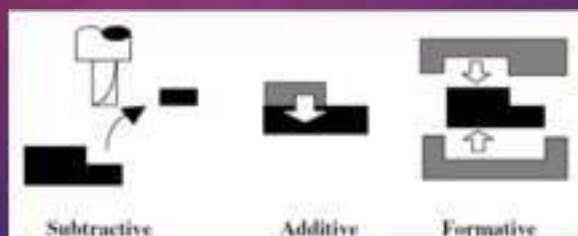


ADITIVNE PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

PRINCIPI APT

6. PRINCIPI ADITIVNE PROIZVODNJE SLOJ PO SLOJ

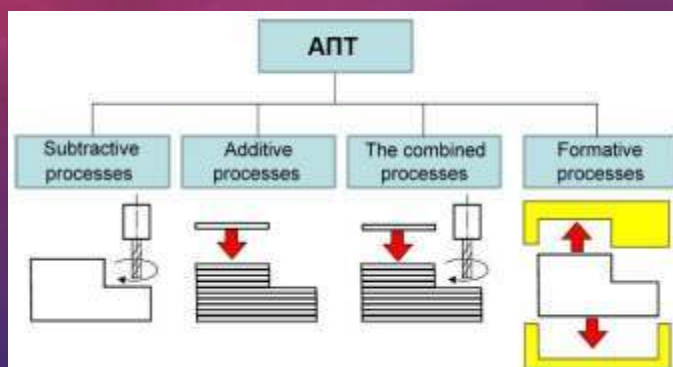
- Upotrebom postupaka APT proizvod nastaje dodavanjem materijala sloj po sloj.
- Ovakav princip suprotan je od primera klasičnim postupcima odvajanja materijala (subtraktivno) koji pripadaju metodama obrade rezanjem (struganje, goldanje, brušenje i sl.)



a) odvajanje materijala, b) dodavanje materijala, c) oblikovanje materijala

6. PRINCIPI ADITIVNE PROIZVODNJE SLOJ PO SLOJ

- Osnovna klasifikacija tehnologija - proširena



a) odvajanje materijala, b) dodavanje materijala, c) kombinovano d) oblikovanje materijala

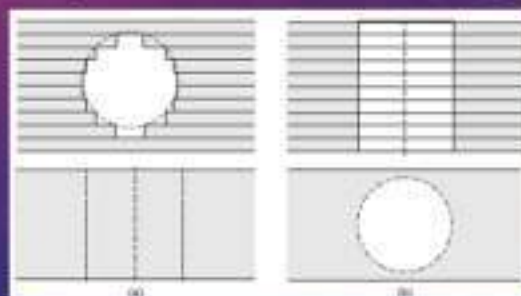
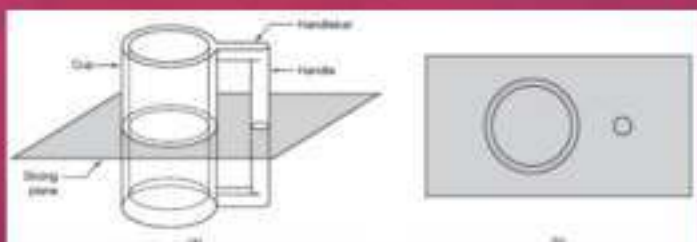


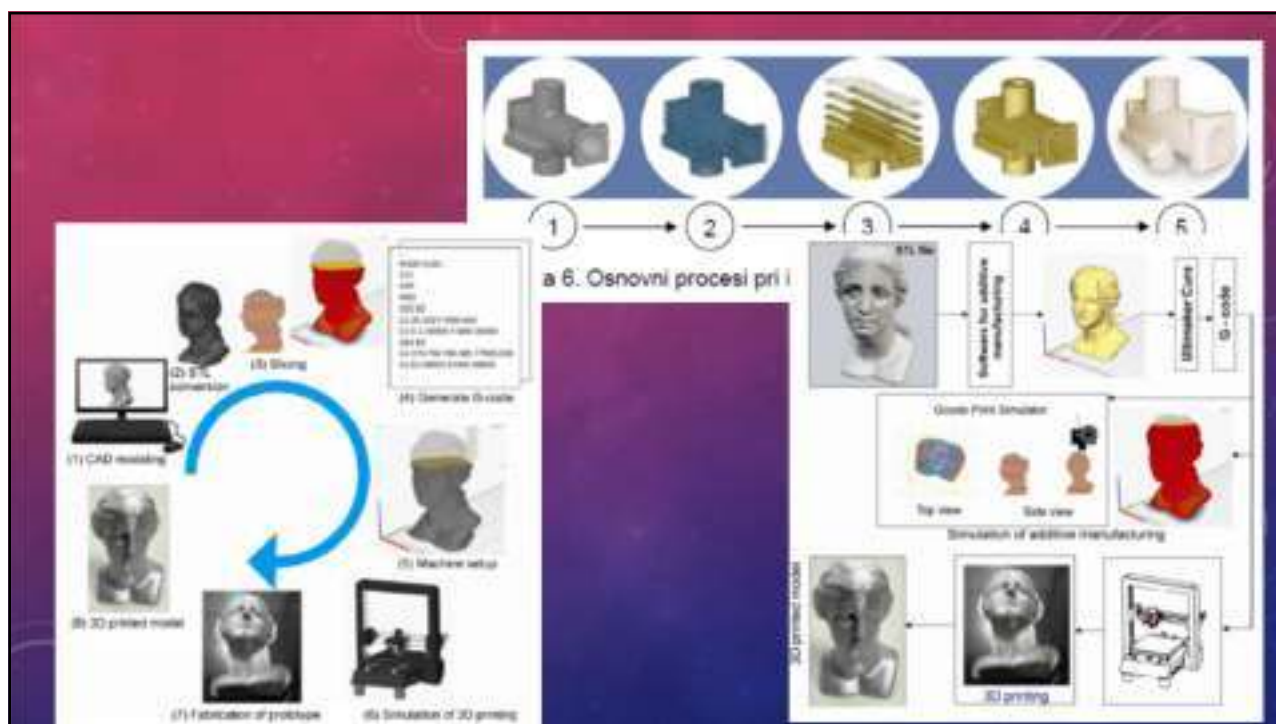
Princip tehnologije slojeva, na primeru slagalice HASBRO

Iako se postupcima APT formiraju vrlo komplikovani geometrijski 3D oblici proizvoda, u principu je reč o 2.5D postupcima pri kojima se 2D slojevi slažu jedan na drugi i tako se dolazi do treće dimenzije proizvoda. Kao rezultat ovakvog načina izrade dobijaju se trodimenzionalni proizvodi velike tačnosti u ravni X-Y, dok tačnost u smeru ose z zavisi od debljine slojeva – što su slojevi tanji, veća je tačnost proizvoda.



Slaganje 2D slojeva u 3D proizvod: a) kompjuterski 3D model izratka, b) slaganje 2D slojeva, c) izradak dobijen sloj po sloj





Formiranje 3D modela

- Modeliranjem (klasično 3D modeliranje pomoću CAD programa)
- Reverzno inženjerstvo
- Iz oblaka tačaka.

Dimension of CAD Elements	Element	Type of CAD Model
0D	Point	Point Model
1D	Line	Edge Model
2D	Surface	Surface Model
3D	Solid Volume	Solid or Volume Model

Figure 2.7 CAD elements and model types

АДИТИВНЕ ПРОИЗВОДНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ

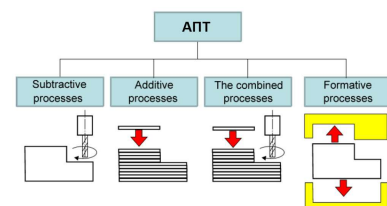
ПОДЕЛА
ФОТОПОЛИМЕРИЗАЦИЈА У КАДИ
СТЕРЕОЛИТОГРАФИЈА

1

Подсећање са прошлог часа!

Подела технологија

- методе уклањања материјала (резање, неконвенционалне обраде) (*Subtractive*)
- методе обликовања материјала (пластично деформисање) (*Formative*)
- методе додавања материјала - Адитивне технологије (АТ) (ливење, синтеровање, ...) (*Additive*)
- комбиноване/хибридне методе



Основна класификација технологија

CNC tehnologije	HIBRIDNI PROCESI	Aditivne tehnologije
+ Ponovljivost + Preciznost + Kvaliteta površine + Produktivnost - Odvojena čestica	OBRABE	+ Manje otpada + Složena geometrija + Raspon materijala - Dugo vrijeme obrade - Loša kvaliteta nastale površine

2

7. Подела АПТ

Подсећање са прошлог часа!

Према примени адитивних технологија:

rapid prototyping (производња концептуалних модела и функционалних прототипова),

rapid tooling (производња алата и уметака),

rapid manufacturing (производња готових делова)

Материјали производа:

Полимерни материјали

Метални материјали

Други материјали (керамика, композит)

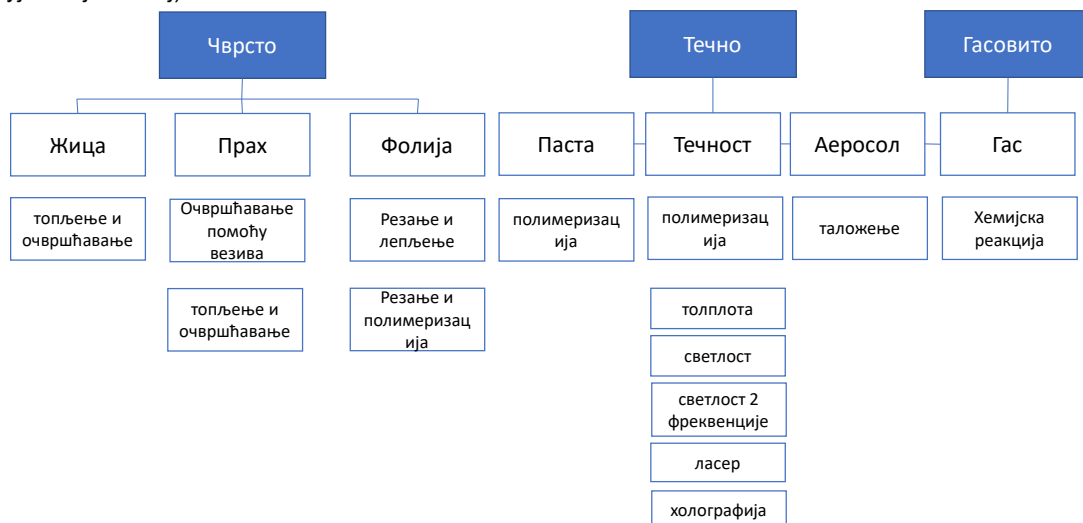
Према методи формирања изратка:

фото-очвршћавањем,
екструдирањем,
замрзавањем,
заваривањем,
електроплатирањем,
распрскавањем,
синтеровањем,
штампањем,
топљењем,
сечењем,
лепљењем или
ливењем.

3

Стање почетног материјала:

течно (течни мономери који се стврдњавају слој по слој у чврсте полимере), **чврсто** (у облику листова/лимова или филаменти), **на бази праха** (прах/прашкasti материјали који се сједињује и везује слој по слој) и **гасовити**.



4

Oblik polaznog materijala	Način građenja fizičkog objekta	Metoda	Proizvođač	Moguća primena u industriji pneumatika
TEČNOST (FOTOČVRŠĆAVAJUĆA)	Očvršćavanje pomoću svetla kroz masku	Solid Ground Curing (SGC)	Cubital Inc.	KP, MP, FP, MA, KPA
	Očvršćavanje UV laserom	Stereolithography (SLA)	3D Systems	KP, MP, FP, MA, KPA
	Kombinacija INK JET teh. i očvršćavanja UV lampom	Objet 3D-printer	Object Geometries Ltd.	KP, MP, FP, MA, KPA
PRAŠAK	Sinterovanje sa laserskim zagrevanjem	Selective Laser Sintering (SLS)	DTM Corporation	PA
		Direct Metal Laser Sintering (DMLS)	EOS	PA
	Topljenje sa laserskim zagrevanjem	Laser Engineered Net Shaping (LENS)	Optomec / Sandia National Lab. (now-DMDS Direct Mat. Deposition System)	PA
		Lasform	AeroMet	PA
	Vezivanje praška lepkom (baziran na MIT-ovoj 3D printing teh.)	3D-Printing	Z Corporation	KP, MP, KPA
ČVRSTI MATERIJALI	Ekstruzija plastike	Fused Deposition Modeling (FDM)	Stratasys	KP, MP, FP, MA, KPA
	INK JET tehnika	Multi Jet Modeling (MJM)	3D Systems	KP, MP, KPA
		3D Plotting	Solidcape Inc (ex. Sanders Prototype Inc.)	KP, MP, KPA
LISTOVI	Laminacija sa predhodnim lepljenjem (Sečenje materijala laserom)	Laminated Object Manufacturing (LOM)	Helisys Inc.	KP, MP, FP, MA, KPA

Tabela 1. Podela komercijalnih RP tehnologija i mogućnost njihove primene za izradu pojedinih vrsta

5

Категорије процеса

1. Фотополимеризација у кади (Vat photopolymerization) /

стереолитографија, Stereolithography (SLA)

процес адитивне производње (АП) током које течни фотополимер у кади селективно очвршћава полимеризацијом која је активирана светлошћу.

2. Директна 3D штампа / Бризгање материјала (Material jetting) / Polyjet / Inkjet Printing

процес АП током којег се капљице градивног материјала (фотополимер или восак) селективно таложе.

3. Везивна 3D штампа / Бризгање везива (Binder jetting) / Indirect Inkjet Printing (Binder 3DP)

процес АП током којег се течно везивно средство селективно наноси ради спајања прашкастог материјала.

6

Категорије процеса - наставак

4. Фузија нанетог праха (Powder bed fusion) – / [Selective Laser Sintering \(SLS\)](#); [Direct Metal Laser Sintering \(DMLS\)](#); [Selective Laser Melting \(SLM\)](#); [Electron Beam Melting \(EBM\)](#)

процес АП током којег топлотна енергија селективно топи и спаја нанети прашкасти материјали

5. Екструдирање материјала (Material extrusion) / [Fused Deposition Modeling \(FDM\)](#); [Contour Crafting](#)

процес АП током којег се материјал селективно дозира кроз млазницу или отвор

6. Спајање усмеравањем енергије / Таложење под директним дејством енергије (Directed energy deposition) / [Laser Engineered Net Shaping \(LENS\)](#); [Electronic Beam Welding \(EBW\)](#)

процес АП током којег се фокусирана топлотна енергија (ласер, сноп електрона, плазмин лук) користи тако да топљењем споји материјал док се таложи.

7. Ламинација фолија / листова (Sheet lamination) / [Laminated Object Manufacturing \(LOM\)](#)

процес АП током којег се фолије материјала спајају како би формирале део.

7

Главне групе процеса (за прераду метала)

- [Fused Deposition Modeling \(FDM\)](#)
- [Laser Powder Bed Fusion \(LPBF\)](#) / [Selective Laser Melting \(SLM\)](#)
- [Electron Beam Melting \(EBM\)](#) / Powder Bed Fusion with Electron Beam
- [Metal Binder Jetting](#)
- [Wire Arc Additive Manufacturing \(WAAM\)](#)
- [Directed Energy Deposition with laser \(DED\)](#)
- [Directed Energy Deposition with electron beam \(DED eBeam\)](#)
- [Metal Lithography](#)
- [Cold Spray](#)
- [Micro 3D Printing](#)



Metal 3D printed parts span industries and applications: [MX3D's 3D printed steel bridge in Amsterdam](#), [Cobra's 3D printed putter](#), [Lufthansa's 3D printed de-icing gear component](#), [RamLab's 3D printed ship propeller](#)

8

Главне групе процеса (за прераду полимера)

Поступци екструдирања/таложења/депоновања (FDM – Fused Deposition modelling) – чврсто/отопљено

Стереолитографски поступци (SL – Stereolithography) – течно (у форми пасти)

Поступци штампања материјала (MJ – Material Jetting) – течно

Поступци штампања уз везива (BJ – Binder jetting) – прах/везиво

Поступци ласерског синтеровања (SLS – Selective Laser Sintering) – прах

Поступци ламинирања (LOM – Laminated Object Manufacturing) – лим – фолије/везиво

Поступци таложења аеросол (m3D – Aerosol deposition) – aerosol

Остале поделе:

према радној запремини,
квалитету обраде (према дебљини слоја),
брзини,
обрада са више материјала...

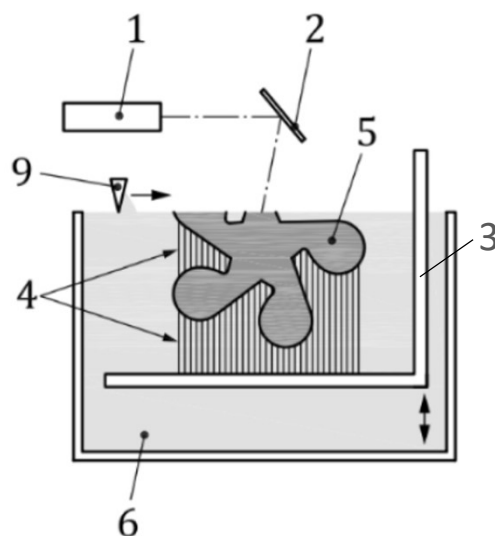
9

8а. Фотополимеризација у кади (Vat photopolymerization)

Дефиниција према стандарду ISO 17296-1:

Процес адитивне производње (АП) током које течни фотополимер у кади селективно очвршћава полимеризацијом која је активирана светлошћу.

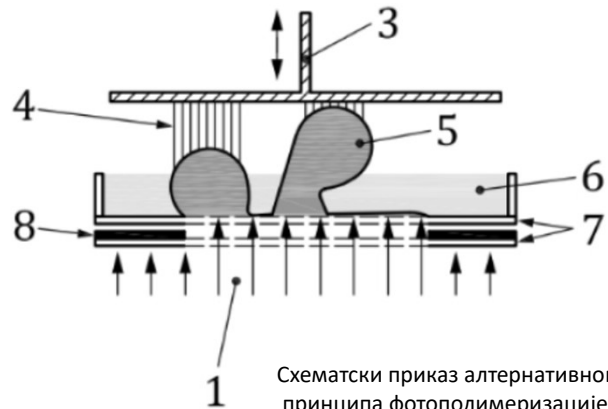
1. Извор светлосне енергије (ласерски извор светлости)
2. Закрнуто огледало са фокусом
3. Платформа за градњу и управљање кораком
4. Потпора
5. Производ
6. Посуда (кадица) са течном фотоосетљивом смолом
9. Механизам за пресвлачење и поравнавање површине



Схематски приказ принципа фотополимеризације у кади - ласерски извор светлости ¹⁰

86. Фотополимеризација у кади (Vat photopolymerization)

1. Извор светлосне енергије (контролисана површ снопа светлости)
3. Платформа за градњу и управљање кораком
4. Потпора
5. Производ
6. Посуда са течном фотоосетљивом смолом
7. Прозирне плоче
8. Фото маска



Схематски приказ алтернативног принципа фотополимеризације у кади – контролисана површ снопа светлости

Полазни материјал: течан или у облику пасте – фотореактивне смоле .

Механизам везивања: хемијска реакција.

Активација: типично зрачење ласера или лампи.

Постпроцесирање: чишћење, уклањање потпоре, даље ојачавање UV лампама.

11

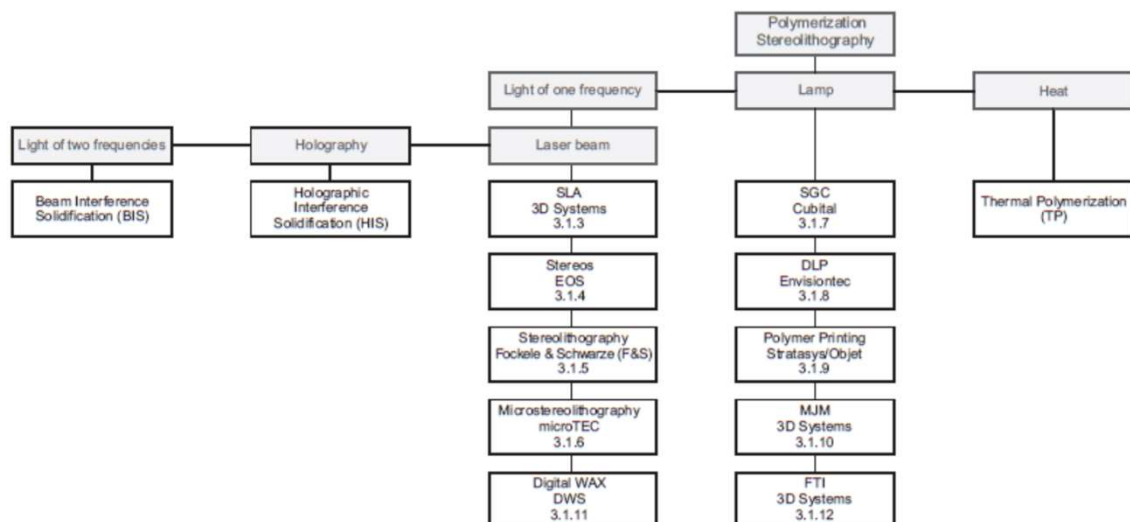


Figure 3.8 Polymerization and stereolithography process, overview in continuation of Fig. 2.38

12