

Razmatranje primene tehnologije laserske obrade u izradi cilindričnih zupčanika sa pravim zubima sa aspekta kvaliteta obrađene površine

Vladimir Blanuša
Mašinski odsek
Visoka tehnička škola strukovnih studija
Novi Sad, Srbija
blanusa@vtsns.edu.rs

Milan Zeljković, Aleksandar Živković,
Branko Štrbac, Miodrag Hadžistević,
Departman za proizvodno mašinstvo
Fakultet tehničkih nauka
Novi Sad, Srbija
milanz@uns.ac.rs, acoz@uns.ac.rs,
strbacb@uns.ac.rs, miodrags@uns.ac.rs

Sažetak—U radu se analiziraju tehnološke karakteristike laserskog postrojenja "TruLaser 3030 3200W". Razmatraju se tri tipa kvaliteta obrađene površine (nizak, srednji i visok) koja je definisao proizvođač mašine, a primenom kontaktne profilometrije određuju se vrednosti srednjeg aritmetičkog odstupanja R_a za sve tipove kvaliteta obrađene površine. Na osnovu vrednosti srednjeg aritmetičkog odstupanja određuju se kvaliteti obrađene površine dobijene laserskim rezanjem. U radu se analizira mogućnost izrade cilindričnih zupčanika sa pravim zubima primenom tehnologije laserskog rezanja.

Ključne riječi: Laserska obrada; tehnološke karakteristike; kvalitet obrađene površine; izrada zupčanika sa pravim zubima

I. UVOD

Konstantan razvoj kvalitetnih, funkcionalnih i ekonomičnih proizvoda u svim industrijskim granama, dovodi do permanentnog razvoja čitavog niza novih materijala, razvoja novih tehnologija kao i poboljšanja postojećih tehnologija obrade. Novi materijali koji se koriste imaju specifične osobine, kao što su visoka zatezna čvrstoća i tvrdoća, ekstremna otpornost prema visokim temperaturama, habanju, hemijskim delovanjima i slično. Obrada novih materijala je klasičnim konvekcionalnim postupcima [1] veoma teška, u nekim slučajevima ekonomski ne opravdana, pa čak i nemoguća u određenim slučajevima. Zbog toga je došlo do razvoja postupka obrade koji rade na sasvim novim principima. Obzirom da se kod novih postupaka obrade skidanjem materijala ostvaruje na sasvim drugim principima u odnosu na konvencionalne postupke obrade rezanjem, to su isti dobili naziv nekonvencionalni postupci obrade [2].

Laserom, kao jednim od prestavnika nekonvencionalnih postupaka, mogu se uspešno, tačno i ekonomično obrađivati svi materijali koji imaju nizak koeficijent toplotne provodnosti i refleksnosti, bez obzira na njihove mehaničke karakteristike. Osnovna karakteristika laserske obrade je da se skidanje materijala ostvaruje topljenjem, isparavanjem ili sagorevanjem posredstvom velike količine toplotne energije po jedinici

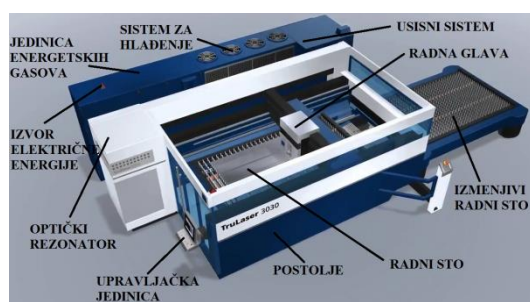
površine. Ovaj vid obrade se izvodi beskontaktno tako da ne postoji trošenje alata [3].

Osnovni cilj rada je da prikaže tehnološke parametre obrade i za njih definiše kvalitete obrađene površine kao i da prikaže mogućnosti izrade cilindričnih zupčanika sa pravim zubima.

II. LASERSKO POSTROJENJE "TRULASER 3030 3200W"

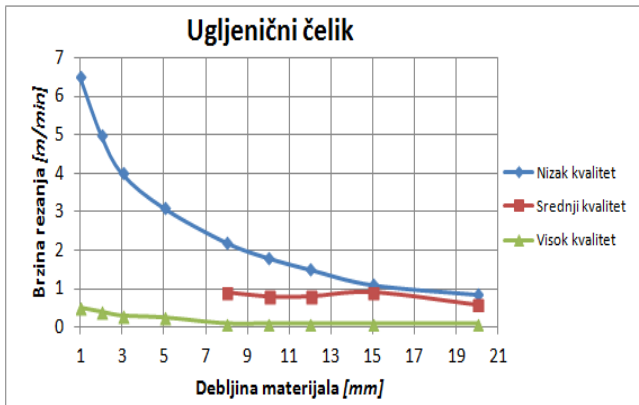
Lasersko postrojenje "TruLaser 3030 3200W" spada u postrojenja novije generacije i ima dva stola od kojih je jedan radni sto a drugi izmenjivi čime se postižu znatne uštede u vremenu. Postrojenje se koristi za sečenje metalnih materijala kao što su: nerđajući čelik, ugljeni čelik, aluminijum, itd. debljine do 15 mm u zavisnosti od vrste materijala. Kao i kod većine laserskih postrojenja, pa i kod "TruLaser 3030" postrojenja (Sl. 1.), sistem je podeljen u nekoliko celina koji omogućava stabilan rad:

- optički rezonator,
- izvor za napajanje električne energije,
- jedinica za napajanje energetskim gasovima,
- jedinica za hlađenje optičkog sistema,
- sistem za vođenje i oblikovanje laserskog zraka,
- radna glava,
- usisni sistem,
- radni prostor mašine,
- upravljačka jedinica.



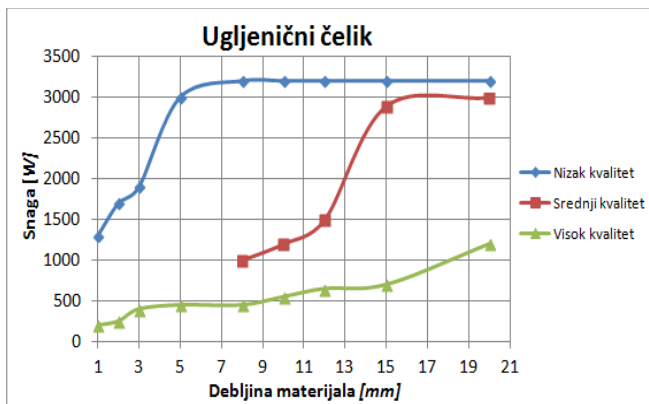
Slika 1. Izgled laserskog postrojenja "TruLaser 3030 3200W" [4]

Brzina rezanja je najznačajniji parametar koji utiče na proizvodnost, tačnost i kvalitet obrađene površine. Proizvođač mašine je predvideo tri kvaliteta obrađene površine (nizak, srednji i visok) i za njih je preporučio režime obrade. Za potrebe izrade zupčanika korišćen je ugljenični čelik pa su samo za njega prikazane vrednosti brzine rezanja u zavisnosti od debljine materijala (Sl. 2.).



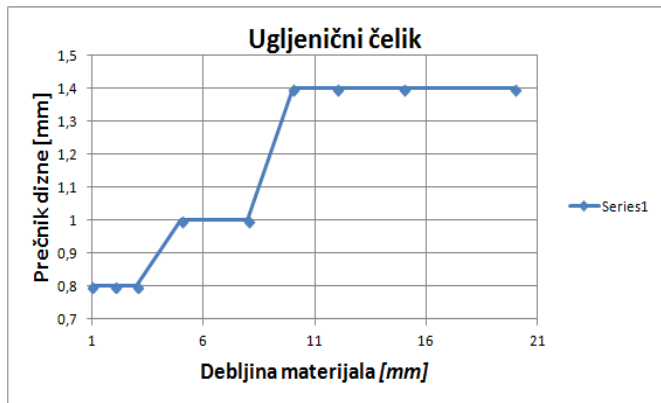
Slika 2. Uticaj brzine rezanja i debljine materijala na kvalitet obrađene površine

Pored brzine rezanja jedan od vrlo uticajnih parametara na kvalitet obrađene površine je snaga lasera (Sl. 3.).



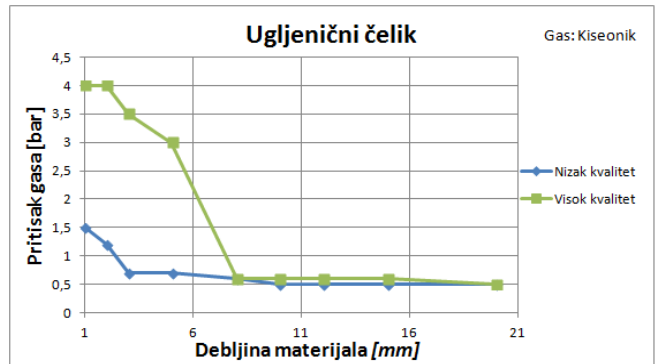
Slika 3. Uticaj snage lasera na kvalitet obrađene površine

Prečnik dizne koji se koristi pri obradi zavisi od vrste i debljine materijala što je prikazano na Sl. 4.



Slika 4. Zavisnost prečnika dizne od debljine materijala koji se reže

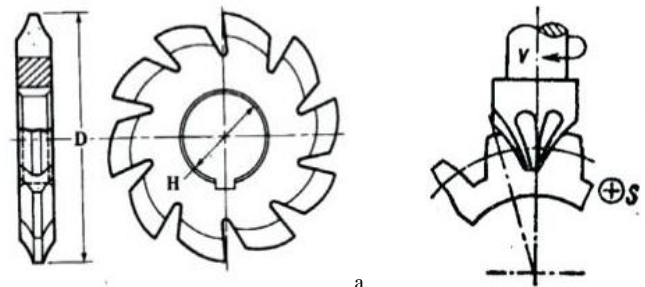
Vrsta i pritisak gasa utiču na kvalitet obrađene površine a najveći uticaj je kod obrade tankih materijala. Na Sl. 5 prikazan je uticaj pritiska gasa i debljine materijala na kvalitet obrađene površine.



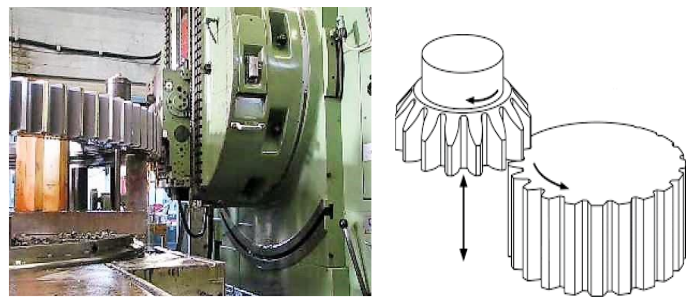
Slika 5. Zavisnost pritiska gasa od debljine materijala koji se obrađuje

III. IZRADA ZUPČANIKA KONVENCIONALNIM METODAMA OBRADRE REZANJEM

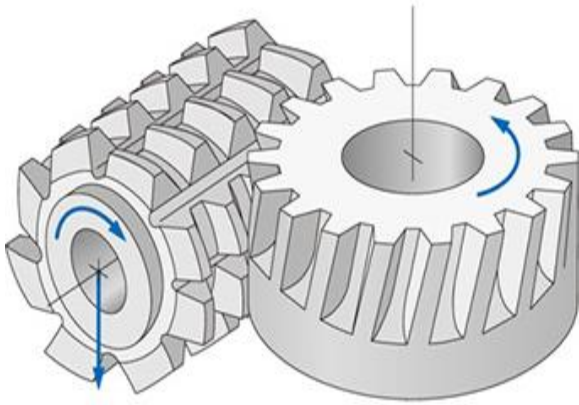
Zupčasti prenosnici se koriste za prenošenje obrtnog momenta sa jednog na drugo vratilo neposrednim kontaktom zubaca. Imaju široku mogućnost položaja osa zupčanika (ose zupčanika su paralelne, ose se mimoilaze i ose se seku) što im omogućava veliku primenu u različitim mašinskim konstrukcijama [5],[6]. Jedna od mana zupčastih prenosnika leži u njihovoj složenoj i skupoj izradi. Postoji veliki broj tehnologija za izradu zupčanika, kao na primer, glodanjem profilnim glodalom namenjenim za glodanje zupčanika velikih modula (pločastim-Sl. 6.a i vretenastim-Sl. 6.b.) [7], izrade zupčanika rendisanjem Mag postupkom kod kog je alat oblika zupčaste letve (Sl. 7.a), izrade zupčanika Felouz postupkom (Sl. 7.b) i izrade zupčanika odvalnim glodalom-Pfauter metodom (Sl. 8.) [8], [9].



Slika 6. Alati za izradu zupčanika profilnim glodanjem



Slika 7. Izradu zupčanika rendisanjem sa alatima oblika zupčaste letve i zupčanika

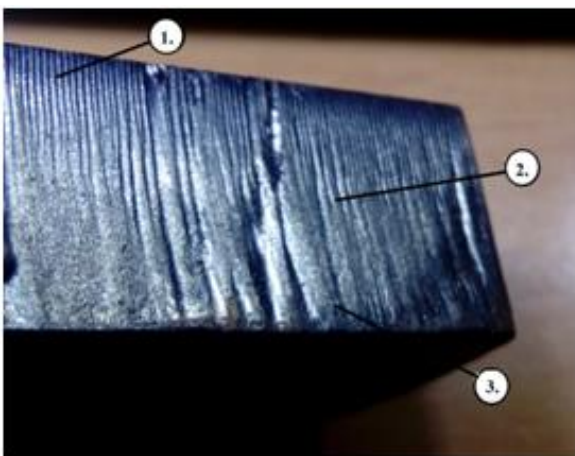


Slika 8. Izradu zupčanika odvalnim glodalom-Pfauter metoda

IV. KVALITET OBRADENE POVRŠINE LASERSKIM REZANJEM

Na površini laserskog reza uočava se specifičan oblik neravnina. Ove neravnine u obliku polukružnih žljebova ili brazdi pravilnog oblika, posledica su oblika fokusiranog laserskog zraka, neravnomernog i nepravilnog toka rastopljenog materijala, brzine rezanja i procesa stvaranja, odnošenja i očvršćavanja rastopljenog materijala na mestu reza. Javljaju se najčešće usled turbulencija u oblasti rastopa naročito pri malim brzinama rezanja. Neravnine na površini laserskog reza su periodična pojava, pa su uzroci nastanka uglavnom: vibracije, nestabilnost snage, nestabilnost protoka pomoćnog gasa, brzina rezanja [10].

Vizuelnim posmatranjem površine reza kod laserskog sečenja uočavaju se tri zone (Sl. 9.): gornja, u području ulazne snage laserskog zraka, koja je jedna fino obrađena površina pravilnih žljebova na međusobnom rastojanju od 0,1 do 0,2 (mm), prelazna zona i donja zona, u području izlazne snage laserskog zraka, kod koje je površina reza grublja, sa žljebovima nastalim usled odnošenja rastopine i troske iz zone reza [10].



Slika 9. Karakteristične zone na površini laserskog reza

Proizvođači laserske opreme svrstavaju kvalitete obrađene površine u tri moguće klase: nizak, srednji i visok kvalitet. Izgled navedenih kvaliteta je prikazan na Sl. 10 [3].



Nizak Srednji Visok
Slika 10. Kvalitet obrađenih površina dobijenih pri obradi laserom

Hrapavost površine predstavlja mikrogeometrijske nepravilnosti površine koje su nastale u toku procesa obrade ili pod dejstvom nekih drugih uticaja. Hrapavost površina značajno utiče na ponašanje delova u eksploataciji i teži se da bude što manja bez obzira na značajnu skuplju obradu.

Hrapavost obrađene površine pripada domenu mikro – karakteristika kvaliteta obrađene površine. Laserska obrada spada u dosta grubu obradu i takođe bi bilo korisno ispitati odstupanja od oblika ovako dobijenih površina kao što su npr, pravost ili ravnost. Takođe, ako se ova tehnologija koristi za izradu zupčanika bilo bi interesantno ispitati tribološke efekte ovih površina kao što je npr. noseća dužina profila.

V. REZULTATI ISPITIVANJA KVALITETA OBRADENIH POVRŠINA

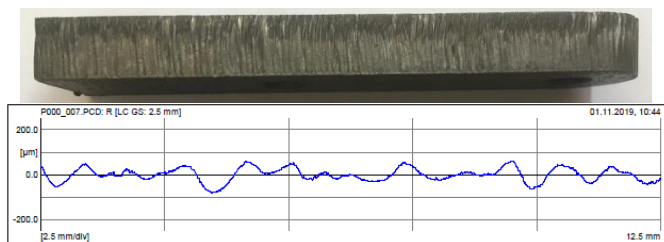
Merenje površinske hrapavosti vršeno je metodom kontaktne profilometrije. Korišćen je uređaj MarSurf PS1, Mahr GmbH, Nemačka (opseg merenja $R_a=0.01$ do $38\mu m$, rezolucija $0.001mm$, proširena merna nesigurnost $U=4.12\%$.) Proces merenja je vršen tako što je merni pipak prečnika $2\mu m$ smešten u merni senzor "preslikavao" profil ispitivane površine u vidu velikog broja uzorkovanih tačaka pod dejstvom sile $F=0.7mN$. Hod pipka definisan je dužinom snimanja $L_t=17.5$. Dužina ocenjivanja $L_m=12.5mm$ i vrednost referentne dužine (veličina cut-off filtera) $\lambda_c=2.5mm$, određena je izborom veličine L_t prema ISO standardu [11]. Promena položaja pipka u pravcu neravnina ispitivanog profila transformiše se u električni signal. Zabeležen električni signal se pojačavao i filtrirao, sa ciljem otklanjanja vrednosti talasnih dužina koje ne odgovaraju hrapavosti i dobijanja odgovarajućih parametara površinske hrapavosti. Vrednost srednjeg aritmetičkog odstupanja profila (R_a) je uzeta da reprezentuje stanje obrađene površine. Na Sl. 11 a, 11 b i 11 c. prikazana je površina dobijena laserskim rezanjem kao i vrednosti srednjeg aritmetičkog odstupanja dobijenih merenjem ovih površina.

Na osnovu dobijenih rezultata prikazanih na Sl. 11.a može se zaključiti da nizak kvalitet obrađene površine po preporukama proizvođača ne spada ni u jednu klasu hrapavosti jer je srednje aritmetičko odstupanje veće od $50\mu m$.

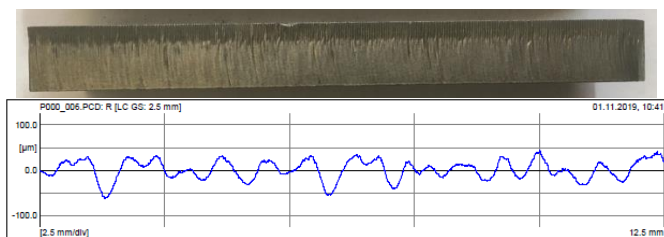
Srednji kvalitet obrađene površine prikazan je na Sl. 11.b i na osnovu eksperimentalnih rezultata dobijeno je srednje aritmetičko odstupanje $R_a=17,36\mu m$ pa se dobija da je klasa površinske hrapavosti N11.

Visok kvalitet obrađene površine prikazan je na Sl. 11.c, kao i rezultati eksperimentalnog određivanja srednjeg aritmetičkog odstupanja. Na osnovu rezultata srednjeg aritmetičkog odstupanja $R_a=6,3$ može se zaključiti da je klasa površinske hrapavosti N9.

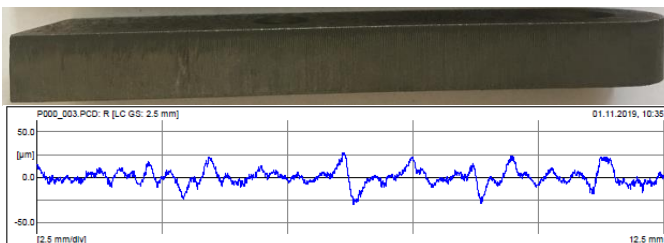
Posmatranjem rezultata može se zaključiti da je najbolji kvalitet obrađene površine dobijen pri visokom kvalitetu obrade i da se on nalazi na granici između stepena hrapavosti N9 i N10 (srednje aritmetičko odstupanje 6,3 μm). Na osnovu slike 2 vidi se da je brzina rezanja kod visok kvaliteta obrađene površine vrlo mala i da njena vrednost posebno opada kod čelika debljeg od 5 mm pa se postavlja pitanje ekonomičnosti obrade visokim kvalitetom.



a. Nizak kvalitet obrađene površine



b. Srednji kvalitet obrađene površine



c. Visok kvalitet obrađene površine

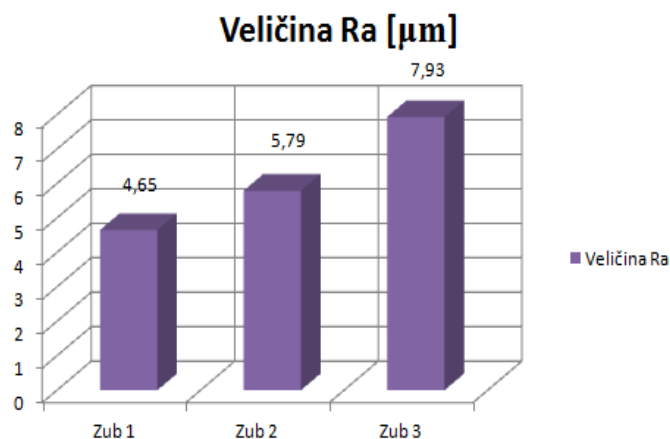
Slika 11. Eksperimentalno određivanje srednjeg aritmetičkog odstupanja R_a

Izgled cilindričnih zupčanika sa pravim zubima izrađenih laserskim rezanjem prikazan je na Sl. 12.



Slika 12. Izgled zupčanika dobijenih laserskim rezanjem

Klasa površinske hrapavosti boka zuba zupčanika određena je na osnovu vrednosti srednjeg aritmetičkog odstupanja R_a , i eksperimentalno je ispitana na 3 zuba zupčanika (Sl. 13.), prosečna vrednost 6,12 [μm]. Zubi na kojima je mereno srednje aritmetičko odstupanje su izabrani metodom slučajnog uzorka.



Slika 13. Vrednosti srednjeg aritmetičkog odstupanja R_a na boku zuba zupčanika

VI. ZAKLJUČAK

Ideja primene laserske tehnologije za izradu cilindričnih zupčanika sa pravim zubima leži u činjenici da se ove CNC mašine programiraju primenom CAD/CAM programske sisteme, kojima se na jednostavniji način može dobiti geometrijski oblik evolvente zuba zupčanika.

Kvaliteti obrađenih površina dobijeni tehnologijom laserske obrade (maksimalno N9) su znatno manji od onih koji se dobijaju tehnologijom glodanja (grubo N8 i završno N5). Kvalitet obrađene površine u opsegu N8 do N10 se preporučuje kod poljoprivrednih i drugih "grubih" mašina kod kojih je opseg obimnih brzina 6-3 [m/s]. Pored toga mogućnost primene ove tehnologije leži u činjenici da obrada laserom ima ograničenje u debljini materijala koji se mogu obrađivati.

ZAHVALNICA

Prvi autor rada zahvaljuje se strukovnom inženjeru mašinstva, Dejanu Jovanoviću zaposlenom u firmi Frigo Žika koji je podelio svoja stručna znanja u radu sa mašinom "TruLaser 3030 3200W" i na taj način pomogao u pisanju ovog rada.

LITERATURA

- [1] P. Kovač, "Rezanje metala," Fakultet tehničkih nauka-Novi Sad, 1998.
- [2] M. Gostimirović, "Nekonvencijalni postupci obrade," Fakultet tehničkih nauka-Novi Sad, 2012.
- [3] V. Blanuša, "Stematizacija tehnoloških karakteristika laserskog postrojenja Impuls 6020 4000W", Master rad, Fakultet tehničkih nauka-Novi Sad, 2009.
- [4] TruLaser 3030/3200W, "TrueLaser Seies 3000", Ditzingen-Germany, 2008.
- [5] S. Kuzmanović, "Mašinski elementi," Fakultet tehničkih nauka-Novi Sad, 2010.

- [6] M. Ognjanović, "Mašinski elementi," Mašinski fakultet-Beograd, 2011.
- [7] B. Sovilj, "Profilni noževi," Fakultet tehničkih nauka-Novu Sad, 1995.
- [8] M. Zeljković, "Obradni i tehnološki sistemi," Fakultet tehničkih nauka-Novu Sad, Neobjavljen materijal.
- [9] I. Sovilj Nikić, "Modelovanje i optimizacija procesa odvalnog glodanja," Fakultet tehničkih nauka-Novu Sad, Neobjavljen materijal.
- [10] M. Mandić, "Matematičko modeliranje i optimizacija procesa laserskog sečenja primenom metoda veštačke inteligencije," Doktorska disertacija, Mašinski fakultet-Niš, 2013.

ABSTRACT

This paper analyzes the technological characteristics of the "TruLaser 3030 3200W" laser plant. Three types of quality of the treated surface (low, medium and high) are defined, defined by the machine manufacturer, and the values of the

mean arithmetic deviation of Ra for all types of quality of the treated surface are determined using a coordinate measuring machine. Based on the mean arithmetic mean value, the quality of the treated surface is determined by laser cutting. The paper analyzes the possibility of making cylindrical gears with real teeth using laser cutting technology.

APPLICATION OF LASER PROCESSING TECHNOLOGY IN THE PRODUCTION OF CYLINDRICAL GEARS WITH REAL TEETH

Vladimir Blanuša, Milan Zeljković, Aleksandar Živković,
Branko Štrbac, Miodrag Hadžistević