

50. obletnica odkritja uporabnega laserja

Janez TUŠEK

16. maja letos je poteklo natanko 50 let, odkar je veliki raziskovalec Theodore Harold Mainman kot prvi prikazal delovanje naprave, ki je omogočala izdelavo laserskega žarka. To je bil bliskovni laserski žarek, ki je nastal v umetno izdelanem rubinu ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{Cr}$) s kristalno strukturo.

Prav gotovo odkritje laserskega žarka ni bilo enkratno dejanje, ampak plod dela številnih raziskovalcev v skoraj celotni prvi polovici dvajsetega stoletja. Kot prvega moramo tu omeniti Alberta Einsteina, ki je že leta 1917 v članku z naslovom *Zur Quantentheorie der Strahlung* (O kvantni teoriji sevanja) popisal fizikalni princip stimulirane svetlobe. Einstein je bil torej prvi, ki je postavil temelje za laser. Ta pa nastane, ko foton v vzbujeni molekuli ali atomu povzroči emisijo drugega fotona z enako frekvenco, fazo, polarizacijo in smerjo. Iz povedanega nastane kratica LASER, kar pomeni »Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation« (ojačana svetloba s stimulirano emisijo sevanja).

Približno deset let kasneje, okoli leta 1928, so drugi fiziki potrdili Einsteinovo teorijo o obstoju stimuliranega sevanja. Vendar je bilo treba na potrditev opisane teorije čakati vse do začetka petdesetih let v prejšnjem sto-

letju, ko sta Nikolaj Basov in Aleksander Prokhorov s Fizikalnega inštituta Lebedjeva v Moskvi popisala delovanje maserja. Maser (**M**icrowave **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation – ojačano mikrovalovanje s stimulirano emisijo sevanja) naprava, ki proizvaja koherentne (skladovne) mikrovalove, je bil predhodnik laserja.

Nekoliko kasneje so na Univerzi v Kolumbiji v ZDA na osnovi teh raziskav zgradili prvi delujoči maser. Vodja raziskovalne skupine je bil Charles H. Townes, svetovno priznan raziskovalec na področju laserske tehnike. Vsi trije imenovani so leta 1964, prav gotovo več kot upravičeno, dobili Nobelovo nagrado za fiziko.

Nekateri fiziki so proti koncu petdesetih let zelo podrobno popisali delovanje laserja in ta teoretski izračun celo patentno zaščitili. Fizikalna zgodovina pa iznajdbo laserskega žarka pripisuje T. H. Mainmanu.

T. H. Mainman je bil rojen leta 1927 v Los Angelesu. Študiral je elektrotehniko in fiziko. Leta 1955 je doktoriral iz fizike. Prvi laserski žarek je ustvaril v umetnem rubinu. V tistem času je raziskovalno deloval na Hughes Research Laboratories v Malibuju v Kaliforniji. Svoje odkritje je popisal in nekaj let zatem je svoj izum s tem popisom patentiral pod številko 3.353.115 in z naslovom »Ruby Laser Systems«.

Vse od odkritja laserskega žarka so po številnih laboratorijih, inštitutih in univerzah na svetu tekle zelo obsežne raziskave. Na njihovi osnovi so nastale številne praktične aplikacije upo-

rabe laserja. Petdeset let po odkritju laserje srečujemo vsak dan, na vsakem koraku. Prav gotovo si življenja v teh časih brez laserjev ne moremo več predstavljati.

Danes poznamo številne laserje za različne namene. Razlikujemo jih po valovni dolžini, po mediju, v katerem nastane laserski žarek, po moči, porazdelitvi energije v žarišču žarka, namenu in drugem.

Laserske žarke so po odkritju najprej začeli uporabljati v vojaške namene. Američani so jih uporabili že v vietnamski vojni proti koncu šestdesetih let. V vojski so jih najprej uporabili za merjenje razdalj in označevanje tarč, kasneje pa tudi kot orožje.

Uporaba laserskega žarka se je zatem močno razširila na skoraj neslutena področja vsakdanjega življenja. Danes ga srečamo praktično povsod. Zelo pogosto same uporabe laserskega žarka v vsakdanjem življenju sploh ne opazimo in niti ne zaznamo. Na primer: v trgovini pri branju črtne kode, pri poslušanju glasbe, pri uporabi zgoščenk, tiskanju besedil na tiskalnikih, pri predavanjih kot svetlobni kazalnik »laser pointer« itd.

Uporabljamo ga v medicini. Zaradi izredne natančnosti in natančno določene energije je laser postal nepogrešljiv pri raznih operacijah. Zelo poznana uporaba je za izžiganje obolelega tkiva (rak), pri čemer niti najmanj ne poškodujemo zdrave okolice, vrtanje zob brez vsake bolečine ter v očesni kirurgiji, kjer mrežnico, ki je odstopila z zadnje očesne stene, z laserskim žarkom privarimo nazaj.

Prof. dr. Janez Tušek, univ. dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

V medicini najpogosteje uporabljamo laserje, ki sevajo z ultravijolično svetlobo.

Ultravijolični (UV) laserji lahko izvajajo zelo kratke bliske velikih moči, ki so dolgi manj kot ena stomilijoninka sekunde. Takšne laserje uporabljamo v zobozdravstvu. Z UV-valovno dolžino dobimo učinkovit vrtni proces s skoraj nič ali zelo malo segrevanja okoliškega tkiva. Laserska tehnologija se uporablja tudi za odstranjevanje zobne gnilobe. Laser lahko skozi majhno luknjico prodre do zobne gnilobe, ne da bi pri tem preveč poškodoval maso zoba.

Vedno pogosteje se uporablja za lepotne operacije, za odstranjevanje gub na koži. Laser ima dovolj skoncentrirano energijo, da odžge prvo plast odmrlih tkiv in nekatere žive celice na površini kože, vendar ne vpliva na druge plasti kožnega tkiva.

Prav tako lahko z laserjem trajno odstranimo dlake z uporabo radiofrekvenče in optične energije. Kontroliran laserski blisk prodre v lasni mešiček, aktivno hlajenje kože pa zagotavlja povsem varen in neboleč postopek. Za trajno uničenje dlak je potrebna močna termalna poškodba mešička, ki prekine normalno rast dlak.

V gradbeništvu uporabljamo laserski žarek za določanje lege objektov. Majhni prenosni laserji so zelo primerni za natančno vodenje in nadzorovanje gradnje velikih zgradb, polaganje cevovodov ter gradnjo mostov in predorov.

Terestrično lasersko skeniranje je naprednejša tehnologija za celovit 3D-zajem prostorskih podatkov. Razvoj geodetskih merskih tehnik poteka v kombinaciji laserskega skeniranja in fotogrametrije.

Rezultat skeniranja je oblak točk – množica 3D-točk. Z oblakom točk zagotovimo visoko stopnjo geometrične popolnosti in podrobnosti terena oz. objekta in zmanjšamo stroške ponovnih vračanj na teren in dodatnih izmer. Skenirajo se zgradbe, fasade, kipi, deponije materiala ipd.

Lasersko skeniranje pa se uporablja tudi v strojništvu, zlasti za skeniranje orodij in posledično za obratni inženiring. Poznani pa so tudi številni drugi primeri.

Vse več se laser uporablja v vojaški industriji in pri samem vojskovanju. Uporabljajo ga za hitro določanje razdalj z laserskimi daljinomeri, ki delujejo po istem principu kot merjenje razdalje med Zemljo in Luno. Podoben, vendar mnogo bolj zapleten sistem uporabljajo bojna letala za avtomatsko merjenje višine. Laser tudi zelo olajša vodenje raket, ki zaznavajo razpršene laserske žarke, ki se odbijajo od označenega cilja. Prav te dni smo lahko prebrali novico, da je ameriška mornarica z ladje z laserskim žarkom izstrelila štiri brezpilotna letala, kar naj bi predstavljalo prelomnico v uporabi laserja kot orožja za večje razdalje.

Laserji se zaradi možnosti različnih privlačnih svetlobnih efektov čedalje bolj uveljavljajo v zabavni industriji. V kombinaciji različnih laserjev z različno valovno dolžino dobimo neskončno možnosti prikaza v tako imenovanih »laserskih šovih«.

Razvoj pulznih laserjev je močno pripomogel k razvoju fotokemije, ki sloni na interakciji svetlobe s snovjo. To področje zajema kemijsko spektroskopijo in fotoanalizo, ki preučuje dinamiko kemijskih procesov. S pulznimi laserji, kot so npr. barvilni, lahko s pikosekundnimi bliski posnamemo kemijske procese, ki potekajo v ekstremno kratkih časih reda nekaj nanosekund. S pomočjo laserjev lahko tudi vodimo ali spreminjamo kemične reakcije. Če spodbujamo molekulo s primerno valovno dolžino in frekvenco pulzov, lahko pospešimo ali celo spremenimo smer reakcije.

Že v uvodu smo omenili, da je uporaba laserja na področju tehnike in naravoslovja zelo raznovrstna. Tu bi se bežno dotaknili le tistih tehnologij, ki jih potrebujemo na ožjem strojniškem področju.

■ Lasersko rezanje

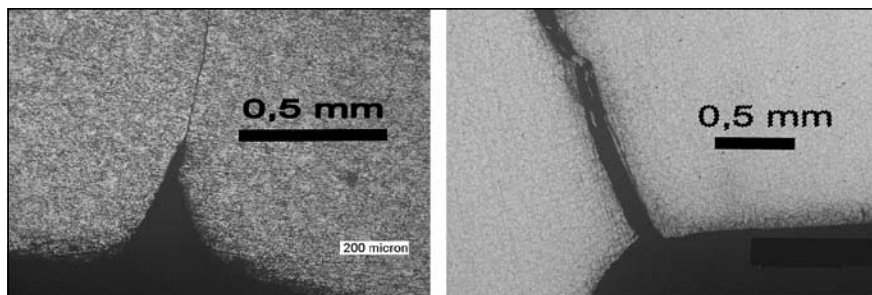
Laser se je v praksi najhitreje in najmočnejše uveljavil prav pri toplot-

nem rezanju pločevin in drugih profilov iz različnih materialov. Za lasersko rezanje največ uporabljamo plinske CO₂-laserje nekoliko manj trdninske Nd:YAG-laserje in še manj laserje ekscimer. Počasí pa se za rezanje zelo natančnih izdelkov uveljavljajo tudi diodni laserji. Pri rezanju z laserjem vedno uporabljamo tudi plin, ki lahko pospešuje rezanje ali pa le zaščiti rezano površino pred atmosfero. Prav iz tega razloga poznamo lasersko rezanje s kisikom in z nevtralnimi plini, kot sta dušik in argon. Kisik uporabljamo predvsem pri laserskem rezanju konstrukcijskih jekel. Eksotermična reakcija, ki nastane med kovino in kisikom pri povišani temperaturi, olajša rezanje, poveča njegovo hitrost in omogoči rezanje debelejših materialov. Dušik kot zaščitni plin največ uporabljamo za rezanje nerjavnih jekel. Dušik preprečuje gorenje in reakcije s kovino. Z uporabo dušika preprečimo odgor robov na rezanih ploskvah. Naloga nevtrálnih plinov je tudi, da iz reže odstrani talino. Prav zaradi tega so tlaki nevtrálnih plinov med rezanjem relativno visoki. To velja še posebno pri rezanju nekaterih barvnih kovin.

■ Lasersko varjenje

Lasersko varjenje še vedno ni doseglo tiste široke uporabe, kot smo jo mogoče pred desetletji pričakovali. Razloga sta dva. Prvi je visoka nabavna vrednost naprave in drugi kakovost varov, ki ni najboljša, predvsem pa ni stalna, zlasti pri zvarjanju debelejših varjencev. Varjence zlasti do debeline 1 mm lahko varimo brez vsakih težav. Zelo dobre rezultate dosegamo tudi pri navarjanju s prahom ali pa s tanko žico do debeline 0,8 mm ali pa pri spajkanju enakih ali različnih materialov in pri spajkanju prevlečenih pločevin z uporabo žice premera do 1,2 mm.

Lasersko varjenje pa se je v praksi zelo močno uveljavilo pri vzdrževalnih delih, pri sanaciji poškodovanih orodij. Primer laserskega žlebljenja in nato varjenja je prikazan na sliki spodaj. Na sliki 1 sta prikazani dve karakteristični razpoki na orodju za tlačno litje barvnih kovin. Glede na dimenzije razpoke lahko ugotovimo, da jih je smiselno



Slika 1. Prikaz dveh različnih, a zelo značilnih razpok na orodju za tlačno litje barvnih kovin

izžlebiti z laserskim žarkom in nato tudi z laserskim žarkom zavariti.

Na *sliki 2* sta prikazana dva žlebova, izdelana z laserskim žarkom. Tudi tu lahko ugotovimo, da so mere žlebov zelo majhne, da je toplotno vplivano območje zelo ozko in da okoli žleba ni več razpok, kar pomeni, da smo z laserskim žarkom odstranili ves razpokani material.

Večina reparaturnih varov se v praksi izdelata ročno, kar pomeni, da varilec dodaja dodajni material v obliki žice ročno v točko varjenja in da operater na stroju premika laserski žarek v zaželeni smeri s pomožno napravo ali pa s krmilno ročico.

Izžlebljene razpoke nato zavarimo. Pri tem lahko uporabimo enak dodajni material, kot je osnovni, ali pa tudi različnega. Običajno izbiramo vrsto dodajnega materiala glede na zahtevo po trdoti, ki jo ima orodje in jo mora imeti tudi navar. Za orodna jekla imajo te žice ponavadi nekoliko povečan odstotek kroma in zmanjšano vsebnost ogljika. Zelo pogosto pa za varjenje razpok uporabimo dva različna materiala. Za koren vara, to je za varke v spodnjem delu izžlebljene razpoke, uporabimo mehek in žilav material, da prepreči nastajanje novih razpok in širjenje starih, ki so morda še ostale v notranjosti orodja. Vrhnje (temenske) varke pa varimo s trdim materialom, da po varjenju dobimo na površini sarniranega orodja ustrezno trdoto.

Na *sliki 3* sta prikazana dva primera zavarjenih razpok na orodjih za tlačno litje aluminija. Oba vara sta izdelana iz dveh različnih materialov. Korenski varek je izdelan iz mehkega in žilavega materiala, polnilni pa iz trdnega jekla. Var na levi strani je popolnoma brez

napak. Na desni strani pa vidimo razpoko, ki je nastala v osnovnem materialu in se razširila do korena vara. Tam pa se je ustavila v relativno mehkem in žilavem materialu. Na ta način sanirane razpoke lahko orodju podaljšajo življenjsko dobo in uporabnost.

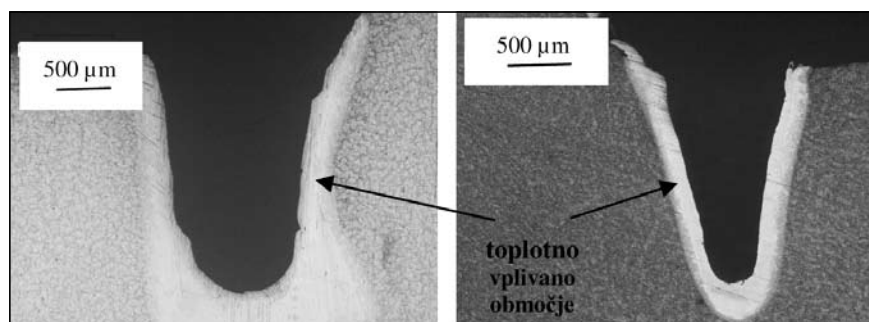
Lasersko spajkanje

Lasersko spajkanje se je v zadnjih dveh desetletjih močno uveljavilo v

kapilarnosti in omočljivosti zalije in se strdi.

Lasersko vrtanje

Lasersko vrtanje se v praksi lahko uporablja v številnih aplikacijah in tudi pri vzdrževalnih delih. V primerjavi s klasičnim vrtanjem ima kar nekaj prednosti. Vrta se brezkontaktno, vnos energije je majhen, mehanske sile so nizke, kar ugodno vpliva pri vrtanju na robovih, natančnost vrtanja je velika, lahko vrtamo zelo različne materiale in zelo različne oblike lukenj. Pri vrtanju moramo uporabiti laserski žarek s premerom v žarišču od 10 do 20 μm . To pomeni, da so premeri lukenj lahko že od nekaj 10 μm naprej. Običajno vrtamo z bliskovnim laserskim žarkom s pravokotno obliko bliska, z Gaussovo porazdelitvijo energije v žarišču žarka in s frekvenco več kot 1000 Hz. Najpogosteje se lasersko vrtanje upo-

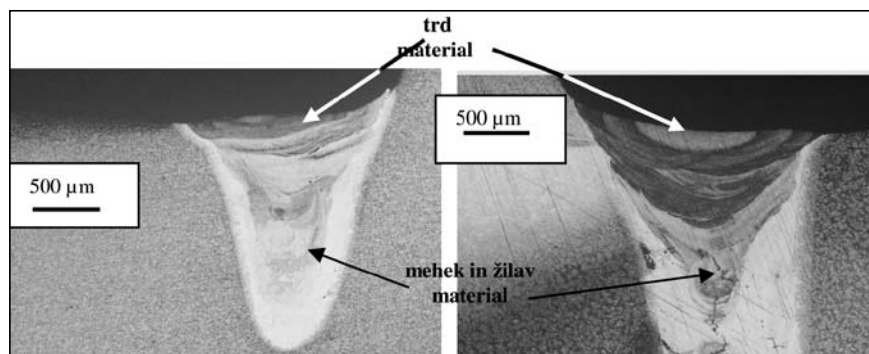


Slika 2. Dva makrobrusa z laserjem izžlebljenih razpok

avtomobilski industriji. Uporablja se za spajkanje posameznih delov karoserije. Pomembno je, da pripravimo zvarni stik v obliki ozke špranje, ki jo zalije tekoča spajka. Spajko v obliki tanke žice raztalimo z laserskim žarkom. Raztaljena spajka pade v špranjo med dve pločevini, jo zaradi

rablja za izdelavo lukenj v nekovinskih materialih, kot so keramika, kompoziti, kamen in drugo. Lahko vrtamo pravokotno na površino obdelovanca ali pa pod poljubnim kotom.

Pri vzdrževalnih delih je lasersko vrtanje ustrezno, če se nam pri vrtanju



Slika 3. Dva lasersko izdelana vara v izžlebljenih razpokah, sestavljena iz dveh vrst dodajnih materialov

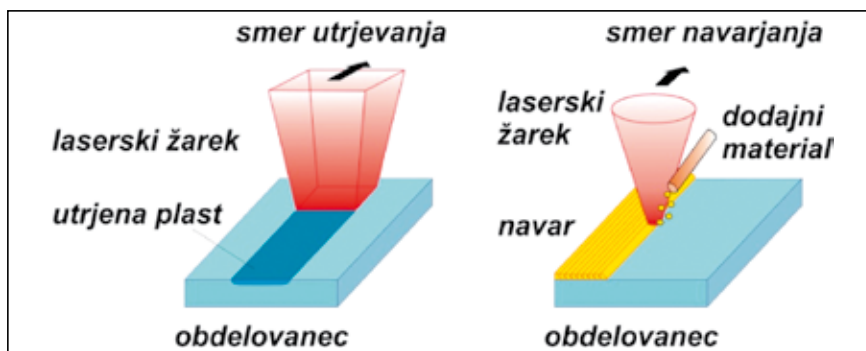
zlomi sveder in ostane konica v luknji, ali pri zlomu navojnega svedra in podobno. Koristno se ga da uporabiti za vrtanje na robovih raznih orodij, pri spremembi geometrije različnih orodij za brizganje plastike ali pa za tlačni liv barvnih kovin. Taka orodja so toplotno obdelana in jih je zelo težko vrtati s klasično tehnologijo.

Lasersko graviranje

Lasersko graviranje je glede na število naprav, ki delujejo v praksi, najpogostejše uporabljena laserska tehnologija. Uporablja se za splošne potrebe prebivalstva in v industriji za označevanje proizvodov. Postopek se uporablja za različne namene, gravirajo se zelo različni materiali in v zelo različnih stopnjah avtomatizacije. Danes skoraj ni materiala, na katerega ne bi mogli gravirati. Najpogostejše lasersko graviramo v kovino, zelo pogosto v plastiko, les in tekstil. Enako pomembno je graviranje v keramiko, kamen in nakit. Za lasersko graviranje je pomemben laserski vir, ki omogoča koncentracijo laserskega žarka v zelo majhno točko. Podobno kot pri laserskem vrtanju.

Lasersko utrjevanje

Lasersko utrjevanje površin posameznih delov lahko dosežemo z ogretjem površine z laserskim žarkom do kalilne temperature in nato s hitrim ohlajanjem površino utrdimo. Pri drugem načinu pa moramo površino raztaliti in v talino na tak ali drugačen način vnesti potrebne legirne elemente za utrditev površine. Prednosti laserskega utrjevanja so predvsem v zelo natančni kontroli vnosa energije. Na vsakem strojnem elementu lahko zelo natančno določimo, katere površine bomo utrdili in katere ne. Pri raznih rezilnih orodjih lahko utrdimo le rezalni rob, ostala površina pa lahko ostane mehka in žilava, kar je zelo ugodno pri prenašanju dinamičnih obremenitev. V principu lahko uporabimo različne vrste laserjev. Pomembni sta oblika žarka v fokusu in valovna dolžina, ki vpliva na absorpcijo laserske energije. V praksi se za lasersko utrjevanje vedno pogostejše uporabljajo diodni laserji.



Slika 4. Shematski prikaz dveh različnih laserskih tehnologij; levo – lasersko utrjevanje, desno – lasersko navarjanje

Na sliki 4 vidimo bistveno razliko med navarjanjem z laserjem in laserskim utrjevanjem. Razlika je opazna predvsem v obliki laserskega žarka, ki učinkuje na površino obdelovanca. V tabeli pa so podani tudi okvirni parametri za oba postopka. Opazno razliko lahko vidimo predvsem pri gostoti energije v laserskem žarku, ki učinkuje na obdelovanec.

Lasersko čiščenje površin

Koncentrirana svetloba iz laserja se lahko uporabi tudi pri laserskem čiščenju površin. Z laserskim žarkom lahko brezdotično odstranimo okside, barve, galvansko nanese kovine in druge nečistoče. Pogosto ta način uporabljamo za elemente, ki jih nato lepimo. S takšnim čiščenjem ne odstranimo samo vrhnje plasti, ampak tudi pripravimo površino za nanos lepila, da lepilo lažje reagira s površino obdelovanca, ki ga lepimo.

Zdaj se lasersko čiščenje še največ uporablja pri odkrivanju in restavriranju starih spomenikov, grobišč in drugih arheoloških najdb ter napisov na njih.

Lasersko poliranje

Uporaba laserskega poliranja v praksi še ni zaživel, čeprav v številnih raziskovalnih ustanovah to tehniko raziskujejo in študirajo številni znanstveniki in številni praktiki. Največji razlog je v nizki produktivnosti poliranja in v visokih stroških opreme. Osnovni princip laserskega poliranja je v uparjanju in taljenju materiala oziroma »vrhov« na površini, ki jo želimo spolirati.

Prihodnost laserja

V bodoče pričakujemo uporabo laserja še na nekaterih področjih, ki danes še niso prav dobro zastopana.

Ena najbolj presenetljivih stvari, ki jih je omogočil laser, je holografija, ki omogoča izdelavo tridimenzionalnih slik. Z njeno pomočjo bodo morda nekega dne naredili barvni 3D-film in televizijo.

Drugo področje, kjer se bo laser vse več uporabljal, so komunikacije. Drobn in gibki kabli, ki jim pravimo optična vlakna, lahko prenašajo lasersko svetlobo na zelo velike razdalje. Svetloba se odbija od notranjih sten optičnega vlakna in prenaša informacije. Telefonska omrežja prenašajo mnogo več informacij kot tista z navadnimi električnimi kabli.

Tretje področje, kjer lahko prinese uporaba laserja velik napredek, je zlitje atomskih jeder. Ta reakcija poteka v zvezdah in vodikovih bombah. Za zlitje jeder je potrebna visoka temperatura, ki jo lahko zagotovimo z laserjem. Z laserjem segrejemo vodik na več milijonov stopinj, pri čemer se spremeni v helij, pri tem pa odda ogromno energije. Enak proces poteka v Soncu, kar pomeni, da bi si lahko zagotovili praktično neizčrpen vir energije.

Na strojniškem področju se bo uporaba laserja širila na vseh zgoraj naštetih področjih. Z vedno večjimi zahtevami po natančni izdelavi produktov po eni strani in po drugi po visoki produktivnosti bo uporaba laserskega žarka nujno potrebna. Obvladovanje nanotehnologij na strojniškem področju bo možno le z uporabo laserskega žarka z zelo različnimi parametri in lastnostmi. ■