

Eksperimentalno ispitivanje hrapavosti površina kod delova dobijenih SLA tehnologijom 3D štampe

Vladimir Blanuša, Branko Savić
Mašinsko inženjerstvo
Visoka tehnička škola strukovnih studija
Novi Sad, Srbija
blanusa@vtsns.edu.rs, savic@vtsns.edu.rs

Branko Štrbac, Miloš Ranisavljev
Departman za proizvodno mašinstvo
Fakultet tehničkih nauka
Novi Sad, Srbija
strbac@uns.ac.rs, ranisavljev@uns.ac.rs

Sažetak—U ovom radu izvršeno je eksperimentalno ispitivanje hrapavosti ravnih površina delova dobijenih SLA tehnologijom 3D štampe. Primenom 3D štampača Halot SKY izvršeno je štampanje prizmatičnih delova dimenzija 100x50x30 mm i 100x50x20 mm, i hrapavost površina je merena na horizontalnoj površini (gornjoj površini prizme), vertikalnoj površini prizme (sa prednje strane) i profilnoj površini prizme (sa desne strane). Eksperimentalnim ispitivanjem određene su vrednosti srednjeg aritmetičkog odstupanja profila R_a i na osnovu njene vrednosti definisana je hrapavost površine.

Ključne riječi—3D štampa; SLA tehnologija štampe; Hrapavost površina ;

I. UVOD

Trodimenziono štampanje omogućilo je proizvodnim kompanijama da proizvode prototipove mnogo brže nego ranije, često za nekoliko dana ili ponekad za samo nekoliko sati osmišljavanja proizvoda. U 3D štampi dizajneri kreiraju modele koristeći softvere za projektovanje primenom softvera za računarom podržano projektovanje (CAD), a nakon toga uz pomoć softvera za pripremu 3D štampe i 3D štampača vrši se izrada prototipa [1]. Danas se tehnologije 3D štampe koriste za izradu funkcionalnih delova dok je to nekad bio slučaj samo u izradu prototipova. Tehnologija štampe je i dalje u stalnom razvoju pa se tako i danas radi na još većem povećanju finocće detalja koji mogu da se izrade, povećanju tačnosti, poboljšanju mehaničkih osobina izrađenih delova, povećanju radnog prostora štampanja odnosno dimenzija delova koji se mogu dobiti 3D štampom itd.

SLA tehnologija 3D štampe predstavlja postupak izrade delova na način sloj po sloj primenom fotohemijskog procesa kod kog svetlost dovodi do toga da se hemijski monomeri i oligomeri međusobno povezuju i formiraju polimer. Modeli se formiraju na način da UV svetlost osvetljava površinu posude sa tečnim fotopolimerom (ABS, PLA, itd.). Model se u toku izrade „lepi“ na pokretnu platformu i formira iz više slojeva, a karakteristično je da on na kraju štampe zajedno sa platformom izlazi iz kadice popunjene tečnim fotopolimerom [2]. U zavisnosti od položaja mehanizma za generisanje UV svetlosti može se zaključiti da postoje dva tipa štampača i to jedan koji osvetljava tečni fotopolimer sa donje strane kadice i drugi koji osvetljava tečni fotopolimer sa gornje strane kadice.

Značajne prednosti ove tehnologije štampe jesu što se mogu dobiti veoma visoki nivoi detalja sa malom hrapavošću površine kao i relativno visoka proizvodnost. Na osnovu ovoga može se zaključiti da SLA tehnologija štampe predstavlja veoma inovativan alat koji je pronašao svoje mesto u različitim granama industrije, mašinstvu, građevini, farmaciji, elektronici, medicini, umetnosti, proizvodnji dečijih igračaka itd. [2]-[6]. Ovi veoma značajni podaci koji pokazuju veoma široku primenu SLA tehnologije 3D štampe sigurno će još više doprineti popularizaciji i dodatnom razvoju ove tehnologije štampe. Pored određenih prednosti ova tehnologija štampe ima i određene nedostatke koji se odnose na nešto komplikovaniji rad samog štampača, teže pripreme za štampu, kao i problema koji su vezani za rad sa različitim vrstama tečnih fotopolimera. Nedostatak ove tehnologije štampe u odnosu na FDM metodu ogleda se u mnogo komplikovanijoj pripremi samog štampača (čišćenje i pranje platforme, čišćenje posude za tečni fotopolimer, obavezno se mora procediti tečni fotopolimer kako sa njim u posudu ne bi otišla određena nečistoća koja može da ošteti štampač). Prethodno navedeno direktno utiče i na samu proizvodnost ovih štampača.

Kupci prilikom izbora proizvoda koji će kupiti, pored kvaliteta i funkcionalnosti, veliku pažnju pridaju esteticima, odnosno izgledu proizvoda. Baš iz ovog razloga dizajn proizvoda ima najznačajniju ulogu u njegovoj prodaji, i nije slučajno što mu se pridaje toliko veliki značaj. Nakon vizuelnog čula kojim potrošači ocenjuju proizvod sigurno najznačajnije čulo koje koristi čovek pri izboru proizvoda je čulo dodira-heptičko čulo. Čovek prilikom heptičkog pregleda proizvoda ocenjuje njegovu hrapavost, mekoću, klizavost, toplotu i u svom mozgu registruje sve njegove nedostatke. Sigurno je hrapavost površina jedan od najbitnijih parametara koje registruje ljudski mozak i iz tog razloga joj se posvećuje velika pažnja [7].

Hrapavost površine predstavlja mikrogeometrijske nepravilnosti površine koje nastaju u toku izrade ili u toku eksploatacije. Pored vizuelnih nedostataka kod delova sa velikom hrapavošću površina značajan efekat hrapavost ima u ponašanju funkcionalno primenljivih delova. Delovi sa manjom hrapavošću generalno imaju veću dinamičku čvrstoću, veću sposobnost naleganja i bolju toplotnu provodljivost između elemenata što im omogućuje širu primenu. Sigurno da je hrapavost delova dobijenih 3D štampom direktno povezana sa načinom proizvodnje dela, uticajima tehnoloških

parametara, izborom tipa štampača (SLA, SLS, FDM itd.). Svakako da se manja hrapavost delova dobija sa dužim vremenom štampe što direktno utiče na samu proizvodnost i cenu dela.

II. 3D ŠTAMPAČ HALOT SKY

3D štampač "HALOT-SKY" funkcioniše koristeći monohromatsku LCD tehnologiju. Opremljen je brojnim funkcijama kao što su korisna Wi-Fi konekcija, 5-inčni ekran i ARM Cortex A53 CPU. Sa radnom površinom 192x120x200 mm mogu se proizvoditi predmeti poput nakita, ukrasnih predmeta, modela iz arhitekture, medicine, stomatologije, obrazovanja, i drugih oblasti. Izgled štampača "HALOT-SKY" prikazan je na Sl. 1 [8].



Slika 1. Izgled 3D štampača "HALOT-SKY" [8]

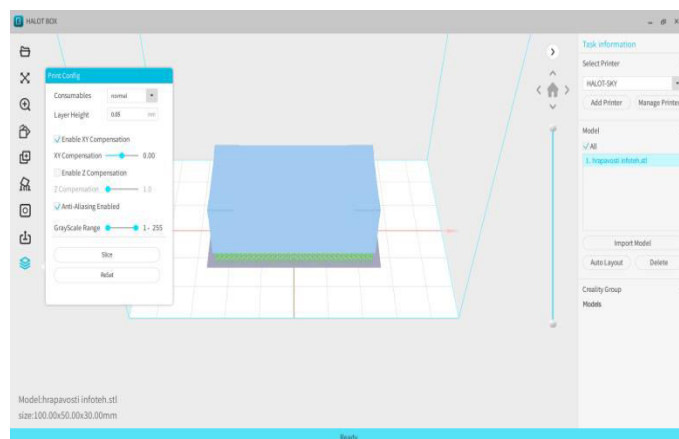
Osnovne karakteristike štampača:

- Proizvođač: Creality,
- Tehnologija 3D štampe: mSLA (UV LCD),
- Radna površina: 192x120x200 mm,
- Brzina štampe: 1-4 s/layer,
- LCD rezolucija: 3840*2400 (4k),
- Zatvorena komora: DA,
- Rezolucija sloja (layer): 0.01 - 0.05 mm
- Debljina sloja (layer): 0.01 - 0.2 mm

Priprema za štampu vrši se uz pomoć specijalizovanog programskog paketa "Halot box".

Programski paket ima mogućnost čitanja fajlova sa ".stl" ekstenzijom koji su prethodno napravljeni i snimljeni u nekom od programskih sistema za 3D modelovanje (na primer

Autodesk Inventor, SolidWORKS, AutoCad itd.). Nakon učitavanja modela u program vrši se podešavanje njegove razmere i pozicioniranje modela na radnu platformu štampača. Definisane položaja predmeta zavisi dosta od same geometrije i dimenzija modela. Izgled 3D modela kao i tehnoloških parametara štampe u programskom paketu Halot Box prikazana je na Sl. 2.



Slika 2. Izgled grafičkog okruženja i tehnoloških parametara štampe u programskom paketu "Halot Box"

III. UREĐAJ ZA MERENJE HRAPAVOSTI

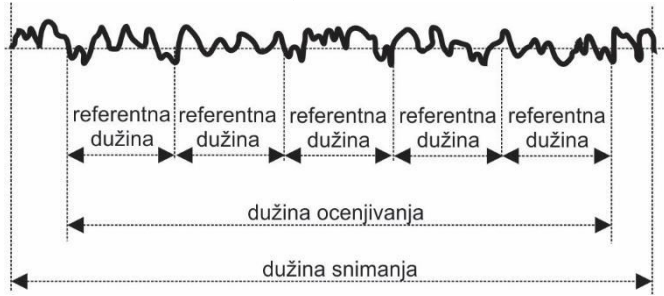
Merenje kvaliteta obrađene površine na mikogeometrijskom nivou (hrapavosti) vršeno je pomoću uređaja MarSurf PS1 proizvođača Mahr GmbH, Göttingen. Maksimalni merni raspon je 350 μm (od -200 μm do + 150 μm). Izgled uređaja za merenje hrapavosti prikazan je na Sl. 3.



Slika 3. Izgled uređaja za merenje hrapavosti "MarSurf PS1"

Maksimalna dužina merenja iznosi 17,5 mm. (ova vrednost odgovara pravolinijskom hodu mernog pipka) Uređaj je pogodan i zadovoljava standarde Međunarodne organizacije za standardizaciju DIN EN ISO 3.274. Merna nesigurnost uređaja, procenjena kalibracionim standardima, iznosi U=10%. Uređaj radi na principu kontinuiranog kontaktna između mernog pipka i radnog predmeta. Prečnik vrha mernog pipka je $d=2 \mu\text{m}$ i napravljen je od dijamanta. Nakon "preslikavanja" profila radnog predmeta otklon mernog pipka se prevodi u električni signal, filtrira se i postprocessor uređaja proračunava parametre hrapavosti i u softverskoj podršci se prikazuje profil hrapavosti. Profil hrapavosti se dobija

filtriranjem primarnog profila (preslikanog profila) filterom kratkih talasnih dužina L_s i filterom velikih talasnih dužina L_c . L_c takođe predstavlja i referentnu dužinu i često se u literaturi označava sa cut-off. Dužina snimanja i ocenjivanja diktiraju vrednosti referentne dužine, Sl. 4.



Slika 4. Izgled dužine snimanja i ocenjivanja

Za ovaj meri zadatak dužina snimanja je bila $l_t=17,5mm$ te prema ISO 16610-21:2011 standardu referentna dužina ili cut off je 2,5 mm.

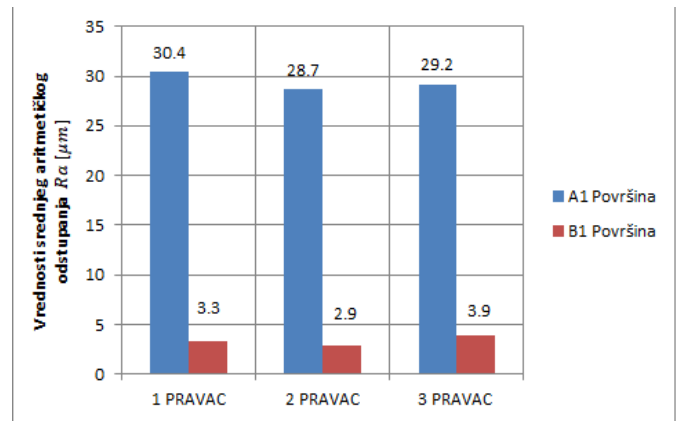
IV. EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE HRAPAVOSTI

Hrapavost površina na delovima dobijenim 3D štampom definisana je na osnovu srednjeg aritmetičkog odstupanja profila R_a . Modeli koji su pripremani za eksperimentalna ispitivanja su oblika prizme (100x50x30 mm i 100x50x20 mm) i izgled modela prikazan je na Sl. 5. Kao materijal za štampu korišćen je standardni resin ABS a vrednosti tehnoloških parametara štampe prikazani su na Sl. 2. Hrapavosti površina na delu merene su na horizontalnoj, vertikalnoj i profilnoj površini prizme, pri čemu je prvi model odštampan tako da se njegova horizontalna površina nalazi naslonjena na platformu štampanja (Označen model sa „B“ na Sl. 5) dok je drugi model odštampan tako da je on odvojen od platforme uz pomoć oslonaca (Označen model sa „A“ na Sl. 5). Već sa slike može se videti da je hrapavost horizontalne površine modela označenog sa „A“ mnogo puta veća u odnosu na model označen sa „B“. Vrednosti srednjeg aritmetičkog odstupanja profila R_a mereni su u tri pravca za sve površine modele (horizontalnu, vertikalnu i profilnu).



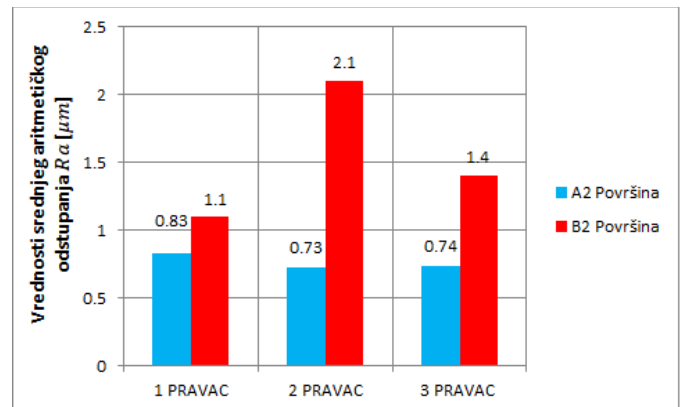
Slika 5. Izgled odštampanih modela

Vrednosti srednjeg aritmetičkog odstupanja profila R_a na horizontalnim površinama modela za površine “A1” i “B1” prikazane su na Sl. 6.



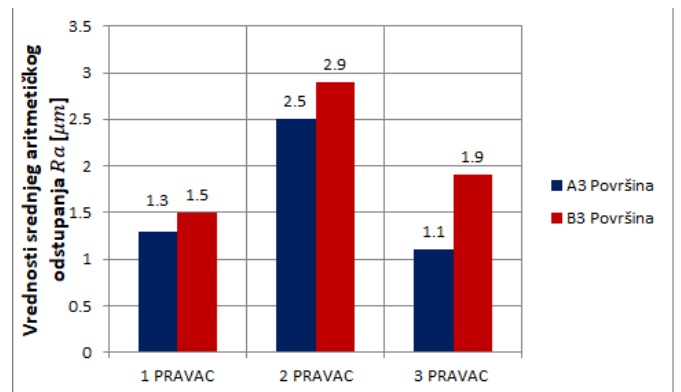
Slika 6. Vrednosti srednjeg aritmetičkog odstupanja profila R_a na horizontalnim površinama modela “A1” i “B1”

Vrednosti srednjeg aritmetičkog odstupanja profila R_a na vertikalnim površinama modela za površine “A2” i “B2” prikazane su na Sl. 7.



Slika 7. Vrednosti srednjeg aritmetičkog odstupanja profila R_a na vertikalnim površinama modela “A2” i “B2”

Vrednosti srednjeg aritmetičkog odstupanja profila R_a na profilnim površinama modela za površine “A3” i “B3” prikazane su na Sl. 8.



Slika 8. Vrednosti srednjeg aritmetičkog odstupanja profila R_a na profilnim površinama modela “A3” i “B3”

Na osnovu rezultata prikazanih u radu može se zaključiti da je hrapavost površine na kojoj se postavljaju oslonci deset puta veća od svih ostalih površina izrađenih SLA tehnologijom štampe. Iz ovog razloga treba voditi računa da površine kod kojih treba da bude mala hrapavost nemaju na sebi oslonce koji nakon skidanja sa modela ostavljaju veliku hrapavost površine.

Vrednosti srednjeg aritmetičkog odstupanja profila R_a na horizontalnim površinama modela za površine "A1" i "B1" imaju dosta visoku ponovljivost rezultata u sva tri pravca. Srednja vrednost srednjeg aritmetičkog odstupanja profila za tri pravca u kojima su izvršena merenja na površini "A1" iznosi $29,43 \mu m$, a za površinu "B1" iznosi $3,37 \mu m$.

Na vertikalnim površinama modela srednja vrednost srednjeg aritmetičkog odstupanja profila R_a za tri pravca na površini "A2" iznosi $0,77 \mu m$, a za površinu "B2" iznosi $1,53 \mu m$.

Srednja vrednost srednjeg aritmetičkog odstupanja profila za tri pravca u kojima su izvršena merenja na profilnim površinama "A3" i "B3" iznosi $1,63 \mu m$ i $2,1 \mu m$.

Ono što je postavljeno kao pretpostavka samog rada da se primenom SLA tehnologije štampe dobijaju modeli sa malim hrapavostima površina apsolutno je potvrđeno sa rezultatima prikazanim u ovom radu. U narednim istraživanjima bilo bi interesantno ispitati i druge parametre hrapavosti kao što su srednja visina neravnina R_z , maksimalna visina neravnina R_{max} itd. Pored toga bilo bi zanimljivo uraditi eksperimentalna istraživanja u najmanje 10 pravaca kao i ispitivanja gornje i donje horizontalne površine, prednje i zadnje vertikalne površine i leve i desne profilne površine. Pažljivom analizom i obradom rezultata dobile bi se dosta pouzdane informacije o hrapavostima površina dobijenih SLA tehnologijom štampe za konkretan štampač.

ZAHVALNICA

U ovom radu prikazan je deo istraživanja povezanih sa projektom „Sistematizacija i uticaj tehnoloških parametara na tačnost i kvalitet delova izrađenih 3D štampom“, Broj projekta: 142-451/2100/2022-02/1. Projekat je finansiran od strane Pokrajinskog sekretarijata za visoko obrazovanje i naučnoistraživačku delatnost Autonomne pokrajine Vojvodine.

- [1] M. Plančak, "Brza izrada prototipova, modela i alata", Fakultet tehničkih nauka-Novi Sad, 2009.
- [2] P. Lakkala, S. Ram Munnangi, S. Bandari, M. Repka, „Additive manufacturing technologies with emphasis on stereolithography 3D printing in pharmaceutical and medical applications: A review,“ International Journal of Pharmaceutics, Vol. 5, 2023, pp. 1-16.
- [3] E. MacDonald, R. Salasi, D. Espalin, M. Perezi, E. Aguilera, D. Muse, and B. R. Wicker, "3D printing for the Rapid Prototyping of Structural Electronics," IEEE Access, Num. 2, 2014, pp. 234-242.
- [4] D. Espalin, W. Muse, E. MacDonald and R. B. Wiker, "Printing multifunctionality: structures with electronics," Int. J. Manuf. Technol., Num. 72, 2014, pp. 963-978.
- [5] Z.X. Khaoo, E. J. Teoh, Y. Liu, K. C. Chua, S. Yang, J. and Y. W. Yeong, "3D printing of smart materials: A review on recent progresses in 4D printing," Virtual and Physical Prototyping, Num. 10 (3), 2015, pp. 103-122.
- [6] V. Blanuša, A. Đurković, "Mogućnosti 3D štampe primenom štampača ZORTRAX M200 PLUS," 6 Međunarodna konferencija Upravljanje znanjem i informatika, 2020, pp. 93-100.
- [7] X. Chen, C. I. Barnes, T. H. C. Childs, B. Henson, F. Shao, "Materials tactile testing and characterisation for consumer products affective packaging design," Materials & Design, Vol. 30, Issue 10, 2009, pp. 4299-4310.
- [8] V. Blanuša, A. Čabrilo, N. Janjić, "3D štampa primenom CREALITY HALOT-SKY štampača," 9 Međunarodna konferencija Upravljanje znanjem i informatika, 2023, pp. 95-99.

ABSTRACT

In this work, an experimental examination of the roughness of flat surfaces of parts obtained by SLA technology of 3D printing was performed. Using the Halot SKY 3D printer, prismatic parts with dimensions of $100 \times 50 \times 30 \text{ mm}$ and $100 \times 50 \times 20 \text{ mm}$ were printed, and the roughness of the surfaces was measured on the horizontal surface (upper surface of the prism), vertical surface of the prism (from the front) and profile surface of the prism (on the right). Through experimental testing, the values of the mean arithmetic deviation of the surfaces R_a were determined and the roughness of the surface was defined based on its value.

EXPERIMENTAL TESTING OF THE ROUGHNESS OF FLAT SURFACES OF PARTS OBTAINED BY SLA 3D PRINTING TECHNOLOGY

Vladimir Blanuša, Branko Štrbac, Branko Savić,
Miloš Ranisavljev