

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Војна академија Универзитета одбране у Београду



Назив студијског програма: Војноиндустријско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Наоружање

Предмет: Технологије прераде пластичних маса

Број индекса: 517/2014

Лидија Р. Вишњић

Примена 3Д штампе у производњи делова наоружања

Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Богдан Недић - ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____



Основне студије: **Војно индустријско инжењерство**

Студијско подручје (усмерење): **Наоружање**

Име и презиме: **Лидија Вишњић**

Број индекса: **517/2014**

ПРИЈАВА ДИПЛОМСКОГ РАДА

Тема рада: **Примана 3Д штампе у производњи делова наоружања**

Задатак: У оквиру дипломског рада потребно је да кандидат изврши прикупљање и систематизацију података о технологијама и производној опреми за 3Д штампу. Описати опрему којом располаже предузеће Застава оружје, Крагујевац. У посебном делу рада извршити пројектовање и израду 3Д модела елемената и формирати један подсклоп.

Завршни рад треба да садржи следеће целине:

1. Уводна разматрања,
2. Технологије 3Д штампе,
3. Производна опрема за 3Д штампу,
4. Могућности примене 3Д штампе за израду делова наоружања,
5. Пример пројектовања и израде дела 3Д штампом,
6. Закључци,
7. Литература.

Ментор:

Крагујевац, 27.05.2020.

Др Богдан Недић, редовни професор

Садржај:

1. Увод	3
2. Технологија 3Д штампе	7
2.1 Основне претпоставке	7
2.2 SLA поступак – фотолитографија (<i>stereolithography apparatus</i>)	11
2.3 SLS поступак - ласерска фузија (<i>selective laser sintering</i>)	15
2.4 Поређење SLA и SLA поступака.....	18
2.5 Лом поступак – ламинација (<i>laminated object manufacturing</i>)	19
2.6 ФДМ поступак – екстудирање (<i>fused deposition modeling</i>)	20
2.7 Ink - jet printing.....	23
2.8 Multi - jet технологија (<i>thermo - jet</i>)	25
3. Производна опрема за 3Д штампу	28
4. Могућности примене 3Д штампе за израду делова наоружања	35
5. Пример пројектовања и израде дела 3Д штампом.....	44
6. Закључак	49
7. Литература	50

1. Увод

Владати новим технологијама брзе израде прототипова производа **RP** ("*Rapid prototyping*") и алата **RT** ("*Rapid tooling*") од виталног је значаја за било које предузеће у трци за освајањем нових производа и тржишта. Током протекле деценије, нове методе и средства допринели су поједностављивању и убрзавању процеса израде производа. Ове методе добијају све већи значај, након развоја и примене "*Layered manufacturing*" односно "израде делова помоћу слојева", или "*Solid free form fabrication*" (**SFF**), односно "израда делова слободним формирањем без коришћења алата и прибора". Иако је већина, до сада произведених делова овим технологијама, коришћена само у сврхе моделирања, подаци из 1996. године говоре да је у ове технологије уложено пар милијарди долара широм света.

Развој и комерцијализација **SFF** технологије почео је пре десетак година у САД-у (компанија *3D Systems*), да би се напори на том пољу пренели у Европу и Јапан. Главна истраживања усмерена су на директну израду производа од материјала као што су метали, керамички и пластични материјали, својстава сличних својствима материјала за конвенционалну израду истих производа. Осим тога **SFF** технологија поседује потенцијал за израду објеката најкомплекснијих облика, коришћењем разноврсних материјала што је раније било немогуће.

Представљање нових производа у све већим количинама и разноврснијим облицима од кључног је значаја за успешан опстанак предузећа на конкурентном тржишту; смањење времена потребног за развој производа и повећање његове сложености, захтева нова решења за реализацију иновативних идеја. Као одговор на ове изазове, последњих година развија се широк спектар технологија за развој нових производа. На овај начин омогућује се задовољење захтева тржишта да се произведе производ у што краћем времену ("*time to market*") са што мањим трошковима, а са што вишим квалитетом.

RP и **RT** технологије односе се на израду физичког модела будућег производа у фази развоја и освајања неког производа или алата, на основу чега се врше неопходна испитивања, провере, оптимизације, евентуалне корекције, маркетиншка презентација и доношење коначне одлуке о развоју производа и његовој производњи, као и производња неких производа у мањим серијама. Овим поступцима се омогућава брза и ефикасна израда веома комплексних физичких модела производа, краће а ефикасније од класичних

начина израде, у свим фазама - од настајања идеје и развоја, пројектовања и израде готовог прототипа производа.

На избор *RP* и *RT* технологије код уласка у развој и освајање новог или побољшање постојећег производа, доминантно утичу три најутицајнија фактора: квалитет, трошкови и време, као што је приказано на слици 1.



Слика 1. Троугао: квалитет - трошкови - време, као показатељ успешности примене *RP* и *RT* технологије

Утицај и значај ових фактора одређује цену производа, а задатак је да се у фази развоја производа од идеје до почетка производње серије, за сваки производ нађе оптимална комбинација ових фактора. У троуглу квалитет - трошкови - време, приказан је утицај *RP* и *RT* технологија на скраћење времена израде, уз задржавање повољне цене и квалитета.

Кључна идеја ових технологија заснива се на изради производа уз компјутерску подршку, директно од креираног 3D цртежа производа, декомпозицијом тог цртежа на танке слојеве (ламеле) и генерисању тог производа, уз помоћ *STL* датотеке (*stereolithography file*). На одговарајућој машини врши се наношење материјала у танким слојевима без коришћења алата и прибора, што с друге стране, не захтева (или захтева минимално) ангажовање радника. *SFF* технологија се може брзо и аутоматизовано реализовати, независно од облика дела, из више разлога:

- разлагања облика комплексне 3D геометрије у једноставан 2D приказ,
- не захтева уобичајено постављање и стезање предмета стезним алатима и
- машине на којима се реализује ова израда, имају релативно једноставно управљање и руковање.

У табелама 1 и 2 приказане су организације у Европи и Јапану које се баве истраживањем, развојем и реализацијом *RP* технологија, корисници и произвођачи опреме [1].

Табела 1: Организације, корисници и произвођачи опреме у Европи

Организације за истраживање, развој и реализацију
<i>Catholic University of Leuven (KU Leuven), Belgium</i>
<i>Fraunhofer Institute for Applied Materials Research (IFAM), Bremen, Germany</i>
<i>Fraunhofer Institute for Production Technology (IPT), Aachen, Germany</i>
<i>Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and Automation (IPA), Stuttgart, Germany</i>
<i>Institute for Polymer Testing and Polymer Science (IKP), University of Stuttgart, Stuttgart, Germany</i>
<i>Bavarian Laser Center (University of Erlangen), Erlangen, Germany</i>
<i>Fraunhofer Institute for Chemical Technology (ICT), Pfinztal (Berghausen), Germany</i>
Корисници
<i>Daimler Benz, Sindelfingen, Germany</i>
Произвођачи SFF опреме
<i>Fockele and Schwarze, Borchten Alfen, Germany</i>
<i>Cubital, Bad Kreuznach, Germany</i>
<i>Laser 3D/Dassault Aviation, Nancy, France</i>
<i>Electro Optical Systems GmbH, Munich, Germany</i>

Историјски развој технологија израде делова помоћу слојева, чији корени леже у најмање две техничке области се заснива на топографији и фотоскулптури, првим развијеним *SFF* технологијама (почев од 1968. године), као и *RP* патентима, реализованим између 1979. и 1992. године.

У зависности од примењених материјала и механизма стварања слојева, класификација *RP* технологија се може извршити на:

- *SLA* поступак (стереолитографија),
- *SLS* поступак (селективно ласерско синтеровање),
- *LOM* поступак (ламинација),
- *FDM* поступак (екструдирање),
- Ink - Jet Printing,
- Одношење материјала ласером,
- Комбиновани процеси додавања и одношења материјала.

Најчешће коришћени материјали који у *RP* и *RT* технологијама су: пластични материјали, смоле, термопласти, папир, керамички материјали и метали.

Табела 2: Организације, корисници и произвођачи опреме у Јапану

Организације за истраживање, развој и реализацију
<i>Hokkaido University (meetings took place in Tokyo)</i>
<i>Osaka Sangyo University, Osaka</i>
<i>Tokyo Metropolitan Institute of Technology, Tokyo</i>
<i>University of Tokyo, Tokyo</i>
Корисници
<i>Japan Aviation Electronics, Tokyo</i>
<i>Kyoden, Tokyo</i>
<i>Nakamura Pattern Making Co., Aichi</i>
<i>Olympus Optical Co., Yamanashi</i>
<i>Tokuda Industries, Kakamingahara City</i>
<i>Hino Motors, Tokyo</i>
<i>Toyota Motor Corporation, Nagoya</i>
Сервисни бирои
<i>INCS, Kanagawa</i>
<i>Shonan Design Co., Tokyo</i>
Произвођачи SFF опреме
<i>CMET/Asahi Denka, Nagoya</i>
<i>Denken Engineering Co., Oita</i>
<i>D-MEC Ltd., Tokyo</i>
<i>Kira Corp., Kira</i>
<i>Meiko Co., Yamanashi</i>
<i>Omron, Kyoto</i>
<i>Teijin Seiki, Tokyo</i>
Владине Организације
<i>IMS Promotion Center, Tokyo</i>
<i>MITI, Tokyo</i>

У другом поглављу описане су технологије 3D штампе, основне карактеристике и разни поступци 3D штампања. Треће поглавље описује опрему која се користи за 3D штампање, примере како изгледају машине и њихове карактеристике. У четвртом поглављу су дати примери како се 3D штампање може применити у војној индустрији и како се те технологије могу применити при изради војне опреме и оружја. У петом поглављу описан је практичан део, пример пројектовања шаржера и рукохвата пиштоља. На самом крају рада су закључци и литература.

2. Технологија 3Д штампе

2.1 Основне претпоставке

Циљ *RP* технологије је да омогући брзу израду тродимензионалних делова комплексног облика директно из *CAD* модела. Текући SFF системи засновани су на парадигми израде делова помоћу слојева. По овој методи 3D- *CAD* цртеж производа се, најпре, разлаже на хоризонталне слојеве (слика 2). Затим се генеришу трајекторије за вођење процеса додавања материјала, што представља фазе предпроцесирања, да би се сви ти слојеви сукцесивно израдили SFF машином.



Слика 2. СФФ производња заснована на парадигми израде путем слојева

Потпорни материјал у виду слојева се, такође, наноси истовремено са основним материјалом у циљу ослањања предмета. На пример, облици се прво разлажу у 2D слојеве, који представљају попречне пресеке предмета. Сваки слој је једнаке (униформне) дебљине. Сваки физички нанети слој, састоји се од слоја основног материјала од кога се формира предмет, и слоја потпорног материјала комплементарног облика, који се депонују на претходни слој, коришћењем једне од неколико расположивих техника наношења и фузије (стапања). Потпорни материјал се, по изради објекта, уклања као сувишан (слика 3.а.).

Потпорни материјал има неколико важних улога: прво, он придржава део аналогно његовом ослањању при изради стандардним технологијама; друго, служи као средство за израду удубљења у делу (слика 3.а.), и треће, он служи као ослонац изнад којих "неповезани" елементи основног материјала, као и његови "препусти" могу бити нанети.

Овакви елементи дела захтевају ову потпору с обзиром да нису повезани са основним материјалом у току наношења конкретних слојева.



Слика 3. Ослањање предмета

Технике са течним материјалима (а понекад и друге зависно од конфигурације дела) користе потпорне структуре само када се то захтева, за "неповезане" елементе и изражене "препусте" на делу, а увек на оним површинама дела са којима треба да се оствари веза са покретним радним деловима. Уз добар избор полимера ова потпорна структура, формирана или од истог материјала као и део, или од посебног материјала за лако уклањање у процесу очвршћавања слоја лако се механички одваја од дела, јер је најчешће у получврстом стању. Потпорна структура, нпр. може бити нанета као танка, шупљикава структура (слика 3.б.). Оваква врста потпорне структуре мора се брижљиво испланирати, зависно од оријентације и конфигурације дела. Такође се она мора узети у обзир у фази израде CAD модела предмета који се израђује (на слици 3 се такође види да су површине "степенастог" изгледа јер се формирају наношењем слоја на слој).

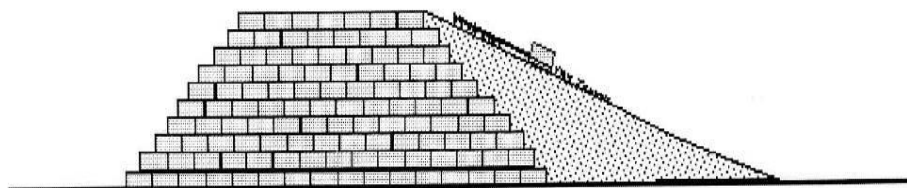
У табели 4 приказане су најпознатије компаније у САД-у, Европи и Јапану, које се баве RP технологијама.

Tabela 4: Компаније које се баве RP технологијама

Произвођач	Име процеса	Тип процеса	Материјали
SAD			
3D Systems	Stereolithograph у Apparatus (SLA)	ласерска фотолитографија	акрилати, епокси материјали
Helisys	Laminated Object Manufacturing (LOM)	ламинација, ласерско сечење	папир, одливци у табли
Stratasys	Fused Deposition Modeling (FDM)	истискивање	АБС, восак, синтетика, меки лив

<i>DTM</i>	<i>Selective Laser Sintering (SLS)</i>	ласерска фузија са прахом	синтетика, восак поликарбонати, метал обложен полимером
<i>Sanders Prototype</i>	<i>Model Maker</i>	бризгање	пластика ниске тачке топљења
<i>Soligen</i>	<i>Direct Shell Production Casting (DSPC)</i>	3Д принтинг везива у прахове	керамика
<i>BPM</i>	<i>Ballistic Particle Manufacturing (BPM)</i>	бризгање	пластика ниске тачке топљења
<i>3D Systems</i>	<i>Multi-Jet Modeling</i>	бризгање растопа	восак
Europe			
EOS (Germany)	STEREOS	ласерска фотолитографија	акрилати, епокси материјали
EOS (Germany)	EOSINT	ласерска фузија са прахом	полиамид, полистирен, металне легуре, песак обложен смолом
<i>Cubital (Germany/Israel)</i>	<i>Solid Ground Curing (SGC)</i>	фотомаскирање	акрилати, восак
<i>Fockele&Schwarze (Germany)</i>	<i>LMS</i>	ласерска фотолитографија	
Japan			
<i>CMET (NTT Data Communications)</i>	<i>Solid Object Ultraviolet Plotter (SOUP)</i>	ласерска фотолитографија	епокси материјали
<i>D-MEC (JSR/Sony)</i>	<i>Sony's Solid Creation System (SCS)</i>	ласерска фотолитографија	уретан акрилати
<i>Kira Corp.</i>	<i>Solid Center</i>	ламинација, сечење ножем	папир
<i>Teijin Seiki</i>	<i>Solid Forming System (Soliform)</i>	ласерска фотолитографија	уретан акрилати, смоле са стаклом
<i>Denken Engineering</i>	<i>Solid Laser Plotter (SLP)</i>	ласерска фотолитографија	акрилати
<i>Meiko Corp.</i>	<i>Meiko</i>	ласерска фотолитографија	акрилати
<i>Mitsui Zosen</i>	<i>COLAMM</i>	ласерска фотолитографија	
<i>Ushio, Inc.</i>	<i>Uni-Rapid</i>	ласерска фотолитографија	

Грађење објеката у виду слојева постављањем каменних блокова, није нова идеја; заправо, сеже из времена старог Египта и градње пирамида (слика 4). Та идеја представља основу свих аутоматизованих технологија израде производа помоћу слојева.



Слика 4. Градња пирамида из великог броја слојева

Практична примена израде производа помоћу слојева за модерне производне потребе, омогућена је развојем већег броја технологија, у које се убрајају: CAD израда геометријског модела производа, ласери, инк – џет принтери (штампачи) и контролери кретања високих перформанси, интегрисани са традиционалним производним поступцима као што су: металургија праха, истискивање (екструдирање), заваривање, CNC обрада, литографија, како је илустровано на слици 5.



Слика 5. SFF интегрисане технологије

Основна методологија свих RP технологија може се сумирати на следећи начин:

- CAD - геометријски модел је конструисан, затим конвертован у STL формат. Резолуција се може тако подесити да се степенасти кораци на површини изграђеног дела сведу на минимум.
- RP машина прослеђује STL датотеку креирајући слојеве модела.

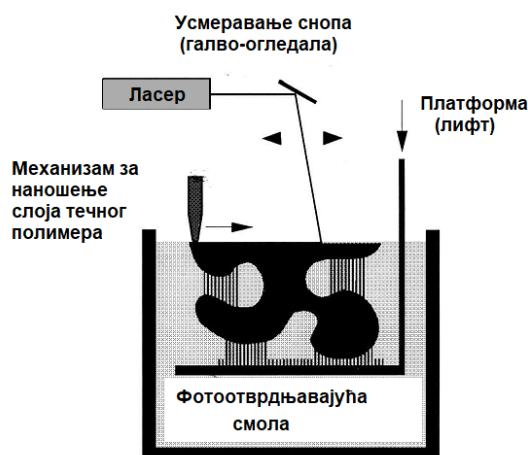
- Након формирања првог слоја производа врши се његово спуштање за дебљину наредног слоја, и поступак се понавља до комплетне израде производа.
- Сви потпорни делови се уклањају. Површине производа су завршене и очишћене.

2.2 SLA поступак – фотолитографија (*stereolithography apparatus*)

Фотолитографски *SFF* поступци су засновани на коришћењу светла за селективно отврдњавање фотоочвршћавајућих смола. Постоје два основна прилаза: фотолитографија и фотомаскинг.

Најбитније карактеристике технике фотолитографије:

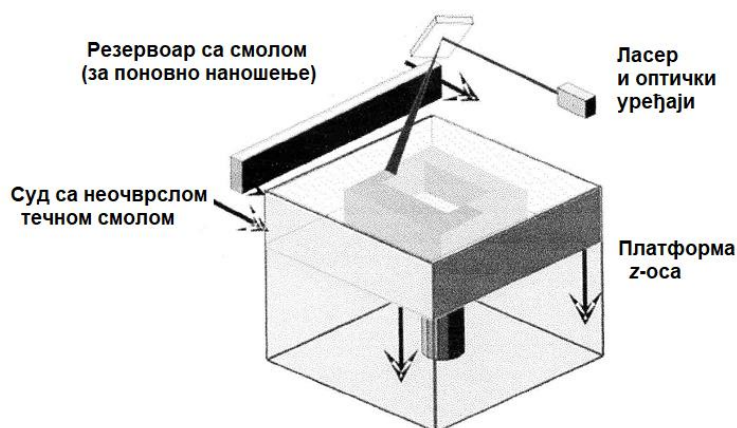
- То је прва технологија брзе израде прототипова, и још увек најчешће коришћена, коју је развила компанија *3D Systems* из Валенције, Калифорнија, САД, 1986. године под називом стереолитографија (*Stereolithography Apparatus* - SLA технологија);
- Није скупа у поређењу са другим техникама;
- Користи течни полимер осетљив на светлост;
- Захтева накнадно отврдњавање јер ласер нема довољну снагу за комплетно отврдњавање;
- Дуготрајно отврдњавање може довести до деформисања (увијања) дела;
- Површине су доста крте и имају изглед ситних "степеница", због чега се могу накнадно пескарити;
- У зависности од дебљине нанетих слојева (корака), прецизност по 3- оси може бити различита;
- Потпорне структуре се, у принципу, захтевају.
- Поступак је једноставан;
- Неочврсли материјал може бити токсичан, па је неопходна вентилација;
- У циљу побољшања естетског изгледа, део се може накнадно фарбати.



Слика 6. Ласерска фотолитографија

Ласерска фотолитографија (слика 6.) ствара делове од акрилне или епокси-смоле директно из суда са течним, фотоотврдњавајућим полимером селективним очвршћавањем полимера помоћу скенираног (усмереног) ласерског снопа. Производи се граде на платформи, која се помера по вертикалној оси. Под дејством фокусираног ласерског снопа (који се води преко површине течного полимера, нпр. уз помоћ серво-контролисаних галво-огледала), долази до очвршћавања једног слоја изложеног снопом. Након израде једног слоја, платформа се помера у течном полимеру за један корак по висини ($0,1 \div 0,25 \text{ mm}$). Овај корак, уједно дефинише резолуцију тачности израде 3D дела по висини (z- осе). Затим се процес понавља, формира нови слој и спаја са претходним слојем, све до коначне израде дела.

С обзиром на то да су фотополимери релативно вискозни, при спуштању платформе (тј. дела) у суду са полимером за дати корак, процес течења полимера преко горње површине очврстлог слоја, одвија се споро. Осим тога, температура израђеног слоја већа је од температуре неочврстлог полимера, што накнадно отежава процес. Из тог разлога се примењује механизам за наношење, да би се тај процес убрзао. Компанија "3D Systems", нпр. у стереолитографији користи механизам код кога се, најпре платформа спушта пар милиметара ниже од прописаног корака, што омогућава течном полимеру да тренутно прекрије горњу површину претходно израђеног слоја. Платформа се, затим подиже на жељену висину, а део механизма, попут оштре лопатице прелази преко површине да брзо одстрани сувишни материјал и изравна слој. 3D приказ поступка је шематски приказан на слици 7.



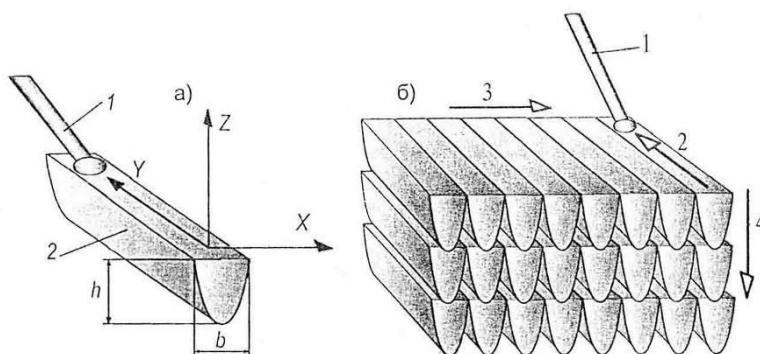
Слика 7. Просторна шема SLA поступка

Ласерском фотолитографијом, делови без изражених препуста се могу производити без потпорне структуре. У супротном се она захтева, јер када се нанесе први слој при

формирању препуста на делу, он се може увити или одломити при кретању надоле кроз течни полимер. Уз добар избор полимера, потпорна структура, формирана од истог материјала као и производ у процесу очвршћавања лако се одваја од дела.

Време израде дела и "степености" изглед његових површина зависе од његове оријентације при изради. Генерално, ако се дужа димензија дела оријентише вертикално, захтеваће дуже трајање израде, али ће "степенице" бити минималне. Постављањем дуже димензије хоризонтално, смањује време израде, али значајно повећава "степенасте" прелазе на површинама делова.

Најчешће примењени ласери за технику стереолитографије су УВ хелијум-кадмијум ласери и аргон-јонски ласери. Ласерски снап је константно фокусиран на висини нивоа површине течног полимера. Због природе ласерског снопа да се расподела специфичне снаге у попречном пресеку мења по Гаусовој расподели (у центру највећи интензитет, који опада ка периферији), те због апсорпције и распршивања снопа на површини полимера, фотополимер подвргнут снопом поприма параболично цилиндричан облик, приказан на слици 8.



Слика 8. Формирање структуре обратка:

а) приказ очврснуте линије фотополимера, х- висина очврснуте линије, б- ширина очврснуте линије, ласерски снап, 2- очврснута линија,

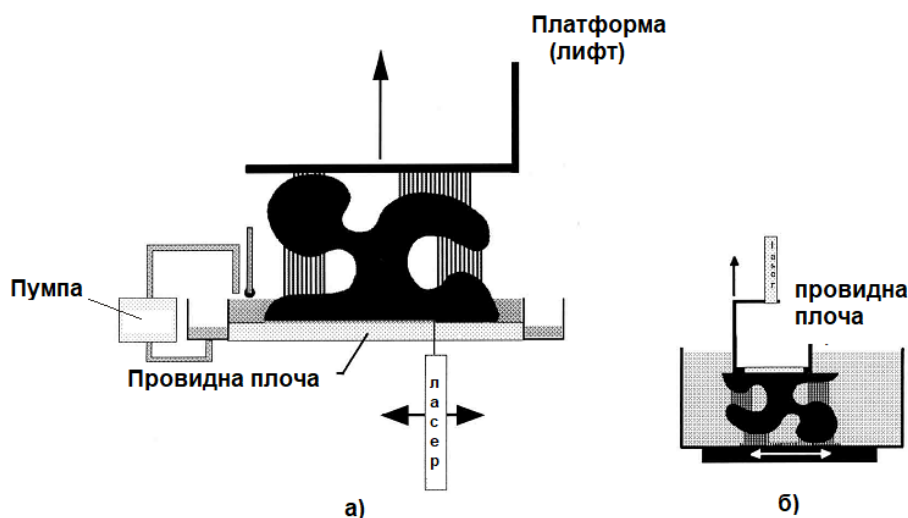
б) формирање слојева, 1- ласерски снап, 2- смер померања ласерског снопа при очвршћавању линије,

1- корачни посмак ласерског снопа за формирање следеће линије,

2- корачно спуштање радног стола за формирање следећег слоја

Постоји неколико поступака стереолитографије развијених у свету, под различитим именима, али сличног прилаза (табела 4). На машини коју је произвео *Denken Engineering* у Јапану, (слика 9.а) чији процес носи назив *Solid Laser Plotter* (SLP), део се гради обрнуто, везан за платформу која се подиже са сваким нанетим слојем. Слој течне смоле се налази у специјалном кориту, које је провидно због дејства ласера и за који се очврснути полимер слабо везује. Део предмета који се израђује, потопљен је у смоли тако,

да између дела и провидне плоче постоји слој течности. Изложен ласерском снопу, он очвршћава, и дебелина тог слоја течне смоле једнака је дебелини слоја на делу. После израде слоја, део се подиже одвајајући нанети слој од плоче и поступак се понавља.



Слика 9. Остали приступи ласерској фотолитографији

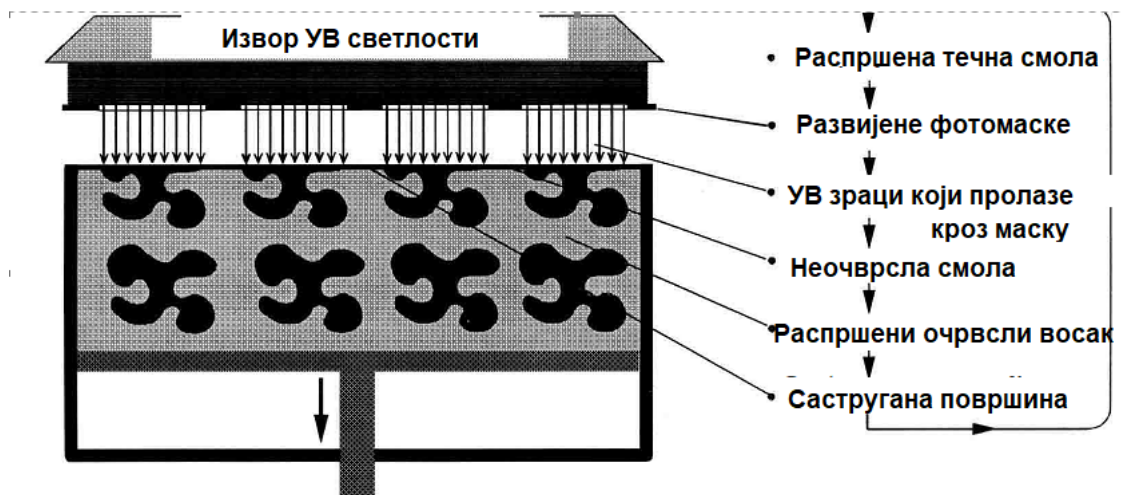
а) Солід Ласер Плоттер (СЛП), Денкен Енџинееринг, Инц. (Јапан)

б) Мицролитхограпу, Нагоја Университи

Поступак на слици 9.б. развио је професор *Koji Ikuta* са Нагоја Универзитета под називом *Microlithography*. Поступак је оптималан за израду микронских делова - димензија жице ласера је $5\mu m$. По овом поступку, провидна плоча је спуштена у суду да би се формирао слој течности преко претходно израђене површине. Основна карактеристика којом се ова техника разликује од других техника стереолитографије је у томе што предмет, све време израде, остаје непокретан у суду, док се суд релативно креће у односу на фиксирани ласерски сноп који пролазећи кроз провидну плочу, формира униформне слојеве. Ласер се, заједно са плочом помера на горе да би се омогућило прецизно фокусирање следећег слоја.

За разлику од "исцртавања" сваке хоризонталне секције слоја ласерском фотолитографијом, могуће је замислити комплетно наношење свих хоризонталних секција слоја у само једној операцији, коришћењем заштитних маски (фотомаскинг). Овај оригиналан приступ је развијен и комерцијализован од стране удружене компаније "Cubital" (Израел/Немачка), а поступак је назван SGC (*Solid Ground Curing*), приказан на слици 15. По SGC технологији сваки слој се наноси у једном пролазу. Облик сваког слоја се израђује на фотомаскирној плочи, која може да се брише а која се производи излагањем плоче процесу јонографије и развијањем жељеног облика електростатичким тоном. Затим се маска поставља изнад униформног слоја течног полимера, и интензивне

пулзације УВ светлости која пролази кроз маску и врши селективно отврдњавање материјала. Неочврсли фотополимер се одстрањује од слоја вакуум - системом и замењује воском (растворљивим у води и који има ниску тачку топљења), који служи као потпора. Након хлађења воска, слој се саструже да би површина била глатка. Узорак на масци, која је била изложена УВ зрацима, отклања се брисањем тонера и цео поступак се понавља. Када се производ заврши, восак се одстрањује топљењем.



Слика 10. Фотомаскинг

Solid Ground Curing (SGC), Cubital Inc. (Израел/Немачка)

Јединствена одлика фотомаскинг-а јесте способност израде већег броја производа истовремено, за кратко време у једној серији. Како време израде сваког слоја не зависи од геометрије и величине делова (четири репликације, једна до друге на слици), умножени делови могу се изградити за исто време које је нормално потребно за израду једног дела. Осим тога, SGC систем гради делове у чврстом воску као потпорном материјалу што омогућује да се велики број делова израђује у једној операцији (два реда делова који су приказани на слици 10.).

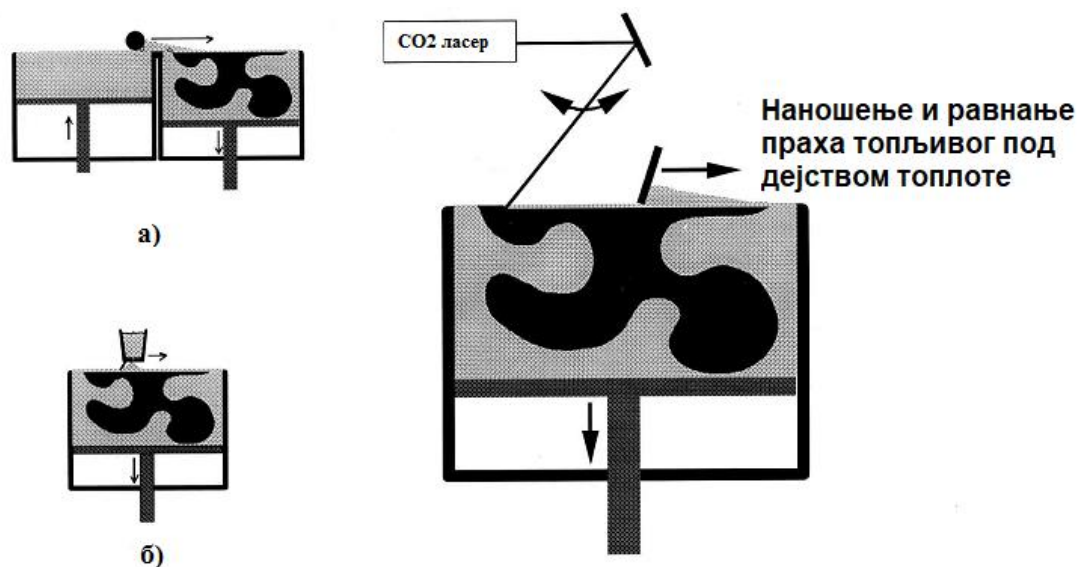
2.3 SLS поступак - ласерска фузија (*selective laser sintering*)

Најбитније карактеристике технике SLS поступка су:

- Највише примењивана, SLS технологија је патентирана 1989. године од стране Тексашког Универзитета, *Остин*, а затим комерцијализована од стране ДТМ Корпорације (САД) и ЕОС, Инц. (Немачка). Ови системи су, такође, развили и имају на тржишту своје сопствене машине за SLS;
- Користи се знатно већа енергија него код SLA технологије; могућа је израда структурних, односно функционалних делова;
- Ласерски снап врши селективну фузију прашкастог материјала: синтетичког праха, еластомера, и у новије време, све више, металног праха;

- Предности над SLA технологијом су у могућности примене разноврсних материјала и приближавања коришћењу уобичајених пластичних материјала који се користе у практичној примени;
- Зависно од корака слојева, тачност дуж вертикалне осе може бити различита;
- Поступак је једноставан;
- Постоји могућност израде са материјалима сличним термопластима (поликарбонати, синтетика или синтетика пуњена стакленим влакнима);
- Овим поступком се добија ситнозрнаста порозна површина, осим у случају када се обложи одређеним материјалом, чијом применом, такође, ојачава део;
- Неочврсли материјал се једноставно одстрањује по изради четкањем или одувавањем.

У овим техникама, (слика 11.) слој прашкастог материјала је раширен и поравнан преко горње површине структуре која се израђује. CO_2 ласерском зраку се тада, селективно излаже слој при чему се врши фузија оних површина дефинисаних геометријом попречног слоја. Честице праха се спајају различитим механизмима фузије, укључујући топљење, површинско везивање, синтеровање, као и њихово облагање полимерима. Материјал који није био изложен ласерском зраку (фузији) остаје на месту као потпорни материјал. После наношења сваког слоја, покретна платформа спушта део за дебљину слоја, и следећи слој праха се наноси. Када се део комплетно изради, он је структурно одвојен од прашкастог потпорног материјала. Неколико врста материјала су у употреби: пластични материјали, воскови и металне легуре са ниском температуром топљења, као и метали обложени полимером и керамика за израду предоблика. Директна фузија метала и керамике (као необложених прахова) још увек се испитује. На том пољу, *Фраунхофер* Институт за Производну технологију (ИПТ) су произвели експерименталну јединицу за директно синтеровање металног праха.



Слика 11. Ласерска фузија

Иако су и DTM и EOS машине базиране на истој методологији, постоје битне разлике у извршним операцијама машина, укључујући и начин снабдевања прашкастим материјалом. DTM машине снабдевају поступак материјалом, из суда који се креће у супротном смеру у односу на суд у коме се налази део; ваљак се користи да рашири и поравна прах (слика 11.а.). У EOS машинама, прах се распршује кроз отвор млазника, који је постављен на глави млазника који се креће с једне на другу страну (слика 11.б.). На глави је израђена ивица која попут лопатице, шири и равна слој праха.

Најчешће коришћени ласери су CO_2 ласери, око 50 W. Значајан део енергије ласера се трансформише у топлоту. Топлотна енергија, потребна за процес фузије, зависи од прашкастог материјала и његових својстава. Потребна излазна снага ласера може бити умањена одржавањем температуре праха на тачки мало испод његове тачке топљења.

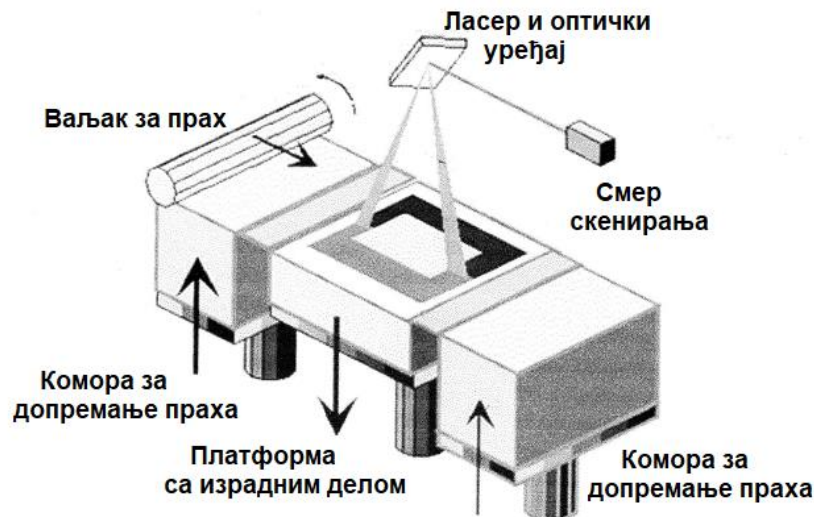
Поступак се врши унутар коморе производне машине, у средини са инертним азотом. Ово је неопходно да би се избегла оксидација везујућих површина и могуће сагоревање делова праха.

Завршени комад лежи у блоку праха који га окружује и придржава током израде. Блок праха, такође, задржава топлоту и спречава нагло хлађење које изазива унутрашње напоне у произведеном комаду. На крају процеса, платформа која држи део се подиже одстрањујући заостали прах.

Производи израђени било којом од RP технологија углавном имају грубу "степенасту" површину, условљену израдом у дискретним слојевима; међутим на квалитет површине дела који је израђен SLS технологијом посебно утичу следећи фактори:

- дисконтинуална природа праха повећава храпавост;
- делићи праха немају уједначене пречнике, већ се они крећу од 80 μm до 120 μm .
- хоризонтални слојеви су добијени у виду растера, тако да се могу јавити грешке по x-y координатама.

У многим применама, ово не мора представљати проблем, али површине морају бити глатке уколико се поступак примењује у изради алата.



Слика 12. Тростандардни приказ SLS поступка израде

2.4Поређење SLA и SLS поступака

Поређење SLA и SLS технолошких поступака РП, може се извршити са више аспеката.

Технолошки материјали: SLA (*Stereolithography*) технологија је лимитирана на употребу фотоосетљивих смола које су, углавном крте. SLS процес (*Selective Laser Sintering*) може примењивати прашкасте полимере који се, приликом синтеровања, веома добро приближују термопластима.

Изглед површина: Површина дела израђеног SLS технологијом је ситнозрнаста, као последица тога што су се делићи праха, на површинама, међусобно спојили без комплетног топљења. Што се тиче квалитета површина, делови израђени SLA технологијом, углавном надмашују оне произведене SLS технологијом. Површине су чистије и знатно мање храпаве. У зависности од потреба, SLA делови се могу накнадно обрађивати пескарењем, а постоји могућност наношења спреја, или се могу користити за моделирање у техникама ливења. Ако температура неочврслог праха у SLS технологији постане превисока, тада се сувишни фузиони материјал може скупљати на неким деловима површина. Тај процес је тешко контролисати, с обзиром да постоји толико много варијабли у SLS процесу. Генерално, SLA је боља технологија када се захтевају фини и прецизни детаљи. Међутим, на део у SLS технологији може бити нанета превлака у облику премаза, у циљу смањења храпавости његових површина и ојачавања.

Димензиона тачност: SLA технологија даје већу тачност израђеног дела, али SLS технологија је мање склона заосталим напонима, узрокованим дуготрајним очврсћавањем и околним напонима. Обе технологије имају заједнички недостатак - нетачност дуж вертикалне осе (због израде у дискретним слојевима), али SLS технологија је мање предвидљива због примене разноврснијих материјала и параметара процеса. Температура у SLS поступку може, понекад, бити таква да узрокује фузију сувишног материјала по површини дела, што додатно може утицати на нетачност по з-оси. SLA производи пате од проблема "заробљених запремина" у којима се задржава течна смола, што изазива димензиона одступања. SLS процес нема ових проблема.

Потпорне структуре: SLA делови обично, захтевају потпорне структуре у току процеса израде модела. SLS делови, због постојања потпорног праха, најчешће не захтевају икакву потпору, али то зависи од конфигурације дела. Након уклањања потпорне структуре,

њени делимични остаци на делу узрокују димензијску нетачност и нарушавају изглед дела.

Обрадивост: У принципу, SLA материјали су крти и тешко их је накнадно обрађивати, док SLS материјали слични термопластима имају добру обрадивост.

Димензије дела: SLS и SLA делови се могу производити истих димензија, али уколико се захтева израда производа из више делова, SLS делови се лакше међусобно везују.

2.5 Лом поступак – ламинација (laminated object manufacturing)

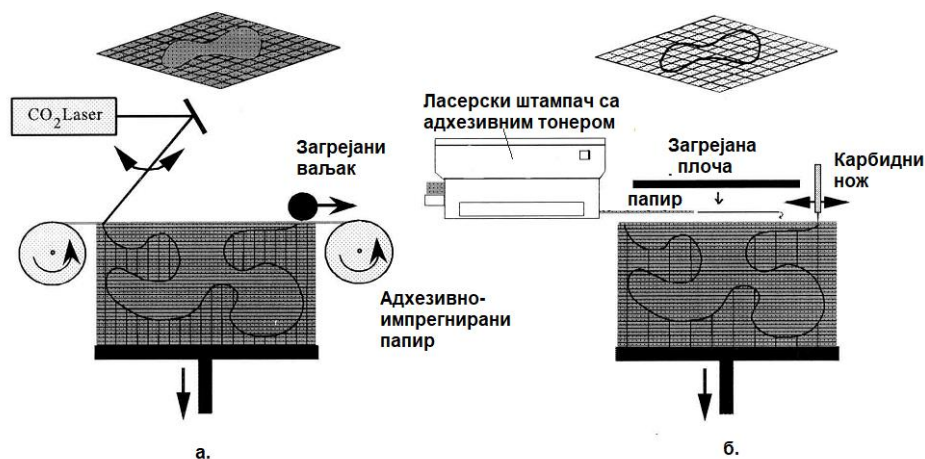
Постоје два SFF поступка ламинације. *Laminated Object Manufacturing* (LOM) је метод ламинације који је развила и комерцијализовала *Helisys* Корпорација (САД), и техника ламинације произведена од стране *Kira* Корпорације (Јапан).

Најбитније карактеристике технике ламинације:

- део се формира од слојева папира, пластике или металне фолије спојених лепљењем и материјали имају ниску цену;
- велики делови: у процесу нема хемијских реакција, па се могу израђивати делови великих димензија;
- тачност по вертикалној оси је мања него код SLA и SLS технологија;
- преостали материјал се одстрањује са дела релативно лако јер се формира у облику слојева изрезаних на мале квадрате;
- производи би након израде требало да буду заливени, да се не би овлажили (папир апсорбује влагу);
- пре заливања, производи имају текстуру налик меком дрвету; заливају се бојом или лаком.

LOM технологија је заснована на одузимању материјала при формирању одређеног слоја, што је супротност у односу на друге RP технологије које су базиране на принципу додавања слојева. LOM гради предмете помоћу слојева папира док се све више тежи примени пластике и танких металних фолија. Слојеви (ламинати) који имају адхезиона својства која се активирају топлотом лепе се за претходни слој, загрејаним ваљком. Ласер затим сече спољашње контуре дела, односно сваког слоја тог дела. Ласер тада на преосталом материјалу ван контура дела, при сваком слоју, унакрсно урезује мале квадрате (слика 13.а.) и, како се процес понавља, ти квадрати граде плочице које представљају потпорну структуру. Унакрсно урезани квадрати на преосталом материјалу око израђеног дела убрзавају његово скидање. LOM технологијом се израђују велики делови релативно брзо, јер се ласером скенирају само контуре. LOM је такође испитивао *Helisys* и Дејтонски Универзитет за израду керамичких делова и појачаних композитних облика, коришћењем слојева металног лима; коначни производ се мора синтеровати.

Једини нефотолитографски SFF поступак произведен у Јапану је ламинација коју је произвела *Kira* Корпорација. Док је "*Kira*" основни приступ изради исти као и онај примењен у *Helisys LOM* машини. Машина *Kira Solid Center*- а (SC машина) се значајно разликује у имплементацији. SC машина користи стандардни штампарски папир који се доводи машини коришћењем уобичајеног ласерског штампача (копира). Принтер (штампач) користи адхезиони тонер за штампање спољашње структуре слоја, као и за штампање унакрсних линија, због формирања малих квадрата на сваком слоју папира. Загрејана плоча затим спаја папир са претходним слојевима. Спољне контуре слоја се онда секу карбидним ножем. Квадратни сегменти потпорне структуре такође се исецају да би убрзали њено отклањање (слика 13.б.).



Слика 13. Поступци ламинације

а) *Laminated Object Manufacturing (LOM), Helisys, Corp. SAD*

б) *Solid Center, Kira Corp. Japan*

Удубљења су тешка за формирање поступцима ламинације који су претходно описани, с обзиром да је тешко одстранити потпорну структуру из шупљина. Бавећи се овом темом, *Case Western Reserve University* и *CAMLEM, Inc.* (САД) развијају поступак ламинације коришћењем табли металног лима, одвојено од потпорног материјала који није постојан. Свака секција лима и потпоре се посебно сече ласером, а затим заједно поставља. На крају израде, потпорни материјал се пали, и изгори да би део био ослобођен.

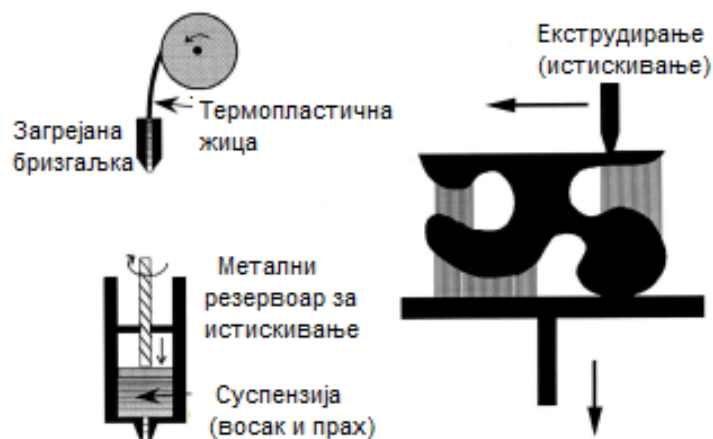
2.6 ФДМ поступак – екстудирање (fused deposition modeling)

Најбитније карактеристике технике екстудирања:

- Прво обликовање екстудирањем без коришћења алата и прибора развијено је и комерцијализовано од стране *Стратасус*, (САД). Поступак је назван *Fused Deposition Modeling* - FDM;

- Стандардни инжењерски термопласти, као што је АБС, могу се користити у изради структурних функционалних делова; ФДМ је једина технологија која израђује делове од АБС-а, који је првенствено намењен за бризгање у калупима.
- Могу се произвести делови димензија до 0,6 x 0,6 x 0,5m;
- Нит загрејаног термопластичног полимера се истискује као паста из тубе, да би се формирао слој;
- Термопласт се брзо хлади када се платформа одржава на нижој температури;
- Наношење слоја је понекад неуједначено, тако да површина може постати искошена;
- Није тако распрострањена као SLA и SLS технологија, али се утемељује због расположивих материјала.

ФДМ технологијом се наноси континуална нит термопластичног полимера или воска кроз струјом загревану бризгалку (слика 14). Материјал се допрема као нит у главу за истискивање и загрева до температуре нешто испод тачке топљења, тако да релативно брзо очврсне након изласка из бризгалке. Могућа је израда делова без већих препуста - тада нема потребе за потпорном структуром. Међутим, генерално се таква структура захтева. Потпоре се граде као танке зидне секције које се лако одстране по изради дела. Различите организације, какве су *Rutgers University*, *Allied - Signal*, *Lone Peak Engineering*, и *Advanced Ceramics Research*, такође истражују коришћење FDM технологије са термопластичним жицама и шипкама, које су напуњене керамичким прахом у циљу израде сирових предоблика.



Слика 14. Обликовање екструдирањем

- а) *Fused Deposition Modeling (FDM)*, *Stratasys Inc.* САД
 б) *Multiphase Jet Solidification (MJS)*, *cFraunhofer Inst.* Немачка

Multiphase Jet Solidification - MJS је следећи поступак заснован на истискивању (слика 19.б.). MJS технологија је развијена заједничким снагама *Fraunhofer* Института за

Истраживање Примењених Материјала (ИФАМ, Бремен) и Производног Инжењеринга и Аутоматизације (ИПА, Штутгарт). ИПА ради на развоју софтвера, а ИФАМ на аспектима материјала. *MJS* технологијом се екструдира метална или керамичка суспензија коришћењем технологије ињекционог ливења метала. Суспензија, која је смеша, отприлике подједнаких, делова воска и метала, или керамичког праха, уливена је у резервоар који се загрева, и истискује се кроз причвршћену брызгалку помоћу клипа који се активира завртањем и притиска суспензију.

Машине за FDM технологију крећу се у зависности од модела од оних великих брзина, до споријих, веће прецизности. Материјали за израду делова су: полиестер, АБС, еластомери и восак за ливење.

У новије време развијено је револуционарно оруђе за одстрањивање потпорне структуре названо *WaterWorks*. Новије *Stratasys*- ове машине као ФДМ *Maxum*, ФДМ *3000* и *Prodigy* опремљене су *WaterWorks* системом за уклањање потпорне структуре. Пост-процесирање са *WaterWorks*-ом засновано је на једноставном растварању потпорне структуре дела под дејством одговарајућег воденог млаза, остављајући обрађену површину глатком и чистом, без остатака потпорних структура.

WaterWorks систем допушта да се уштеди време и раде други послови док се врши уклањање потпоре; омогућена је израда производа функционалних карактеристика, чији се покретни делови израђују као целина. Ти се делови могу покретати одмах након уклањања потпорне структуре; његовим коришћењем могу се изградити производи комплексних геометрија, које би било немогуће изградити на конвенционалан начин.

Stratasys- ов систем уклањања потпорне структуре растварањем добио је награду часописа *CADENCE* за унапређење CAD индустрије [5].

ФДМ технологија допушта коришћење знатно разноврснијих пластичних маса од других технологија. Произвођачи ФДМ опреме настављају развој тих материјала у облику нити, који се користе код ФДМ машина. Материјал у облику нити намотан је на калем, што омогућава кориснику да брзо и једноставно замени материјал у машини монтажом калема и уградњом нити у ФДМ уређај за наношење. Ови материјали се стално развијају да би се изашло у сусрет жељама потрошача за већом брзином, јачином делова, тачношћу, резолуцијом површина, отпорношћу на топлоту и хемијско дејство и избором боја. Такође, ови материјали за разлику од УВ полимера, не загађују околинду и могу се

користити и у канцеларији. Најновије машине одликује аутоматско допремање материјала у форми патрона или канистера.

Најновији материјали укључују:

- еластомере, који се примењују када се захтева јачина, дуготрајност и еластичност,
- поликарбонате (инжењерске термопласте), када се захтева изразита отпорност на удар, удружена са отпорношћу на топлоту и корозивне агенсе,
- тврди полимер АБС (сачињен од три мономера: акрилонитрила, бутадиена и стирена), који такође представља инжењерски термопласт. Користи се у производњи делова за телефоне, кутија за компјутере и играчке,
- АБС, (АБС већег градуса) који је полупровидан и кога карактерише већа отпорност на удар од АБС; такође се може користити за примену у медицини, укључујући и аутоклавну стерилизацију,
- полиестер, материјал за опште намене,
- материјал за отпуштање, који се користи за израду потпоре и уклања са финалног модела,
- материјал растворљив у води, који се користи као потпорна структура током процеса израде и касније раствара са модела под дејством *WaterWorks* система,
- восак за инјекционо ливење.

Сваки материјал има карактеристична својства која их чине применљивим за различите сврхе. АБС рецимо пружа могућност избора боја: црне, црвене, плаве, жуте и зелене. Ове године је развијен ППСФ (полифенилсулфон), извршних механичких својстава, и користи се за израду прототипова у многим гранама индустрије.

2.7 Ink - jet printing

Неколико СФФ поступака искористило је предност ink-jet технологије за штампање слојева структуре производа. Први поступак који је успешно демонстрирао "штампање" облика био је *3D printing* (3DP), приказан на слици 15.а који је развијен као метод за стварање сирових предоблика (МИТ), примењених у металургији праха. С обзиром да се могу користити различити материјали у праху, 3DP је тренутно комерцијализована од стране *Soligen* Корпорације (САД) под именом *Direct Shell Production Casting* (DSPC) за креирање керамичких чаура и језгара за ливење.

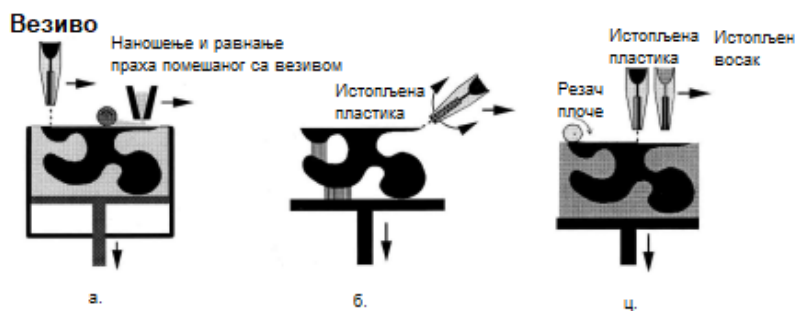
Најбитније карактеристике 3DP поступака:

- Везивни материјал се "штампа" на невезани слој праха;
- Површина израде може постати врло закошена;
- Није тако утемељена као SLA и SLS технологије.

У 3DP технологији део се гради у резервоару са клипом, који спушта део у резервоару за одређени корак. Прах (као што је алуминијумски) испушта се из левка изнад резервоара, док се ваљак користи да рашири и изравна слој праха. *Ink - jet* глава штампача

прелази преко површине праха и селективно убризгава везивно средство (као што је колоидни силикон) у прах. Везиво међусобно спаја прах на оним подручјима дефинисаним геометријом попречних слојева дела. Невезани прах постаје потпорни материјал. Када је облик потпуно израђен, сирова структура се жари, и тада се део вади из неvezаног праха. 3DP технологија металног праха, какав је нерђајући челик, везује се са полимером као везивом, и такође је у фази истраживања; у том се случају захтева да се везивни материјал истовремено уноси и у потпорни прах да би се омогућило очвршћавање метала.

Тренутне напоре улаже Технички Универзитет у Минхену у развој "модификованог" 3D *printing* поступка који убризгава струју смоле која очвршћава под дејством УВ- зрака. Такође, МИТ и Универзитет у Калифорнији, развија систем млазника за наношење металних легура.



Слика 15. Поступци Ink-jet printing- а

а) 3D Printing (3DP), MIT

б) Ballistic Particle Manufacturing (BPM), BPM Technology Inc. SAD

ц) Model Maker System, Sander's Inc. SAD

Остали поступци користе ink-jet технологију за директно наношење циљаних материјала ниских тачки топљења. *Ballistic Particle Manufacturing (BPM)* развијена од стране *BPM Tehnology*, (САД), користи пиезоелектрични млазни систем за наношење микроскопски малих делова растопљених термопласта (слика 15.б.). Као у FDM и SLA технологији, захтева се потпорна структура за "неповезане" секције објекта. Потпоре су нанете као шупљикаве структуре да би се брже уклониле. *BPM jet-* глава је међутим постављена на позиционом механизму са пет оса, тако да се препусти на делу могу наносити без потпоре, како се види на слици.

Најбитније карактеристике *Sanders Model Maker* - технологије:

- Изузетна прецизност допушта коришћење у индустрији накита;
- Тачност је делимично повећана додатком за уклањање обликачем после сваког нанетог слоја;
- Штампачки систем може да бризга материјале од чврстог до течног стања - и термопласте и воскове;

- У поређењу са SLA и SLS технологијом није толико утемељена.

Model Maker System, Sander's Inc. (САД), испушта оба материјала истовремено. Термопласт ниске тачке топљења и одвојено воштани материјал за потпору. Као додаток, овај систем укључује обликач да поравна и уклони вишак са сваког слоја до прецизно дефинисане дебљине. Глатка површина високог квалитета може се постићи ако се најпре истрасирају контуре пре но што се испуни унутрашњост омеђена контуром слоја (слика 15.ц).

2.8 Multi - jet технологија (thermo - jet)

Најбитније карактеристике Мулти - Јет поступка:

- Брза техника;
- Нетоксични материјали, испуштање непријатних мириса је занемарљиво;
- Једноставна операција;
- Првенствено се користи за израду модела предмета;
- У поређењу са SLS и SLA, није толико утемељена.

Следећи производ Компаније *3D Systems*, од иноватора SLA технологије јесте *Multi-Jet* поступак, који користи главу штампача са 96 независних млазника који наносе термопласте ниских тачки топљења (слика 21.). Користе се исти материјали у изради потпорне структуре у виду танких, игличастих структура. Поступак је брз у поређењу са осталим RP техникама, и даје производ квалитетног изгледа, са минималним грешкама оператера. Систем је релативно мали и не ствара буку. Означена је као једна од најперспективнијих технологија, у чији се развој улажу знатни напори.

Финални изглед дела сличан је изгледу делова израђених, SLA, LOM или SLS технологијом. Површине имају степенасте прелазе. Овај ефекат је непожељан, али настаје као последица дуплирања *3D-CAD* цртежа у дискретним слојевима. Конструисањем модела у тањим слојевима ефекат "степенастих" површина се модели израђени *3DP* технологијом су слаби и лако се могу оштетити и изобличити. У том случају модели се могу ојачати инфилтрацијом воском, у које се може додати мастило да би се, од почетно провидног воска произвео део чија се боја може бирати.

Мулти - Јет технологија се поред примене у брзој изради прототипа (*Rapid Prototyping*) користи све значајније и у брзој изради алата (*Rapid Tooling*) и моделирању за прецизни лив (*Investment Casting*). Ова технологија омогућује израду позитивне или негативне форме модела. Позитивна форма омогућује мањи број корака до израде готовог комада и зато се радије користи за брзу израду прототипа и верификацију дизајна. Недостатак је примена веома скупог материјала. Међутим, израда негативног отиска

модела би омогућила израду елемената алата (*Rapid Tooling*), који би убризгавањем воска у алат, омогућило вишеструку израду позитивне форме (модела). Тиме би се знатно смањили трошкови израде. Модел израђен овим поступком, омогућује употребу јефтинијих воскова за прецизни лив. Примена *Multi – Jet* технологије у прецизном ливу постаје интензивнија са падом цена воска, посебно изражен током последње две године и тај тренд се наставља.

Доминантно примењена варијанта *Multi - Jet* технологије је тзв. *Thermo - Jet*. Назив потиче од произвођача *3D Systems - SAD*, који је дефинисао и STL спецификацију података.

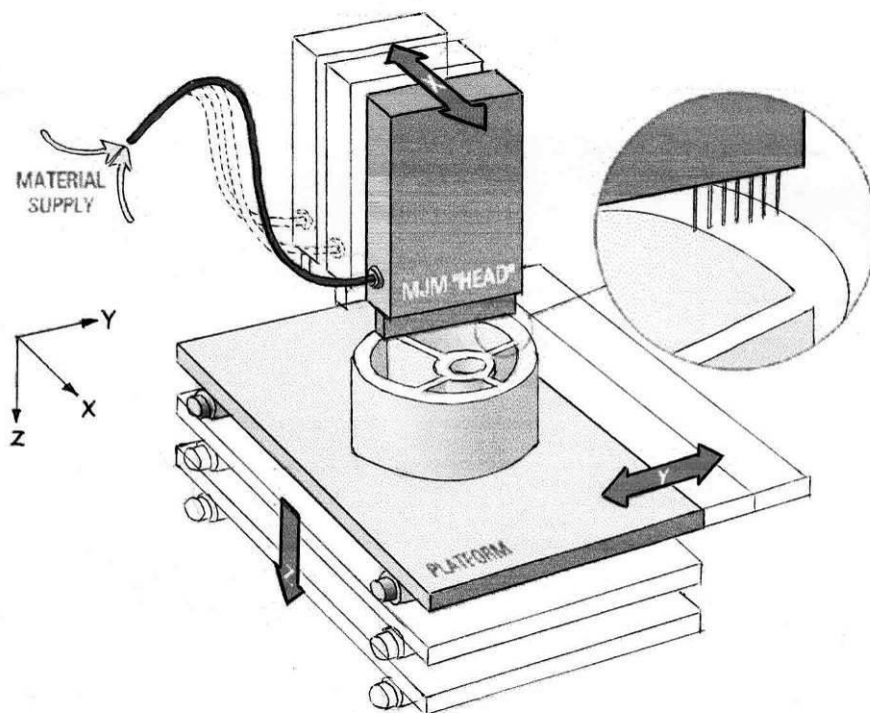
Метод се заснива на nanoшењу епоксилне смоле (загрејане до 0,5 - 1 °C) више од тачке топљења) путем сета млазница, дистрибуираних по у- осе. Строгом контролом температуре омогућује се брзо хлађење нанесеног слоја. Глава са сетом млазница врши translацију по х- осе, а прецизном временском контролом активирања појединих млазница дефинише се геометрија модела по у- осе. Контрола z- осе је дефинисана еквидистантним дискретним спуштањем радног стола са кораком $d \cong 0.04\text{ mm}$.

Током израде појединих слојева, неопходно је обезбедити носиву структуру претходног слоја. Ако је због топологије модела празан простор у претходном слоју, неопходно је обезбедити потпорну структуру, која се лако уклања након процесирања модела. По дефиницији се такође наноси иницијални потпорни слој 5 mm, да би се обезбедила чврста веза са површином радног стола. Потпорна структура је по правилу у свим оним просторима, где настаје сенка формирана замишљеним паралелним снопом светлости, усмереним по позитивној z- осе. Потпорна структура се пажљиво уклања након *Thermo – Jet* процесирања. Неопходност потпорне структуре је управо основни недостатак ове технологије, јер се након њеног уклањања захтева додатно чишћење и обрада површина модела које су биле у контакту.



Слика 16. *Multi - Jet Modeling (MJM), 3D systems, SAD*

На слици 17, дата је просторна шема *Multi - Jet* поступка.

Слика 17. Просторна шема *Multi - Jet* технологије

3. Производна опрема за 3D штампу

3D штампање има широку примену у војној индустрији. Војне индустрије широм света раде на развоју технологија 3D штампања, користећи 3D штампање за прототипове, развијају сопствене фабрике и користе технологију у авионима и другим војним возилима. Много милиона је уложено у технологије 3D штампања припремајући их за производњу на терену. Много више милиона је уложено у развој фундаментално нових технологија. Тренутно се трка око 3D штампања оружја тихо развија између Кине и Сједињених Држава. Многи заповедници и планери схватили су да је 3D штампање технологија са стратешким и тактичким импликацијама. У овом завршном раду биће дат преглед већине онога што се дешава са 3D штампом у војној индустрији.

Војска ће усвојити и користити било коју доступну технологију која јој је од користи. У случају 3D штампања, војске широм света значајно инвестирају у 3D штампу од средине деведесетих. 3D штампање има потенцијал да војну опрему учини бржим и са мање трошкова од осталих процеса. Истовремено се на готовом делу може сачувати тежина и може се дизајнирати на нов начин. 3D штампање убрзава развој производа, штеди новац на прављењу нових делова и омогућава интегрисање функционалности, делова и монтаже. Широм света се значајно улаже у развој, квалификацију и сертификацију 3D штампаних делова за војску. Мора се прихватити да ће се 3D технологија користити на начине који можда нису прихватљиви. 3D штампање има потенцијал да фундаментално измени начин на који се праве разни делови од бојевих глава до нуклеарних пројектила. Важно је схватити да када владе излажу врлине 3D штампања и промовишу ове технологије или улажу у њих, постоје стратешки и тактички разлози да они савладају ову технологију и победе у растућој трци за 3D штампање оружја [3].

Америчка фирма *Markforged* са седиштем у Бостону једна је од пионира на многим фронтима у индустрији адитивне производње: АМ ојачана влакна за 3D штампање, нискобуџетни метали за 3D штампање, јединствени системи за контролу квалитета, софтвер и још много тога. Иако засигурно постоје друге нове технологије на хоризонту за покретање компаније из Бостона, тренутно најузбудљивија понуда компаније може бити њен метални 3D систем штампања, *Metal X* приказан на слици 18.



Слика 18. 3Д штампач Metal X

Овај штампач је заснован је на реномираној композитној технологији 3D штампања, али користећи метални прах уместо композитних материјала. Ову машину одликује волумен израде од 300x220x180 mm и висину слоја од 50 микрона. У основи, Metal X штампа метални прах који је везан у пластичној матрици, чиме ефикасно елиминише ризике повезане са традиционалним 3D штампањем метала, истовремено смањујући тежину дела и трошкове производње. Процес 3D штампања на металу који се користи у, зван *Atomic Diffusion Additive Manufacturing (ADAM)*, укључује поступак употребе везане металне шипке у праху уграђене у пластичну филаменту. Слично уобичајеним технологијама 3D штампања попут ФДМ, метални делови се граде слој по слој, али надокнаде се врше током фазе дизајнирања како би се објаснило скупљање дела.

Једна од главних предности ADAM технологије је та што омогућава затворене ћелије. Раније су традиционалне технологије 3D штампања метала захтевале да 3D модел има рупу за одвод неискоришћеног праха. Међутим, то није случај са Metal X -ом, јер се прах сагори током процеса синтеровања. То значи да дизајнери могу креирати сложене затворене унутрашње структуре да би створили лагане делове који истовремено креирајући снажан део.

Једном када се део заврши, такозвани „зелени“ део се затим премешта у две станице за обраду. Прво, део пролази кроз Wash-1, разводник који део урања у специјализовану течност за уклањање примарног везивног материјала. Овај поступак

оставља материјал полупорозним, тако да се преостало везиво у следећем кораку може лако сагорети.

Завршна фаза користи *Sinter-1*, пећ велике снаге која синтерује део који гори, претварајући га у чврсти метални део. Ова последња фаза чини део од око 99% густим, што је равноправно са врхунским машинама на тржишту. Да би пружио веће могућности синтеровања *Markforged* је недавно издао *Sinter-2*, пећ веће величине за серијску производњу серије и делове великог обима.

Много је предности металног 3D штампања, а једна од њих је могућност креирања једнократних делова са врло сложенom геометријом. *Markforged Metal X* пружа те предности на приступачнији начин са мањим трошковима који често оптерећују велике индустријске машине. Иако се процес 3D штампања метала заиста није скратио и још увек захтева опсежну накнадну обраду, *Markforged Metal X* показао се као добра полазна тачка за компаније и произвођаче да започну 3D штампање крајњих метала.

Ово су тренутне техничке спецификације *Metal X*:

- Мотор штампања: Производња адитива за атомску дифузију (АДАМ)
- Запремина уградње: 300 x 220 x 180 mm
- Величина машине: 575 x 467 x 1120 mm
- Комора за штампање: Грејана
- Лежиште за штампање: Грејани, вакуумски отиснути лист, Аутоматско нивелирање кревета
- Систем штампања: 2 млазнице - издање металног материјала и подршке
- Максимална величина дела: 250 x 183 x 150 mm
- Максимална тежина дела: 10 kg
- Резолуција: 50 микрона - 200 микрона
- Повезивање: Ethernet или Wi-Fi
- Тежина: 75kg
- Захтеви за напајање: 00-240VAC, 2400W (20A peak), IEC60320
- Материјали: 17-4 PH нехрђајући челик, алатни челик (H13, A2, D2) титанијум Ti6Al4V, инконел (IN) 625, бакар, алуминијум (6061, 7075)
- Подржава: Керамички слој ослобађања
- Припрема за штампу: Eiger Software
- Тип датотеке: STL

Демонстрирајући способности *Metal X* -а, америчка војска недавно је показала свој нови систем. У децембру поморске снаге почеле су да користе систем *Metal X* у својој 3. радњи (слика 19), батаљона за одржавање у кампу Кинсер, једној од веома контроверзних војних база САД-а на острву Окинава.



Слика 19. *Metal X* у радњи поморских снага у САД-у

У радњи је 12 маринача који поправљају делове за америчке системе наоружања и возила за све поморске јединице, које заузимају бројне базе на малом, јапанском острву, као и неколико база и другим локацијама у Јужној Кореји и Хаваји. Први аустралијски војни батаљон за подршку спровео је у фебруару 12-месечно тестирање о употреби технологије 3D штампања.

Армија је на тестирању сарађивала са компанијом *SPEE3D* са седиштем у Мелбурну и *Charles Darwin* универзитетом (CDU). Тестирање је укључило 20 војника који су били обучавани за дизајн и штампање делова помоћу *WarpSPEE3D* 3D штампачу, приказано на слици 20.



Слика 20. Тестирање *WarpSPEE3D* 3Д штампача

Warp SPEE3D приказан на слици 21. је први метални 3D штампач великих формат који користи патентирану *SPEE3D* технологију која омогућава знатно бржу, више исплативију и ефикаснију производњу од традиционалне производње. *SPEE3D* процес је такође и 100 до 1000 пута бржи од традиционалне 3D металне штампе, што представља најбржи начин да се претвори дизајн у штампани део који се може користити. Ова огромна брзина трансформише металну 3D штампу од корисне за прототипове или производње мале запремине у решење за производњу у реалном свету.



Слика 21. *Warp SPEE3D* штампач

Иновативна *LightSPEE3D* машина показала је да би 3D штампање могло бити брзо и исплативо. Развој новог *WarpSPEE3D* штампач великих формата доказује да 3D штампање метала сада може бити брз, економичан и процес широке примене.

Иако је *LightSPEE3D* идеалан за експериментацију материјала, развој процеса и штампање ситних делова, због повећане величине штампе, *WarpSPEE3D* машина је усмерена ка серијској производњи.

Са брзином од 100°/мин, максималан део димензија од $\varnothing 1000 \times 700 \text{ mm}$ и максималну тежину од 45 kg, *WarpSPEE3D* је у стању да произведе индустријске компоненте у року од неколико сати, за чију производњу би требало 6-12 месеци помоћу традиционалних метода за ливење.

SPEE3D је у потпуности прилагодив омогућавајући предузећима да штампају појединачне делове или делове серијске производње до 10.000 делова и још увек остане

конкурентна са ценама у односу на традиционалне методе ливења. *WarpSPEE3D* је такође у стању да произведе групе компоненти или читавих сетова у једном штампању.

SPEE3D доноси флексибилност 3D штампе прерађивачкој индустрији, омогућавајући да се са лакоћом штампају делови на захтев, без обзира да ли је потребан један део или 10.000 делова. Са овим штампачима пружа се могућност израде прототипа и производње делова на истом рачунару.

SPEE3D штампачи су једини светски метални штампачи за штампање делова по захтеву и цени која је конкурентна са традиционалном производњом. Резултат је производња металних делова по трошковима који су слични процесу ливења, а далеко јефтиније од *CNC* машинирања дела од кованог материјала.

SPEE3D је развио аутоматски процес који штампа делове мрежног облика са минималним количином сировина. Једина потрошачка потребна за покретање *SPEE3D* штампача су електроенергетски и сирови метални прашкови. *SPEE3D* штампачи су такође спремни да оптимално раде са нискобуџетним металним прашком. За разлику од неких других металних 3D процеса штампања *SPEE3D* штампачи користе компримовани ваздух и не захтевају скупе инертне гасове или вакуум који ће их покретати. Производња делова *WarpSPEE3D* машином је далеко лакша и сигурнија, производећи исте делове у односу на процес ливења је много боља за животну средину. Ливење метала (алуминијума посебно) може бити и опасно. *SPEE3D* елиминише потребу за руковањем растопљених метала и све инфраструктуре неопходне за безбедан рад.

Због ефикасности процеса *SP3*, *WarpSPEE3D* производи делове који имају мању утрошену енергетску компоненту од других технологија. Истраживање је показало да је утрошена енергија за ливење алуминијума у распону од 30-38MJ/kg. У поређењењу *WarpSPEE3D* производи делове са утошеном енергијом у опсегу од 18kJ/c. Ово смањење утрошене енергије доводи до мање потрошње енергије по делу и мањим испуштањима CO₂.

WarpSPEE3D је направљен са опцијом да се додатно смањи утицај на животну средину уградњом соларних панела и покретањем соларне енергије.

Француске оружане снаге примењују 3D штампу како би производили резервне делове за далеке базе у регионима као што је Мали. Пошто набавка потрошног материјала и опреме на терену може бити тешка, војска је ангажовала *Desert Tactical Group – Logistics “Charentes”* у тестирању 3D штампаних делова за замену оштећених компоненти. Уз

помоћ *Formlab* и *Ultimate 3D Printer*, они су успели да озбиљно убрзају ланац снабдевања и смање трошкове превоза.

Технологије као што су адитивна производња и 3D скенирање могу бити одлична средства поједностављивања операција за базе у области у којима се налазе. Француска војска 3D штампа разне делова, укључујући заштитне гранате, заптивке и делове за оптику, што би иначе било неприступачно за места као што је Мали или Нигер. Поврх тога Француске оружане јединице одржавају базу у којој се налази 4,500 особља. Овај фактор чини набавку опреме и одржавање чак и далеко тежу, тако да 3D штампање представља природно решење.

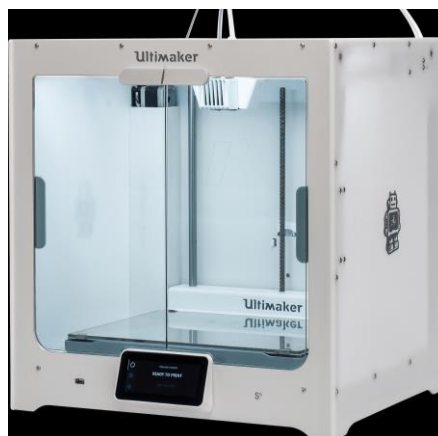
Француска војска такође користи технологију за израду делова и њихово побољшање преко узастопних понављања. Подофицир Квентин (на слици 22.) је учествовао у сваком кораку процеса штампања, од 3D моделирања до избора материјала. Будући објект мора да буде прецизно уклопљен за његову функцију. "Кључ је у одабиру одговарајућег материјала који ће утицати на брзину штампе машине и снагу дела."



Слика 22. Подофицир Квентин приликом тестирања 3D штампача

Као што сто је раније наведено, Француска војска није једина војска која користи 3D штампање. То је велико решење за производњу и логистику резервних делова, али такође нуди и друге погодности. Она такође помаже разним снагама у погледу прототипова и производње функционалних делова за крајњу употребу. Такође се омогућава војсци да на најбољи начин искористе материјал који им је на располагању, кроз програме за рециклажу материјала, које одређене америчке војне базе спроводе. Адитивна производња доказује да се ради о стратешком ресурсу како на терену тако и ван њега.

Ultimaker S5 приказан на слици 23. је моћан, поуздан и разноврстан 3D штампач који доставља резултате индустријске класе.



Слика 23. *Ultimaker S5 3Д штампач*

Стручњаци широм света, од дизајнера до инжењера и архитекта, открили су да је *Ultimaker S5* моћно, јефтино решење које значајно олакшава процесе производње и концепт развоја. Ослањајући се на *Ultimaker 3*, *Ultimaker S5* даје побољшане перформансе са већим обимом производње, без напора и неупоредиво поузданост у раду.

Ultimaker S5 поседује моћну технологију у једноставном, чистом и модерном кућишту које се уклапа у сваку канцеларију. Затворена предња страна, са затамњеним стакленим вратима омогућују оптималну унутрашњу температуру и проток ваздуха. Иновативни интерфејс са екраном осетљивим на додир, прати рад штампача и приказује детаљне информације о статусу.

Ultimaker S5 има велику запремину од 330 x 240 x 300mm. Штампање великих размера или монтажа више делова на плочу за израду да би се добиле димензије које су дизајниране. Савршен први слој је пресудан за сваки 3D штампач. Да би се осигурало да се то дешава сваки пут, извршена је реконструкција постојеће технологије активног нивелисања. Овај штампач испитује плочу за изградњу, стварајући детаљно прецизну мапу дела који треба изградити. Користећи ове податке, у стварном времену надокнађује било каква одступања површине, пружајући савршен ултра-раван први слој, уз сигурно пријањање током целог штампања. Не треба стално надгледање - само се покрене штампа и остави се да *Ultimaker S5* да ради свој посао, док ви радите свој.

4. Могућности примене 3Д штампе за израду делова наоружања

У домену високих технологија, америчка војска је развила бацач граната који је готово у потпуности направљен од 3D штампаних делова. Још боље, они стварно испаљују гранате израђене са 3D штампом. Пројекат истиче интерес војске да интегрише нове производне технологије, идеално снижавање трошкова и олакшано снабдевање резервних делова.

Rapid Additively Manufactured Ballistics Ordnance или *R.A.M.B.O.* приказан на слици 24. је модификовани бацач граната M203 који се монтира на аутоматске пушке M16 и M4 карабин. Вероватно није више заштићен патентом.



Слика 24. *R.A.M.B.O.* бацач граната

R.A.M.B.O. састоји се од 50 појединачних делова приказаних на слици 25. а сви су осим опруга и вијака направљени 3D штампањем. Шипка и пријемник направљени су од алуминијума коришћењем директног синтерирања металних метала, што Центар за подршку аквизиције америчке војске описује као "процес који користи прецизне ласере за загревање честица праха испод њихове тачке топљења, у основи заваривање финог металног праха слој по слој, све док се не формира готов објект ". Окидач и стрелица штампани су у од челика С4340.



Слика 25. 3D штампани делови *R.A.M.B.O.* бацача гранате

Цев и пријамник бацача граната захтевали су око 70 сати за штампање, а затим им је било потребно 5 сати завршетка штампања. Цевчица је роњена у купку од абразивног

камена, а затим је заштићена тврдом елексираном превлаком да би се добило храпава површина.

Војска је импресионирана овим поступком, који доказује да неко са неуобичајеном 3D штампарском опремом може у ствари изградити трајне делове бацача граната. Припрема алата и подешавање потребни за израду тако замршених делова конвенционалним методама захтевали би неколико месеци и десетине хиљада долара, а за израду жљебова на цеви био би потребан машиниста који поседује стручност за у овој области.

Бацач граната није био једино што је војска 3D штампала. Правили су гранате, приказане на слици 26. Армија је одштампала неколико тренинг серија M781, у којима нема експлозива, од алуминијума и најлона напуњеног стаклом. 3D бацачи граната и гранате тестирани су у октобру 2016. године и показали су нулту деградацију након 15 метака.

3D штампане гранате досегнуле су унутар пет процената брзине врха од уобичајених производних граната, доказујући да систем делује близу стварности.

Војни инжењери укључени у пројекат погодили су само једну препреку током тестирања, једног који је лако поправити. Ране верзије граната доживеле су пуцање на алуминијским кућиштима. Да би то поправили, инжењери су једноставно ушли у софтвер и зидове кућишта учинили дебљим. Следећа граната је била штампана са дебљим зидовима и проблем је решен.

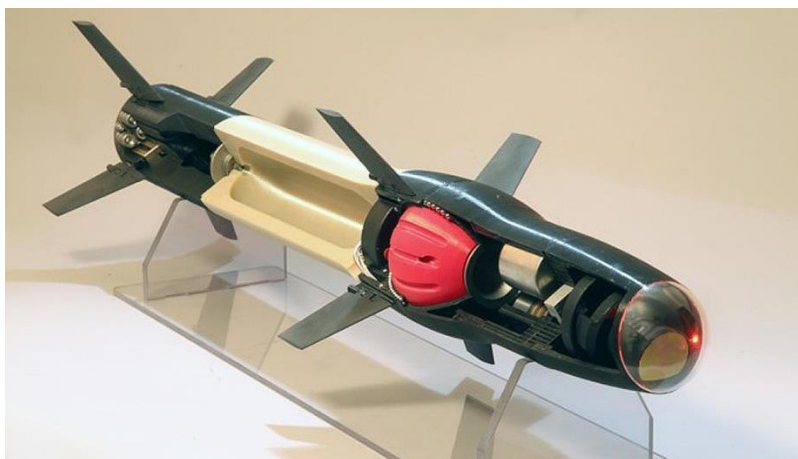


Слика 26. Штампана граната

Производња стварног, корисног тешког наоружања има озбиљне последице на израду одбрамбених производа. Нови дизајни могу се се брзо прототипирати и тестирати без стварања нових, скувих алата. На борбеном пољу, свако оружје би једног дана могло

бити произведено на овај начин. А чак и даље у будућност, војници на напредним стаништима могли би штампати своје оружје или критичне резервне делове.

Истраживачи из *Raytheon Missile Systems* кажу да су већ створили скоро сваку компоненту вођеног оружја користећи адитивну производњу, познатију као 3D штампање приказано на слици 27. Уз комерцијално доступну опрему врхунског квалитета и посебно модификоване верзије јефтиних 3D штампача, истраживачи компаније створили су готово сваку компоненту вођеног оружја користећи 3D штампање, укључујући ракетне моторе, пераје, делове за системе за навођење и управљање, и још много тога.



Слика 27. Пресек 3D штампане мале ракете.

Будући напори компаније су ка укључењу у адитивну производњу и 3D штампу, укључујући пројекте са циљем да се допуни традиционални производни процеси.

Инжењери истражују употребу 3D штампања за постављање проводљивих материјала за електричне кругове, израду кућиштаза револуционарне галијум-нитрид предајнике и израду пераја за вођене артиљеријске гранате. Процес може смањити трошкове повезане са традиционалном производњом, попут машинске обраде делова. Омогућује брзи дизајн и брзе измене јер инжењерима је потребна само промена дигиталног модела који представља део. Све док остану у постављеним параметрима, могу имати нове делове за неколико сати уместо неколико недеља.

Једна од нових области 3D штампања оружја су дизајн и производња бојевих глава. Дизајнери покушавају створити ефекте експлозије који задовољавају посебне критеријуме. „Једном када уђете у физику детонације, отворите вам читав нови свемир,“ рекао је *James Zunino*, инжењер из *U.S. Army Armament Research, Development and Engineering Center (ARDEC)*.

Ограничења делова који се могу произвести помоћу алатних стројева ограничавају облике бојевих глава. Снижавањем ограничења кроз проширене могућности које долазе са адитивном производњом, простор се користи ефикасније. „Права вредност коју добијате је да из истог простора можете добити више сигурности, смртоносности или оперативних способности,“ рекао је *Zunino*.

Ови иновативни процеси производње адитива спајају штампане метале, штампану енергију и друге материјале, слојевито на подлоге, у компоненте које чине „покретач“ у експлозивним бојевим главама. „Можете увелико поједноставити производњу енергетских материјала штампањем истих“, рекао је *Zunino*.

Главни допринос 3D штампања је његов потенцијал да поједностави производни процес, рекла је *Leah Hull*, менаџер за производњу адитива *Raytheon*.

„Када нешто одштампамо, имамо мање делова, тако да вам ланац снабдевања постаје једноставнији“, рекао је *Hull*. „Ваши развојни циклуси су краћи; добијате делове много брже. Можете добити пуно сложенији дизајн, јер углове не можете да направите машинирањем. ”

"Обезбеђивање доследног интегритета производње биће део следећих корака ка остваривању ове визије", рекла је др *Teresa Clement*, експерт за *Raytheon* материјале који је такође председавајући извршног одбора *America Makes, an initiative of the National Additive Manufacturing Innovation Institute*.

Остали штампани елементи укључују сложене електронске склопове - инжењери са *Raytheon University of Massachusetts Lowell Research Institute* истражују начине штампања таквих склопова, посебно микроталасних компоненти - градивних елемената софистицираних радара. Садашња метода стварања микроскопских склопова укључује уклањање материјала ради стварања електронског кола. Супротно томе, 3D штампање поставља само материјал који је потребан за изградњу струјног кола.

Струјна кола се могу штампати помоћу *Ink-jet* штампача. Циљ је штампање сложенијих кола у три димензије, са врло високом резолуцијом и перформансама силицијума.

Инжењери у истраживачком институту су већ у могућности да поставе проводнике и диелектрике потребне за штампану електронику. Они чак могу положити угљеничне

наноцевчице, ситне структуре направљене од повезаних атома угљеника, и раде на томе да их ускладе како би изградили футуристичке склопове.

Да ли би војници једног дана могли да штампају и састављају ракете на лицу места, на исти начин на који артиљеријске посаде прилагођавају своје топове или руководиоци оружјем постављају смернице за неке врсте бомби? Остаје питање за нека будућа времена.

"Пре него што ратни борац може одштампати ракету на терену", рекао је, "потребни су вам квалитетни, контролисани процеси да бисте произвели све саставне материјале: металне заштитне спојеве и пластичне конекторе, полупроводнике за процесоре и енергетске и погонске системе . Тежи део је затим повезивање ових компоненти, на пример, интегрисани управљачки круг који прима наредбу да запали осигурач. У неком релативно кратком року можда ћете морати да одложите чипове и повежете их са штампањем. Или у будућности, можда ћете их једноставно исписати. "

3D штампање ракета и бојних глава омогући ће инжењерима да користе сложене геометрије и обрасце које претходно нису могли производити или производити, а ракете и бојеве главе бити лакши, мањи, компактнији и приступачнији. Такође ће омогућити усмерену смртност, чинећи бојне главе ефикаснијим, смањујући тако ризик колатералне штете.

Поред доста типова 3D штампача, Застава Оружја користи EOS машине и то:

- EOS P 396 за пластику;
- EOS M 290 за метал.

EOS P 396

Опште карактеристике:

- Сви 3D штампани делови са одличним механичким својствима и тачношћу димензија захваљујући софтверским карактеристикама као што су Smart Scaling, EOSAME и континуирани надзор температуре.
- Највећа продуктивност коју обезбеђује снажни ласер плус велика брзина скенирања и поновног откривања.
- Мноштво апликација које у потпуности испуњавају индустријске потребе могуће је са 14 материјала и њиховим 26 скупова параметара
- Потпуна интеграција у ИИТ окружењу са EOSCONNECT језгром резултира у потпуно дигиталном процесном ланцу од CAD модела, преко ERP и MES везе, до готовог дела.

- Максимално време за заустављање са дигиталним записом и траг са свих места и у било које време.
- Континуирана оптимизација целокупног производног тока омогућена је проценом и документацијом свих циклуса израде.

Техничке карактеристике:

- Димензије машине: 1840 x 1 175 x 2 100 mm
- Тип ласера: CO2 ; 70 W
- Дебљина слоја (зависно од материјала): 0.06 – 0.10 – 0.12 – 0.15 – 0.18 mm
- Прецизност оптике: F-theta lens, high-speed scanner
- Брзина скенирања током процеса израде: 6 m/s
- Напајање: 400 V / 32 A, max. 16 A
- Потрошња струје: обично 2.1 kW; max. 10 kW
- Препоручени простор за инсталацију: 4.3 x 3.9 x 3.0 m
- Тежина: 1 060 kg

Софтвер: PSW 3.8, EOSCONNECT (open interface OPC-UA, Web API), Smart Scaling

Материјали: PA 1101, PA 1102 black, PA 2200, PA 2201, PA 2210 FR, PrimePart FR (PA 2241 FR), PA 3200 GF, Alumide, EOS TPU 1301, PP 1101, PrimeCast 101, ALM FR-106, ALM HP 11-30, ALM PA 640 GSL

Додатна опрема: IPCM Р плус, станица за пражњење Big Bag, станица за отпакивање и просијавање, ормар за минирање



Слика 28. EOS P 396

EOS M 290

Опште карактеристике:

- Робусна конструкција система и моћан ласер од 400 W омогућавају поуздан радни дан из дана у дан.
- Изузетан квалитет зрачења ласерске тачке и одлична резолуција детаља идеални су за производњу веома сложених DMLS компоненти које обезбеђују хомогена својства дела од дела до дела, посла до посла и машине до машине.
- Најшири распон потврђених материјала и процеса доступних на тржишту који покривају све потребе купаца.
- Интуитивни, отворени и продуктивни CAM алат EOSPRINT омогућава оптимизацију CAD података осигуравајући брзо и лако управљање послом и радним током. Модул EOS Parametar Editor нуди програмерима велики и отворен сет алата који обезбеђују велику слободу за специфичну оптимизацију апликација.
- Свеобухватни пакет за надгледање омогућава осигуравање квалитета у стварном времену свих података о производњи и квалитета. EOSTATE се састоји од пет различитих система за надгледање - System, Laser, PowderBed, MeltPool, and Exposure OT (optical tomography).

Техничке карактеристике:

- | | |
|--|----------------------------------|
| • Димензије машине: | 2,500 x 1,300 x 2,190 mm |
| • Тип ласера: | Yb fibre laser; 400 W |
| • Пречник фокуса: | 100 µm |
| • Прецизност оптике: | F-theta lens, high-speed scanner |
| • Брзина скенирања током процеса израде: | 7.0 m/s |
| • Напајање: | 400V/32A |
| • Потрошња струје: | max. 8,5 kW/ ретко 2,4 kW |
| • Препоручени простор за инсталацију: | min. 4,800 x 3,600 x 2,900 mm |
| • Тежина: | 1,250 kg |

Софтвер: EOSPRINT incl. EOS ParameterEditor, EOSTATE Everywhere, EOSCONNECT Core, Materialise Magics Metal Package and modules

Материјали: EOS Aluminium AlSi10Mg, EOS CobaltChrome MP1, EOS MaragingSteel MS1, EOS NickelAlloy HX, EOS NickelAlloy IN625, EOS NickelAlloy IN718, EOS StainlessSteel CX, EOS StainlessSteel PH1, EOS StainlessSteel 17-4PH, EOS StainlessSteel 316L, EOS Titanium Ti64, EOS Titanium Ti64ELI, EOS Titanium TiCP Grade 2

Додатна опрема: EOSTATE Monitoring Suite (EOSTATE Laser, EOSTATE PowderBed, EOSTATE MeltPool, EOSTATE Exposure OT), Comfort Powder Module, IPCM-M extra, IPCM-M pro

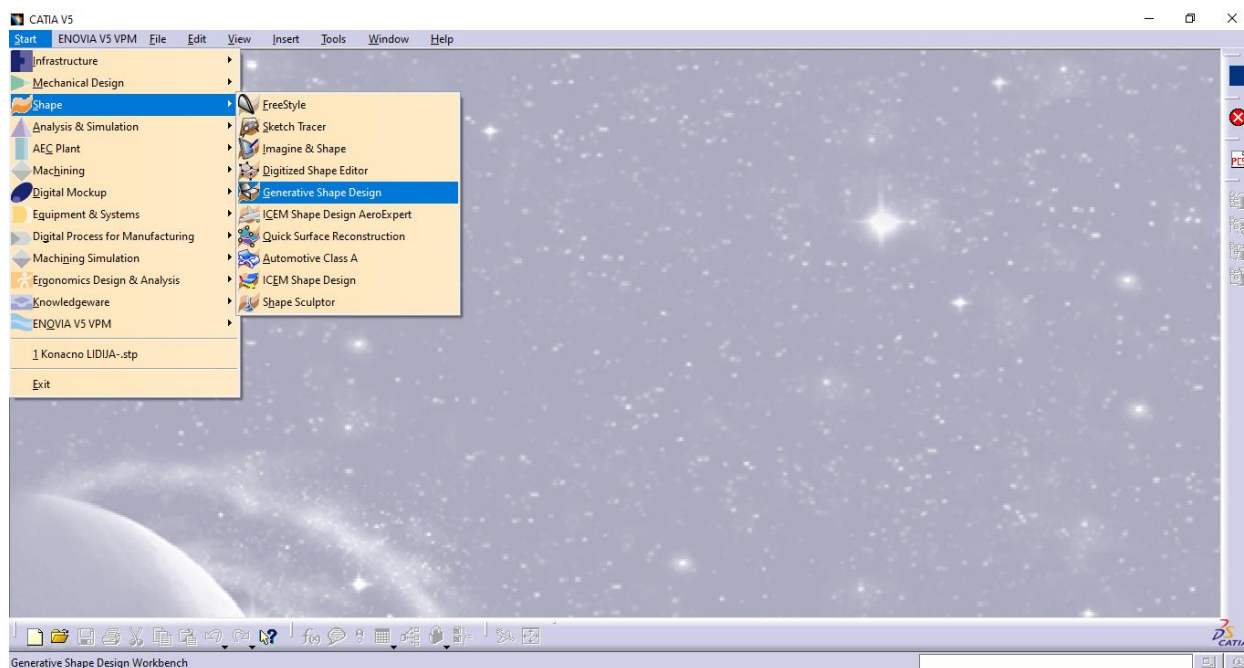


Слика 29. EOS M 290

За сада, 3Д штампано ватрено оружје не поседује високу поузданост; 3Д-штампано оружје обично омогућава само неколико хитаца. Без обзира на то, треба нагласити да чак и само један хитац представља претњу. Ограничена примена форензичких техника и једноставно одлагање оваквог оружја такође може да представља проблем. Континуирани напредак у перформансама 3Д штампе, могућност једноставне набавке преко Интернета дигиталних фајлова за 3Д штампаче за производњу ватреног оружја и делова оружја, као и проблем како прописима уредити размену и дељење фајлова, могу да постану претња по сигурност јавности. 3Д-штампано оружје и даље је ретко и има ограничене перформансе. Тренутно, крађа оружја или набавка оружја на нелегалном тржишту можда захтевају мањи напор и трошак него 3Д-штампање поузданог оружја. Према томе, током неколико наредних година, није вероватно да ће ова технологија постати значајан извор незаконитог поседовања оружја. Међутим, када цене производње буду опале а квалитет буде порастао, 3Д-штампа може да постане профитабилна алтернатива за незакониту производњу мањих количина оружја. Због тога постоји велика вероватноћа да ће, у релативно блиској будућности, неконтролисана производња, пролиферација и незаконито трговање 3Д-штампаним оружјем постати озбиљан претња.

5. Пример пројектовања и израде дела 3Д штампом

У оквиру практичног дела извршено је моделирање делова пиштоља. У овом случају моделирани су рукохват пиштоља и шаржер муниције. Моделирање је одрађено у програму CATIA (слика 30.) и то у окружењу *generative shape design*.

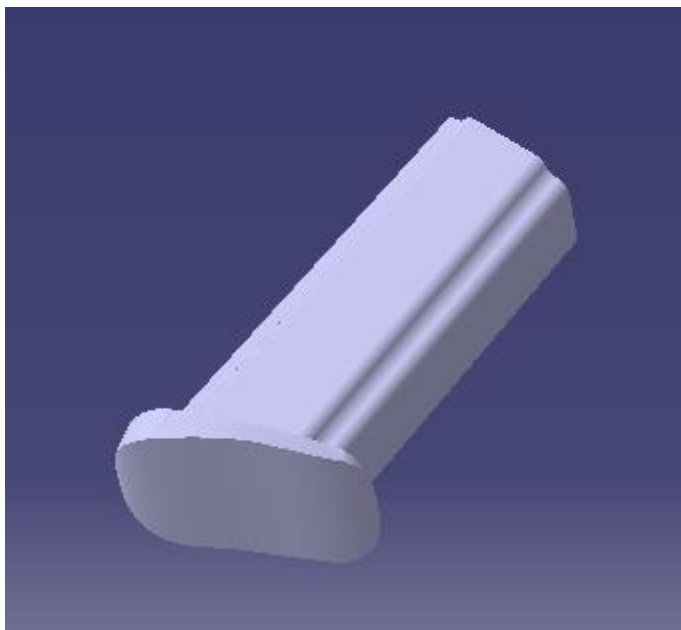


Слика 30. Окружење коришћено за моделирање

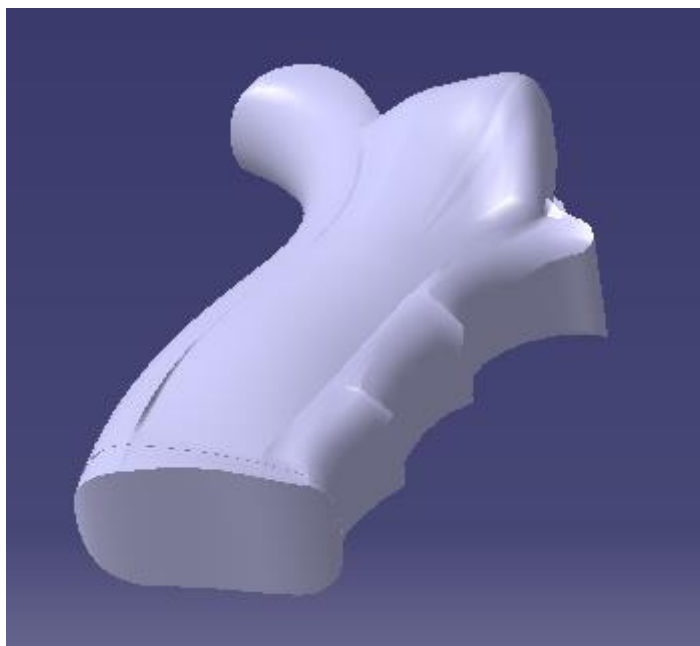
На сликама 31, 32, 33 приказани су модели одрађени у програму.



Слика 31. Модел рукохвата пиштоља



Слика 32. *Модел шаржера муниције*



Слика 33. *Модел рукохвата и шаржера у склопу*

Након добијених 3D модела, фајлови су сачувани као stl типови фајла. Тај поступак је одрађен како би било омогућено штампање да 3D штампачу (слика 37). Штампање је одрађено на факултету Инжењерских наука у Крагујевцу. У наставку рада приказане су слике готових одштампаних делова на 3D штампачу.



Слика 34. *Рукохват штампан на 3D штампачу*



Слика 35. *Шаржер штампан на 3D штампачу*



Слика 36. Склоп шаржера и рукохвата штампаних на 3D штампачу

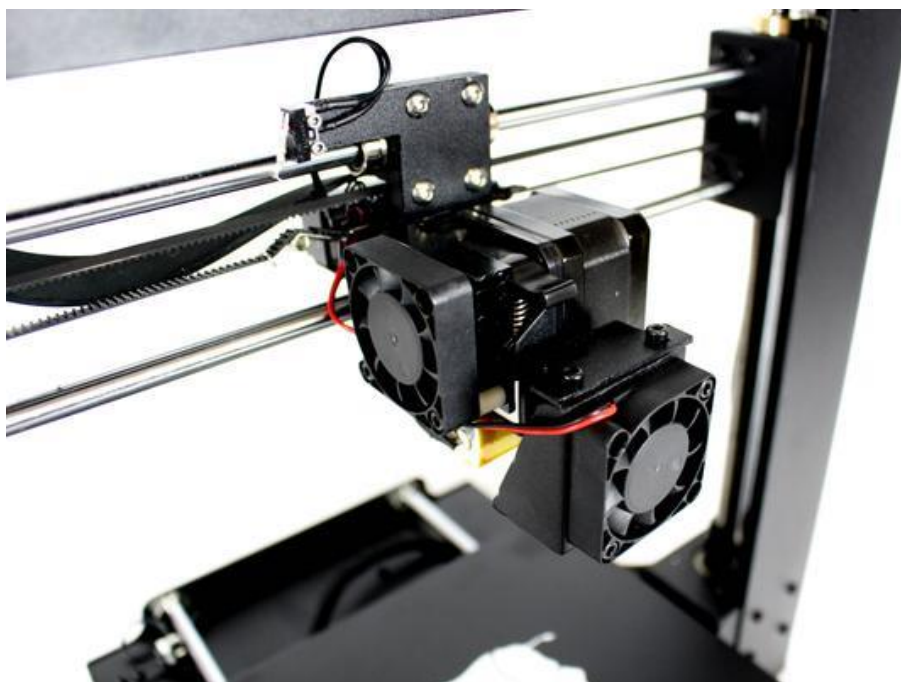
Спецификације 3D штампача на ком су делови штампани су приказане у следећој табели:

Технологија 3D штампе	FFF Fused Filament Fabrication
Екструдери	1 екструдер
Начин рада	могућ рад без рачунара преко SD картице и USB-а
Радна запремина	200 X 200 X 180mm
Резолуција слоја	0,1 mm
Брзина 3D штампе	10-100mm/s подесиво
Прецизност позиционирања	Z 0.004mm,XY 0.012mm
LCD дисплеј	3.25" touchscreen
Радна температура HOTEND-а	260-240 °C (препоручено до 240°C)
Грејна плоча	0-120°C
Подржани материјали	PLA, ABS, TPU, NAJLON, HIPS и остали
Промер филамента	1.75 mm
Конекције	USB, SD читач картица
Кућиште	челик
Управљачки систем	Cura
Подржани типови фајла	STL, OBJ, DAE, AMF
Промер нозле	0,4 mm
Подржани оперативни системи	Windows XP, Windows Vista, Windows 7, Linux, Mac OS

На сликама 37 и 38 приказан је модел 3D штампача.



Слика 37. Модел 3D штампача



Слика 38. Делови 3D штампача

6. Закључак

3D штампа је модерна технологија производње тродимензионалних објеката. У тродимензионалној штампи објекат се креира сукцесивним наношењем слојева материјала. 3D штампа представља генерално брже, јефтиније и лакше решење од других технологија производње 3D објеката. Омогућава израду макета делова и склопова од више различитих материјала, различитих механичких и физицких својстава у јединственом процесу. Ова технологија производи моделе који верно oponaшају изглед, утисак и функционалност производа прототипа. У последњих неколико година 3D штампаци су постали финансијски доступни малим и средњим предузецима, циме се израда прототипа помера из тешке индустрије и у канцеларијско окружење.

Сада је могуће и истовремено уклапање различитих врста материјала. Осим израде прототипова, 3D штампаци нуде велики потенцијал за производњу различитих апликација у области производње накита, обуце, индустријског дизајна, архитектуре, аутомобилске индустрије, авио, стоматолошке и медицинске индустрије.

Захваљујући 3D штампи већ данас се:

- скраћује време развоја производа уз снижавање трошкова;
- скраћује време доласка производа на тржиште;
- олакшава комуникација између функција у организацији (маркетинга, инжењерства, производње и продаје);
- одштампани функционални прототипови користе за анализу критичних елемената конструкције;
- врши тестирање функционалних прототипова пре израде алата за израду производа;
- прецизно дефинишу потребни алати за израду у производњи.

Генератори нове индустријске револуције, која је управо почела, су следећи:

- брзина израде - дигитални дизајн може брзо бити завршен или лако скинут са интернета, а начин израде је бржи и простији од традиционалног;
- локација набавке - штампачи у кући или сервису замениће читаве ланце добављача;
- доступност алата и делова - резервни део за застарелу веш машину? Никакав проблем, одштампаћете га;
- нови материјали за производњу – 3D штампачи користе нове композитне материјале који су лакши и јачи од традиционалних;
- место производње - већина послова везаних за индустријску производњу ће се из хала преселити у канцеларије;

7. Литература

- [1] JTEC/WTEC Panel on Rapid Prototyping in Europe & Japan; Final Report; Volume I. Analytical Chapters, March 1997. Published & Distributed by RP Association of the Society of Manufacturing Engineers, in cooperation with International Technology Research Institute, Loyola College, Maryland (<http://itri.loyola.edu>); ([ftp.wtec.loyola.edu/pub/](ftp:wtec.loyola.edu/pub/))
- [2] Brošure Stratasys, Inc. - FDM Maxum, FDM 3000, Prodigy Plus, Minneapolis, USA
- [3] <https://www.3dprintpulse.com/3d-printing-technology/military/?open-article-id=6253317&article-title=3d-printing-in-the-military&blog-domain=3dprint.com&blog-title=3dprint-com>. Приступљено 05.04.2020.
- [4] <https://all3dp.com/1/markforged-metal-x-review-3d-printer-specs/> приступљено 06.04.2020.
- [5] <https://www.computerworld.com/article/3528761/australian-army-trials-3d-printing.html>
- [6] <https://www.spee3d.com/product/warpspee3d/>
- [7] <https://www.popularmechanics.com/military/weapons/advice/a25592/the-us-army-3d-printed-a-grenade-launcher-it-calls-rambo/>
- [8] https://defense-update.com/20150719_printed_missiles.html#.Va6n2_niaUk приступљено 05.04.2020.
- [9] <http://www.jetdirect.rs/3d-stampa/3d-stampa> приступљено 07.04.2020.
- [10] https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing приступљено 06.04.2020.
- [11] Недић Богдан, “RP I RT tehnologije”, машински факултет Крагујевац, 2005.