

Aditivna proizvodnja

Privedila: Ana PILIPOVIĆ

Additive manufacturing

Rapid prototyping (RP) has started to develop in the 1980s and then RP was used only for prototyping. At the same time Rapid Tooling (RT) was developed, which together with RP is called Rapid Manufacturing (RM). Since 2009, according to ASRM F42, the term Additive Manufacturing (AM), has been used. Additive technology can reduce the production time and cost required to create a new product from initial concept to production. These technologies can assist in identifying the basic mistakes that are expensive to correct if they are detected when the product is already on the market. Additive manufacturing makes it possible to produce relatively complicated geometries based on the computer 3D model of products within relatively short time. This requires that the respective product features good quality, good mechanical properties, dimensional accuracy and precision. However, the number of available materials that can be used for products is limited and their properties can differ significantly from the properties of the finished product made by classical polymer processing (e.g. injection moulding, extrusion). However, AM parts are not inexpensive and sometimes it is difficult to decide which procedure to use to manufacture them in order to obtain their maximal usability.

Brza proizvodnja prototipova (e. *Rapid Prototyping*, RP) počela se razvijati 1980-ih godina i tada se upotrebljavala samo za izradu prototipova. Usporedno se razvijala i brza proizvodnja kalupa/alata (e. *Rapid Tooling*, RT), koja je zajedno s RP činila brzu proizvodnju (e. *Rapid Manufacturing*, RM). Prema normi *ASTM F42*, od 2009. rabi se izraz *aditivna proizvodnja* (e. *Additive Manufacturing*, AM). To su postupci kojima se mogu izraditi dijelovi relativno komplicirane geometrije na temelju računalnog 3D modela tvorevine u relativno kratkom vremenu. No svojstva tvorevina (mehanička svojstva, dimenzijska stabilnost, izgled površine, postojanost na atmosferilije itd.) još se dosta razlikuju od tvorevina načinjenih nekim klasičnim postupcima prerade polimera (npr. injekcijskim prešanjem ili ekstrudiranjem). Visoki zahtjevi tržišta koji se orijentiraju na izradu komplicirane tvorevine u što kraćem vre-

menu postavili su pred aditivne postupke nove ciljeve u pogledu svojstava materijala, strojeva i računalne podrške.

Postoje različiti načini proizvodnje aditivnim postupcima, ali svi izrađuju tvorevine dodavanjem materijala sloj po sloj. Glavna je prednost aditivnih postupaka to što izrađuju tvorevinu u jednom koraku, izravno iz modela. Aditivni postupci ne zahtijevaju planiranje toka procesa, izradu kalupa, specifičnu opremu za rad s materijalima, transport između radnih mjesta itd. Međutim, glavni je nedostatak, trenutačno, ograničenje samo na određene materijale. No kako se sami aditivni postupci sve više nastoje poboljšati, današnji se prototipovi mogu upotrijebiti kao funkcionalne gotove tvorevine.

AM postupci mogu se podijeliti prema četiri glavna čimbenika: vrsti materijala za potrebnu tvorevinu, izvoru energije, postupku oblikovanja sloja i obliku gotove tvorevine. Ti čimbenici utječu na kvalitetu završne površine, dimenzijsku preciznost, mehanička svojstva, vrijeme i cijenu proizvodnje.

U aditivnim postupcima razlikuju se tri koraka: rezanje modela u slojeve, slaganje i kombiniranje slojeva.

AM može skratiti vrijeme i sniziti trošak potreban da se napravi nova tvorevina od početnoga koncepta do proizvodnje. Aditivni postupci mogu pomoći u prepoznavanju osnovnih pogrešaka na tvorevinama koje su u kasnijim fazama njihove proizvodnje skupe za ispravljanje. Međutim, AM dijelovi nisu jeftini (na njihovu cijenu utječe: vrijeme izrade, cijena potrebne opreme i poslije održavanje, rad operatera – tijekom izrade, naknadne obrade i čišćenja, cijena osnovnog materijala i cijena materijala za potpurnu strukturu). Katkad je teško odlučiti koliko tvorevina treba načiniti da se dobije maksimalna korist od njih.

AM postupci izrade tvorevina mogu se općenito podijeliti na postupke koji upotrebljavaju materijal u čvrstom stanju (npr. žica, papir, folija, laminat), kapljevinu i prah. Neki od važnijih postupaka kod kojih se rabi čvrsti materijal su *taložno očvršćivanje* (e. *Fused Deposition Modeling*, FDM) i *proizvodnja laminiranih objekata* (e. *Laminated Object Manufacturing*, LOM), postupci koji upotrebljavaju kapljevite materijale su *stereolitografija* (e. *Stereolithography*, SLA), *očvršćivanje digitalno obrađenim svjetlosnim signalom* (e. *Digital Light Processing*) i *PolyJet*, dok su postupci koji rabe prah npr. *selektivno lasersko srašćivanje* (e. *Selective La-*

ser Sintering, SLS) i *3D tiskanje* (e. *3D Printing*, 3DP).

Pri aditivnim se postupcima najčešće upotrebljavaju polimerni materijali, kao akrilonitril/butadien/stiren (ABS), poliamid (PA), polikarbonat (PC), poli(metil-metakrilat) (PMMA), poli(vinil-klorid) (PVC), poliuretani, epoksidne smole, ali i čelik, aluminij, titan i druge lake legure. Za izbor materijala najvažniji su čimbenici: mehanička svojstva i pogodnost za korištenje kao završne tvorevine, jednostavnost završne obrade, niža cijena materijala i olakšano rukovanje te skladištenje materijala.

Povijest AM postupaka

Prva industrijska upotreba AM postupaka zabilježena je 1987. godine. Radi se o postupku stereolitografije proizvođača *3D Systems* u kojem se tanak sloj kapljevito polimera očvršćuje UV laserom. Godine 1988. tvrtke *3D Systems* i *Ciba-Geigy* proizvele su prvu generaciju akrilnih smola koje se primjenjuju u stereolitografiji.¹

Postupak 3D tiskanja razvijen je 1989. godine u SAD-u, na MIT-u. Tvrtka *3D Systems*, osam godina nakon izrade prvih strojeva za stereolitografiju, načinila je stroj za 3D tiskanje (*Actua 2100*) koji se zasniva na nanošenju vaska sloj po sloj primjenom *inkjet* postupka. Iste godine tvrtka *Z Corp* predstavlja svoj 3D pisac *Z402*, koji radi prototipove od škroba, gipsa u obliku praha i kapljevito veziva.¹

Godine 1991. pojavili su se i drugi AM postupci, uključujući FDM tvrtke *Stratasys* i LOM tvrtke *Helisys*. U FDM-u prototip nastaje ekstrudiranjem slojeva plastomernih materijala, dok LOM lijepi i reže slojeve papira ili folije.¹

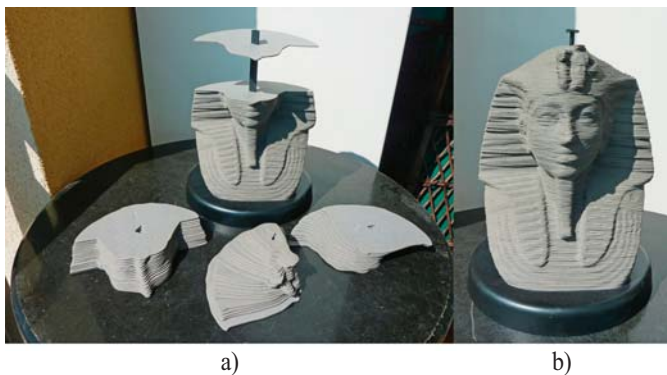
Tvrtka *DTM* (danas je u sklopu *3D Systems*) stavlja 1992. na tržište strojeve koji srašćuju polimerne prahove toplinom lasera – SLS postupak.¹

Slijedi proizvodnja različitih materijala i strojeva raznih tvrtki.

Načelo i faze izrade u aditivnoj proizvodnji

Načelo aditivne proizvodnje tvorevina može se objasniti kao što je prikazano na slici 1, tj. iz 3D modela konstruiranoga računalom izrežu se slojevi podjednake debljine i slažu se jedan na drugi. Rezultat je takvog slaganja stepenasti izgled površine.²

U svim postupcima proizvodnje tvorevina faze izrade su iste i sastoje se od (slika 2):³



SLIKA 1 – Princip aditivnih postupaka proizvodnje prototipova: a – prikaz slaganja slojeva, b – 3D tvorevina (Foto: A. Pilipović)



SLIKA 2 – Faze AM postupaka³

- izrade CAD modela
- pretvaranja CAD modela u STL datoteku
- prebacivanja STL datoteke na AM stroj
- podešavanja parametara AM stroja
- pravljenja prototipa
- vađenja prototipa
- naknadne obrade, ako je potrebna
- uporabe.

Prvi korak svih AM postupaka je izrada tro-dimenzionalnoga geometrijskog modela u nekom CAD programu. Takav model sprema se u različitim formatima, no već od 1987. tvrtka 3D Systems uvodi STL datoteku (e. *Standard Tessellation Language*), koja predmet pokazuje kao mrežu povezanih trokuta. STL datoteka nema boje, pa je 2009. uvedena AMF datoteka (e. *Additive Manufacturing File*), koja uz STL postaje standard za AM postupke i čini osnovu za rezanje u slojeve, na čemu se temelje AM postupci. AMF datoteka predstavlja jedan ili više objekata raspoređenih u vektore. Svaki je objekt opisan kao skupina nepreklopljenih volumena koji su opisani kao mreža trokuta koja povezuje skupinu točaka. Te se točke mogu po-

dijeliti između volumena. AMF datoteka može opisati materijal i boje pojedinog volumena te boju svakog trokuta u mreži.^{4,5}

U nekim postupcima (npr. *SLA, FDM, PolyJet*) potrebno je izgraditi potpunu strukturu koja bi trebala slijediti obod donjeg sloja prototipa, uključujući njegove kutove. Podupiranjem, cijelo područje dna prototipa sprječava vitoperenje tvorevine tijekom izrade slojeva.⁵

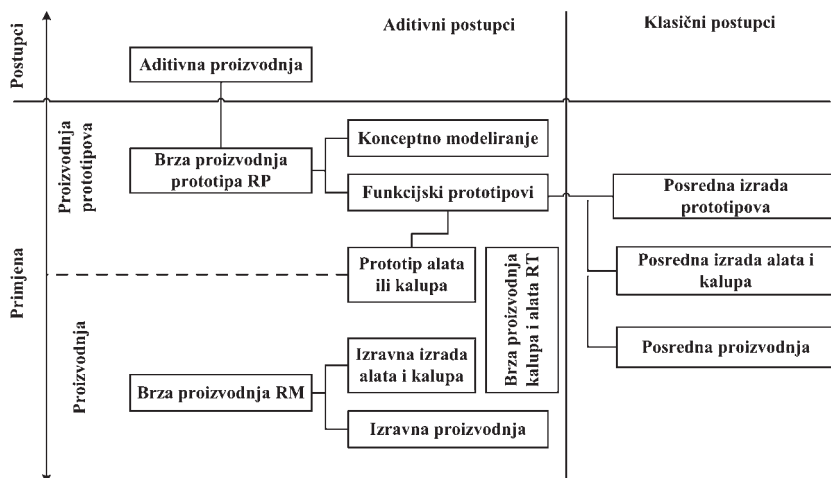
Nakon podešavanja parametara stroja (debljina sloja, snaga, brzina itd.) slijedi pravljenje prototipa te, nakon završetka zadnjeg sloja, vađenje gotovog prototipa. Prilikom vađenja treba paziti da je temperatura u radnom prostoru stroja dovoljno niska za sigurno rukovanje tvorevinama. U nekim postupcima (npr. stereolitografija, 3DP) potrebno je naknadno umreživanje da bi se završio proces polimerizacije i poboljšala mehanička svojstva, jer unutarnji dijelovi slojeva možda nisu potpuno očvršnuti. Slijedi naknadna obrada (čišćenje viška materijala, odstranjivanje potporne strukture, bojenje itd.).³

Razvoj, podjela i primjena AM postupaka

Podjela aditivnih postupaka prikazana je na slici 3, od izrade prototipova slojevitim postupcima do posredne uporabe tih prototipova u klasičnim postupcima prerade. Kako su se AM postupci razvijali, širila se uporaba na različitim područjima. Najviše se upotrebljavaju za proizvodnju potrošačkih proizvoda/elektronike, zatim u automobilskoj industriji i medicini, a najmanje u arhitekturi (slika 4). Slika 5 prikazuje strukturu uporabe prototipova pri razvoju i proizvodnji tvorevina.

KORIŠTEN LITERATURA

1. Wohlers, T. T.: *Wohlers Report 2009 – State of the Industry Annual Worldwide Progress Report*, Wohlers Associates, Inc., Fort Collins, Colorado, SAD, 2009.
2. Gebhardt, A.: *Understanding Additive Manufacturing, Rapid Prototyping – Rapid Tooling – Rapid Manufacturing*, Carl Hanser Verlag, München, 2012.
3. Gibson, I., Rosen, D. W., Stucker, B.: *Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*, Springer, SAD, 2010.
4. Noorani, R.: *Rapid Prototyping: Principles and Applications*, John Wiley & Sons, Inc., SAD, 2006.
5. Kunwoo, L.: *Principles of CAD/CAM/CAE Systems*, Addison – Wesley Longman, Inc., Reading, Massachusetts, 1999, ISBN 0-201-38036-6.
6. Wohlers, T. T.: *Wohlers Report 2012 – Additive Manufacturing, State of the Industry Annual Worldwide Progress Report*, Wohlers Associates, Inc., Fort Collins, Colorado, SAD, 2012.



SLIKA 3 – Podjela aditivnih postupaka²

Aditivna proizvodnja

Privedila: Jelena PILIPOVIĆ

Tko će kontrolirati mogućnosti 3D tiskanja?

U sadašnjosti pisari mogu tiskati tvorevine kapañjem rastaljenog filameta od svih vrsta plastike, a u bliskoj budućnosti stereolitografski pisari selektivno će očvršćivati kapljevitu smolu fotopolimerizacijom. Nove generacije 3D pisara moći će proizvoditi tvorevine komplicirane geometrije različite elastičnosti i vodljivosti od najrazličitijih tvari. Komercijalni biopisari tvrtke