

Razvoj odklanjala za rastrsko vodenje žarka pri laserskem označevanju

Aleš BABNIK, Aleš BIZJAK, Janez DIACI

Izvleček: Prispevek predstavlja razvoj optomehatronskega sistema, ki omogoča izdelavo rastrskih vzorcev pri laserskem označevanju. Sistem deluje tako, da v eni osi odklanjamo obdelovalni laserski žarek s pomočjo poligonskega zrcala v obliki šesterokotne prizme, ki se vrti s konstantno kotno hitrostjo. Vsak laserski blisk povzroči na površini obdelovanca označbo v obliki točke. Z odklanjanjem žarka dosežemo, da so točkaste označbe razvrščene enakomerno v ravni črti – vrstici. Pomična miza, ki je pod odklanjalom, omogoča pomik obdelovanca pravokotno na vrstico. Rezultat obojega je dvorazsežna rastrska (matrična) označba z do dvesto točkami v smeri odklanjanja žarka. Razvili smo mikroprocesorski krmilnik sistema, ki omogoča usklajeno delovanje laserja, odklanjala ter pomične mize in s tem izdelavo točkovne oznake na obdelovancu na poljubnem mestu rastra. Sistem je bil preizkušen z označevanjem eno- in dvodimenzionalnih rastrskih označb. Testi so pokazali, da je rastrsko vodenje žarka izvedljivo in zelo primerno za hitro označevanje preprostih označb na obdelovance, ki so že vključeni v nek proces obdelave na tekočem traku.

Ključne besede: lasersko označevanje, odklanjala žarka, rastrsko vodenje žarka, optomehatronski sistem,

■ 1 Uvod

Zaradi vedno ostrejših zahtev glede kvalitete izdelkov in polizdelkov na področju proizvodnega strojništva mora sodobni proizvodni proces zagotoviti zmožnost sledenja posameznega izdelka z ustreznim označevanjem. Lasersko označevanje je proces, ki zagotavlja neizbrisno oznako poljubne vsebine, oznaka pa ne vpliva na mehanske lastnosti označene komponente [1]. Zaradi tega se laserske označevalne naprave v proizvodnem strojništvu vse pogosteje uporabljajo,

Dr. Aleš Babnik, univ. dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Aleš Bizjak, univ. dipl. inž., I.H.S., d. o. o., Krško, izr. prof. dr. Janez Diaci, univ. dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

čep rav je začetna investicija praviloma višja kot pri alternativnih tehnologijah označevanja izdelkov.

Lasersko označevanje se v praksi najpogosteje izvaja z vodenjem laserskega žarka po površini obdelovanca bodisi z dvodimenzionalnim odklanjanjem žarka ali pa s kombinacijo odklanjanja žarka v eni smeri in premikanjem obdelovanca v drugi smeri. S tem dosežemo hitrosti označevanja, primerljive hitrostim ostalih označevalnih tehnik. Dvoosno premikanje obdelovanca, ki je običajno pri drugih laserskih obdelovalnih procesih, se pri označevanju ne uporablja zaradi prenizkih hitrosti vodenja žarka [2]. Za odklanjanje žarka se pretežno uporabljajo mehanski sistemi, med njimi pa prevladujejo odklanjala z galvomotorji. V posebnih primerih, ko so zahtevane zelo visoke hitrosti označevanja, se uporabljajo tudi

akustično-optični [3] in holografski odklonski sistemi [4].

V obstoječih industrijskih sistemih za lasersko označevanje prevladujejo odklanjala z dvema nihajočima zrcaloma, ki vodita žarek po obdelovancu v dveh medsebojno neodvisnih in pravokotnih oseh [5]. Izstopni laserski žarek se s pomočjo posebne zbiralne leče fokusira na površini obdelovanca. Ta način odklanjanja zagotavlja najvišjo stopnjo univerzalnosti na račun nekoliko nižje hitrosti vodenja ter velikosti delovnega območja.

Obstajata dva osnovna načina vodenja laserskega žarka v dvorazsežnem prostoru: vektorski in rastrski [6]. Pri vektorskem načinu vodimo laserski žarek vzdolž vektorjev – daljic poljubnih smeri. Kontura in polnitev označbe sta tako sestavljeni iz množice vektorjev, ki jih izrisuje

žarek. Vektorsko vodenje je možno izvajati le z dvoosnimi odklanjalji.

Osnovna ideja rastrskega načina vodenja pa je v tem, da žarek premikamo po obdelovancu po vzporednih ravnih črtah – vrsticah in pri tem prižigamo oziroma ugašamo laserski žarek glede na zahtevano označbo. Odklanjanje žarka v smeri vrstice je mogoče izvesti tudi z vrtljivim poligonskim zrcalom, medtem ko lahko pomik v smeri pravokotno na vrstico izvaja obdelovanec sam [7]. Ta način vodenja žarka je zanimiv zato, ker omogoča doseganje večje hitrosti označevanja v primeru enostavnih črkovnih oziroma številskih oznak in ne zahteva zapletenega krmilnega sistema.

V prispevku predstavljamo zasnovano in razvoj mikroprocesorsko vodene krmilnika, ki omogoča sinhrono izvajanje ključnih operacij: vrtenje poligonskega zrcala, pomikanje obdelovanca in prižiganje laserskega žarka tako, da je možna izvedba enostavnih oznak. Delovanje krmilnika in sistema za rastrsko vodenje žarka smo preizkusili in okarakterizirali na laboratorijskem laserskem označevalnem sistemu [8].

■ 2 Zasnova in razvoj sistema

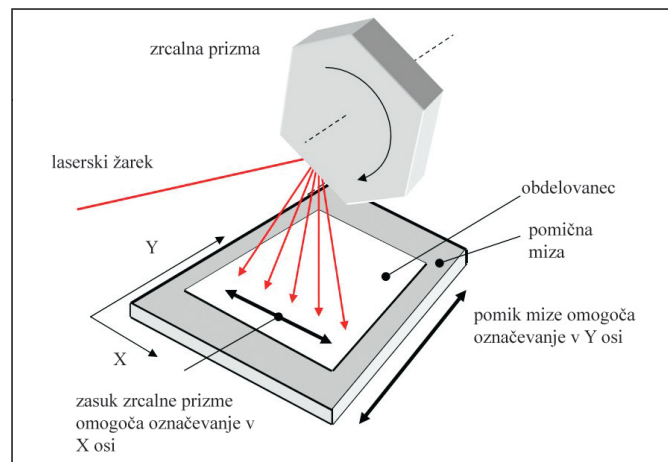
Vrteče se poligonsko zrcalo je uveljavljen način odklanjanja laserskega žarka, saj se množično uporablja v laserskih tiskalnikih [4, 7]. Delovanje odklanjalja temelji na odboju laserskega žarka na ravni zrcalni površini rotirajoče prizme v smeri proti obdelovancu. Kot odboja je odvisen od trenutnega naklona zrcalne površine, zato z vrtenjem prizme odbiti žarek potuje po površini obdelovanca s hitrostjo, ki je odvisna od hitrosti vrtenja prizme.

Ena izmed temeljnih odločitev pri snovanju odklanjalja s poligonskim zrcalom je izbira poligonske prizme (števila stranic poligona in karakteristična dimenzija – npr. dolžina stranice) [7]. Ta izbira mora biti usklajena s premerom žarka in njegovim karakterističnim vpadnim kotom tako, da je območje odklonskega kota odbitega žarka čim večje (slika

2). V idealnem premeru (neskončno tanek žarek in geometrijsko pravilna prizma) je največje možno območje odklonskega kota žarka določeno s številom stranic N poligonske prizme:

$$-360^\circ/N < \varphi < +360^\circ/N \quad (1)$$

Zaradi končnih dimenzij realnih žarkov, izdelovalnih toleranc prizme in aberacij optičnega sistema za odklanjalom je dejansko dosegljivo območje odklonskega kota žarka vselej manjše od teoretičnega. Razliko med njima imenujemo mrtvi kot. V območju mrtvega kota odbiti žarek bodisi ne zadane obdelovanca ali pa je kot odbitega žarka glede na obdelovanec tolikšen, da povzroči prevelike optične napake. Analiza je pokazala, da je za naš primer šest odbojnih ploskev (šesterostrana prizma) optimalna rešitev, ko razpoložljivi kot zavzema skoraj celotno delovno širino na obdelovancu, hkrati pa je mrtvi kot ob straneh minimalen. Slika 1 prikazuje izbrano zasnovano kinematskega podsistema s šesterostrano prizmo v funkciji odklanjalja žarka.



Slika 1. Zasnova kinematskega podsistema naprave za rastrsko lasersko označevanje. Prelet laserskega žarka vzdolž osi X predstavlja eno delovno vrstico, s pomikom mize vzdolž osi Y lahko realiziramo dvorazsežno polje delovnih vrstic.

Z vidika zasnove odklanjalja s prizmo je ključna povezava med kotom zasuku prizme in pomikom s laserskega žarka po površini obdelovanca. Slika 2 ilustrira geometrijska razmerja pri vrtenju odklonske prizme. Zaradi nazornosti je namesto celotne prizme prikazan le enakostranični trikotnik, ki predstavlja 1/6 celotne prizme. S

prikazom prizme v dveh položajih ilustriramo znano zakonitost, da zasuk prizme za kot $\Delta\theta$ povzroči odklon (spremembo smeri) odbitega žarka za kot $\Delta\varphi$, pri čemer velja:

$$\Delta\varphi = 2\Delta\theta \quad (2)$$

Pomembno je opozoriti, da je pomik s žarka po obdelovancu povezan ne le z odklonom $\Delta\varphi$ žarka, temveč tudi s pomikom vpadne točke P vzdolž zrcalne stranice prizme med vrtenjem.

Podrobna teoretična analiza pokaže [7], da je vsaj na prvi pogled funkcija $s = s(\theta)$ močno nelinearna. Ob upoštevanju konkretnih geometrijskih parametrov našega sistema in predvidenih največjih odklonov pa se izkaže, da znašajo največji odstopki od linearosti le nekaj odstotkov. Glede na to, da je bil v tej fazi raziskave predvsem cilj pokazati izvedljivost ideje rastrskega označevanja na podlagi delujočega prototipa, smo se odločili, da pri razvoju algoritmov vodenja žarka in programske opreme nelinearnost

zanemarimo. S tem se algoritmi vodenja bistveno poenostavijo. Analiza vplivov nelinearnosti in na tej osnovi morebitna nadgradnja algoritmov pa sta umestni v kasnejši fazi izpopolnitve prototipa.

Na podlagi navedene linearizacije lahko zapišemo zvezo med pomikom Δs laserskega žarka

med dvema točkama na površini obdelovanca in ustreznim zasukom $\Delta\theta$ prizme v obliki:

$$\Delta s = k\Delta\theta \quad (3)$$

kjer je k konstanta, ki je določena z geometrijskimi parametri sistema. Če zagotovimo, da se prizma vrti s

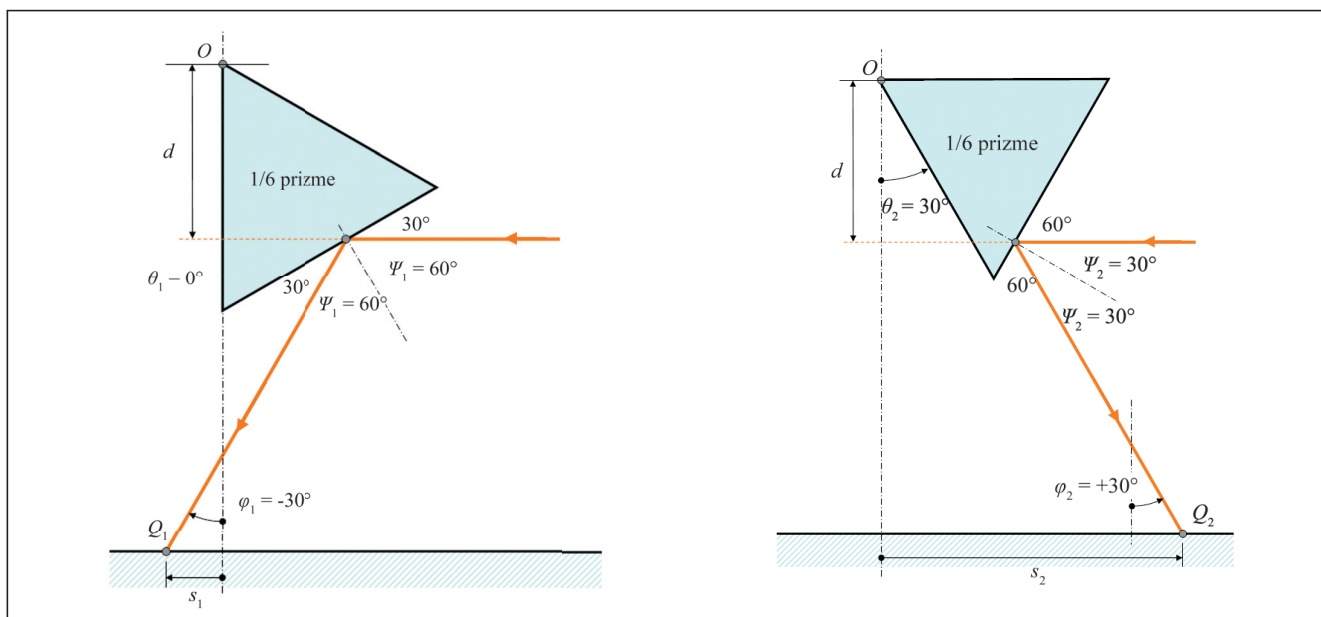
konstantno kotno hitrostjo $\omega = d\theta/dt$, potem velja:

$$\Delta s = k\omega\Delta t \quad (4)$$

iz česar sledi, da je želene pomike Δs žarka mogoče realizirati z zagotovitvijo primerne (konstantne) kotne hitrosti in časovnega intervala Δt med posameznimi bliski označevalnega laserja. Oboje je izvedljivo s pomočjo sodobnih mikrokrmilnikov.

površine (»fasete«) na prizmi. V tem položaju je obdelovalni žarek izklopljen, kazalni žarek pa vodimo preko dveh referenčnih zrcal na fotodiodo. V tem položaju ta odda referenčni pulzni signal, ki določa sistemskemu krmilniku časovni trenutek začetka vrstice v rastru, kar omogoča sinhronizacijo celotnega sistema. Naloga sistemskega krmilnika je, da glede na izbrano kotno hitrost in referenčni signal prižiga obdelovalni žarek skladno z zapisom posamezne

seveda prične s tolikšno zakasnitvijo, da se žarek nahaja izven območja mrtvega kota θ_m . F-theta leča je posebna vrsta lečja, ki se uporablja v sistemih vodenja žarka z gibljivimi zrcali, v katerih je leča za odklanjalom [5]. F-theta leča omogoča, da je gorišče žarka na površini obdelovanca ne glede na kot, pod katerim vpada žarek na lečo. Zrcalo na vstopu žarka v odklanjalo omogoča natančno nastavitve vpadnega kota žarka na faseto.



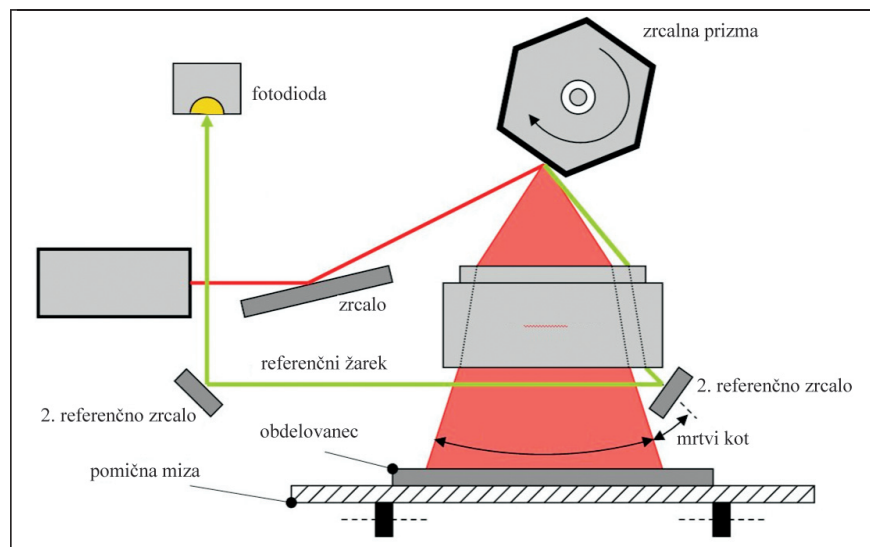
Slika 2. Ilustracija geometrijskih razmer pri vrtenju odklonske prizme. Zasuk prizme za kot $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 = 30^\circ$ povzroči spremembo smeri odbitega žarka za kot $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = 30^\circ - (-30^\circ) = 60^\circ = 2\Delta\theta$. Vpadna točka P potuje med vrtenjem prizme po njeni zrcalni površini.

Slika 3 shematično prikazuje zasnovo sistema. Blok z označbo »LASER« v realnosti sestavljata dva laserska izvora. Osnovni izvor je obdelovalni laser tipa Nd:YAG, ki oddaja svetlobo v kratkih bliskih valovne dolžine 1064 nm. Ta svetloba očem ni vidna, zato je običajno dodan kontinuirni kazalni laser, ki oddaja vidno svetlobo, njegov žarek pa je uravnan kolinearno z žarkom obdelovalnega laserja. S tem kazalni žarek operaterju pokaže mesto, kamor bo vpadel obdelovalni žarek.

Na spodnji sliki so z rdečo barvo označeni položaji, ki jih lahko zavzameta oba žarka, z zeleno pa ključni položaj, ki ga lahko zavzame le kazalni žarek. To je položaj, ko žarek vpade na začetek nove zrcalne

vrstice oznake. Tvorjenje prožilnih pulzov obdelovalnega laserja se

Največjo dopustno kotno hitrost ω_m prizme ocenimo na podlagi dveh



Slika 3. Shema zasnove sistema za rastrsko označevanje

parametrov: števila N_{TO} točkovnih oznak v vrstici in največje frekvence f_{lm} ponavljanja obdelovalnih laserskih bliskov (repeticije), ki jo omogoča laserski izvor v načinu z zunanjim proženjem. Kot razvojni cilj smo si zadali, da odklonski sistem lahko označi do $N_{TO} = 200$ točkovnih oznak v vrstici, ciljni obdelovalni laser, za katerega smo razvili aplikacijo, pa je določal repeticijo $f_{lm} = 5$ kHz, pri kateri je njegova učinkovitost najvišja oziroma označba najizrazitejša. Pri teh pogojih je najkrajši čas izdelave T_{vm} ene vrstice:

$$T_{vm} = N_{TO} / f_{lm} = 200/5000 \text{ s} = 40 \text{ ms} \quad (5)$$

Kot zasuka $\Delta\theta_v$ 6-strane prizme za izdelavo ene vrstice ocenimo na $55^\circ = 0,96$ rad ob upoštevanju ocene velikosti mrtvega kota $\theta_m = 5^\circ$. Največjo dopustno kotno hitrost prizme dobimo iz:

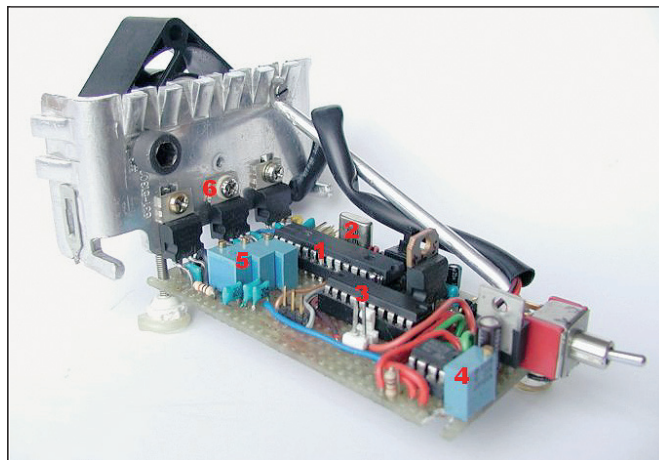
$$\begin{aligned} \omega_m &= \Delta\theta_v / T_{vm} = 0,96/0,04 \text{ rad/s} = \\ &= 24,0 \text{ rad/s} = 3,8 \text{ vrt/s} = \\ &= 229 \text{ vrt/min} \end{aligned} \quad (6)$$

V zvezi z enačbo 4 je bilo omenjeno, da je zelene pomike Δs žarka mogoče realizirati z zagotovitvijo primerne (konstantne) kotne hitrosti prizme in časovnega intervala Δt med posameznimi obdelovalnimi laserskimi bliski. Pri praktični realizaciji sistema smo se odločili, da ti dve ključni nalogi porazdelimo med dva mikrokrmilnika. S tem smo zagotovili dovolj procesorske moči za vsako izmed njiju in s tem večjo točnost in bolj zanesljivo delovanje sistema. Krmilno enoto odklonskega sistema tako sestavljata dva povezana krmilnika: *glavni krmilnik* in *krmilnik motorja*.

Glavni krmilnik PIC18F252 sprejema ukaze iz osebnega računalnika (PC), jih posreduje preko I²C vodila krmilniku motorja, zaznava referenčni signal fotodiode, prekodira označevani vzorec v pulze za krmiljenje laserja in določa časovne intervale med posameznimi obdelovalnimi laserskimi bliski. Frekvenca notranje ure 10 MHz in izvedba programske kode s prekinitvenimi rutinami zagotavlja zadostno hitrost in časovno

točnost pretvorbe podatkov o oznaki v zaporedje prožilnih pulzov.

Za zagotovitev rotacije prizme smo uporabili trifazni brezkrtačni motor (BLDC) [9], ki ga poganjamo kot sinhroni AC-motor. Za njegov pogon je bil razvit in izdelan krmilnik (*slika 4*), ki generira tri sinusne signale želene frekvence, ki so medsebojno časovno zakasneni za tretjino periode. Cilj razvoja krmilnika je bil zagotoviti nastavljivo in čim bolj konstantno kotno hitrost kot tudi zmožnost postopne spremembe frekvence signalov ob zagonu ali spremembi zelene kotne hitrosti, tako da ji motor lahko sledi. Njegov osrednji element je mikrokrmilnik tipa PIC18F2520 (1) z ustrezno programsko kodo [10]. Takt mu narekuje kristalni oscilator s frekvenco 10 MHz (2). Povezavo med digitalnim mikrokrmilnikom in analogno okolico omogoča digitalno-analogni pretvornik tipa TLC7226 (3). Amplituda izhodnih signalov iz pretvornika se nastavlja bodisi s skupnim potenciometrom



Slika 4. Fotografija krmilnika motorja.

(4), ki hkrati spreminja amplitudo vsem trem signalom, ali pa s tremi posameznimi potenciometri (5), ki nastavljajo vsak svoj signal in omogočajo fino nastavitvev amplitud posameznih izhodov. Vsak izmed treh signalov se pred izhodom na zanko motorja tokovno ojača preko ojačevalnikov (6), ki so aktivno hlajeni s skupnim hladilnim rebrom in ventilatorjem.

Slika 5 prikazuje fotografijo izdelanega prototipa krmilnika in odklanjala žarka rastrskega označevalnika z označe-

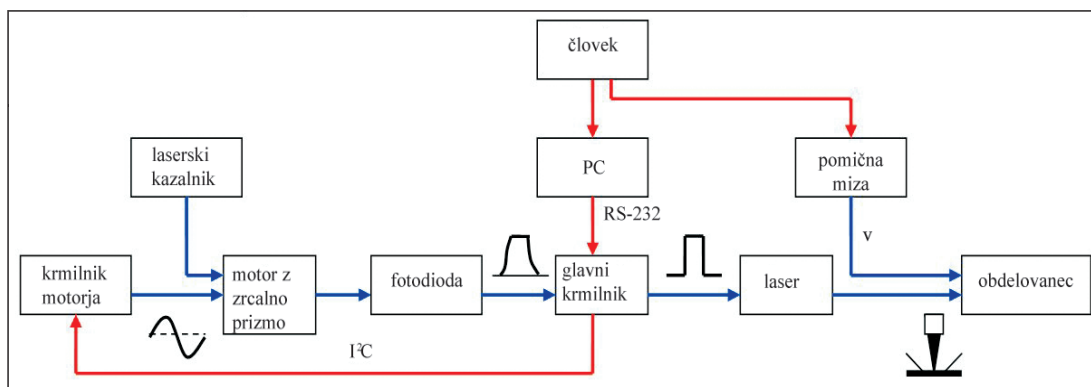


Slika 5. Fotografija prototipa krmilnika in odklanjala žarka rastrskega označevalnika; (1) mikroprocesorska krmilna enota, (2) elektromotor, ki ima na gredi nameščeno šesterokotno zrcalno prizmo, (3) f-Theta leča in (4) aluminijasto ogradje.

nimi najpomembnejšimi funkcijskimi sklopi. *Slika 6* prikazuje blokovno shemo rastrskega označevalnika.

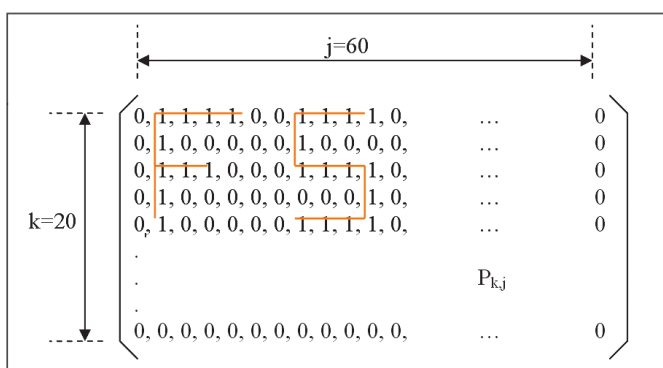
Rastrska oznaka je sestavljena iz množice posameznih točkovnih oznak, ki so razvrščene v vzporednih vrsticah. Vzorec, ki ga želimo označiti, je v glavnem krmilniku predstavljen kot dvo-razsežno polje, katerega elementi so binarne vrednosti

('0' ali '1'). Primer zapisa takšne označbe je prikazan na *sliki 7*. Gre za označbo, ki je sestavljena iz 20 vrstic, v vsaki od njih pa je v rastru po 60 točk. Primer realizacije takšne označbe je prikazan na *sliki 9*. Glavni krmilnik pregleduje polje oznake od točke do točke, vrstico za vrstico. Če v polju najde element, ki je enak '1', v ustreznem trenutku sproži obdelovalni laserski blisk, ki na površini obdelovanca povzroči točkovno oznako. S preverjanjem elementov polja, pravilnim upravljanjem časovnih zakasnitev in proženjem



Slika 6. Blokovni diagram označevalnika

bliskov označevalnega laserja lahko torej označimo zelene točke rastra v posamezni vrstici.



Slika 7. Predstavitev rastrske oznake v glavnem krmilniku. Element '1' na določenem mestu dvorazseženega polja pomeni, da naj bo na tistem mestu rastra točkasta laserska oznaka. Element '0' pomeni, da tam oznake ni.

Pri naslednjem prožilnem pulzu, ki ga pošlje fotodioda ob preletu kazalnika, krmilnik prične s preverjanjem naslednje vrstice polja, ob tem pa pomična miza, ki je nameščena pod odklanjalom, pomakne obdelovanec pravokotno glede na smer odklanjanja laserskega žarka za razdaljo enega polja rastra. Tako se postopno izrisuje vrstica za vrstico – do celotne oznake.

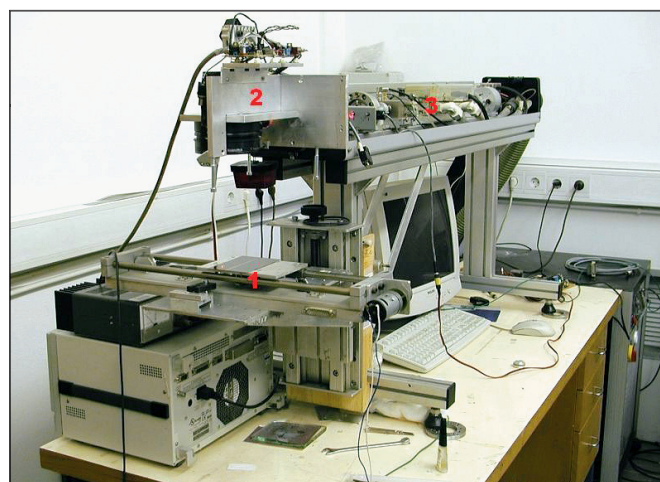
3 Testiranje sistema

Na osnovi razvitega prototipnega odklanjala žarka smo zgradili eksperimentalni rastrski označevalni sistem, ki je prikazan na sliki 8. Sestavljen je iz treh delov: (1) pomične mize z obdelovancem, (2) odklanjala s krmilnikom in (3) laserskega izvora.

Uporabljen je bil označevalni Nd:YAG laser tipa Fotona YAG22 z naslednji-

mi karakteristikami: valovna dolžina: 1064 nm, način delovanja: bliskovno z zunanjim proženjem, trajanje bliska: ~100 ns, repeticija: do 5 kHz (najvišja učinkovitost), prečna struktura žarka: TEM_{00'}, povprečna moč: do 16 W, premer žarka na odklonski prizmi: ~3 mm.

Poizkusno označevanje je bilo opravljeno na črno eloksiranih aluminijskih ploščicah.



Slika 8. Fotografija eksperimentalnega rastrskega označevalnega sistema: (1) pomična mizica, (2) laserska odklonska glava, (3) laserski izvor.

Površina teh vzorcev ima namreč dovolj nizek prag za nastanek lasersko povzročene oznake. S tem je bila zagotovljena zadostna vidnost tudi v primeru nižjih gostot ener-

gij. Širina testnih obdelovancev (~15 cm) je odgovarjala velikosti delovnega območja odklanjala.

Slika 9 prikazuje testno rastrsko označbo. Analiza vodoravnih črt pokaže, da so razdalje

med točkami praktično enake po vsej dolžini črte, kar potrjuje upravičenost predpostavke o linearizaciji zveze med pomikom Δs laserskega žarka med dvema točkama na površini obdelovanca in ustreznim zasukom $\Delta \theta$ prizme (enačba 3). Medtem ko je leva navpična črta praktično ravna, pa izkazujejo točke na desni navpični črti precejšnja odstopanja od navpičnice. Dodatna testiranja so pokazala, da so ta odstopanja rezultat fluktuacij kotne hitrosti prizme, ki so povezane z dinamiko sistema prizma-motorpodnožje, ki je deloma povezana tudi z nezadostno uravnoteženostjo rotorja. V teku so raziskave, ki naj bi pokazale izboljšavo prototipa, s katero bi omenjene pomanjkljivosti odpravili. Laserske točkovne označbe

niso popolnoma pravilnih okroglih oblik, kot bi si jih želeli in pričakovali. To je deloma posledica označevanja s premajhno gostoto energije laserskih bliskov – ta je bila le malo nad pragom za nastanek oznake za uporabljene obdelovance. Večje gostote energije bi dale točkovne označbe pravilnejših oblik.

Gostoto moči je omejeval material odbojne površine uporabljene prizme, saj bi večja gostota moči predvidoma poškodovala zrcalne ploskve. Višina prizme 4 mm (di-

menzija v smeri osi vrtenja) prav tako ni dovoljevala optične razširitve (povečanje premera) vstopnega obdelovalnega žarka, kar je običajen postopek za izboljšanje kvalitete žarka v fokusu. Del razlogov za nepravilne oblike točkovnih označbe lahko nosi tudi nezadostna optična kvaliteta zrcalnih površin prizme.

Kot je značilno za rastrske označevalne sisteme, čas za izdelavo oznake ni odvisen od zahtevnosti in prečne velikosti oznake, temveč le od njene vzdolžne velikosti (števila vrstic). Obdelovalni žarek namreč prepotuje celotno vrstico označbe ne glede na vsebino označbe. Prototipno odklanjalo je pri danih parametrih (repeticija obdelovalnega laserja, kotna hitrost prizme) izrisalo eno vrstico v 40 ms (enačba 5) oziro-

■ 4 Zaključek

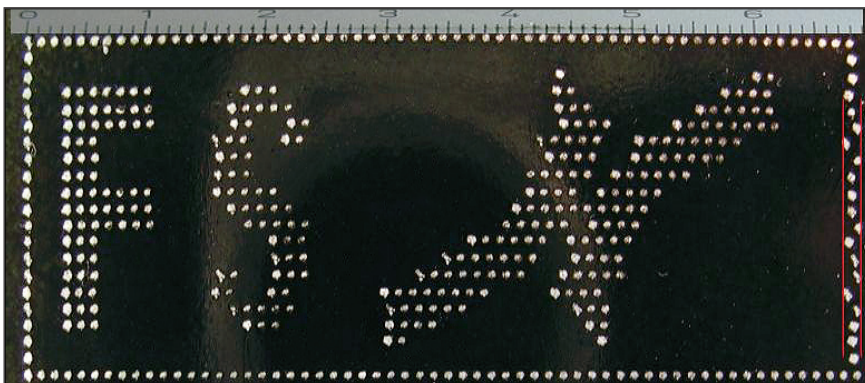
Razvit, izdelan in preizkušen je bil laserski označevalni sistem, ki bazira na rastrskem načinu vodenja obdelovalnega žarka. Označba je sestavljena iz točk, ki so razvrščene v vzporednih ravnih črtah – vrsticah. Odklanjanje žarka v smeri vrstice je izvedeno z vrtljivim poligonskim zrcalom, medtem ko pomik v smeri pravokotno na vrstico izvaja obdelovanec sam. Postopek je posebno uporaben za označevanje izdelkov, ki potujejo na tekočem traku.

Ta način vodenja žarka je posebej uporaben za izdelavo enostavnih črkovnih oziroma številskih oznak (datum proizvodnje, identifikacijske številke ...). V primerjavi s klasičnimi dvoosnimi označevalnimi sistemi

brizgalnimi matričnimi tiskalniki, in hkrati obstojnejša od tiskane.

Literatura

- [1] J. T. Luxon: Industrial lasers and their applications, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1985.
- [2] D. Schuocker: High power lasers in production engineering, Technische Universität Wien, Austria, 1999.
- [3] http://www.quanta-tech.com/Acousto_optic_products/deflectors.php.
- [4] D. C. O'Shea: Elements of Modern Optical Design, John Wiley & Sons, Inc., Atlanta, Georgia, 1985.
- [5] J. Wilson, J. F. B. Hawkes: Laser: Principles and Applications, Prentice Hall, 1987.
- [6] <http://www.globalspec.com/GSIGroupGeneralScanning/ref/HowtoChooseGalvo.htm>.
- [7] Gerald Marshall (ed.): The Handbook Of Optical And Laser Scanning, Marcel Dekker, New York, NY, 2004.
- [8] A. Bizjak: Opto-mehatronski sistem za rastrsko vodenje žarka pri laserskem označevanju, Ljubljana, Fakulteta za strojništvo, Prešernove nagrade študentom za leto 2006.
- [9] Microchip: Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals, http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1523.
- [10] Peter Moreton: Industrial Brushless Servomotors, Reed Educational and Professional Publishing Ltd., 2000.



Slika 9. Primer izdelane rastrske označbe.

ma celotno označbo na *sliki 8* v 840 ms. Dimenzijske lastnosti označbe so razvidne s slike, na kateri je prikazano tudi dolžinsko merilo.

omogoča opisani sistem doseganje večje hitrosti označevanja in ne zahteva zapletenega krmilnega sistema. Označba je oblikovno enakovredna oznakam, ki se tiskajo z

Development of a raster-scanning beam deflector for a laser marking machine

Abstract: This article presents the development of a new opto-mechatronic system that makes possible the laser marking of raster patterns consisting of several dotted lines. The processing laser beam in our new system is deflected in one direction by a hexagonal mirror prism rotating at a constant angular velocity. Each laser pulse produces a dot-shaped mark (a "laser dot") on the surface of the workpiece. By scanning the beam along a straight line we achieve a linear, uniformly distributed pattern of laser dots. The linear translation stage below the beam deflector moves the workpiece in a direction perpendicular to the line. The result is a two-dimensional raster (matrix) pattern consisting of an arbitrary number of lines with up to 200 laser dots per line. We have developed a microprocessor-based marking-system controller that coordinates the operation of the laser source, the laser-beam deflector and the linear translator in such a way that it is possible to produce arbitrary dotted raster patterns. The system was tested by marking one- and two-dimensional patterns. The tests showed that the system is suitable for the rapid production of simple dotted patterns on workpieces that are moving on production belts.

Keywords: laser marking, beam deflector, raster scanning, opto-mechatronic system,