

Lasersko označevanje s sistemom MarkLine8V

Boštjan Podobnik, Drago Kovačič
LPKF Laser&Elektronika d.o.o.
Zgornje Jezersko 32, 4206 Zgornje jezersko
Bostjan.Podobnik@LPKF.SI, Drago.Kovacic@LPKF.SI

LASER MARKING USING MARKLINE8V

Abstract: The arguments in favor of using lasers for marking materials and objects are strong. The process is non-contact, fast, flexible, reliable, permanent and environment friendly. In this paper are discussed system parameters which influence the laser marking quality and speed. Further on a diode-pumped laser marking system MarkLine8V is described which is designed and produced in LPKF d.o.o.. MarkLine8V represents a state-of-the-art system with respect to diode-pumped laser and material processing technology. The system enables easy integration into production lines, maintenance free operation and low running costs at excellent marking quality.

1 Uvod

V sedanjem času se soočamo s široko razširjeno uporabo laserjev skoraj na vseh področjih kot so industrija, kmetijstvo, vojska, šolstvo ter v različnih vsakodnevnih aplikacijah. V industriji se laserski sistemi uporabljajo za izvajanje procesov kot so vrtanje, rezanje, varjenje, sintranje, diagnostika, temperaturna obdelava, mikroprocesiranje materialov, "rapid prototyping" in drugi. Najpogosteje pa se laser v industriji še vedno uporablja za označevanje in graviranje tako orodij, kakor tudi materialov, ter tudi končnih produktov vključno z embalažo.

Lasersko označevanje predstavlja state-of-the-art tehnologijo, ki omogoča trajen zapis računalniško generiranega zapisa, grafike, strojno razpoznavne kode, itd. Z uporabo različnih tipov laserjev ter različnih optičnih prenosnih sistemov laserskega žarka je omogočeno označevanje širokega spektra različnih materialov, kot so kovine, polimeri in

kompoziti, keramika, steklo, les, usnje, papir, barvane površine, fotografske emulzije, itd.

Razlog za hiter razvoj laserske tehnologije je mogoče najti v naslednjih pomembnejših lastnostih, po katerih se laserji razlikujejo od konvencionalnih virov svetlobe: oddajajo svetlobo le v eni barvi (monokromatskost), oddana svetloba potuje v pravilnem faznem razmerju (koherentnost), producirani žarek je praktično vzporeden tudi na večjih oddaljenostih in stabilen, zato ga odlikujeta dobra usmerjevalnost in visoka svetilnost, nekateri laserji pa lahko delujejo v načinu kratko-časovnih sunkov in s tem bistveno povečajo vršno moč laserskega žarka. Zaradi teh lastnosti je z lasersko svetlobo možno doseči izjemno majhen premer žarka in ekstremno vršno moč v gorišču primerne optičnega sistema.

Za realizacijo laserskega označevanja se izvajajo najrazličnejše integracije laserjev v gravirne sisteme, od najenostavnejših integracij označevalnih laserjev v proizvodnje linije in tekoče trakove, do integracij z različnimi podajalnimi sistemi materialov ali izdelkov, X-Y koordinatnimi mizami, revolverskimi mizami, rotacijskimi osnimi gonili, krogelnimi in valjčnimi podajalci,... kar vodi do izdelav samostojnih vsestransko uporabnih gravirnih sistemov, kot je prikazan na sliki 1.

Glede na starejše tehnike označevanja, lasersko označevanje predstavlja vplivno kombinacijo zmanjševanja operativnih stroškov in večanja proizvodnje pri celovitem računalniško vodenem nadzoru. Lasersko izdelana oznaka daje izdelku prodoren in sodoben izgled, kar ustreza današnjemu zahtevnemu in tekmovalnemu trgu.



Slika 1: LPKF gravirni sistem s tekočim trakom

2 Postopki laserskega označevanja

Lasersko označevanje je v principu termalen proces na površini obdelovanca, pri katerem laserski žarek velike intenzitete v gorišču izdelava kontrastno oznako. Laserski žarek povzroči višanje temperature na površini materiala, kar vodi do pojava mikrostrukturnih sprememb v materialu (spremembe barve ali reflektivnosti) pa do odstranitve materiala vsled izparevanja. Proces izdelave oznake lahko vključuje enega ali kombinacijo sledečih procesov:

- karbonizacija (zoglenitev)
- beljenje ali sprememba barve materiala
- fizikalne spremembe v strukturi površine
- izdelava utora z odparevanjem materiala
- nadzorovano spreminjanje površine s pretaljevanjem.

Postopke laserskega označevanja delimo na:

a) *Lasersko barvanje ali žarjenje* se izvaja z relativno nizko močjo laserskega žarka in majhno hitrostjo gibanja laserskega žarka. S segrevanjem površine do temperatur, nižjih od temperature taljenja, prihaja pri jeklih, titanu ter nekaterih ostalih kovinah do oksidacijskega učinka (slika 2) in nastanka kontrastno vidne oznake. Pri označevanju polimernih materialov energija laserskega žarka spremeni strukturo posameznih molekul ter tako povzroči spremembo barve. Barva materiala se spreminja s količino absorbirane količine energije žarka.



Slika 2: Barvni spekter pri graviranju titana

b) *Lasersko razenje* se izvaja z večjo močjo laserskega žarka pri srednjih ali visokih frekvencah ter visokih hitrostih gibanja. Prihaja do taljenja površine materiala ter izdelave oznake minimalne globine in z neko strukturo.

c) *Lasersko graviranje* je metoda, pri kateri prihaja do delne odparitve materiala, kar izdelava brezbarvno sled. Graviranje se praviloma izvaja pri veliki vršni moči (nižje frekvence) ter visoki gostoti energije laserskega žarka.

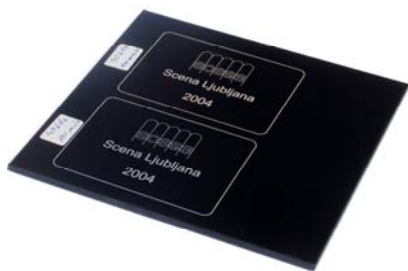


Slika 3: Lasersko graviranje kovin

d) *Lasersko odstranjevanje prevlek* je podobna metoda graviranja, pri kateri se odstrani barvne ali galvanske kovinske prevleke brez poškodovanja nosilnega materiala (slika 4). Metoda je posebno uporabna za tako imenovano dnevno-nočno označevanje elementov, kot je prikazano na sliki 5.

e) *Lasersko spajanje* je metoda za dodajanje materiala oznake na osnoven material s pomočjo laserskega žarka brez vplivanja na osnovni material. Dodajni materiali so največkrat steklen kalciniran prašek, oksidne zmesi z neorganskimi pigmenti, ter tekoči medij (največkrat voda).

c) *Lasersko induciranaboljšava površine* je zatalitev dodajane materiala s osnovnim materialom, kar izboljša korozijske lastnosti ter zvišuje odpornost oznake na obrabo.



Slika 4: Graviranje z odstranitvijo prevleke



Slika 5: Dnevno-nočni način označevanja tipk

f) *Lasersko inducirano odlaganje izparin* je postopek za lasersko označevanje transparentnih materialov, kjer se plinaste izparine dodatnega materiala (pod transparentnim materialom) kondenzirajo na hladni transparentni površini v obliki oznake.



Slika 6: Označevanje s postopkom penjenja

g) *Lasersko penjenje* se uporablja za označevanje polimernih materialov. Laserski žarek povzroči lokalno taljenje polimernega materiala in nastanek zračnih mehurčkov v fazi ohlajevanja, kar povzroči rahlo izbočenje površine materiala, ki difuzivno reflektira svetlobo ter ustvarja kontrastno oznako na materialu, kot je razvidno iz slike 6.

Prednosti tehnik laserskega označevanja so:

- izredna obstojnost oznake

- velike hitrosti in visoke zmogljivosti sistemov, nizki stroški izdelave oznak
- brezkontaktna izdelava oznak, ni obrabe orodij kot pri kontaktnem načinu izdelave
- zanesljiv in ponovljiv proces, velika natančnost izdelave
- natančno pozicioniranje laserskega žarka na objektu, natančno nadzorovan prenos energije,
- dobra dostopnost tudi pri nepravilnih oblikah in neravnih površinah
- uporabnost na širokem spektru materialov
- fleksibilnost in prilagodljivost brez potrebe po spreminjanju orodij
- enostavna integracija in avtomatizacija
- okolju prijazen proces, praktično brez odpadkov, ni posebnih zahtev po specialnih delovnih okoljih

Našteti dejavniki ločujejo tehnologijo laserskega označevanja od tradicionalnih metod, kot so označevanje z nalepkami, razni tiski, itd.

3 Metode laserskega označevanja

V uporabi sta dve osnovni metodi laserskega označevanja: označevanje preko šablone ter označevanje z usmerjenim vodenjem žarka. Obe metodi uporabljata relativno visoko moč, generirano z laserskim žarkom ter optične tehnike za povečanje moči do nivoja, ki je potreben za izdelavo oznake.

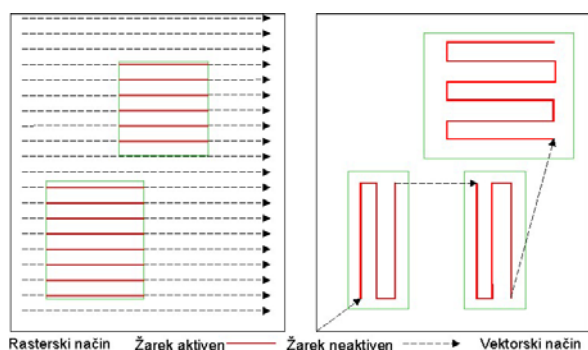
Pri označevanju s šablono se izvaja izjemno kratek sunek laserske svetlobe za projiciranje zelene oznake na delovno površino preko leče.

Pri drugem načinu se laserski žarek usmerja preko dveh premičnih zrcal ter sistema leč na objekt, ki se označuje. Premikanje zrcal se izvaja v x in y smeri preko računalniško vodenih galvanskih motorjev. Ta metoda je zelo fleksibilna in uporabna za prenos velikih količin podatkov, zato jo uporabljamo pri izgradnji LPKF MarkLine8V laserskega označevalnika. Tipičen shematski prikaz zgradbe sistema je prikazan na sliki 7. Za izdelavo oznake obstajata v principu dve tehniki: izdelava rasterskega

vzorca ter vektorski način premikanja laserskega žarka, kar je razvidno iz slike 8.



Slika 7: Shematski prikaz principa delovanja



Slika 8: Rasterski in vektorski način izdelave

Pri prvem načinu se laserski žarek giblje vzdolž ene osi in se pri prehodu pozicije, kjer želimo generirati oznako, laser aktivira ter deaktivira, ko žarek doseže pozicijo, kjer se oznaka v tej liniji neha. Skenirna linija se zaključi na koncu skenerskega polja in žarek se premakne za podan inkrement vzdolž druge osi ter izdelava naslednjo skenirno linijo. Tako se s skenirnimi linijami obdelata celotno delovno področje. Pri vektorskem načinu izdelave oznake laserski žarek sledi vzorcu izrisa oznake. Na ta način se hitro in enostavno izdelajo oblike kot so linija, krog, kolobar, alfanumerični znaki, itd.

4 Kvaliteta oznak ter vpliv parametrov

4.1 Opredelitev kvalitete laserske oznake

Kvaliteta oznake je podana s širino in globino oznake, kontrastom, stopnjo stopnjo poškopljenosti s talino in mikrorazpokami.

Širina oznake ustreza širini segmenta, iz katerih se izoblikuje znak. Določena je s premerom laserskega žarka v gorišču v območju od 0.020 mm pa do 0.100 mm. Na širino linije vplivajo tudi parametri, kot so hitrost gibanja laserskega žarka, moč in energija laserskih sunkov ter mehanske lastnosti materiala.

Globina izdelane oznake je odvisna od aplicirane energije in vršne moči v laserskih sunkih, vrste materiala ter časa izdelave oznake in lahko varira od nekaj mikronov pa do nekaj desetink milimetra. Dodatno povečanje globine izdelane oznake je mogoče doseči z uporabo plinov za pospeševanje odzemanje materiala.

Kontrast oznake predstavlja vidno razliko med očitno svetlostjo označene površine v primerjavi z neoznačeno. Na kontrast vpliva precej tudi ločljivost na robu oznake, kar je predvsem pomembno pri izdelavi "bar code".

Poškopljenost s talino pomeni prisotnost ponovno strjenih kapljic materiala v področju oznake. Ta pojav je nezaželen zaradi popačenja roba oznake in tako slabše opredeljenosti linij.

Mikrorazpoke nastanejo zaradi termičnih napetosti, ki nastanejo pri izdelavi oznake. Vplivajo na mehanske lastnosti materiala ter povzročajo pojav korozije pri kovinah.

4.2 Vpliv parametrov na kvaliteto lasersko izdelane oznake

Vpliv povprečne in vršne moči ter energije

Najboljši rezultati pri laserskem označevanju se dosegajo s pravilno kombinacijo energije sunka, dolžino sunkov, močjo ter frekvenco sunkov. Dolžina sunka (μ) je opredeljena kot čas, v katerem intenzivnost laserske moči znaša 50% maksimalne moči. Vršna moč je opredeljena z razmerjem med energijo in dolžino sunka ter podana z enačbo (1):

$$P_p = \frac{E}{\mu} \quad (1)$$

Krajši sunki imajo višjo vršno moč, ki je pogosto zaželena pri postopkih laserskega označevanja zaradi intenzivnejšega odparevanja

materiala. Čas termične interakcije je prav tako krajši, kar vodi k zmanjševanju termično obremenjenega področja in boljši kvaliteti.

Vpliv pozicije gorišča žarka

Žarek končnega premera je s pomočjo leče postavljen v gorišče, kjer doseže premer d_0 , ki vsebuje 86% goriščne energije. Premer žarka v gorišču je za idealen Gaussov snop (ali osnovni mod) podan s formulo (2), kjer je f goriščna razdalja leče, D premer vstopnega žarka ter λ valovna dolžina.

$$d_0 = \frac{2f\lambda}{D} \quad (2)$$

Iz formule je razvidno, da leča z večjo goriščno razdaljo generira večji premer žarka v gorišču v primerjavi z lečo z manjšo goriščno razdaljo. Goriščno razdaljo je potrebno nastaviti ustrezno zahtevam procesa obdelave, saj močno vpliva na intenzivnost laserskega žarka ter kvaliteto oznake. Pri tem pa je treba upoštevati tudi zahtevano delovno razdaljo med lečo in materialom ter velikost obdelovalnega polja, ki sta večja za leče z večjo goriščno razdaljo.

Vpliv moda žarka na premer žarka v gorišču

Ker ima transverzalna oblika ali tako imenovani mod žarka velik vpliv na premer žarka v gorišču, igra pomembno vlogo pri laserski obdelavi materialov. Laserski žarki višjih modov divergirajo hitreje in imajo večji premer žarka v gorišču v primerjavi z osnovnim TEM₀₀ modom, po drugi strani pa dosegajo laserji, ki delujejo v višjih modih, običajno višje moči.

Pri izbiri primerne laserskega vira za označevanje je potrebno biti pozoren na soodvisnost moči in kvalitete (moda) žarka.

Vpliv valovne dolžine in lastnosti materialov

V splošnem materiali bolje absorbirajo energijo laserskega žarka krajših valovnih dolžin. Istočasno valovna dolžina opredeljuje teoretične omejitve glede fokusacije laserskih žarkov; žarke nižjih valovnih dolžin se bolje fokusirajo.

Pri poljubnem materialu velja za količine absorptivnost, reflektivnost in propustnost, da je

absorptivnost+reflektivnost+propustnost=1,

od njih pa je odvisno, kateri laser bomo izbrali za označevanje določenega materiala. Številne materiale (kovine, polimere) je možno označevati s trdninskimi laserji, kot je npr. najbolj razširjeni laser Nd:YAG, z valovno dolžino 1 μ m. Nekatera stekla in polimere, ki v vidnem in bližnjem infrardečem področju ne absorbirajo, je možno gravirati v daljnem infrardečem področju, kjer sveti plinski CO₂ laser z valovno dolžino 10 μ m. Za kovine je ta laser neprimeren, saj je njihova reflektivnost za to valovno dolžino prevelika.

Vpliv dolžine sunkov

Laser, ki deluje v sunkovnem načinu, generira v času trajanja sunka višjo vršno moč, kot je njegova povprečna moč. Pogosto želimo, da bi bila vršna moč čim višja, da bil na materialu dosežen željen efekt (npr. odparevanje), ob hkratni nizki povprečni moči, ki povzroča termalno obremenitev materiala. Poglejmo primer. Laser, ki sveti s povprečno močjo $P_{avg}=10W$ pri frekvenci sunkov $f=10kHz$ in dolžini sunka $t=100ns$, bo generiral vršno moč v sunku P_{max} kar 10 kW, kot kaže enačba (3):

$$P_{max} = \frac{P_{avg}}{f * t} = 10kW \quad (3)$$

Iz gornje enačbe je razvidno, da je za doseganje visokih vršnih moči in s tem kvalitetnih oznak pomembno, da je laserski resonator zasnovan tako, da generira čim krajše sunke.

Zahteve sistema

Za doseganje minimalnih širin linij in največjih moči je potrebno postaviti gorišče laserskega žarka na površino obdelovanca. Medsebojno prekrivanje posameznih sunkov predstavlja naslednji pomemben dejavnik, ki vpliva na globino, širino in kontinuiteto pri izdelavi oznake. Frekvenca sunkovnega delovanja ter hitrost gibanja laserskega žarka določata velikost prekrivanja posameznih sunkov, ki je najprimernejša med 70% in 90%. Pravilno opredeljena stopnja prekrivanja zagotavlja neprekinjenost gravirane linije ter nizko stopnjo škropljenja taline okoli laserskega žarka.

5 Laserski sistem LPKF MarkLine8V

Na podlagi večletnih izkušenj z razvojem laserjev ter laserskih industrijskih sistemov in tehnologij, smo v podjetju LPKF Laser & Elektronika d.o.o. zasnovali sodoben laserski označevalni sistem, ki na optimalen način združuje lastnosti opisane v prejšnjih poglavjih. Posebno pozornost smo posvetili:

Kompaktnosti, zanesljivosti ter energijski varčnosti sistema: Obločne žarnice, ki so se v preteklosti uporabljale za črpanje laserskih kristalov, so nadomestile laserske diode. Na ta način je močno povečan izkoristek črpalne energije, posledica pa je bistveno zmanjšana poraba energije za delovanje sistema, ki potrebuje za delovanje enofazno omrežje (<0.8 kVA) in je v celoti zračno hlajen. Laser je kompaktnější, močno se je povečala zanesljivost delovanja. Pričakovana doba delovanja sistema brez vzdrževalnega posega je kar 10.000 ur.

Visoki kvaliteti žarka in visoki vršni moči v sunkih pri visokih frekvencah: Kot aktivno sredstvo v laserskem resonatorju smo uporabili kristal Nd:YVO₄ in dosegli visoko kvaliteto laserskega žarka in izjemno kratke sunke tudi pri visokih frekvencah delovanja laserja (35ns@30kHz). Tako je tudi pri visokih frekvencah delovanja možno označevati večino materialov kljub zelo nizki povprečni moči sistema (<10W na materialu). S tem dosežemo visoko kvaliteto in kontrastnost oznake ob hkratni nizki termalni obremenitvi materiala. Zaradi naštetega je dosežena kvaliteta oznak na kovinah, pa tudi na različnih plastičnih materialih bistveno boljša, kot so jo dosegali gravirni sistemi v preteklosti.

Preprostosti integracije sistema v industrijska okolja: Sistem je v celoti krmiljen s programsko opremo in krmilno kartico za osebni računalnik. Programska oprema omogoča preprosto komunikacijo in sinhronizacijo z drugimi programskimi paketi, dodatni vhodi na krmilni kartici pa omogočajo kontrolo sistema z zunanjimi prožilnimi signali ali sinhrono delovanje sistema s pomikanjem tekočega traku ali xy mize (= marking on the fly).

6 Povzetek

Z razvojem novih laserskih tehnologij se večja spekter možnosti za lasersko označevanje materialov in izdelkov. Le-to predstavlja brezkontaktno metodo za izdelavo kvalitetne trajne in kontrastne oznake na materialih in izdelkih, za katere je zahtevana trajna sledljivost, na delih, ki so zaradi svojih dimenzij ali oblik neprimerni za druge načine označevanja ali za dele, ki zaradi nadaljnje obdelave ne dovoljujejo drugačnih načinov označevanja.

LPKF-ov MarkLine8V je diodno črpan laserski označevalnik, ki je zasnovan po najnovejših dognanjih s področja laserske tehnologije in obdelave materialov. Njegova kompaktnost, energijska varčnost, zanesljivost delovanja in odprtost za komunikacijo z drugimi sistemi omogočajo preprosto integracijo sistema MarkLine8V "globoko" v industrijsko okolje. Zaradi izjemno visoke vršne moči v sunkovnem načinu delovanja omogoča visoko kvalitetno graviranje širokega spektra kovinskih in plastičnih materialov pri nizki povprečni moči, s čimer se močno zmanjša termalna obremenitev materialov.

Prve inštalacije v industrijskem okolju so pokazale, da kljub višji začetni investiciji, MarkLine8V na dolgi rok uspešno zagotavlja zmanjševanje stroškov označevanja, tako v veliko serijski, kot maloserijski proizvodnji. Poleg nizkih tekočih stroškov izdelave oznake, je pomemben faktor tudi njegova fleksibilnost, saj je sistem že s spremembo grafične predloge oznake v krmilnem programu pripravljen za realizacijo označevanja na novi seriji izdelkov.

7 Literatura

- [1] *Laser Marking Technologies*, Sintec Optronics Pte Ltd, <http://www.SintecOptronics.com>
- [2] *Industrial Laser Processes, An Introduction*, AMT LSPG, <http://www.amtonline.org>
- [3] *Laser Marking Technology, White Paper*, EsterLine Advanced Input Systems, <http://www.advanced-input.com>
- [4] Donald L. Roxby, C. Mike Sharp, Dr. Mary Helen McCay, *Laser Marking in the Aerospace Industry*, The Sabreen Group, http://www.sabreen.com/laser_marking_aerospace.htm