

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: 506/2014

Бојана М. Максимовић

Технологије израде заштитних визира

Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Богдан Недић, ред. проф. – ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____



Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука



Основне студије: **Војноиндустријско инжењерство**

Студијско подручје (усмерење): **Наоружање**

Име и презиме: **Бојана Максимовић**

Број индекса: **506/2014**

ПРИЈАВА ДИПЛОМСКОГ РАДА

Тема рада: **Технологије израде заштитних визира**

Задатак: У оквиру дипломског рада кандидат треба да изврши прикупљање и систематизацију података о облицима, димензијама и карактеристикама заштитних визира и технологија потребним за њихову израду (бризгање, 3Д штампа, сечење ласером, термообликовање и др.). У другом делу рада извршити одговарајуће пројектовања визира и описати технологије и алате за његову израду. У зависности од технологија и могућности у Лабораторији за обраду метала реализовати израду примера визира.

Дипломски рад треба да садржи следеће целине:

1. Уводна разматрања
2. Заштитни визир, облици, димензије и карактеристике
3. Технологије израде делова визира
4. Пример пројектовања визира
5. Технологије израде делова пројектованог визира
6. Пример израде визира
7. Закључци
8. Литература

Ментор:

Др Богдан Недић, редовни професор

Крагујевац, 21.04.2020.

Резиме:

Овај дипломски рад описује најзначајније технологије израде заштитних визира. Извршена је систематизација различитих типова визира. Описан је принцип рада технологија израде заштитних визира и то 3D технологије, термообликовање, сечење ласером као и бризгање. Извршено је пројектовање визири и објашњено којим технологијама су израђени делови заштитног визири.

Кључне речи: *карактеристике, технологије, заштитни визири, 3D штампа, термообликовање, сечење ласером, бризгање.*

Summary:

This graduation work describes the most valuable characteristics for technologies of manufacturing safety face shields. Different types of safety face shields were systematized. It is described principle of work manufacturing technologies of safety face shields such as 3D printing, thermoforming, laser cutting and injection molding. Projection of safety face shields has been done and it is explained which technologies has been used for manufacturing safety face shield parts.

Key words: *characteristics, technologies, face shields, 3D printing, thermoforming, laser cutting, injection molding.*

Садржај:

1. Уводна разматрања.....	6
2. Заштитни визири, облици, димензије и карактеристике	7
2.1. Примена заштитних визира	7
2.2. Материјали за израду заштитних визира	8
2.2.1. Поликарбонат – PC	8
2.2.2. Ацетат	8
2.2.3. Поливинил-хлорид – PVC.....	8
2.2.4. Полиетилен – PE	9
2.3. Типови различитих врста заштитних визира.....	10
2.3.1. Honeywell Turboshield	10
2.3.2. Uvex Bionic	11
2.3.3. Sellstrom C30120	11
2.3.4. TR Industrial TR88011.....	12
2.3.5. Zenport FS825	12
2.3.6. Forge 99111	13
2.3.7. 3M Ratchet Headgear H8A	13
2.3.8. Bio-Mask	14
3. Технологије израде делова заштитних визира.....	15
3.1. Бризгање	15
3.1.1. Инјекционо бризгање	16
3.1.2. Екструзионо бризгање.....	17
3.1.3. Анализа циклуса бризгања	17
3.1.4. Појмови који описују бризгање.....	19
3.1.5. Параметри процеса бризгања	20
3.2. 3D штампа	20
3.2.1. Технологије 3D штампе	21

3.2.2. SLA поступак – фотолиитографија (<i>stereolithography apparatus</i>).....	21
3.2.3. SLS поступак - ласерска фузија (<i>selective laser sintering</i>).....	23
3.2.4. Поређење SLA и SLS поступака	24
3.2.5. Лом поступак ламинација (<i>laminated object manufacturing</i>)	24
3.2.6. ФДМ поступак – екстудирање (<i>fused deposition modeling</i>).....	26
3.2.7. Ink - jet printing	27
3.2.8. Multi - jet технологија (<i>thermo - jet</i>)	28
3.3. Термообликовање	30
3.3.1. Вакуум термообликовање	31
3.3.2. Обликовање притиском.....	31
3.3.3. Обликовање помоћу обликача.....	32
3.3.4. Слободно обликовање	33
3.3.5. Вакуумско обликовање са предразвлакачем.....	33
3.3.6. Топло обликовање у калупу са вакуумским предобликовањем	34
3.3.7. Механичко топло обликовање.....	35
3.3.8. Паковање у мехуре и фолију	35
3.3.9. Опрема за топло обликовање пластике	36
3.3.10. Алати за топло обликовање	36
3.4. Сечење ласером	37
3.4.1. Принцип рада и опис ласера.....	37
3.4.2. Особине ласерског зрачења	38
3.4.3. Типови ласера	38
4. Пример пројектовања заштитног визира и технологије израде делова пројектованог визира.....	42
5. Закључак.....	47
6. Литература.....	48

Списак слика:

Слика 1. Визир Honeywell Turbosield [3]	10
Слика 2. Uvex Bionic [3]	11
Слика 3. Sellstrom C30120 [3]	12
Слика 4. Заштитна кацига TR Industrial TR88011 [3].....	12
Слика 5. Zenport FS825 штитник за лице [3]	13
Слика 6. Амерички штитник Forge 99111 [3].....	13
Слика 7. 3M Ratchet Headgear H8A [3]	14
Слика 8. Bio-Mask [3]	14
Слика 9. Инјекционо бризгање [5]	16
Слика 10. Шема машине са алатом за екструзионо бризгање [5]	17
Слика 11. Циклус бризгања [5].....	18
Слика 12. Учесће појединих фаза у циклусу [5].....	19
Слика 13. Ласерска фотолитографија [6]	21
Слика 14. Просторна шема SLA поступка [6]	22
Слика 15. Ласерска фузија [6].....	23
Слика 16. Поступци ламинације [6]	25
Слика 17. Поступак-екструдирање [6].....	26
Слика 18. Ink-jet printing [6]	28
Слика 19. Multi - Jet Modeling (MJM), 3D systems, SAD [6]	30
Слика 20. Вакуум термообликовање [8]	31
Слика 21. Обликовање притиском [8].....	32
Слика 22. Обликовање помоћу обликача [8]	32
Слика 23. Слободно обликовање [8]	33
Слика 24. Вакуумско обликовање са предразвлачењем [8]	34
Слика 25. Топло обликовање у калупу са вакуумским предобликовањем [8].....	34
Слика 26. Механичко топло обликовање [8].....	35
Слика 27. Машина за топло обликовање са једном радном позицијом [8]	36
Слика 28. Вентилациони отвори код алата за топло обликовање [8].....	37
Слика 29. Шема обраде рубинског ласера [9]	38
Слика 30. Рубински ласер [9].....	39
Слика 31. Шема CO ₂ ласера [9]	41
Слика 32. Горњи део заштитног визира	42
Слика 33. Доњи део заштитног визира	42
Слика 34. Фолија заштитног визира	43
Слика 35. Склоп измоделираног заштитног визира	43
Слика 36. Делови пројектованог визира	44
Слика 37. Горњи део заштитног визира	44
Слика 38. Фолија	45
Слика 39. Доњи део заштитног визира	45
Слика 40. Трака заштитног визира	46
Слика 41. Пример израде заштитног визира	46

1. Уводна разматрања

Најранији забележени предмети налик на маске за лице у историји датирају од 6. века пре нове ере. Људи су носили тканину преко уста. У 14. веку Црна смрт се проширила Европом. Ово је такође у великој мери промовисало појаву функционалних предмета сличних маскама за лице. У 16. веку француски лекар де Лорме изумео је маску кљуна. Дизајн маске направио је велики корак напред у 19. веку. Међутим, 1848. године маска коју је за рударе направио Американац Левис добила је први патент за заштитну маску, што је била прекретница у историји маски за лице. Маске у овој фази биле су ближе гас маскама. Кинески медицински научник Ву Лианге изумео је маску направљену од два слоја газе која се назива „Ву-ова маска“. Ову маску су високо похвалили стручњаци из различитих земаља, јер је једноставна за производњу, има ниске производне трошкове, а материјале је лако добити. Са неколико избијања заразних болести и грипа, као и порастом смога из модерне индустрије, материјали за израду маски наставили су да се развијају. Временом су се заштитне маске за лице развијале и напредовале. Потребна за заштитом приликом рада у различитим срединама довела је до производње различитих типова маски и штитника за лице.

Тема овог дипломског рада је изабрана у циљу упоредне анализе различитих видова технологија за производњу заштитних визира као и оцене њихове продуктивности и квалитета добијеног производа.

Заштитни визери имају веома значајну улогу у свакодневном животу, самим тим својом конструкцијом морају да обезбеде сигурност и лако руковање у свим условима. Имајући то на уму, пресудно је носити висококвалитетни и прозирни штитник за лице, сваки пут када је потребно обављати опасне задатке или радити са грубим хемикалијама и супстанцама. У већини случајева штитници за лице су категорисани на основу материјала који се користе за њихову израду. Израда самих визира омогућена је различитим технологијама. У овом раду биће представљени типови визира, технологије којима су израђени визери, као и пројектовање самог визира.

На самом почетку су наведене карактеристике различитих типова визира, материјали који се користе за њихову израду као и систематизација визира у зависности од њихове примене.

У даљем делу рада описане су неке од технологија прераде пластичних маса подобних за израду заштитних визира. Извршена је њихова класификација, описан принцип рада и наведена је област њихове примене.

У оквиру последње тачке описано је пројектовање заштитног визира, као и технологије израде делова визира. За моделирање је коришћен програмски пакет CATIA V5R21. На основу овог модела извршена је израда технологијом бризгања. Затим је извршено склапање заштитног визира у просторијама Факултета инжењерских наука у Крагујевцу.

2. Заштитни визери, облици, димензије и карактеристике

Заштитни визир (штитник за лице) представља предмет личне, заштитне опреме који има за циљ да заштити главу и целокупно лице корисника (или његов део) од различитих видова опасности као што су летећи предмети, хемијска прскања или потенцијално заразне материје.

Штитник за лице обично ради на основу начина на који је дизајниран. Неке врсте заштитних визира пружају заштиту главе спајањем пластичног заштитног окна са тврдим пластичним врхом за заштиту главе. Штитници за главу често су оцењени као електрична изолација како би се смањио ризик од струје. Поред тога што морају пружити заштиту од опасности, заштитни визери такође морају осигурати да видљивост и мобилност корисника не буде ометена. Предности заштитних визира су њихова трајност која омогућава да се носе неодређено више пута, могућност лаког чишћења након употребе, њихова удобност као и спречавање да кориснику различите материје додирну лице.

Облик закривљеног сочива пружа потпуну заштиту за лице покривајући цело лице, док средња заштита за лице покрива само очи и нос. За заштиту лица потребно је користити и додатну заштиту, сигурносне наочаре. Неки штитници за лице такође имају метални премаз или нијансу, што им омогућава још бољи рад када се ради о заштити од топлоте.

Заштитни визери обично су причвршћени преко или око главе подесивом траком. То је обично мека трака за главу која овај штит чини лаганим и лаким за ношење током дужег временског периода [1].

2.1. Примена заштитних визира

Заштитни визери увек служе као драгоцен део заштитне опреме. Имајући то на уму, пресудно је носити висококвалитетни и прозирни штитник за лице сваки пут када је потребно обављати опасне задатке или радити са грубим хемикалијама и супстанцама. Једна ствар због које је визир заиста важан је да заштити главу и лице и због тога је неопходно да он буде што безбедније конструкције. Посебно ако је рад у подручју где је изложеност опасностима од пожара, хемијских испарења и летећих предмета.

Заштитни визери су пронашли примену у различитим гранама, као што су:

- различите врсте лабораторија и медицинска окружења
- индустрије (метало-прерађивачка, хемијска, пољопривредна, обрада дрвета, заваривање)
- електрична радна окружења
- комунална предузећа и др.

Заштитни визери са кацигом обично се користе на градилиштима у индустријским наменама где померање или падање предмета може представљати опасност за саме раднике [1].

2.2. Материјали за израду заштитних визира

Штитници за лице најлакша су врста личне заштитне опреме. Обично се састоје од само два дела: визира који покрива лице и који се обично прави од пластике као што су поликарбонат (PC), пропионат, ацетат, поливинил хлорид (PVC) и полиетилен терефталат гликол (PETG), као и начина држања визира на месту, као што је трака за главу или каиш. Поједина врста визира у свом склопу садржи и заштитну kacигу, као и додатне делове попут мреже, у зависности од примене. У већини случајева штитници за лице су категорисани на основу материјала који се у њима користе и то [2]:

2.2.1. Поликарбонат – PC

Најважније карактеристике: Представља термопластични полимер који се добија поликондензацијом бифенола и фоагена. Главне карактеристике PC-а су висока прозирност (до 90% прозирности стакла), висока отпорност на удар, отпорност на пузање, могућност употребе у широком температурном подручју, димензионална стабилност, добре диелектричне особине и самогасивост. Одликом ових особина се сврстава у квалитетне конструкционе материјале. Врло су крути, отпорни на хабање и хемикалије.

Начин прераде: PC се прерађује бризгањем, дувањем, екструдирањем. Може се лепити, вакуумирати и заваривати. Полупроизводи се могу лако механички обрађивати а такође и метализирати. PC има одличне механичке и топлотне особине. Од посебне важности је сушење овог термопласта и прерада у сувом стању. Гранулат не сме бити прашњав и прљав.

Примена PC-а: Користи се у пољопривреди, у индустрији воћних сокова (због нешкодљивости у додиру са храном), затим у мерној и техници управљања за показне инструменте, за израду делова за фото-апарате и филмске камере. Производи од PC-а који се примењују у медицини могу се дезинфиковати и топлим дезинфикујућим растворима [2].

2.2.2. Ацетат

Још један од материјала који се често користе за израду заштитних визира је ацетат. Ацетат пружа најбољу видљивост и бистрину и отпорнији је на огреботине. Има отпорност на већи број хемикалија. Међутим, поред тога што је отпоран на физичке ударе, мање је издржљив од поликарбоната. Генерално ацетат се чешће користи у хемијској и сродним индустријама [2].

2.2.3. Поливинил-хлорид – PVC

Најважније карактеристике: Поливинил хлорид или скраћено (PVC) представља термопластични материјал који је добијен полимеризацијом винил-хлорида. PVC је бледо жућкасти материјал без адитива (без укуса и мириса), тврд и ломљив, отпоран према воденим растворима. Уз присуство пластификатора (омекшивача), термичких стабилизатора, мазира и одговарајућих пигмената постаје мекан. Температурно подручје примене PVC-а је између -30°C и 80°C.

Његова основна карактеристика је термопластичност при чему деловањем при одређеним температурама постаје мекши и сличан гуми. Отпоран на хемикалије, хабање, има и неограничену могућност бојења, као и добру димензиону стабилност и отпорност на атмосферске утицаје. Производ полимеризације је прах, од кога се даљом прерадом добија тврди и меки PVC.

Тврди PVC се добија прерадом полимерног праха са малом количином додатака, али без пластификатора. То је тврд и жилав материјал који се тешко прерађује, али је врло стабилан при атмосферским утицајима, као и утицајима влаге и хемикалија.

Меки PVC се добија прерадом основног полимерног праха са додатком пластификатора. Карактеристике квалитета зависе од врсте и количине пластификатора. У односу на тврди PVC, меки PVC је слабијих механичких карактеристика, има мању отпорност на деловање топлоте, атмосферских услова и хемикалија, али се лакше прерађује, савитљивији је и има способност истезања.

Начин прераде: Највећи део PVC-а прерађује се каландровањем за израду флексибилних фолија, екструдирањем и бризгањем. Заварује се ултразвуком.

Примена PVC-а: У аутомобилској индустрији за израду пресвлака готово је потиснуо гуму, асфалт код израде подова, кожу код пресвлаке намештаја, као и друге материјале у грађевинарству. У новије време потискује стакло код израде провидних боца. Тврди PVC је добар изолатор [2].

2.2.4. Полиетилен – PE

Најважније карактеристике: Полиетилени су нетоксични термопласти, без мириса и укуса, отпорни на уља, масти, као и многе друге хемикалије. Флексибилни су, лагани и у танком слоју прозачни. Имају велику жилавост и флексибилност прераде при релативно ниским температурама. На темељу разлика у густини, односно просечној молекулској маси, полиетилен се као технички материјал сврстава у неколико типова:

1. Полиетилен ниске густине (енгл. *low density polyethylene, LDPE*)
 2. Линеарни полиетилен ниске густине (енгл. *linear low density polyethylene, LLDPE*)
 3. Полиетилен високе густине (енгл. *high density polyethylene, HDPE*)
 4. Полиетилен ултра високе молекулске масе (енгл. *ultra high molecular weight polyethylene, UHMWPE*)
- **Полиетилен ниске густине (LDPE)**

Густина полиетилена овог типа износи од 0,915 до 0,935 g/cm³. Он омекшава већ на температури од 85°C до 87°C, а почиње да се топи на ~110 °C. То је жилав материјал високог модула еластичности и непотпуне прозирности. Прерађује се екструдирањем, вакуумирањем, пресовањем и заваривањем. Тешко се лепи.

➤ **Линеарни полиетилен ниске густине (LLDPE)**

Линеарни полиетилен ниске густине настаје кополимеризацијом етилена и додатком 5 до 10% неког од алфа олефина. Најчешће су то 1-бутен, 1-хексен и 1-октен. Тако настаје претежно линеарни макромолекуларни полиетилен са много бочних група. Иако је густина тог типа полиетилена ниска (од 0,917 до 0,935 g/cm³), он је због линеарне структуре сличнији полиетилену високе густине.

Његови макромолекули имају повећан степен кристалности па је повишена и топлјивост, а садржи и нека добра својства као нпр. добра жилавост уз несмањену чврстоћу.

➤ **Полиетилен високе густине (HDPE)**

Полиетилен високе густине има макромолекуле углавном линеарне структуре и врло мале разгарнатости, па зато има велики садржај кристалне фазе и већу густину. Његова густина износи од 0,94 до 0,97 g/cm³ док омекшава на температури ~127 °C. Изразито му је повећана и хемијска постојаност.

➤ **Полиетилен ултра високе молекулске масе (UHMWPE)**

Са просечном релативном молекулском масом од $2 \cdot 10^6$ до $6 \cdot 10^6$ и густином од 0,94 g/cm³, врло је цењен као технички материјал. Постојан је према абразији и замору материјала, површина му је глатка, показује велику ударну жилавост и мањи коефицијент трења [2].

2.3. Типови различитих врста заштитних визира

2.3.1. Honeywell Turboshield

Honeywell Turboshield (слика 1) је заштитни визир, намењен онима који су изложени опасностима насталих прскањем хемикалија, УВ зрачења и сл. Такође овај визир се може удобно носити са већином заштитних наочара. Патентирани носач омогућава најбржу и најлакшу могућу замену визира. Закривљено сочиво има изврсну оптику, повећава видно поље и покрива и штити браду. Поседује једноставни систем за подешавање визира као и глатко кретање визира са задршкама у подигнутој и спуштеној позицији [3].



Слика 1. Визир Honeywell Turboshield [3]

Адаптер за шлем је компатибилан са већином шлемова. Сам носач омогућава брзу и лаку замену сочива. Патентирани дизајн поставља визир директно изнад шлема у подигнутој позицији, како би заузимао што мањи простор и ради бољег баланса. Ова врста визира налази примену у метало-прерађивачкој индустрији, грађевинској индустрији, пољопривреди, хемијској индустрији, производњи при заваривању и слично [3].

2.3.2. Uvex Bionic

Uvex Bionic (слика 2) заштитни визир, који се показао као врло продуктиван и поуздан. Овај специфични штитник за лице задовољава многе захтеве корисника због своје лагане и уравнотежене конструкције, пружајући удобност неопходну за дуже коришћење. Овај визир је израђен од поликарбоната и самим тим нуди најбољу заштиту од прскања хемикалија и летећих остатака у радном окружењу. Против замагљивања се користи тврди премаз који овом моделу визира пружа јасноћу вида. Поред тога, одликује се дизајном оклопа која пружа заштиту и покривеност целог лица. Диелектрична конструкција гарантује безбедност при ношењу у електричним радним окружењима [3].



Слика 2. Uvex Bionic [3]

2.3.3. Sellstrom C30120

Sellstrom C30120 представља вишенаменски штитник за лице. Овај специфични штитник за лице задовољава многе захтеве корисника, пружа безбедност и врхунску удобност са потпуном заштитом главе. Пластична обликована круна, која је лагана, један је од разлога за ову невероватну предност. Прозирни штитник од поликарбоната нуди максималну заштиту од удара, као и импресивну оптичку јасноћу. Такође укључује меку траку за главу која упија зној дајући додатну удобност. Овај производ се производи у САД-у [3].

Sellstrom C30120 вишенаменски штитник за лице приказан је на слици 3.



Слика 3. *Sellstrom C30120* [3]

2.3.4. TR Industrial TR88011

Заштитна кацига TR Industrial TR88011 (слика 4) садржи највише, ако не и све ствари неопходне за заштиту лица и главе. То укључује заштитну кацигу, пластични визир, мрежаста визир и наушнице, чинећи је заштитном опремом 5 у 1. Уз бројне заштитне функције уграђене у ову заштитну кацигу, она је израђена тако да чврсто и сигурно стоји на глави, опремљена је корисничким дугметом, помоћу којег се може вршити подешавање обима кациге. У склопу ове кациге налазе се заменљиви визир од пластике као и мрежа, који ефикасно штите главу корисника [3].



Слика 4. *Заштитна кацига TR Industrial TR88011* [3]

2.3.5. Zenport FS825

Zenport FS825 (слика 5) заштитни визир, представља део заштитне опреме која штити цело лице корисника од грубих елемената, попут летећих дрвених предмета. Намењен онима који се баве сечењем дрвета. Употреба мрежастих материјала је корисна јер у великој мери доприноси побољшању вентилације и самим тим искључује могућност замагљивања. Предност овог визира огледа се у прилагођавању самих делова. Повез за главу се може лако подесити, као и подесива трака која је дизајнирана тако да држи челични, мрежаста штит.

Квалитетом мрежног екрана, као и његова способност да функционише без затамњења погледа такође су предност овог визира. Својом ознаком 387 је у складу са стандардима када је реч о заштити лица и очију [3].



Слика 5. Zenport FS825 штитник за лице [3]

2.3.6. Forge 99111

Forge 99111 (слика 6) заштитни визир који служи да лице буде потпуно осигурано и заштићено од наношења штете приликом обављања одређених послова. Израђен је од висококвалитетне и чврсте полиране пластике и може се користити током дужег временског периода. Овај штитник је такође врло лаган, једноставно се подешава и одговара свим величинама главе, једноставан је за употребу и састављање [3].



Слика 6. Амерички штитник Forge 99111 [3]

2.3.7. 3M Ratchet Headgear H8A

3M Ratchet Headgear H8A (слика 7) заштитни визир, један од најпродаванијих, представља сигурносни систем који комбинује висококвалитетну заштиту за главу и заштиту за лице. Овај прозирни и обликовани штитник за лице импресиван је својом невероватном способношћу да пружи велику заштиту од удара.

Овај производ налази примену у разним индустријама обраде метала и обраде дрвета, као и комуналних предузећа. Опремљен је ременом за круну, који се може подесити у 5 различитих положаја. Поликарбонатни материјал који се користи у овом штитнику за лице такође је велика предност јер је познат по томе што је жилав и чврст [3].



Слика 7. 3M Ratchet Headgear H8A [3]

2.3.8. Bio-Mask

Bio-Mask (слика 8) је медицински систем намењен за заштиту лица. У свом склопу поседује изврсно дизајниран оквир за виšekратну употребу, као и сочива за једнократну употребу (додат на штитник) чија замена је брза и једноставна. Подесива трака пружа неопходну удобност. Велики прорези у штитнику пружају вентилацију што резултира смањеним замагљивањем штита. Глатки, једноставни дизајн оквира омогућава лаку дезинфекцију. Овај систем је један од најекономичнијих са финансијске тачке гледишта [3].



Слика 8. Bio-Mask [3]

3. Технологије израде делова заштитних визира

Под прерадом пластичних маса подразумевају се сви поступци којима се од полимера-сировине добијају полуфабрикати или готови производи. Поступак прераде зависи од састава, врсте и стања полимера. Ови поступци обично се деле према технологији прераде, независно од хемијских и физичких промена које се дешавају за време прераде.

Технологије 3D штампе, бризгање, сечење ласером и термообликовање имају велику улогу при производњи различитих врста делова за свакодневну примену.

Бризгање је један од најпримењиванијих и са економског аспекта најзначајнији поступак прераде, а према достигнутом технолошком нивоу и најусавршенији. Бризгање је нарочито подесно за велике серије и може се у многим случајевима аутоматизовати [4].

3D штампа представља једну од савремених технологија које се могу користити у циљу израде прототипова, делова, опреме и алата. Захваљујући широком спектру примене пододна је за израду како једноставних тако и комплекснијих делова. Ова технологија производи моделе који верно oponaшају изглед, утисак и функционалност производа прототипа.

Термоформирање или термообликовање је поступак којим се обликују полазни облици пластичних маса у калупу. Овај поступак је веома економичан.

Када се говори о новим методама сечења, неизоставно је сечење ласером које је веома брзо, прецизно и у многостак олакшава израду делова. Постоје различити типови ласера, чији се одабир врши у зависности од врсте материјала и дебљине делова који се секу [4].

3.1. Бризгање

Овај поступак спада у примарну прераду полимерних материјала јер се облик отпреска добија од полазног материјала који нема одређену форму (грануле, прах, комадићи и сл.). Бризгањем се обликују сви полимерни материјали: дуромери, еластомери, еластопластомери, а посебно је распрострањена прерада термопластичних материјала. Бризгањем се осим полимерних материјала могу прерађивати и керамичке смеше, комбинације различитих материјала (нпр. пластика, метал, керамика). Овим процесом се обрађују многи материјали који су већином из групе пластомера. Главне предности убризгавања су у уштеди материјала, мањем времену израде и мањем потребном простору за производњу. И поред великих трошкова за набавку опреме (машина и алата) овај поступак даје велике предности код серија од само неколико хиљада комада.

Предности овог поступка су:

- тачност димензија и облика предмета, велика могућност обликовања предмета,
- производност са чистом и глатком површином у било којој боји,
- широке могућности дораде, обраде и оплемењивања површине,
- брза производња великих серија,
- велике могућности искоришћавања материјала.

Као највећа предност овог поступка сматра се чињеница да ови производи по својим димензијама одговарају алату. Дакле, све димензије се могу одредити тачно [4].

Бризгање је нарочито подесно за велике серије и може се у многим случајевима аутоматизовати [4].

Да би термопласт био погодан за прераду бризгањем, он мора да постане течан при одређеној температури, да се може бризгати у алату деловањем притиска и да при томе испуни контуру алата. Термопласт мора да задржи течљивост у извесном времену, а да при томе не дође до хемијског распада, испаравања, умрежавања итд.

Делови добијени бризгањем имају велику примену у:

- аутомобилској индустрији и транспортној техници и саобраћају уопште,
- електро и електронској индустрији
- хемијској и фармацеутској индустрији
- индустрији хране, пића и пољопривредној техници
- медицинској индустрији
- индустрији кућних апарата и уређаја, итд.

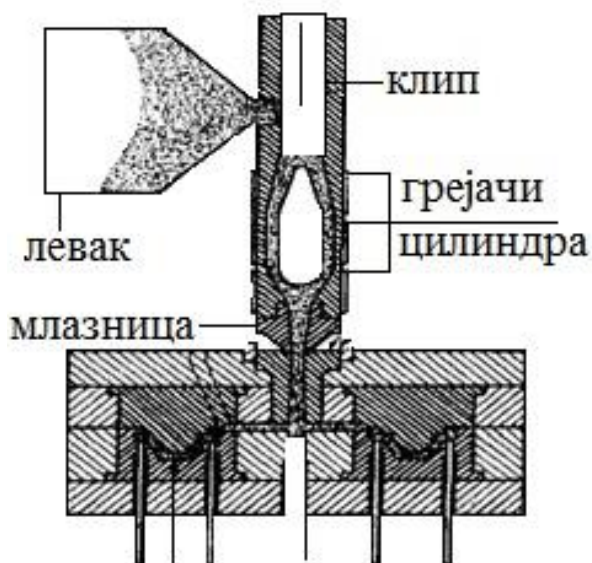
Постоје два основна начина извођења поступка бризгања:

1. **инјекционо бризгање и**
2. **екструзионо бризгање** [4, 5].

3.1.1. Инјекционо бризгање

Инјекционо бризгање (слика 9) је слично ливењу метала под притиском. Изводи се одговарајућим алатима на специјалним машинама за инјекционо бризгање. Примењује се углавном за бризгање термопласта, мада су последњих година развијене и машине за инјекционо бризгање дуропласта. Процес инјекционог бризгања се састоји од следећих фаза:

1. Материјал се дозира и посредством посебног уређаја доводи у цилиндар у којем се врши загревање посебним грејачем.
2. У цилиндру се материјал топи и под притиском клипа потискује око острва (торпеда) и млазнице, уливне чауре и уливних канала у калупну шупљину.
3. Температура алата је нижа од температуре материјала и већ у току процеса попуњавања калупне шупљине алата долази до наглог хлађења и очвршћавања материјала дела. После одређеног времена се алат отвара и отпресак се избацује из њега [4, 5].



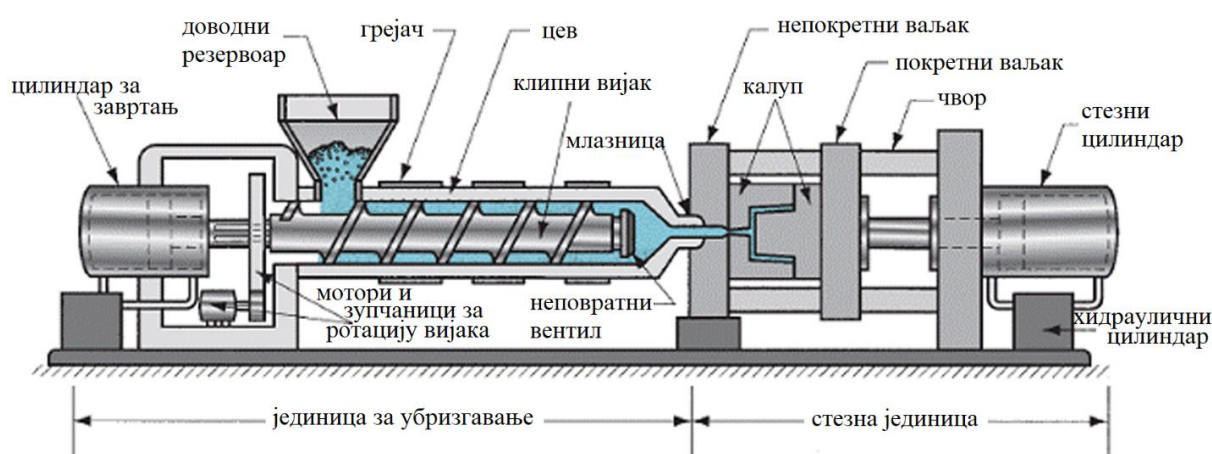
Слика 9. Инјекционо бризгање [5]

3.1.2. Екструзионо бризгање

Екструзионо бризгање (слика 10) се изводи на специјалним машинама које се састоје од екструзионе јединице (цилиндр и пужни вијак), погонског система, јединице за затварање калупа, уређаја за темперирање калупа и управљачке јединице. Процес екструзионог обликовања се одвија у неколико фаза од којих су три основне:

1. Прва фаза - аксијалним померањем пужног вијка, растопљени материјал се преко уливних канала убризгава у шупљину калупа. При томе је искључена ротација пужног вијка, при чему његово аксијално померање остварује хидраулични цилиндар.
2. Друга фаза - обрадак се хлади уз интензивну циркулацију расхладног средства кроз систем алата. Пуж делује на растопљени материјал накнадним притиском, како би се надокнадио недостатак материјала услед хлађења и скупљања отпреска. Након завршеног хлађења отпреска, тј. на крају фазе деловања накнадног притиска, пуж се враћа уназад, ротира и увлачи нову количину гранулата, топи га и пластифицира.
3. Трећа фаза – калуп се отвара и врши се избацивање обратка. Екструзиона јединица се враћа уназад, а млазница се затвара помоћу вентила. Отварање калупа обезбеђено је системом за отварање који у односу на погон може бити механички или хидраулични. Обрадак се из калупа избацује помоћу избацивача, док извлачење вишка материјала из уливне чауре врши извлакач [5].

Отпресци који су добијени екструзионим бризгањем су различитих димензија и масе, која се креће у границама од испод милиграма до приближно 180kg. Екструзионо бризгање је погодно за производњу веома компликованих обрадака са толеранцијом од неколико микрометара. Отпресци добијени овом технологијом могу бити вишеделни и вишебојни, могу се производити у комбинацији са металним улошцима, могу бити крути (чврсти) и пенести. Производња отпресака може тећи непрекидно двадесет четири сата на дан [4, 5].



Слика 10. Шема машине са алатом за екструзионо бризгање [5]

3.1.3. Анализа циклуса бризгања

Радни циклус бризгања је време потребно за израду једног или више отпресака (ако калуп садржи више калупних шупљина), односно то је време које протекне између две истоимене фазе у процесу бризгања [5].

Радни циклус започиње затварањем алата, а завршава се отварањем, избацивањем готовог дела и припремом алата за нови циклус бризгања. Временски дијаграм са активностима током бризгања отпреска пластомера садржи следеће фазе:

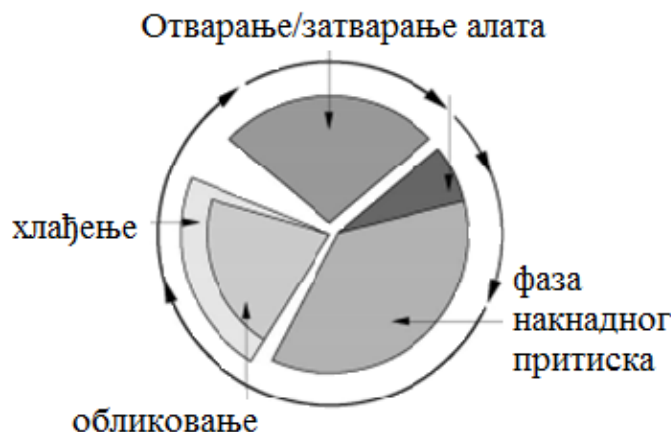
- Затварање калупа, које у веома кратком временском периоду изводи јединица за затварање.
- Затим следи приближавање јединице за бризгање ка непокретној плочи, при чему се ова фаза завршава наслањањем млазнице на уливну чауру.
- Фаза која следи је убризгавање растопљене масе у калупну шупљину. Потребан притисак растопа се обезбеђује аксијалним кретањем пужа или клипа, односно хидрауличним цилиндром. Притисак убризгавања зависи од врсте полимера, креће се од 500 до 3000 бара, што обезбеђује притисак у калупу реда величине 1000 бара. Брзина убризгавања износи 2 m/s.
- Са завршетком фазе убризгавања почиње фаза хлађења отпреска. У једном делу ове фазе притисак у цилиндру има нижу вредност од притиска убризгавања и представља накнадни притисак. Накнадни притисак обезбеђује додатну количину растопа у калупној шупљини због скупљања отпреска при хлађењу.
- Одмицање млазнице и почетак поновне пластификације почиње у тренутку прекида дејства накнадног притиска када пуж почиње да се окреће и увлачи нову количину гранулата. Клип се повлачи уназад ослобађајући простор за унос нове количине гранулата.
- Ако хлађење отпреска није завршено оно се настаља у периоду додатног времена хлађења.
- Отварање калупа и избацивање отпреска изводи се након његовог потпуног отврдњавања, односно хлађења.
- На крају циклуса бризгања калуп се припрема за наредни циклус, врши се чишћење и подмазивање и евентуално се убацују метални улошци [5].

Време радног циклуса (слика 11) у највећој мери је одређено временом хлађења отпреска.



Слика 11. Циклус бризгања [5]

На слици 12 приказан је однос величина појединих фаза у циклусу бризгања.



Слика 12. Учешће појединих фаза у циклусу [5]

3.1.4. Појмови који описују бризгање

Убризгавање: Процес при којем растоп пуни калуп, при одређеном притиску и брзини, који се подешавају у зависности од врсте термопласта.

Притисак убризгавања: Под овим називом се подразумева притисак растопа у цилиндру за топљење. Зависи од притиска у хидрауличном систему и од пречника пужног ваљка.

Накнадни притисак: Продужено деловање притиска у цилиндру ради попуњавања шупљина насталих скупљањем материјала при хлађењу.

Дозирање: Уношење одређене количине материјала у цилиндар за топљење, потребне да би се добио комплетан производ.

Максимална сила затварања: Највећа сила коју постиже јединица за затварање након потпуног затварања калупа.

Сила држања: Сила којом јединица за затварање делује на затворен калуп и спречава његово отварање у фази убризгавања. Сила држања увек мора да буде већа од силе убризгавања.

Брзина убризгавања: Брзина којом се растопљени материјал утискује у калуп. Задаје се у зависности од облика производа и врсте термопласта. Обично је 0,5 m/s, а може бити максимално 1,5 m/s.

Време убризгавања: Време потребно да пужни вијак утисне растоп у шупљину калупа. За избегавање линија спајања и смањење скупљања у правцу течења, време убризгавања треба да износи 1/2 укупног времена трајања циклуса. Тиме се добија боља стабилност тачности димензија производа.

Време затварања калупа: Време између почетка и краја операције затварања, укључујући и развијање сила затварања. У укупно време затварања укључено је и време заштите калупа.

Време дозирања: Време потребно за припрему растопа за следеће убризгавање, укључујући и декомпресију, ако је задата.

Време хлађења производа: Време потребно да се охлади производ у затвореном калупу на температури при којој се избацује из калупа, а да не дође до деформисања. Зависи од величине производа и хлађења калупа, а почиње тећи након истека времена накнадног притиска до почетка отварања калупа [5].

3.1.5. Параметри процеса бризгања

Параметри процеса бризгања директно утичу на квалитет отпреска, те се њихове вредности морају пратити и одржавати у току радног циклуса.

Најбитнији улазни параметри бризгања су:

- Притисак
- Температура и
- Брзина пужа или клипа

➤ **Притисак**

Хидраулични притисак: Представља притисак у погонском цилиндру машине, потребан да се савладају отпори у млазници, уливном систему и отпори течења у калупу. Сличан је притисак на челу пужа. Генерално, нагло расте у кратком временском периоду у складу са отпорима течења и растопљеног полимера.

Притисак у калупу: Мења се од тачке до тачке у калупној шупљини и веома је важан за квалитет отпреска.

Накнадни притисак: Накнадни притисак представља притисак који започиње фазом хлађења и њиме се обезбеђује допунско попуњавање калупа при хлађењу отпреска. Самим тим овај притисак је у принципу нижи од притиска у фази убризгавања, а посебно је важно проценити временски тренутак његове промене. Овај тренутак се може одредити ако се непрекидно прати промена притиска у калупу.

➤ **Температура:**

Температура растопљеног полимера - Термодинамичке карактеристике растопља, као на пример вискозност, енталпија и специфична запремина зависе од температуре растопљеног полимера што утиче и на притисак у калупу и квалитет отпреска. Произвођачи гранулата дају податке о релевантним параметрима обраде изабраног материјала при бризгању и потребно је користити их при подешавању машине.

Температура хидрауличног уља - Енергетски губици у вентилима, пумпи и цевоводу, зависе од вискозности уља, а вискозност веома зависи од температуре. Због тога сва кретања приликом екструзионог бризгања зависе од температуре уља. Узимајући то у обзир, машина мора имати могућност контроле и подешавања температуре хидрауличног уља пре почетка производње.

Температура калупа - Представља главни утицајни фактор економичности процеса, тачности димензија и квалитета попуњавања калупа. Ова температура зависи од система хлађења.

- **Брзина пужа** - Брзина аксијалног померања пужа има утицај на процес екструзионог бризгања у фази убризгавања [4, 5].

3.2. 3D штампа

Технологија 3D скенирања данас све више улази у процесе рада различитих индустрија. 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 физичких својстава у јединственом процесу. Ова технологија производи моделе који верно опонашају изглед, утисак и функционалност производа прототипа [6, 7].

У последњих неколико година 3D штампачи су постали финансијски доступни малим и средњим предузећима, чиме се израда прототипа помера из тешке индустрије у канцеларијско окружење. Сада је могуће и истовремено уклапање различитих врста материјала. Осим израде прототипова, 3D штампачи нуде велики потенцијал за производњу различитих апликација у области производње накита, обуће, индустријског дизајна, архитектуре, аутомобилске индустрије, авио, стоматолошке и медицинске индустрије [6, 7].

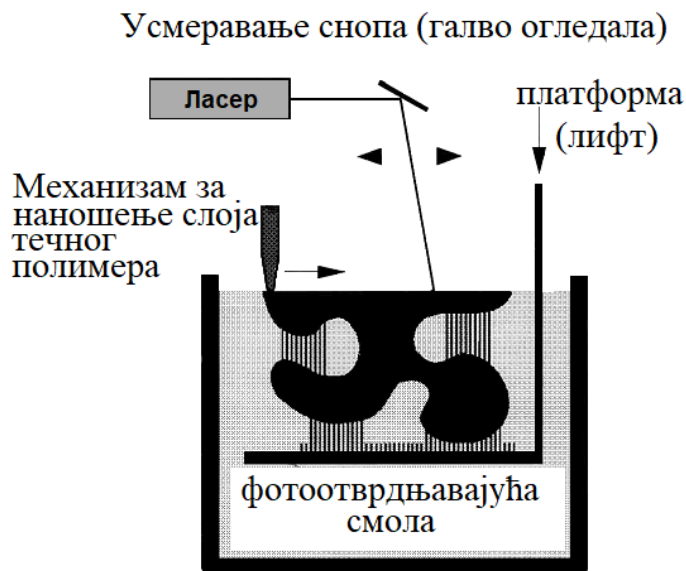
3.2.1. Технологије 3D штампе

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 [6].

3.2.2. SLA поступак – фотолитографија (*stereolithography apparatus*)

Фотолитографски *SFF* поступци (слика 13) су засновани на коришћењу светла за селективно отврдњавање фотоочвршћавајућих смола. Постоје два основна прилаза: фотолитографија и фотомаскинг [6].



Слика 13. Ласерска фотолитографија [6]

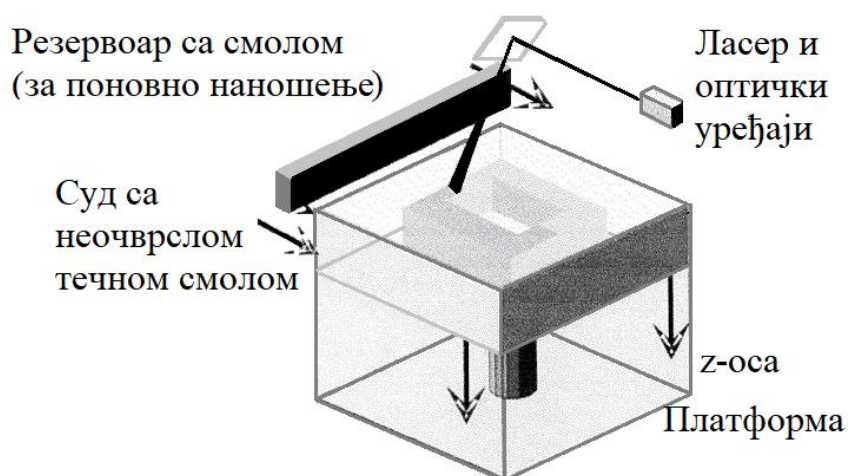
Најбитније карактеристике технике фотолитографије:

- То је прва технологија брзе израде прототипова, и још увек најчешће коришћена, коју је развила компанија *3D Systems* из Валенсије, САД, 1986. године
- Није скупа у поређењу са другим техникама [6, 7]

- 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 z-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 [6, 7]

Ласерска фотолитографија 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 долази до очвршћавања једног слоја изложеног снопом. Након израде једног слоја, платформа се помера у течном полимеру за један корак по висини (0,1-0,25mm). Овај корак, уједно дефинише резолуцију тачности израде 3D дела по висини (z-оси). 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 очврстог слоја, одвија се споро. Осим тога, температура израђеног слоја већа је од температуре неочврстог 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 14 [6].

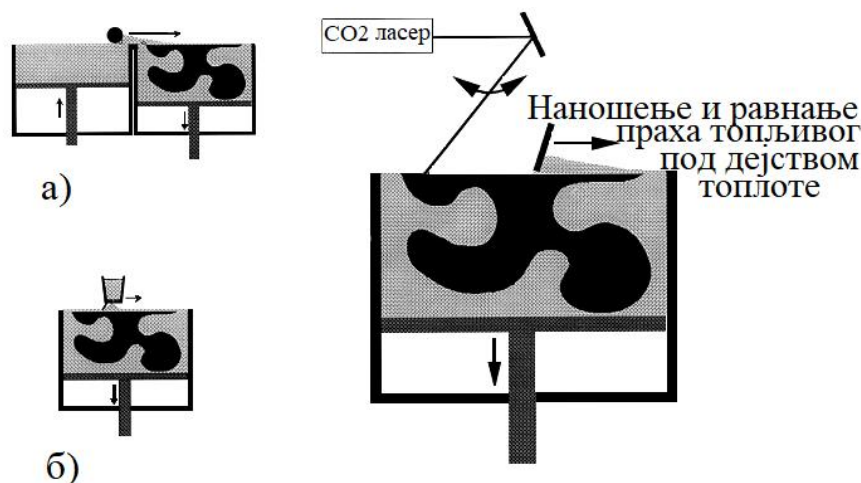


Слика 14. Просторна шема SLA поступка [6]

3.2.3. SLS поступак - ласерска фузија (*selective laser sintering*)

Најбитније карактеристике технике SLS поступка (слика 15) су:

- Највише примењивана, SLS технологија је патентирана 1989. године од стране Тексашког Универзитета, *Остин*. 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 сноп 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 [6, 7]



Слика 15. Ласерска фузија [6]

У овим техникама, CO_2 слој прашкастог материјала је раширен и поравнан преко горње површине структуре која се израђује. 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 дебелину 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 [6].

3.2.4. Поређење SLA и SLS поступака

Поређење SLA и SLS технолошких поступака *RP*, 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. SLA је боља технологија када се захтевају фини и прецизни детаљи.

Димензиона тачност: SLA технологија даје већу тачност израђеног дела, али SLS технологија је мање склона заосталим напонима, узрокованим дуготрајним очвршћавањем 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 z-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 су SLS материјали слични термопластима и 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 [6].

3.2.5. 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).

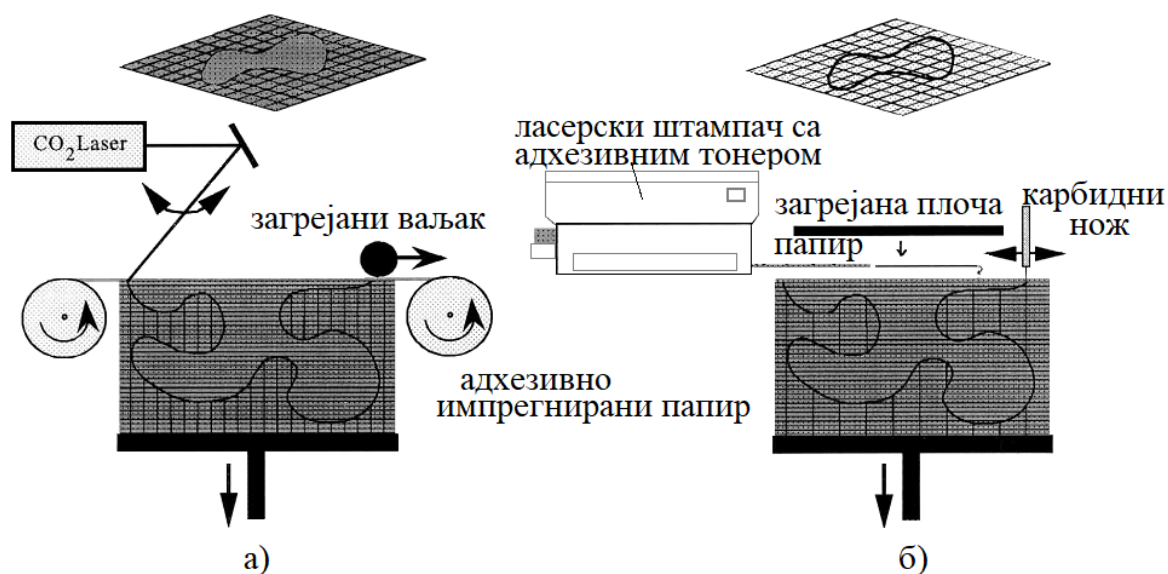
Најбитније карактеристике технике ламинације:

- 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 [6]

- 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 [6]

LOM технологија (слика 16) је заснована на одузимању материјала при формирању одређеног слоја, што је супротност у односу на друге RP технологије које су базирани 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 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.

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-a (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 б) [6].

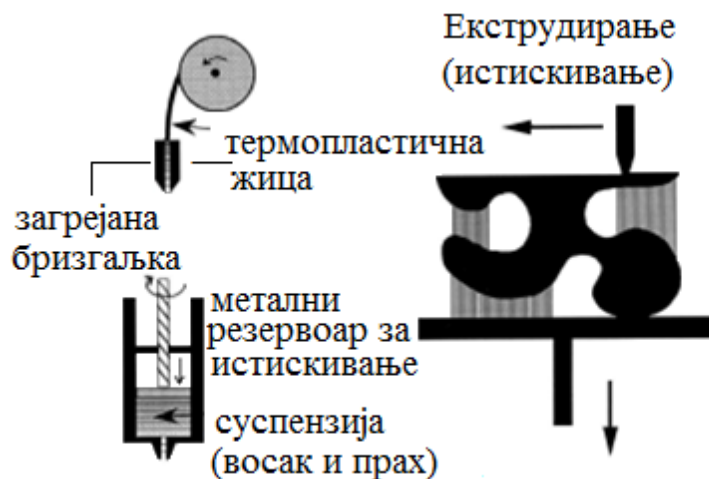


Слика 16. Поступци ламинације [6]

3.2.6. ФДМ поступак – екстудирање (*fused deposition modeling*)

- Прво обликовање екстудирањем без коришћења алата и прибора развијено је и комерцијализовано од стране *Stratasys*, (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 (слика 17) се наноси континуална нит термопластичног полимера или воска кроз струјом загревану бризгалку. 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 истражују коришћење FDM технологије са термопластичним жицама и шипкама, које су напуњене керамичким прахом у циљу израде сирових предоблика [6, 7].



Слика 17. Поступак-екстудирање [6]

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 [6]

- 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, који је полупровидан и кога карактерише већа отпорност на ударе; такође се може користити за примену у медицини
- 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 [6]

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 [6].

3.2.7. Ink - jet printing

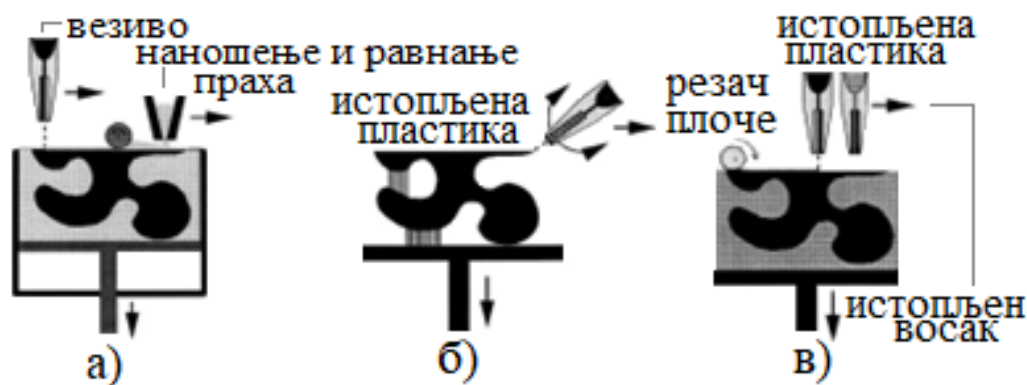
Неколико СФФ поступака искористило је предност ink-jet технологије (слика 18) за штампање слојева структуре производа. Први поступак који је успешно демонстрирао "штампање" облика био је 3D printing (3DP). С обзиром да се могу користити различити материјали у праху, 3DP је тренутно комерцијализована 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 невезаног 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 [6, 7].



Слика 18. Ink-jet printing [6]

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. 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.

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 брызга материјале од чврстог до течног стања и термопласте и воскове
- У поређењу са SLA и SLS технологијом није толико утемељена [6]

Model Maker System, Sander's Inc. (САД) испушта оба материјала истовремено. Термопласт ниске тачке топљења и одвојено воштани материјал за потпору. Као додатак, 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 [6].

3.2.8. Multi - jet технологија (*thermo - jet*)

Најбитније карактеристике Мулти - Јет поступка (слика 19):

- 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 [6]

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. 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.

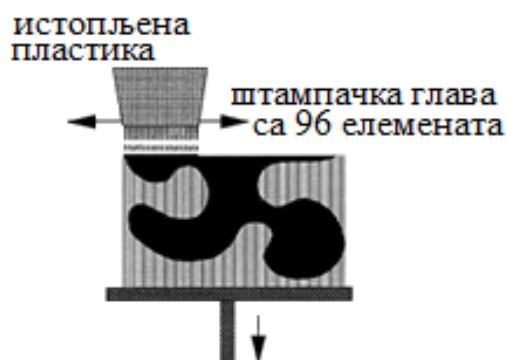
Финални изглед дела сличан је изгледу делова израђених, SLA, LOM или SLS технологијом. Површине имају степенасте прелазе. Овај ефекат је непожељан, али настаје као последица дуплирања 3D-CAD цртежа у дискретним слојевима. Конструисањем модела у тањим слојевима ефекат "степенастих" површина, модели израђени 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 [6, 7].

Multi - Jet 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 [6].

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 наношењу епоксидне смоле (загрејане 0,5-1°C) више од тачке топљења, путем сета млазница, дистрибуираних по у- осе. Строгом контролом температуре омогућује се брзо хлађење нанешеног слоја. Глава са сетом млазница врши транслацију 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 [6].

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 [6].



Слика 19. Multi - Jet Modeling (MJM), 3D systems, SAD [6]

3.3. Термообликовање

Термоформирање или термообликовање је поступак којим се обликују полазни облици пластичних маса у калупу. Овим поступком обликују се пре свега термопласти као на пример полистирен (PS) масиван или пенаст, термополимер акрил будадијен стирен (ABS), целулозни ацетат, поливинил хлорид (PVC) и др.

Припремци за топло обликовање су у облику трака, филмова и плоча исечених на одговарајућу димензију. Припремци могу бити обликовани и пресовањем.

Топло обликовање изводи се на припремцима у гумастом стању, што омогућује да се обрадак брже охлади него у случају обликовања у растопљеном стању. Топло обликовање врши се уз помоћ:

- 1) Притиска флуида
- 2) Вакуума
- 3) Чврстих елемената алата
- 4) Слободно
- 5) Комбиновано

Друга важна карактеристика топлог обликовања је да је оптерећење далеко мање него код других процеса (нпр. код пресовања). Због тога се материјали могу израђивати од материјала са нижим механичким својствима. Цена ових алата нижа је у односу на друге поступке [8].

Недостаци топлог обликовања:

1. Велика количина отпадног материјала који настаје због потребног исецања обратка. Остаци материјала се по правилу рециклирају
2. Висока цена полазног материјала (филмови, траке, фолије)
3. Лимитирани облици обартка који се своди углавном на отворене облике. Израда делова са оштрим ивицама и променљивим дебљинама материјала је доста отежана, а некада и немогућа
4. У неким случајевима топло обликовање изводи се помоћу унутрашњих напона у материјалу, што може бити лимитирајући фактор [8]

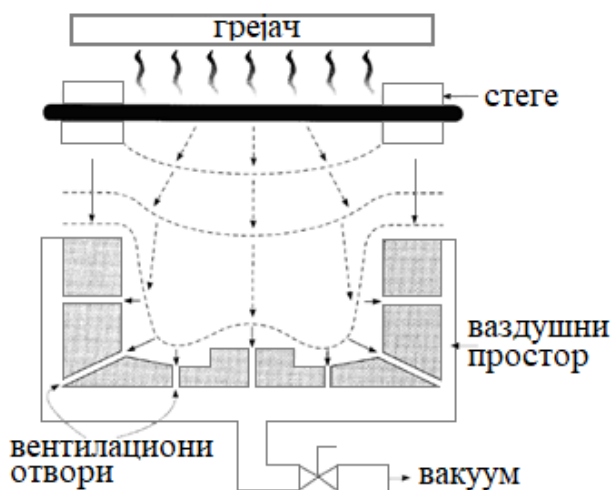
Предности топлог обликовања:

1. ниски трошкови машине
2. ниски температурни захтеви
3. ниски трошкови алата
4. низак притисак (оптерећење) обликовања
5. могућност обликовања великих делова
6. кратак (брз) радни циклус [8]

Постоји велики број топлог обликовања зависно од врсте промењеног уређаја и начина стварања оптерећења при обликовању [8].

3.3.1. Вакуум термообликовање

Припремак у облику исечене плоче (најчешће од поликарбоната) поставља се у рам који држи материјал. Материјал се загрева све док се не појави улегнуће, након чега се рам са обратком поставља на калуп за обликовање на чијој чеоној површини се налази заптивач. Дејством вакуума приљубљује се материјал уз зидове калупа. Овај начин обликовања користи се у случају када је потребно на обратку постићи fine детаље са стране калупа. Вакуум термообликовање приказано је на слици 20 [8].

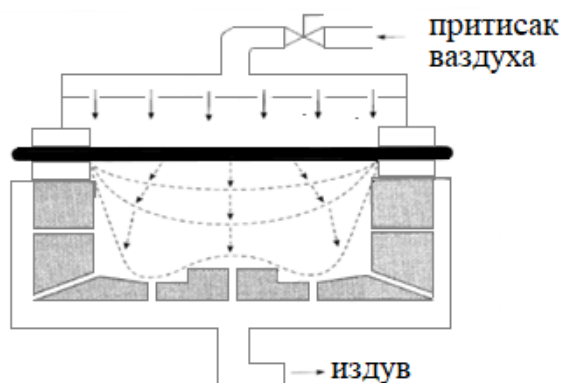


Слика 20. Вакуум термообликовање [8]

3.3.2. Обликовање притиском

У овом случају се материјал такође поставља у покретне рамове, при чему једино могуће кретање је вертикално, заједно са рамом. Материјал се поставља у калуп, врши се загревање, а дејством ваздуха под притиском формира се облик обратка приљубљивањем омекшаног материјала уз зидове калупа. Отвори на зидовима калупа омогућују пролаз ваздуха испод облика да би се избегао контра притисак и олакшало обликовање. Притисак обликовања је од 1 до 2 бара, самим тим потребно је да делује брзо како се обрадак не би охладио [8].

Овај поступак је бржи од вакуумског. Обликовање притиском приказано је на слици 21 [8].

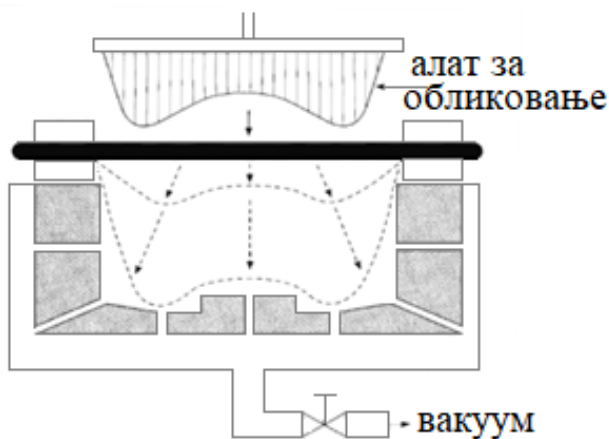


Слика 21. Обликовање притиском [8]

3.3.3. Обликовање помоћу обликача

У неким случајевима, код сложених облика обратка, добар облик обратка не може се постићи дејством вакуума и притиска већ се мора применити обликовање помоћу чврстог обликача и матрице.

Главна предност овог поступка је униформност дебљине зида обратка, која код вакуума и притисног обликовања није присутна. Чврст обликач омогућује да се материјал пребаци у зону отежаног течења, те на тај начин обезбеди потребну дебљину обратка. Жиг нема улогу потпуног дефинисања облика обратка већ само помаже правилном течењу материјала. Облик обратка одређен је вакуумом и калупом. Обликач се израђује од метала, дрвета, термопластике. Обликовање помоћу обликача приказано је на слици 22 [8].



Слика 22. Обликовање помоћу обликача [8]

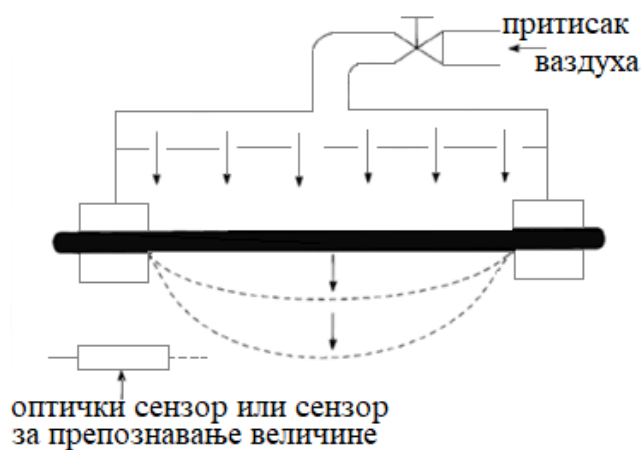
Фино подешавање дебљине обратка врши се:

- варирањем температуре обраде
- варирањем димензија обратка у првој фази
- димензијама обликача (чепа)
- обликом обликача (чепа)
- брзином кретања обликача [8]

3.3.4. Слободно обликовање

Код неких обрадака захтевају се висока оптичка својства, па је немогућа примена чврстих елемената алата за обликовање. У том случају примењује се поступак слободног обликовања (слика 23). Поступак обликовања је сличан првој фази обликовања код претходног поступка. Величина мехура контролише се електронски.

Дијапазон облика обрадака добијених слободним обликовањем је веома сужен у односу на обликовање помоћу калупа. Међутим, одређене промене облика могу се остварити варирањем облика држача обратка. Уколико је држач кружни прстен обрадак је сферичан, а уколико је држач у облику сузе, обрадак ће бити сужен и аеродинамичан, нпр. ветробран тркачког аутомобила који мора да има добра оптичка својства [8].



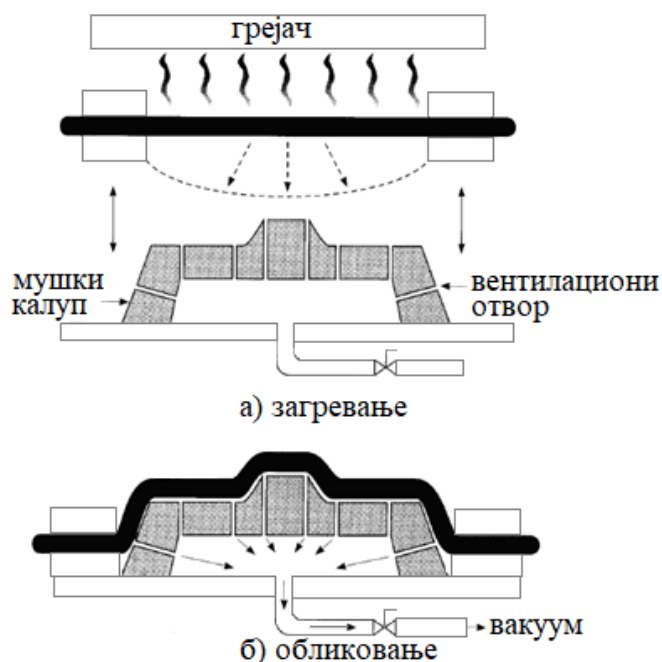
Слика 23. Слободно обликовање [8]

3.3.5. Вакуумско обликовање са предразвлакачем

Код оваквог поступка обликовања загрејани припремак ствара висећи облик мехура, а затим се формирање завршног облика обратка остварује помоћу обликача (мушког) и вакуума. Овај поступак може да се комбинује са поступком биаксијалне оријентације материјала, а у том случају се развлачење материјала врши ван држача непосредно пре превлачења преко обликача.

На овај начин постижу се боља механичка својства обратка. Употреба обликача уместо калупа је обавезна онда када се жели постићи добар квалитет унутрашње површине обратка. Главна предност овог поступка је већи однос извлачења у односу на обликовање помоћу калупа. Друга предност је мања цена обликача у односу на калуп [8].

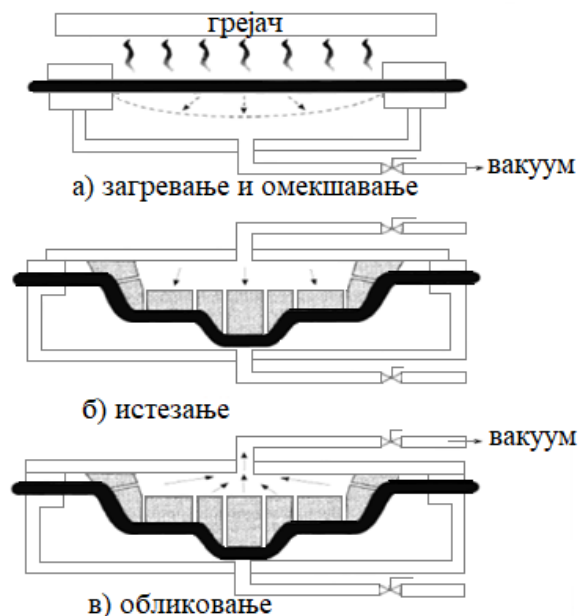
Вакуумско обликовање са предразвлачењем приказано је на слици 24 [8].



Слика 24. Вакуумско обликовање са предразвлачењем [8]

3.3.6. Топло обликовање у калупу са вакуумским предобликовањем

Ово обликовање је варијанта претходне обраде са тим што се развлачење остварује вакуумски. Стањење материјала је најинтензивније у центру обратка, а простире се од $1/2$ до $2/3$ дубине обратка. Топло обликовање у калупу са вакуумским предобликовањем приказано је на слици 25 [8].



Слика 25. Топло обликовање у калупу са вакуумским предобликовањем [8]

Следећа фаза обраде је извлачење у калупу, где се фиксира дебљина обратка у централном делу док је промена дебљине материјала могућа је у периферним зонама, тј. на ивицама обратка.

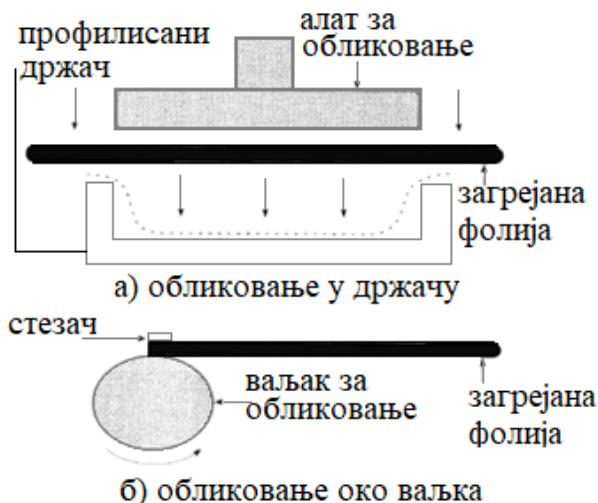
Финална фаза обликовања је обликовање вакуумом. Хлађење обратка је последња фаза обраде а изводи се у калупу. Овај поступак омогућује производњу обратка сложених облика и добру контролу дебљине обратка [8].

3.3.7. Механичко топло обликовање

То су једноставни поступци обликовања уз употребу одговарајућих алата (не калупа и обликача) који омогућују лако обликовање претходно загрејаног материјала. Алати у овом случају су једноставне конструкције.

На слици 26 а) приказано је обликовање помоћу једноставног кутијског контејнера и притискивача у који се убацује угрејани припремак. Уместо притискивача може се користити ваљчић којим се материјал приљубљује уз зид контејнера.

На слици 26 б) приказано је топло обликовање савијањем траке око одговарајућег металног језгра. И у једном и у дугом случају комад остаје у алату или трну док се потпуно не охлади [8].



Слика 26. Механичко топло обликовање [8]

3.3.8. Паковање у мехуре и фолију

Блистер паковање користи се у медицини о малопродаји за паковање малих ствари (производа). У оба случаја паковања (блистер или скин) производ се налази између две фолије од којих је једна обично провидна.

Блистер паковање врши се топлим обликовањем а покривни филм је обично прозирна пластика. Алат за израду блистер паковања је калуп са више гнезда. Формирани облик фолије у калупу назива се »блистер«. Обликовање блистера обично се врши вакуумом код мањих дубина. Након тога следи пуњење блистера производима који се пакују, затим се ставља покривна фолија која се лепи на блистер. На крају се врши одсецање на жељену димензију. Упаковани производи у блистеру имају могућност одређеног померања. Код »скин« паковања производ се задржава између танке фолије и чврсте картице. Нема формираних ћелијских мехура. Овај поступак је знатно јефтинији [8].

3.3.9. Опрема за топло обликовање пластике

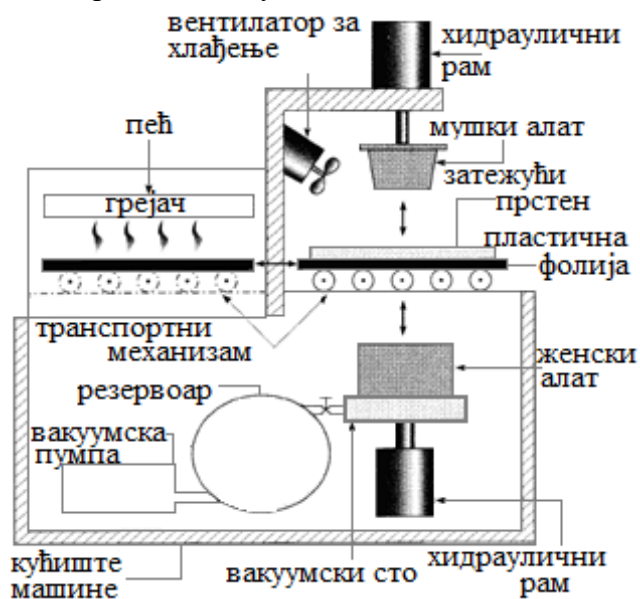
Термоформинг технологија је једноставнија од других поступака (нпр. екструзије или инјекционог пресовања) а такође је и опрема једноставнија и јефтинија.

Машине за топло обликовање пластике су мање униформне него код других поступака обраде. Међутим, све машине те врсте морају да имају следеће функције:

- загревање фолије
- држање фолије
- транспорт (померање) фолије
- обликовање у одговарајућем калупу.

Машина за топло обликовање (слика 27), са једном радном позицијом. Транспортни механизам омогућује кретање материјала у пећ и из пећи до јединице за обликовање. Уређај за држање обратка састоји се од прстена за држање и механизма за отварање и затварање полугом [8].

Грејач има могућност покривања велике површине што обезбеђује равномерно омекшавање материјала. Грејач је обично инфрацрвени (IR) и може бити постављен са обе стране припремка. Грејачи су обично постављени у један затворен простор и чине фуруну. Калуп је постављен на носећу плочу и прикључен на уређај за вакуумирање. Брзо вакуумирање омогућује вакуум-танк (резервоар) који се континуално вакуумира током рада, тј. током целог радног циклуса [8].



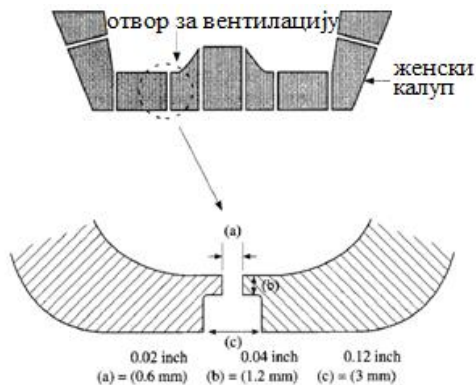
Слика 27. Машина за топло обликовање са једном радном позицијом [8]

Подизање алата са вакуум плочом врши се хидрауличним системом. У машину такође може бити уграђена посебна дувалка. Померање обликача такође је хидраулично. Висока продуктивност постиже се код вишепозиционих машина за топло обликовање код којих се свака од фаза обраде изводи на одговарајућој позицији.

3.3.10. Алати за топло обликовање

Због ниских притисака код топле обраде долази у обзир примена различитих материјала за алате. Често је за ту сврху у употреби алуминијум, користи се и дрво, ливени епоксид и други термопласти, а такође и разни челици и други конструкциони материјали [8].

Калупи за топло обликовање имају нагиб на вертикалним површинама $2^{\circ} \div 7^{\circ}$ ради лакшег вађења обартка. Важну улогу код ових калупа имају вентилациони отвори који омогућају излаз заробљеног ваздуха. Њихова величина и облик зависи од врсте термопласта и димензије обартка (слика 28). За тање и мекше термопласте препоручују се мањи вентилациони отвори. Размак између вентилационих отвора обично није критичан [8].



Слика 28. Вентилациони отвори код алата за топло обликовање [8]

3.4. Сечење ласером

Када је реч о новим методама сечења, неизоставно је сечење ласером које је веома брзо, прецизно и у многоструко олакшава израду делова. Ласерско сечење је технологија која користи ласер за сечење материјала. Иако се обично користи за индустријску производњу, почињу да га користе и школе, мала предузећа и хобисти. Ласерско сечење делује усмеравањем излаза ласера велике снаге најчешће кроз оптику [9].

3.4.1. Принцип рада и опис ласера

Принцип рада ласера базира се на својству емитера-активне средине (чврсто тело, течност, гас) да у кратком временском интервалу, од неколико милесекунди емитије у облику светлосног зрачења део претходно уложене енергије. Код ласера са чврстим емитером, побуђивање зрачења обично се врши претходним обасјавањем активне средине светлошћу лампе блескавице.

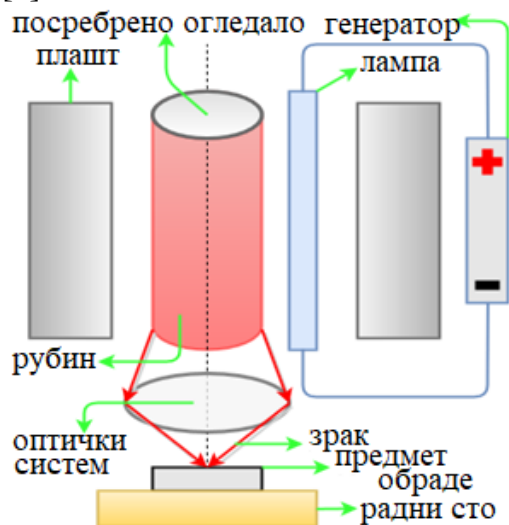
Код рубинског ласера (слика 29) се нпр. користи импулсна ксенонова лампа, иако ова лампа емитије светлост у широком интервалу таласних дужина, блиску сунчевој, за постизање ласерског ефекта користи се само уска плаво-зелена област $\lambda=560 \text{ nm}$.

Због тога као и због некорисног загревања средине спонтаног зрачења, губитка у резонатору и активној средини, степен корисног дејства кристалног ласера је мали (1-4%). Поларни вештачки кристал рубина величине оловке $\phi=7 \text{ mm}$ и $l=125 \text{ mm}$, ставља се унутар спиралне импулсне лампе или паралелно са правом лампом. Горње чело кристала је посребрено, а доње је полупосребрено, или се близу чела кристала ставе два квалитетна огледала, строго паралелна и нормална на осу кристала, која представља оптички резонатор. Око рубинског штапа и лампе налази се плашт са рефлектујућом површином.

Код савремених ласера сви ласери стављају се у омотач ласера који се хлади посебним системом хлађења, ваздушним или воденим [9].

Импулсна лампа спојена је са импулсним генератором снаге 2-6 kW. Импулсни генератор састоји се од извора напајања високог напона од 1000 V и више, који преко исправљача напаја батерије.

Помоћу оптичког система фокусира се ласерски сноп на предмет обраде постављен на радном столу [9].



Слика 29. Шема обраде рубинског ласера [9]

3.4.2. Особине ласерског зрачења

Ласерско зрачење се разликује од зрачења техничког светлосног извора по великој спектралној густини енергије, великој дужини кохеренције таласа, стационарном фронту таласа у снопу ласерског зрачења, великој стабилности амплитуде као и могућности производње ултракратких светлосних импулса. Осим тога ласерско зрачење се разликује од других извора електромагнетне енергије малим степеном дивергенције својих таласа тј. врло уским правцем свога распрострањања. Зрачење ласера има висок степен монохроматичности, тј. садржи веома уски интервал таласних дужина. Монохроматичност одређује дијапазон фреквенција, односно таласних дужина, садржаних у зрачењу тј. ширину спектра ласерског зрачења [9].

3.4.3. Типови ласера

Постоји више врста ласера. Најчешћа подела извршена је према агрегатном стању активне средине, режиму рада, начину побуђивања и спектру генерисања. Према агрегатном стању активне средине ласери се деле на:

1. чврсте
2. течне
3. гасне

Према режиму рада ласери могу бити:

- импулсни
- континуални

Према начину побуђивања ласери могу бити:

- са оптичким побуђивањем
- побуђени електричним пражњењем
- побуђени хемијском реакцијом
- побуђени снопом честица велике енергије [9]

Према спектру генерисања:

- у инфрацрвеној светлости
- у видљивој светлости
- у ултраљубичастој светлости [9]

1. Чврсти ласери

Ласери са чврстим телом нашли су примену у обради метала и неметала. Подела чврстих ласера извршена је на:

- рубинксе
- стаклене
- Nd: YAG ласере
- Полупроводничке

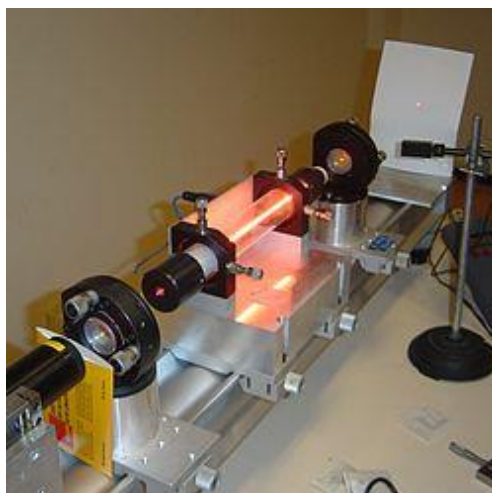
Као активна средина код ласера на бази чврстих тела користи се кристално или аморфно тело. Чврста тела имају знатно већу концентрацију активних честица него гасови. Због тога је насељеност енергетских нивоа у чврстим телима много већа од насељености енергетских нивоа у гасовима. Чврсто тело као оптичка средина има мању оптичку хомогеност него гасови, што условљава веће дисперзионе губитке светлости и смањење квалитета резонатора при његовој већој дужини, па зато нема смисла производити активне елементе веће дужине. Активни елементи ових ласера не прелазе дужину од 60 cm за оптички најхомогеније материјале [9] .

➤ Рубински ласер

Међу ласерима са чврстим телом најпознатији је рубински ласер (слика 30). Он је израђен на бази ласерског тела од кристалног синтетичког рубина (Al_2O_3) у виду цилиндра (10 x 10 mm) са додатком 0.5 % тровалентног хрома (Cr^{+++}). Рубин је минерал бледо ружичасте боје до јарко црвене боје, при чему преовладава црвена боја таласне дужине светлости $\lambda = 0.6943 \mu\text{m}$.

Рубински ласери могу да раде у импулсном (са енергијом од неколико J) и континуалном режиму (са енергијом до 100 J). Због великог загревања и малог степена искоришћења који износи 1%, рубински ласери се у већини случајева користе као импулсни. Ласери који раде континуалном режиму обично се хладе посебним системом за хлађење.

Рубински ласер је први ласер који је почео да се користи за бушење дијаманата и алата за извлачење танке жице. Овај ласер у машинству се користи за бушење малих отвора код различитих материјала и за тачкасто заваривање [9].



Слика 30. Рубински ласер [9]

➤ **Стаклени ласер**

Стаклени ласери се састоје од високопрозрачног стакленог тела у коме су дисперзно распоређени јони неодијума Nd^{+++} , као активна средина.

Постоје два вида стаклених ласера:

- Ласери од силикатног стакла са $\lambda = 1.062 \mu\text{m}$ и
- Ласери од фосфатног стакла са $\lambda = 1.054 \mu\text{m}$.

Стаклени ласери имају релативно висок коефицијент корисног дејства (до 3 %) при малој енергији од 20 J. Израда тела стаклених ласера је једноставна, при чему могу да се израде и релативно велика ласерска тела, а да се повећа излазна енергија ласера до преко 1000 J. Међутим, стакло има лоша термофизичка својства (слаба топлотна проводљивост и отпорност), због чега се не може радити са великим фреквенцијама. Осим тога стакло одликује велика оптичка разнородност (нарочито силикатна стакла), па нагомилавање излазне енергије води ка повећем растурању ласерског снопа.

Већа заступљеност ових ласера у поређењу са рубинским је у нижој цени и могућности да раде у широком дијапазону енергије. Постоје стаклени ласери и са такозваним гигантским импулсом са енергијом од 10^4 до 10^5 J [9].

➤ **Nd: YAG ласер**

Један је од најважнијих ласера (неодијумски) који има многобројне индустријске и научне примене. YAG је скраћени назив за итријев, алуминијев гранат $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$, који представља најчешћи извор ласерског зрачења. Спада у групу врло тврдих материјала. Захваљујући високој тврдоћи обрада YAG-а је отежана, јер захтева дијамантска средства. Овај ласер одликује висока прозирност и висок степен полирања. Његова значајна предност у односу на рубинске, а нарочито у односу на стаклене ласере, је висока топлотна проводљивост и отпорност, као и мала осетљивост на високе температурне градијенте, чиме је омогућено његово интензивно хлађење.

Захваљујући оваквим термофизичким својствима овај ласер може да ради како у импулсном, тако и у континуалном режиму рада.

Nd: YAG ласер је карактеристичан по облику јер се израђује у облику штапова са полираним крајевима, што захтева посебан технолошки поступак [9].

➤ **Полупроводнички ласер**

Полупроводнички ласери се данас израђују са релативно малом јачином, па нису нашли примену у обради метала и неметала. Имају релативно широку примену у мерној техници, холографији, фотографској техници итд [9].

2. Течни ласер

Као активна средина у ласерима на бази течности користе се раствори неорганских једињења ретких елемената и раствори органских боја. Разликују се две врсте ласера на бази течности.

- ласери са растворима неорганских једињења и
- ласери са растворима органских једињења.

Недостатак ласера на бази течности представља временска нестабилност раствора. У раствору се након 1-2 месеца стварају талози који битно смањују ласерско зрачење. Избором органског једињења постиже се одговарајуће таласно подручје у којем ласер може да зрачи, а укључивањем селективних елемената у резонатор постиже се ласерско зрачење на жељеној таласној дужини унутар таласног подручја. Овакви ласери могу радити и у континуалном и импулсном режиму, док се ласери са неорганским растворима користе само у импулсном режиму [9].

3. Гасни ласер

Постоји више врста ласера који се међусобно разликују по врсти гаса који образује активну средину. У односу на остала тела гасови имају тачно одређене енергетске нивое појединих атома или молекула, па зато постоји низ могућих прелаза са нивоа на ниво у различитим гасовима. Друга карактеристика гасова је њихова оптичка хомогеност. Густина гаса је мала, па због тога у гасовима не долази до дисперзије светлости и изобличења светлосног зрака. С друге стране гас, као активна средина има и одређене недостатке: густина гаса је знатно нижа од густине чврстих тела. У пракси се разликују три типа ласера на бази пражњења гасова:

- ласери са неутралним атомима
- јонски ласери и
- молекуларни ласери.

Ови ласери се међусобно разликују по механизму настајања инверзне насељености и по таласној дужини зрачења [9].

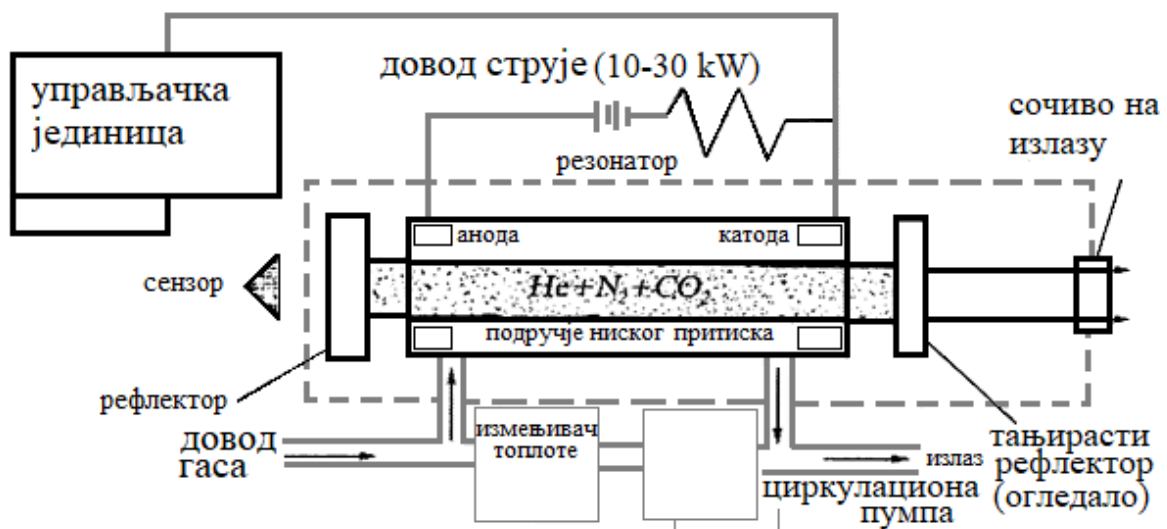
• CO₂ ласер

Ласер је плинско-молекуларни, који као активни медиј користи молекуле CO₂ (слика 31). За његову реакцију употребљава се електрични спој, оптичко, хемијско и топлотно пуњење. Овај ласер се састоји од:

- стаклене цеви у којој се налази смеша плиндова: угљендиоксида, азота, хелијума и евентуално неког другог гаса
- на крајевима цеви налазе се два паралелна огледала, која су премазана слојем силикона, молибдена или злата, која рефлектују ласерски зрак натраг у цев и формирају резонатор.

Овим ласерима може да се врши бушење, сечење, заваривање, маркирање, термичка обрада на различитим материјалима, наношење тврдих превлака итд. Повећање температуре гаса на ласерско тело, које доводи до електричног пражњења, води ка изразитом смањењу излазне снаге, због чега је потребно интензивно хлађење гасне смеше. Према начину хлађења, CO₂ ласери се деле на:

- ласере са дифузним и
- ласере са конвенционалним хлађењем [9].



Слика 31. Шема CO₂ ласера [9]

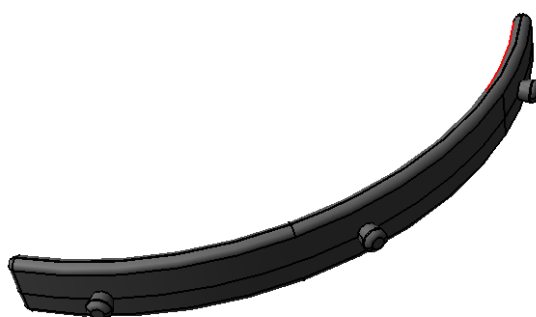
CO₂ ласери се најчешће употребљавају у металопрерађивачкој индустрији. Овај ласер се примењује у војној индустрији, медицини, хирургији и при обради метала [9].

4. Пример пројектовања заштитног визира и технологије израде делова пројектованог визира

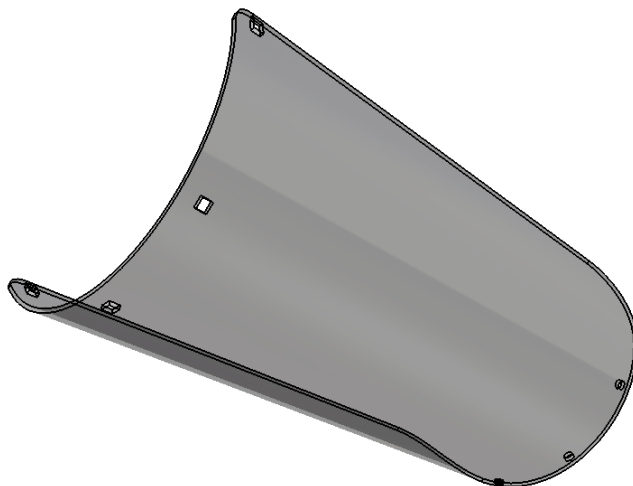
У оквиру практичног дела извршено је моделирање делова заштитног визира. У овом случају моделирани су горњи део визира, доњи део визира као и заштитна фолија. Моделирање је одрађено у програму CATIA V5R21 (слике 32, 33, 34 и 35).



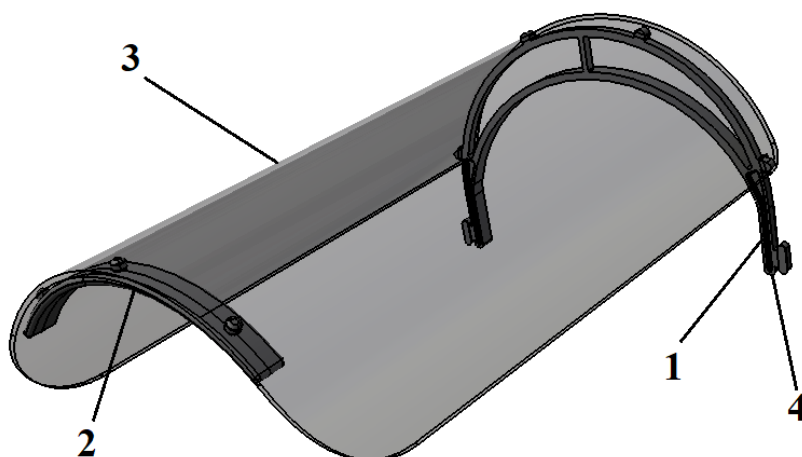
Слика 32. Горњи део заштитног визира



Слика 33. Доњи део заштитног визира



Слика 34. Фолија заштитног визира

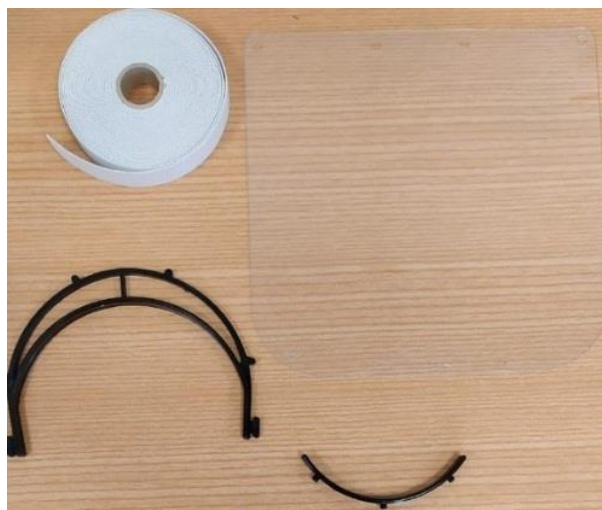


Слика 35. Склоп измоделираног заштитног визира
(1-горњи део визира)
(2-доњи део визира)
(3-заштитна фолија)
(4-трака заштитног визира)

У оквиру овог склопа недостаје трака на месту број 4. Трака може бити од неког еластичног материјала, као и од пластике. За потребе овог пројектованог визира коришћена је трака од еластичног материјала. Подесива трака се додаје накнадно, спајајући један крај горњег дела заштитиног визира са другим.

Појединачни делови пројектованог заштитног визира након обраде различитим врстама технологије, уједно и делови неопходни за склапање заштитног визира, приказани су на слици 36. Делови који се користе за склапање визира су:

- горњи део заштитног визира
- заштитна фолија
- доњи део заштитног визира
- подесива трака



Слика 36. Делови пројектованог визира

За израду горњег дела визира (слика 37) могу се користити различите врсте технологија и то:

- 3D штампа
- сечење на ласеру
- технологија бризгања

За израду пројектованог визира примењивана је технологија бризгања.



Слика 37. Горњи део заштитног визира

При изради фолије заштитног визира користе се технологије:

- сечење на ласеру
- технологија термообликовања
- различите врсте алата за просецање

Израду различитих врста отвора могуће је извршити помоћу ласера. Уколико је неопходно извршити савијање фолије, користи се технологија термообликовања, у зависности од материјала од ког је израђена.

Израда отвора фолије на слици 38, извршена је просецањем помоћу алата.



Слика 38. Фолија

Израда доњег дела заштитног визира се може остварити применом технологија:

- 3D штампа
- технологија бризгања

За израду доњег дела заштитног визира који је пројектован примењивана је технологија бризгања. Овај део приказан је на слици 39.



Слика 39. Доњи део заштитног визира

Подесива трака заштитног визира може бити израђена од:

- ливене пластике
- 3D штампане пластике
- еластичног материјала

За реализацију склапања горе наведеног пројектованог заштитног визира примењивана је трака од еластичног материјала приказана на слици 40.



Слика 40. Трака заштитног визира

Након пројектовања заштитног визира у програму CATIA V5R21 и обрађивања различитим врстама технологија, извршено је склапање на факултету Инжењерских наука у Крагујевцу. Финални изглед склопљеног заштитног визира, приказан је на (слици 41).



Слика 41. Пример израде заштитног визира

5. Закључак

У циљу упоредне анализе различитих технологија подобних за израду заштитних визира извршено је истраживање на реалним узорцима произведеним на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу. Гледано са аспекта заштите радника, сви визери произведени су на безбедан начин. С обзиром на новонасталу ситуацију указала се потреба за налажењем што бржих и ефикаснијих метода производње визира тако да готов производ достигне жељени квалитет. Од ових визира се захтевало да буду постојани, једноставни за монтажу и доступни. Како би се сви ови параметри испоштовали примењене су различите технологије за производњу визира при чему је посебна пажња посвећена брзини израде.

У почетку су се ови визери израђивали 3D технологијом и сама производња је изискивала доста неопходног времена за саму реализацију. Произведеност је била око 10 визира дневно. Након тога било је потребно пронаћи решење како би се добио одговарајући број произведених визира и то је постигнуто технологијом бризгања. Учинковитост технологијом бризгања је са неколико комада визира дневно повећана на неколико стотина. Поред тога најбитније предности су у уштеди материјала, мањем времену израде и мањем потребном простору за производњу. Самим тим цена визира по комаду износила је око 200 динара. И поред великих трошкова за набавку опреме (машина и алата) овај поступак даје велике предности код серија од само неколико хиљада комада. Из претходне анализе се види да је у овом случају бризгање ефикаснији и јефтинији метод производње. Остаје простора да се, уколико се за то створе услови, изврши производња заштитних визира неком другом методом.

При склапању визира једини део који није моделиран је подесива трака. У овом случају је коришћена подесива трака од еластичног материјала. Могуће су додатне модификације горњег дела визира у циљу интеграције са подесивом траком. У том случају би овај део био произведен неком од горе поменутих технологија. С обзиром да је обезбеђена довољна количина визира за почетни период, остављено је простора за студиозни приступ проблему израде визира. То подразумева предлоге потпуно нових концепција будућих заштитних визира.

Уколико се сагледају сви аспекти примене заштитних визира увиђа се да је остављено доста простора за модификацију већ постојећих модела у другим гранама индустрије. То значи да би новопројектовани визери могли наћи ширу примену у односу на већ постојеће тржиште медицинске заштитне опреме. Могуће су модификације у погледу дебљине и материјала саме фолије, као и компактности склопа визира.

6. Литература

- [1] <https://safecode.rs/katalog/GlavaLiceSluh.pdf>, [10. 09. 2020.]
- [2] Мирослав Нађ: Полимерни материјали, Научна књига, Загреб 1978.
- [3] <https://www.edcmag.com/best-face-shields/>, [10. 09. 2020.]
- [4] Богдан Недић: Технологије прераде пластичних маса, Машински факултет, Крагујевац, 2004.
- [5] Рапајић Б.: Прерада пластичних маса екструдирањем, Привредни преглед, Београд, 1976.
- [6] 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/>) [15. 09. 2020.]
- [7] <https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/#whatitis>, [15. 09. 2020.]
- [8] <http://www.dpm.ftn.uns.ac.rs/predmeti/Tehnologije%20oblikovanja%20plastike/TOPL0%20OBLIKOVANJE%20PLASTIKE.pdf> [18. 09. 2020.]
- [9] Bromberg, Joan (1991). [The Laser in America, 1950-1970](#) [21. 09. 2020.]