

## **3D PRINTING – NOVA INDUSTRIJSKA REVOLUCIJA?**

## **3D PRINTING – NEW INDUSTRIAL REVOLUTION?**

**Prof. dr Diana Ćubela  
Doc. dr Almaida Gigović-Gekić  
Fakultet za metalurgiju i materijale  
Univerzitet u Zenici**

**Kategorizacija rada:** Pregledni rad

### **SAŽETAK**

*Tema rada je 3D printing tehnologija i njen utjecaj na postojeću industrijsku praksu. Navedene su njene prednosti kao i problemi koji se moraju riješiti da bi ova tehnologija postala nova industrijska praksa, i njen utjecaj na razvoj materijala namijenjenih ovoj tehnologiji sa posebnim osvrtom na metalne materijale, odnosno metalne prahove. Data su osnovna svojstva koja moraju imati metalni prahovi da bi se mogli koristiti za ovu tehnologiju.*

**Ključne riječi:** 3D printing tehnologija, materijali, metalni prahovi, oblik praha, nasipna gustoća, tečljivost praha, mikrostruktura

### **ABSTRACT**

*The paper discusses the 3D printing technology and its impact on current industry practice. These are the advantages and the problems that must be solved to make this technology has become the new industry practices, as well as its impact on the development of materials for this technology with a special focus on metallic materials, respectively metal powders. It is given the basic features that should have metal powders that could be used for this technology.*

**Keywords:** 3D printing technology, materials, metal powders, powder form, bulk density, flowability of powders, microstructure

### **1. UVOD**

3D printing odnosno tehnologija aditivne proizvodnje je klasična disruptivna tehnologija [1].

Koji su to elementi disruptivne tehnologije i zašto je disruptivna?

Sve disruptivne tehnologije započinju na tržištu koje postojeće tehnologije proizvodnje ne mogu zadovoljiti bilo zbog neekonomičnosti proizvodnje, materijala koji se koristi, kvaliteta proizvoda i sl. Za 3D printing je to izrada prototipova čija izrada je izuzetno skupa tradicionalnim tehnologijama proizvodnje. 3D printing na ovom području je omogućio jeftiniju proizvodnju i visok kvalitet što je rezultiralo i u brzom razvoju gotovog proizvoda.

Svojstvo disruptivnih tehnologija je upravo to da se razvijaju u tržišnim nišama do tačke kada svojim proizvodima mogu zadovoljiti zahtjeve tržišta masovne proizvodnje cijenom i kvalitetom. U tom trenutku takve tehnologije preuzimaju primat nad ostalim tehnologijama [1].

Zbog toga se 3D printing naziva novom industrijskom revolucijom koja će značajno promijeniti paradigmu proizvodnje, ali i kao sve revolucije dovesti i do velikih promjena u svim sferama ljudskog djelovanja.

Tehnologija 3D printing daje potpuno novo značenje pojmovima proizvodnje. Jedna proizvodna linija će biti dovoljna za proizvodnju različitih proizvoda koji ne moraju imati

ništa zajedničko u svojim svojstvima (roba široke potrošnje, automobilski dijelovi, dijelovi aviona i sl.).

Činjenica da može proizvesti široku lepezu proizvoda, da je tehnologija koja se može instalirati na mjestu potrošnje, odnosno ugradnje govori o značajnom utjecaju na dosadašnje modele snabdijevanja i poslovanja. Ekonomija proizvodnje će se također mijenjati, jer ovaj način proizvodnje ne zahtijeva veliku radnu snagu, veća je iskorištenost materijala, manje materijala se troši i mogu se koristiti novi materijali koji su lakši i jači [1].

Izazovi tehnologije 3D printing [1]:

- Ekonomična proizvodnja proizvoda velikih dimenzija.
- Širenje lepeze materijala koji se mogu koristiti u ovoj tehnologiji.
- Smanjenje cijene materijala za printanje.
- Korištenje različitih materijala u istom printeru.
- Poboljšanje izdržljivosti i kvaliteta.

Istraživači rade na tehnikama koje precizno mogu kontrolisati svojstva proizvoda. 3D printing metala može rezultirati u uniformnijoj mikrostrukturi zbog brze solidifikacije za razliku od tradicionalnih tehnologija livenja i kovanja metala gdje se odlivak ili otkivak hladi od površine do jezgre [1].

Teško je predvidjeti kako će 3D printing u različitim formama utjecati na tradicionalnu proizvodnju ali trendovi koji se pojavljuju već ukazuju na značajne promjene u paradigmi proizvodnje. Kako se 3D printing razvija novi svijet proizvodnje bi mogao izgledati ovako [1, 4]:

1. Skraćuje se vrijeme izlaska proizvoda na tržište. Biti „agilan“ neće više biti konkurentna prednost nego uslov da se ostane u poslu.
2. Proizvodi će imati bolje performanse: manji, lakši, jači, manje mehaničke složenosti, lakši za održavati i sl. Ovi proizvodi će dati značajnu konkurentsku prednost.
3. Otvoreni dizajn. Krajnji korisnici će imati značajnu odgovornost u dizajnu proizvoda, koji će biti na raspolaganju svakome ko bude imao potrebne vještine i alate i ko želi dizajnirati i proizvoditi.
4. Prilagođavanje proizvoda željama i potrebama kupaca će postati standard.
5. Promjena off-shore ekonomije. Cijena kao prednost koja prati masovnu proizvodnju u regionima niskih troškova će biti uklonjena, jer 3D printing omogućava proizvodnju na mjestu prodaje ili mjestu montaže. Lanac snabdijevanja će se optimizirati u faktor prednosti baš na vrijeme, posebno za male količine ili visoko specijalizovane komponente.

3D printing će se nastaviti razvijati. Uz daljno smanjenje troškova i eventualne minijaturizacije, istraživači su već postavili nove temelje u smislu veličine koja se može printati, integracije materijala i brzine. Postoje, čak, i sistemi koji kombinuju prednosti tradicionalnih proizvodnih procesa sa 3D printing tehnologijom. Ovaj hibridni pristup omogućava istovremeno 3D printing i mašinsku obradu. Prema izvještavanju časopisa Ekonomist svijet je već na ivici treće industrijske revolucije [1].

## **2. PROIZVODNI ASORTIMAN 3D PRINTING TEHNOLOGIJE**

Izrada prototipa novog proizvoda je trenutno najveća komercijalna primjena 3D printing; oko 70% 3D printing tržišta [1]. Međutim u nekim industrijskim granama 3D printing se već koristi za proizvodnju gotovih proizvoda, tzv. „direktna digitalna proizvodnja“. Ova tehnologija se koristi za kratke proizvodne rute i ne zahtijeva alate, omogućavajući tako fleksibilnost, adaptivnost i brzo snabdijevanje tržišta.

Industrijske grane u kojima se 3D printing koristi za izradu gotovih proizvoda su vojna, avio, automobilska industrija i zdravstvena njega. Primjer u vojnoj industriji je držač za kameru pištolja na tenku i borbenom vozilu. 3D printing tehnologija za izradu ovog držača je smanjila troškove proizvodnje sa 100.000 \$ po komadu na ispod 40.000\$/komadu [1].

U avionskoj industriji Boeing je pionir u upotrebi 3D printing tehnologije. Boeing već koristi 22.000 komponenti koje se koriste u različitim tipovima aviona [1, 7]. Nove komponente smanjuju neophodan inventar skladišta, ne zahtijevaju sklapanje, skraćuju ispitivanje i vrijeme održavanja, slika 1.

Grupacija Made in Space i Lunar Buildings istražuju mogućnost primjene 3D printing tehnologije u svemiru.

Obje grupacije su razvile alate, procese i sisteme za direktnu proizvodnju u svemiru. Made in Space već ima ugovor sa NAS-om i trenutno testira printanje u beztežinskom stanju [1], slika 2.



Slika 2. Tim „Made in Space“ izvodi 3D printanje pri nultoj gravitaciji [1]

i napravio 3D printing automobil, odnosno školjku automobila i unutrašnje komponente, slika 4.



Slika 1. 3D printana konzola krila od metalnog praha [1]

Industrijski dizajner Markus Kayser je demonstrirao primjenu 3D printera na solarni pogon za proizvodnju sirovog stakla iz pijeska Sahare, slika 3 [1]. Njegov primjer pokazuje da se 3D printing tehnologija može koristiti sa osnovnim resursima i u ekstremnim Zemaljskim uslovima.

Automobilska industrija već godinama 3D printing tehnologiju koristi za izradu prototipova. Sada je 3D printing tehnologija već spremna da preuzme i proizvodnju manjih automobilskih komponenti. Urbee tim je prvi dizajnirao



Slika 3 Printanje stakla u Sahari uz pomoć pijeska kao tinte i solarnog napajanja printera [1]



Slika 4. Urbee (“urban electric”) prvi svjetski 3D–printano automobilsko tijelo, ultra aerodinamičkog dizajna i visoke energetske efikasnosti. Automobil koristi obnovljive izvore energije (vjetar, solarnu energiju, energiju vode) i etanol za veće udaljenosti. Budući planovi uključuju 3D printanje komponenti interijera automobila. [3]

### 3. 3D PRINTING TEHNOLOGIJE POGODNE ZA METALNE MATERIJALE

3D printing tehnologije koje se mogu koristiti za printanje metalnih komponenti su [1, 2, 5, 6, 7, 8]:

- Topljenje elektronskim mlazom (EBM)
- Direktno sinterovanje metala laserom (DMLS)
- Selektivno topljenje laserom (SLM)
- Selektivno sinterovanje laserom (SLS)
- Direktna depozicija laserom (DLD)
- Laserom oblikovanje konačnog oblika (LENS)
- Direktna depozicija metala (DMD)
- Depozicija metala laserom (LMD)



Slika 5. Vještačko koljeno proizvedeno DMLS korištenjem biokompatibilne CoCr legure [7]

#### 3.1. Direktno sinterovanje metala laserom (DMLS)

Ove mašine koriste laser snage 200 ili 400W i optimizirani sistem upravljanja gasom koji može raditi u zaštitnoj atmosferi azota ili argona. Ova tehnika može koristiti prah nehrđajućeg čelika, Co-Cr, slika 5, superlegure na bazi Co i Ni, marejdžing čelike, dentalne legure, Ti i titanove legure, aluminijum i AlSiMg legure.

#### 3.2. Selektivno topljenje laserom (SLM)

Moćni laser spaja ili topi slojeve praha. SLM250 mašina može proizvesti dijelove radne površine 245 x 245 x 300 mm (x, y, z ose), ili do 360 mm u pravcu z ose po zahtjevu [7]. Značajan uspjeh je postignut izradom specifičnog implantanta kuka, te serijske proizvodnje zubnih krunica i ortopedskih implantanata hibridne strukture sa složenom geometrijom i strukturama u visokokvalitetnim materijalima kao što su Ti, slika 6, i Co-Cr zubne legure.



Slika 6. Vještački kuk od Ti legure proizveden SLM tehnologijom [7]

NASA-in Marshall Space Flight Centre u Huntsville, Alabama je SLM metodom izradio od niklove legure dio mlaznog motora. Dio je napravljen iz jednog dijela za razliku od tradicionalnog načina koji je zahtijevao zavarivanje segmenata.

SLM 125 HL proizvodi visoko složene metalne komponente koristeći fine metalne prahove. Preciznost komponenti je 80  $\mu$  i sa nezavršenim kvalitetom

površine od 150  $\mu$ . Zatezna svojstva su u 96-99,7% raspona gustine bolja nego u ekvivalentnim livenim legurama.

### **3.3. Topljenje elektronskim mlazom (EBM)**

Proces topljenja elektronskim mlazom (EBM) topi metalni prah u visokom vakuumu i razlikuje se od tehnika sinterovanja metala po tome što su proizvodi ekstremno čvrsti jer imaju punu gustinu.

EBM tehnologija može proizvesti složene geometrijske forme brzinom do 80  $\text{cm}^3/\text{sat}$ . Svaki sloj metalnog praha se topi u preciznu geometriju definisanu 3D CAD modelom. Arcam A1 EBM sistem može proizvesti i porozne strukture od legura Ti i Co-Cr legura. Implantanti istovremeno mogu imati puni presjek i poroznu površinu. Već je proizvedeno više od 20.000 implantanta na ovoj opremi na različitim lokacijama širom svijeta, a američki proizvođači implantanata su dobili dozvolu za proizvodnju implantanata ovom tehnologijom, otvarajući vrata novim tržištima [7].

## **4. MATERIJALI ZA 3D PRINTING TEHNOLOGIJU**

3D tehnologija već ima i imat će velikog utjecaja na kreiranje novih materijala kao i na tehnologiju proizvodnje materijala. Još uvijek je cijena raspoloživih materijala za ovu tehnologiju visoka, što je i prepreka masovnoj proizvodnji.

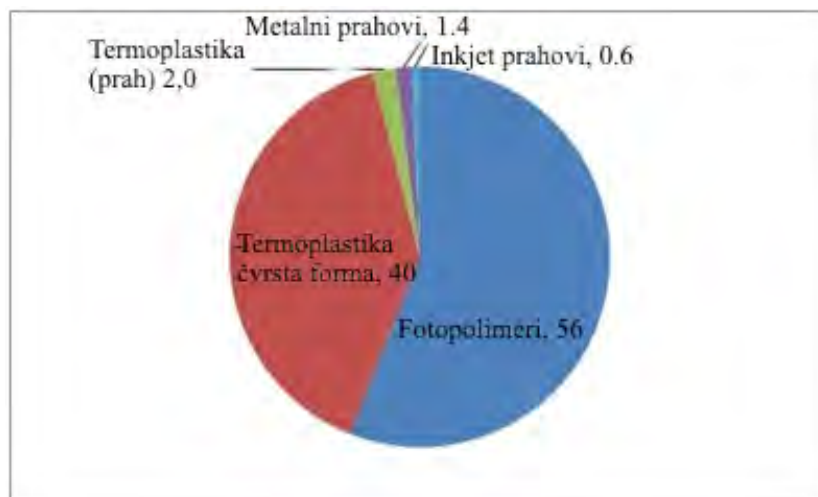
Za neke materijale 3D printing je idealna tehnologija proizvodnje. Titan je primjer takvog materijala. Titan je težak za sve vrste prerade kao i za postojeće tehnike zavarivanja. 3D printing tehnologija rješava te probleme. S obzirom na visoke troškove metala titana (50x skuplji od čelika) već su razvijeni procesi za proizvodnju titana u praškastoj formi uz prihvatljivu cijenu. Tehnologija praha titana pretvara ingote u fini uniformni prah. Proces je visoko energetski proces, ali za očekivati je da razvijanjem tehnologije troškovi nastave padati.

Već se više od 20 metalnih legura komercijalno koriste za aditivnu proizvodnju kao što su legure titana, niklove superlegure, legure aluminijuma, čelik i sl. Nove legure se pojavljuju na tržištu skoro svaki mjesec. Razumno je pretpostaviti da bi već 2015. moglo biti stotinu i više legura u upotrebi i da će taj broj stalno rasti [9].

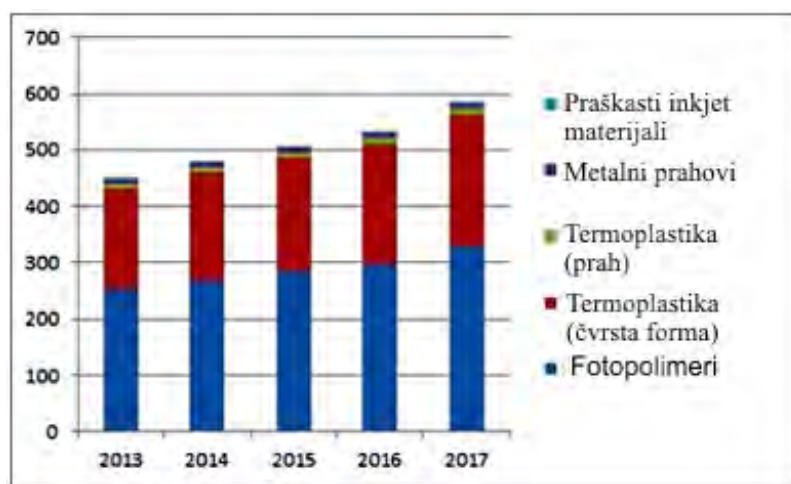
Tržište materijala za 3D printing tehnologiju je vjerovatno najkontraverznija tema u 3D industriji [9]. Razvoj novih materijala za 3D printing industriju je ograničen zbog zatvorenosti proizvođača 3D printera, jer su oni ti koji kupcima određuju koji materijal i od koga će nabavljati. Kako cijene budu padale ulaskom novih proizvođača 3D printera koji budu omogućili kupcima svojih printera da koriste materijal po svom izboru i cijene materijala će padati.

Materijali su ipak još u razvoju još nisu komercijalni i uglavnom su predmet istraživanja univerzitetskih laboratorija. Tržište polimera će zadržati najveći pojedinačni udio sve do 2025. godine iako će rasti udio i drugih materijala kako se tehnologija bude sve više koristila za finalnu proizvodnju, slike 7 i 8 [9]. Najveći rast se očekuje za tržište metalnih prahova iako je trenutno proizvodnja na manje od 30 t/godišnje i ostat će relativno niska. Ovo u kombinaciji sa visokom cijenom sirovog materijala i obradom će kombinovati takve cijene za ove materijale zbog čega će sporije padati nego za ostale 3D printing materijale.

Za bilo koju klasu materijala, veličina tržišta je osjetljivija na instaliranu bazu tehnologije odgovarajućih 3D printera nego na trenutnu cijenu samog materijala. Ako bi cijena materijala i rasla desila bi se tek neznatna redukcija u prosječnoj stopi upotrebe instalisane baze printera potrebne za veličinu tržišta što bi za rezultat na kraju opet imalo pad cijena [9].



Slika 7. Tekuće tržište materijala, [9]



Slika 8. Predviđanja za rast tržišta, [9]

#### 4.1. Karakteristike metalnog praha za 3D printing tehnologiju

Osnovne karakteristike metalnog praha koje zavise od načina proizvodnje su: veličina čestica, oblik, poroznost, mikrostruktura, čistoća, tečljivost, nasipna gustoća, itd. Osim literaturnih podataka ovdje će biti prikazani i rezultati vlastitih ispitivanja koja su provedena za tri vrste praha proizvođača Höganäs. NC 100.24 i AHC 100.29 su prahovi željeza a 316L je prah nehrđajućeg čelika. Prahovi AHC 100.29 i 316L proizvode se postupkom atomizacije, dok prah NC 100.24 proizveden je postupkom redukcije željezne rude.

Tehnologije 3D printing se dijele u dvije grupe:

- Tehnologije 3D printing sa ležištem praha u koje se ubrajaju EBM, DMLS, SLM i SLS tehnike.
- Tehnologije 3D printing sa raspršivanjem praha u koje se ubrajaju DLD, LENS, DMD i LMD tehnike.

Za 3D printing tehnologije sa ležištem praha važna svojstva praha su oblik čestica i nasipna gustoća koje garantuju dobru tečljivost praha. Za tehnologije raspršivanjem praha dobra tečljivost osigurava jednoliku brzinu printanja.

Nasipna gustoća je gustoća praha kada je on u rasutom stanju i predstavlja masu praha podijeljenu sa volumenom posude u kojoj se nalazi [10, 11]. Za određivanje nasipne gustoće prema standardu ISO 3923 može se koristiti Hall-ov uređaj, koji se može koristiti i za

određivanje tečljivosti praha. Prema standardu EN ISO 4490 mjeri se vrijeme koje je potrebno da bi isteklo 50 g praha. Što je vrijeme kraće tečljivost praha je bolja.

Također, kontrola distribucije veličine čestica povoljno utječe na svojstvo tečljivosti praha.

Nasipna gustoća a time i tečljivost zavise od veličine površine prahova. Što je površina prahova veća to je veći intenzitet trenja između čestica, a time manja gustoća pakovanja i tečljivost. Sitnije čestice imaju veće trenje i lošiju tečljivost.

Osim sitnih čestica lošu tečljivost i pakovanje imaju i čestice nepravilnog oblika, koje mogu biti oštre i grube. Oštri uglovi izazivaju trenje između čestica što loše utječe na tečljivost i nasipnu gustoću. Nasipna gustoća se smanjuje zbog lošeg protoka susjednih čestica [10, 11, 12, 13]. Dobra gustoća pakovanja a time i nasipna gustoća može se dobiti i miješanjem finih i grubih čestica praha ali ne u širokom rasponu veličina jer će imati suprotan efekt. Okrugle čestice imaju dobru tečljivost ali lošu kompaktilnost. Zbog toga se nepravilan ali zaobljen oblik čestice često bira da bi se dobila dobra tečljivost i kompaktilnost. U tabelama 1 i 2 dat je hemijski sastav i osnovna svojstva za tri vrste praha proizvođača Höganäs.

*Tabela 1: Hemijski sastav [15,16]*

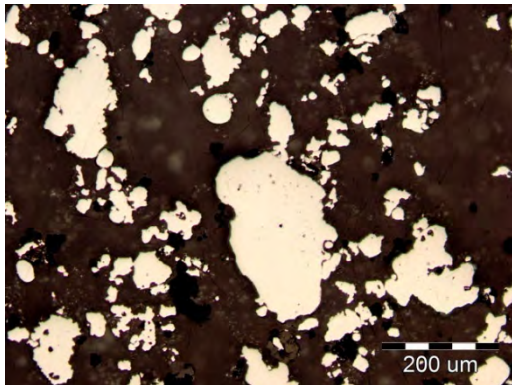
Prah	%C	H <sub>2</sub>	Cr	Ni	Mn	Si	Mo	P	S	O	N	Fe
NC 100.24	<0,01	0,2										ostalo
AHC100.29	<0,01	0,1										ostalo
316L	0,02	-	16,8	13	0,1	0,85	2,2	0,012	0,010	0,2	0,04	ostalo

*Tabela 2: Osnovna svojstva praha [15,16,17]*

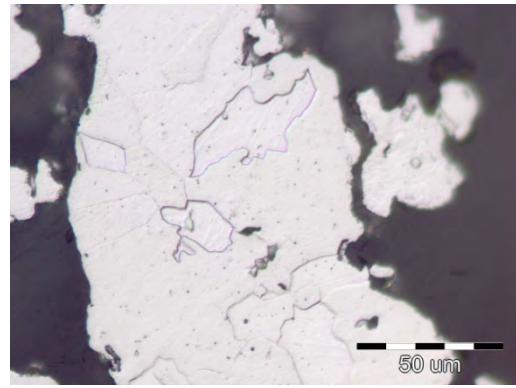
Prah	Nasipna gustoća g/cm <sup>3</sup>	Tečljivost sek/50g
NC 100.24	2,45	31
AHC100.29	2,98	25
316L	2,69	33

Sferni oblik čestica koji se preferira kod 3D printing tehnologija se uglavnom dobija postupcima atomizacije. Dok je nepravilan oblik karakterističan za postupke mljevenja, spužvasti oblik za prahove dobijene fizičko-hemijskim postupcima i dendritni oblik kod prahova dobijenih elektrolizom.

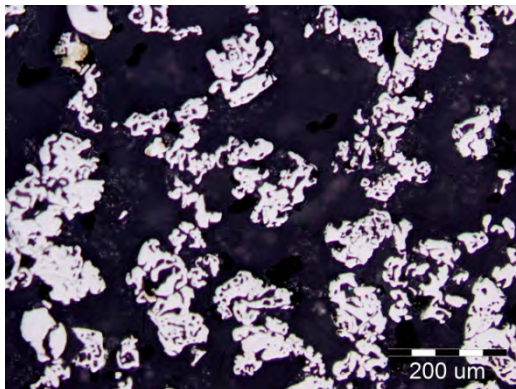
Mikrostruktura čestica je bitna sa stanovišta potvrđivanja uspješnosti izvođenja samog postupka proizvodnje kao i mogućih problema koji mogu nastati. Analiza mikrostrukture primjenom optičkog mikroskopa daje informaciju o poroznosti čestice, homogenosti, segregacijama, prisustvu uključaka. Na slici 9 prikazana je mikrostruktura analiziranog praha na optičkom mikroskopu u poliranom i nagriženom stanju. Uzorci za ispitivanje su pripremljeni tako što je prah pomiješan sa prahom za vruće upresavanje uzoraka. Prah za upresavanje se na temperaturi od 180°C topi i hlađenjem očvršćava u kompaktnu prozirnu masu. Zbog veće gustine prah ostaje na dnu kalupa formirajući tako površinu koja se zatim metalografski priprema brušenjem i poliranjem. Metoda pripreme se bira prema vrsti praha. Uzorci željeznog praha su pripremani preporučenim metodama za niskougljenični čelik, a uzorci praha od nehrđajućeg čelika su pripremani metodama preporučenim za tu vrstu čelika. Nakon poliranja uzorci su nagriženi Nitalom, odnosno carskom vodicom.



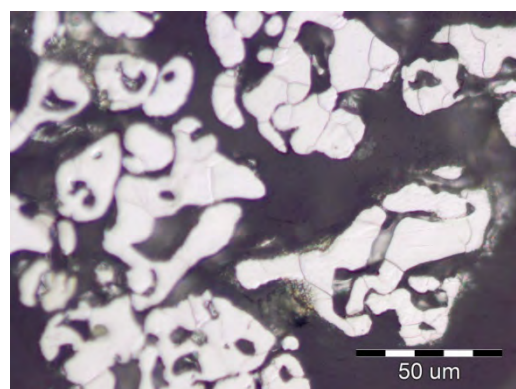
AHC 100.29, polirano stanje



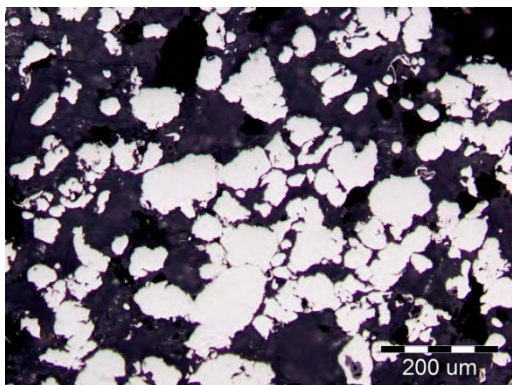
AHC 100.29 nagriženo stanje



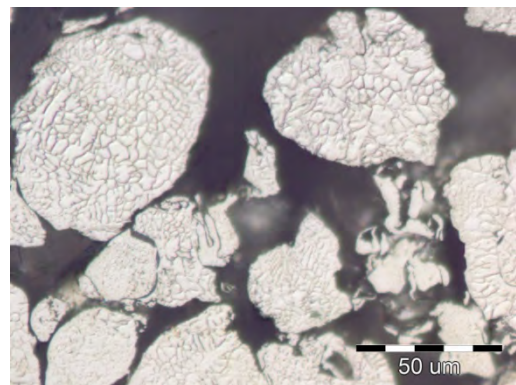
NC 100.24 polirano stanje



NC 100.24 nagriženo stanje



316L polirano stanje



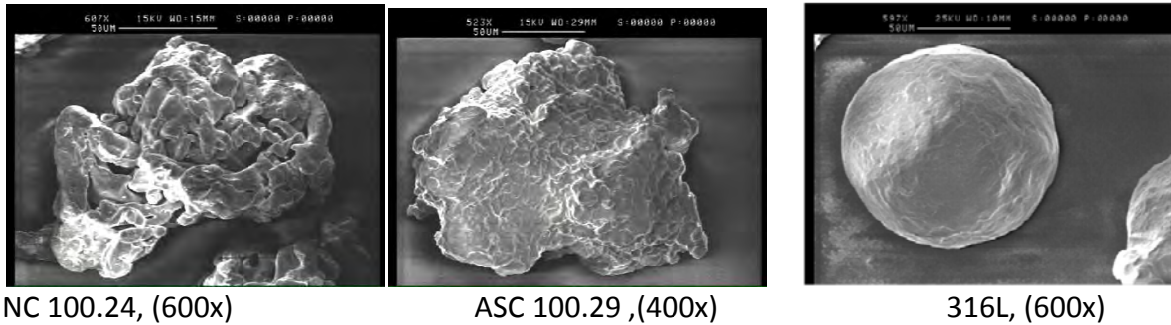
316L nagriženo stanje

*Slika 9. Izgled mikrostrukture praha u poliranom i nagriženom stanju.*

Sa slike 9 se može vidjeti da postupak proizvodnje praha utječe na mikrostrukturu. Prah proizveden postupkom redukcije je porozan (oblik spužve) u odnosu na prah proizveden postupkom atomizacije gdje su čestice praha kompaktne.

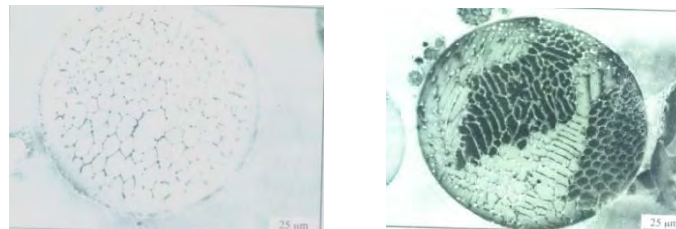
Pri većim povećanjima može se identifikovati morfologija čestica koja može biti hrapava ili glatka. Na slici 10 prikazana je morfologija čestica analiziranog praha primjenom skenirajućeg elektronskog mikroskopa.





Slika 10. Izgled mikrostrukture čestica praha [vlastita istraživanja,18]

Hrapava površina je karakteristična za čestice dobijene postupcima atomizacije vodom i hemijskim putem kao što je redukcija. Glatka površina se dobija atomizacijom plinom. Analizom unutrašnje mikrostrukture može se procijeniti brzina hlađenja. Mikrostruktura može biti ćelijska i/ili dendritna, slika 11.



Slika 11. Mikrostruktura čestica praha Cu-Ti-B legure dobijenih atomizacijom pomoću plina: a) ćelularna struktura i b) dendritno-ćelularna struktura, [10]

Za određivanje veličine čestica mogu se koristiti različite metode, a metoda koja se najčešće koristi je sitovna analiza prema standardu ISO 4497. Sitovna analiza je jednostavna tehnika za brzo određivanje veličine čestica. Za prosijavanje koje traje oko 15 minuta koriste se sita sa različitim otvorima poredana od najvećih do najmanjih otvora. Nakon prosijavanja mjeri se količina praha na svakom situ. U tabeli 3 dati su rezultati sitovne analize za ispitivani prah.

Tabela 2: Sitovna analiza, % [15,16]

Prah	+212µm	+150 µm	-45 µm
NC 100.24	0	1	18
AHC100.29	0	8	25
316L	0	1	41

## 5. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

3D printing tehnologija ima sve karakteristike disruptivne tehnologije što znači da će izazvati velike promjene u dosadašnjoj paradigmi industrijske proizvodnje a time dovesti i do velikih društvenih promjena. Njenom pojavom metalurgija praha dobija novi kontekst i ima priliku za novi pravac razvoja i istraživanja na polju tehnika proizvodnje prahova sa ciljem proizvodnje prahova i od materijala koji do sada nisu na raspolaganju u toj formi kao i metoda ispitivanja i karakterizacije prahova pogodnih za odgovarajuće 3D printing tehnologije. Novi materijali će se razvijati posebno za ovu tehnologiju [14] a pred tzv. tradicionalnim će biti izazov da se prilagode novoj tehnologiji da bi ostali konkurentni. Nova tehnologija obećava uzbudljive promjene na polju razvoja materijala u bliskoj budućnosti. Da li će se ostvariti predviđanja ekonomskih analitičara kao i naučne zajednice iznesena u ovom radu pokazat će se vrlo brzo.

## 6. LITERATURA

- [1] 3D printing and the future of manufacturing, Leadingedge forum, Technology program, 2012
- [2] C. D. Winnan, 3D printing: The next technology gold rush. Future factories and how to capitalize on distribute manufacturing, epub, 2012.
- [3] [http://korecologic.com/about/urbee\\_2/](http://korecologic.com/about/urbee_2/)
- [4] Samuel Gibbs „Metal 3D printing and six key shifts in the 'second industrial revolution“, <http://www.theguardian.com/technology/2013/dec/09/metal-3d-printing-key-developments-second-industrial-revolution>
- [5] John Hewitt, 3D printing with metal: The final frontier of additive manufacturing, <http://www.extremetech.com/extreme/143552-3d-printing-with-metal-the-final-frontier-of-additive-manufacturing>
- [6] Nannan Guo, Ming C. Leu, Additive manufacturing: technology applications and research needs, *Front. Mechn. Eng.* 2013 8(3): 215-243
- [7] <http://3dprintingsystems.com/additive-manufacturing-using-metals/>
- [8] E.J.Vega, M.G. Cabezas, B.N. Munoz – Sanches, J.M. Montanero, A.M. Ganan-Calvo, A novel technique to produce metallic microdrops for additive manufacturing, *Int. J. Adv. Manual Technol.* (2014) 70: 1395 – 1402
- [9] W. Kneissl, 3D Printing Materials 2014-2025: Status, Opportunities, Market Forecasts, <http://www.idtechex.com/research/reports/3d-printing-materials-2014-2025-status-opportunities-market-forecasts-000369.asp>
- [10] M. Mitkov, D. Božić, Z. Vujović, Metalurgija praha, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva: Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd, 1998.
- [11] R. M. German, Powder Metallurgy of Iron and Steel, John Wiley&Sons, Inc., New York, 1998.
- [12] R. M. German, Powder Metallurgy Science, Metal Powder Industries Federation, New Jersey, 1984.
- [13] <http://www.smt.sandvik.com/en/products/metal-powder/3d-printing/>
- [14] P.G.E. Jerrard, L.Hao, S. Dadbakhsh, K.E.Evans, Consolidation behaviour and microstructure of pure aluminium and alloy powders following Selective Laser Metal processing, Proceedings of the 36th International MATADOR Conference, editors: Srichand Hinduja, Lin Li, ISBN: 978-1-84996-431-9 (Print) 978-1-84996-432-6 (Online)
- [15] Höganäs Handbook for Iron and Steel powders, Höganäs, 2002
- [16] [http://hoganas.com/Documents/Brochures/Display\\_Stainless\\_Steel\\_Powders\\_for\\_Sintered\\_Components\\_oct\\_2009\\_web.pdf](http://hoganas.com/Documents/Brochures/Display_Stainless_Steel_Powders_for_Sintered_Components_oct_2009_web.pdf)
- [17] A.Gigović, H.Avdusinovic,Uticaj različitih postupaka proizvodnje metalnog praha na osobine praha, VI Naučno/stručni simpozij sa međunarodnim učešćem „Metalni i nemetalni anorganski materijali“, 27-28 april, Zenica, 2006
- [18] S. Angel, W. Bleck, P.F. Scholz, T. Fend, Influence of Powder Morphology and Chemical Composition on Metallic Foamsproduced by SlipReactionFoamSintering (SRFS)-Process Steel Research int. 75 (2004) No. 7