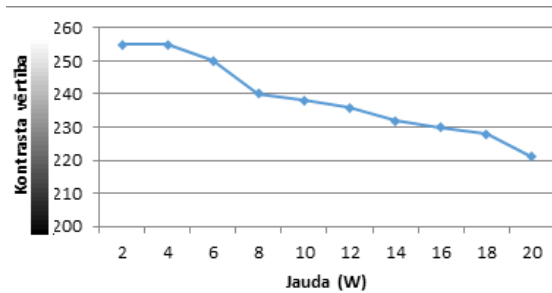
Nākamais lāzermarķēšanas eksperimenta rezultāts, ir marķēšanas procesa rezultātā, iegūtie krāsu kontrasti. Iegūtie krāsu kontrasti, uz balta PVC materiāla, variē no absolūti balta, (Par absolūti baltu pieņemot PVC materiāla balto krasas toni), līdz tumši pelēkiem un melniem. Krāsu toņu kontrastu izmaiņa, ir skaidrojama, ar lāzera stara iedarbes radītā siltuma ietekmi uz materiāla molekulām, graujot to struktūru, mainās to īpašības un struktūra. Krāsu toņu izmaiņu veicina arī raupjuma rašanos uz virsmas, lāzera stara iedarbības rezultātā. Tomēr šie toņi ir gaiši, Tumšo toņu parādīšanos izraisa materiāla molekulu sabrukšana un pārogļošanās procesi, kas piedod tumšo toni, padarot marķējumu tumši pelēku. (Skat 9.attēlu)



9.attēls Lāzermarķēšanas rezultāts (x25 palielinājumā) ar jaudu 20(W) un ātrumu 600 (mm/s), ir redzami kušanas un pārogļošanas procesu sekas

Krāsu kontrastu izmaiņa atkarībā no lāzermarķēšanas parametru izmaiņas, ir parādīta grafikos, 10. un 11.attēlā. Par pamatu ņemot krāsu kontrasta RGB modeli. Kur vērtība 255 ir neapstrādātās virsmas baltums (absolūti balts) bet 0 ir absolūti melns.

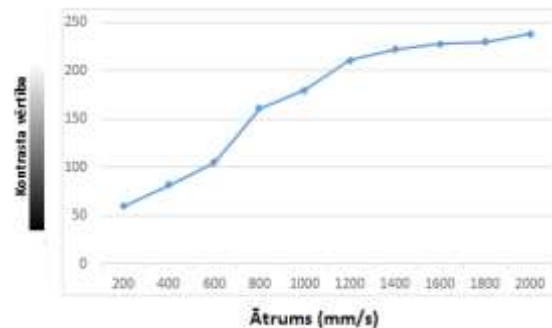
Attēlā ir parādīta lāzermarķēšanas rezultātā iegūto krāsu kontrastu izmaiņa, atkarībā no jaudas.



10.attēls Iegūto krāsu kontrastu vērtību izmaiņu atkarībā no lāzermarķēšanas jaudas

No eksperimentā iegūtajiem rezultātiem un grafika, ir redzams, ka palielinot lāzermarķēšanas jaudu, palielinās arī tumšās krāsas kontrasts. Tas ir skaidrojams ar to ka palielinoties lāzera jaudai, palielinās siltums, kas iedarbojas uz materiāla vielas molekulām, palielinot to pāroģošanas.

Attēlā ir parādīta lāzermarķēšanas rezultātā iegūto krāsu kontrastu izmaiņa atkarībā no lāzermarķēšanas ātruma izmaiņas.



11.attēls Iegūto krāsu kontrastu vērtību izmaiņa atkarībā no lāzermarķēšanas ātruma

Ir redzams, ka palielinot lāzermarķēšanas ātrumu, krāsu baltā toņa kontrasts (gaišais kontrasts) pieaug. Tas ir skaidrojams ar to, ka palielinot marķēšanas ātrumu, samazinās laiks ar kādu lāzera stars iedarbojas uz materiāla virsmu, tādējādi samazinās arī izdalītā siltuma daudzums, samazinot kušanas un pāroģošanās procesus.

Lāzermarķēšanas rezultāti (x25 mikroskopa palielinājumā), ar jaudu 18 (W) un ātrumu 1600 (mm/s), ir redzami 12. attēlā.



12.attēls Lāzermarķēšanas rezultāti (x25 palielinājumā), ir redzamas nelielas kušanas un pāroģošanās procesu sekas

Marķējot ar lāzera jaudu 18 (W) un ātrumu 1600 (mm/s) tiek iegūts marķējums ar nelielu virsmas raupjumu – 0.117(μm). Un labi saskatāmu kontrastu, kas ir gaiši pelēka tonī. Mikroskopa palielinājuma attēlā, šādi parametri uz materiāla virsmu atstāj sīkas un izkļiedētas kušanas un pāroģošanās procesa sekas.

Secinājumi

Veicot polivinilhlorīda materiālu marķēšanu ar lāzeri, marķēšanas procesa parametriem, kā jauda un ātrums, ir būtiska ietekme uz iegūtā marķējuma kvalitāti un izskatu.

1. Kā ir redzams no eksperimentos iegūtajiem rezultātiem un to apstrādē izveidotajiem grafikiem, marķējot ar zemu jaudu – 2(W) līdz 4 (W) lāzera stars, neatstāj nekādu redzamu ietekmi uz PVC materiālu.

2. Marķējot ar jaudu, kas pārsniedz 16 (W) un zemu ātrumu – 200 (mm/s) notiek strauja materiāla kušana un intensīva vielas iztvaikošana, kā rezultātā un virsmā izveidojas bedre un palielinās virsmas raupjums.

3. Palielinot marķēšanas ātrumu intervālā no 400 (mm/s) līdz 1000 (mm/s) un jaudu atstājot nemainīgu – 16(W) līdz 20 (W), notiek intensīva materiāla kušana un pārorgļošanās, iegūstot raupju un tumšu marķējumu.

4. Palielinot lāzermarķēšanas ātrumu intervālā no 1200 (mm/s) līdz 1800 (mm/s) un jaudu atstājot robežās 16(W) līdz 20 (W) ir iespējams iegūt gludu marķējumu (zemu raupjumu) un marķējuma pelēku marķējuma krāsas toni.

5. Optimālie baltu polivinilhlorīda (PVC) detaļu lāzermarķēšanas parametri ir lāzera jauda intervālā no 16(W) līdz 20 (W) un marķēšanas ātrums no 1200(mm/s) līdz 1700 (mm/s).

6. Marķējot ar jaudu no 14(W) līdz 20 (W) un palielinot marķēšanas ātrumu, samazinās marķējuma virsmas raupjums un krāsas tonis mainās attiecīgi no tumši pelēka uz gaiši pelēku.

7. Marķējot ar maksimālo ātrumu 2000 (mm/s) un jaudu līdz 14(W), lāzera stars neatstāj nekādu ietekmi uz PVC materiālu. Palielinot jaudu līdz 20 (W), marķējums ir ļoti gaišs, tas nepietiekami kontrastē ar pārējo virsmu, un ir sliktas kvalitātes un slikti saredzams.

8. Iegūtie eksperimenta rezultāti un ir ņemami par paraugu polivinilhlorīda materiālu lāzermarķēšanai, ar iterbija šķiedras diožu lāzeriem. Ar frekvenci 200 (kHz) un viļņa garumu 1200 (nm)

9. Veicot polivinilhlorīda (PVC) materiālu lāzermarķēšanu, ir jāņem vērā, ka marķēšanas rezultātā notiek materiāla vielas molekulu iztvaikošana, kuru ieelpošana un nokļūšana apkārtējā vidē, var būt kaitīga, tāpēc ir svarīgi veikt dūmgāzu atsūkšanu lāzermarķēšanas procesā un to filtrēšanu. Filtrēšanai ir jāizmanto atbilstoši filtri, kas novērš šo daļiņu nokļūšanu apkārtējā vidē, piemēram aktīvās ogles filtrus.

Pateicības

Pateicība par sniegto atbalstu un materiāliem šī pētnieciskā darba tapšanā, tiek izteikta: Rēzeknes Tehnoloģiju Akadēmijai. Rēzeknes Tehnoloģiju Akadēmijas, Inženieru Fakultātes, Lāzertechnoloģiju centram.

Par konsultācijām lāzermarķēšanas eksperimentu veikšanā Mg. Oec, Dipl. ing. Pāvelam Naricam un Prof., Ļubomiram Lazovam.

Par atbalstu ķīmijas jautājumos Rēzeknes Tehnoloģiju Akadēmijas, Inženieru Fakultātes, Ķīmijas laboratorijas vadītājam Mg.chem. Inesei Bernānei.

Summary

This work was made to relate necessary laser marking process parameters, such as speed, power and the results of laser marking process of the polyvinylchloride (PVC) material, such as marked surface roughness and color contrasts. The laser used for practical experiment is diode pumper ytterbium fiber laser, with maximal power 20(W), frequency 200(kHz), wave length 1200(nm). The results was reached in tests on PVC material plates, making laser marking tests, changing the power and speed of the process. The obtained results was evaluated by measuring it's surface roughness, and evaluating color contrasts. The results and relations between process

parameter variables and results, is showed in graphs. The best marking results with the lowest roughness, but in the same time with sufficient color contrasts was made with laser parameters of power in interval from 14(W) to 20 (W) and speed in interval from 1200(mm/s) to 1700 (mm/s). During laser marking due to laser beam heat energy impact on PVC material, is going destruction processes of the material substance molecule ties. Increasing power and time of impact, begins processes of substance boiling, carbonization and evaporation, what leads to increase of roughness value and color contrast gets darker.

Literatūra

1. A.Zicmanis, *Organiskā Ķīmija, Latvijas Universitāte*, 2007, Rīga, Latvija
2. Gould, R. Gordon "The LASER, Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation". University of Michigan, 1959. p. 128.
3. M.Chen, Y.Chen , W.Hsiao, *Correction of field distortion of laser marking systems using surface compensation function*, National Changhua University of Education, 2008, Changhua, Taiwan (108.lpp)
4. C. Leonea, S. Genna, G. Capriano, I. De Iorio, *AISI 304 stainless steel marking by a Q-switched diode pumped Nd:YAG laser*, University of Naples, 2010, Naples, Italy (541.lpp)
5. Y. Riekstinsh, *Carbon – dioxide laser, cutting process parameter impact on kerf quality of plywood materials*, Rēzekne Higher Education Institution, 2014, Rēzekne, Latvia
6. E.Šilters, V.Reguts, A.Cābelis, I.Vilks *Fizika, 6.Nodaļa Gaismas kvanti, lāzeri*, Lielvārds 2008. Lielvārde (68.lpp)]
7. Diožu lāzeri. *Pieejams* 17.03. 2016, <http://www.coherent.com/products/?1534/Diode-Lasers>
8. Optiskās šķiedras lāzeri. *Pieejams* 20.03.2016, <http://weldingdesign.com/processes/fiber-laser-option>
9. Itrebijs ķīmija, un tā pielietojums lāzeros. *Pieejams* 04.04.2016, https://www.rp-photonics.com/ytterbium_doped_gain_media.html
10. Lāzera skenējošās galvas. *Pieejams* 05.04.2016, <https://exploreideasdaily.wordpress.com/tag/stereography/>
11. Rūpniecības plastmasas. *Pieejams* 10.04.2016, <http://www.industriplasts.lv/materiali/materiali-rupniecibai/vispareja-pielietojuma-plastmasas/polivinilhlorids-pvc/>,
12. Marķēšanas lāzeri f20. *Pieejams* 15.04.2016, <https://www.rofin.com/en/products/fiber-lasers/powerline-f/powerline-f-203050100/>