

Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Машине алатке

Број индекса: 56/2011

Марко М. Карић

**СПЕЦИФИЧНОСТИ СЕЧЕЊА МАТЕРИЈАЛА ЛАСЕРОМ У
ПРЕДУЗЕЋУ „МИЛАНОВИЋ ИНЖЕЊЕРИНГ“ У
КРАГУЈЕВЦУ**

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. др Богдан Недић, ред. проф.

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да размотри проблематику обраде ласером, изврши анализу процеса обраде ласером, елемената опреме, карактеристика машина и управљачког софтвера TruTops. Посеван акценат кандидат треба обратити на делове који се, помоћу ласерске машине TruLaser L4030S, израђују у предузећу Милановић Инжењеринг у Крагујевцу, као и на најчешће коришћене врсте и дебљине материјала.

Препоручена литература:

[1] Недић, Б., Лазић, М., Неконвенционални поступци обраде (поглавље о обради ласером, књига у рукопису)

[2] Иван Пантић, Примена технологије обраде ласером, Дипломски рад, Машински факултет у Крагујевцу

[3] http://www.koz.com.tr/docs/TruServices_Software_en.pdf

Крагујевац, септембар 2015.

Ментор:

Професор др Богдан Недић

REZIME

У раду су дати подаци о обради ласером, подела ласера (сечење, бушење, заваривање, отврдњавање), елементима опреме ласера, софтверу за управљање ласерском машином и креирање цртежа, као и о материјалима који се користе за сечење на ласеру у предузећу Милановић инжењеринг у Крагујевцу. У завршном раду су дати основни подаци о компанији Trumpf и њен историјат. Приказани су и делови који се израђују на ласерској машини као и опције које нуди софтверски пакет за управљање ласером.

Кључне речи:

- ласер
- обрада
- сноп

ABSTRACT

The paper presents data on the treatment laser, the laser division (cutting, drilling, welding, hardening), elements of laser equipment, management software laser machine and create drawings, as well as the materials used for the laser cutting of the company Milanovic engineering Kragujevac. The final paper presents basic information about the company Trumpf and its history. Shown are the parts that are produced on the laser machine as the options offered by a software package for managing laser.

Key words:

- laser
- treatment
- beam

САДРЖАЈ

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА	4
2. АНАЛИЗА ПРОЦЕСА ОБРАДЕ ЛАСЕРОМ	6
2.1 ИСТОРИЈА И РАЗВОЈ ИНДУСТРИЈСКОГ ЛАСЕРА	6
2.2 ПРИНЦИП РАДА И ОПИС ЛАСЕРА	8
2.3 ОСОБИНЕ ЛАСЕРСКОГ ЗРАЧЕЊА	11
2.4 ВРСТЕ ЛАСЕРА	13
2.5 ЧВРСТИ ЛАСЕРИ	13
2.6 ТЕЧНИ ЛАСЕРИ	14
2.7 ГАСНИ ЛАСЕРИ	14
2.8 CO ₂ ЛАСЕР	15
2.9 ПРИНЦИП ЛАСЕРСКЕ ОБРАДЕ	17
2.10 ТЕХНОЛОШКИ ПОСТУПЦИ ОБРАДЕ ЛАСЕРОМ	20
2.11 ОБРАДЉИВОСТ МАТЕРИЈАЛА ЛАСЕРОМ	23
2.12 ОТВРДЊАВАЊЕ ЛАСЕРОМ	24
2.13 ЗАВАРИВАЊЕ ЛАСЕРОМ	25
2.14 БУШЕЊЕ ЛАСЕРОМ	26
2.15 СЕЧЕЊЕ ЛАСЕРОМ	27
3. TRULASER L4030S (TRUMPF)	33
3.1 ИСТОРИЈА КОМПАНИЈЕ	33
3.2 НАМЕНА МАШИНЕ	34
3.3 ДЕЛОВИ ЛАСЕРСКЕ МАШИНЕ	35
3.4 УПРАВЉАЧКА ЈЕДИНИЦА	36
3.5 УПРАВЉАЊЕ МАШИНОМ	37
3.6 КОРИСНИЧКИ ИНТЕРФЕЈС	39
3.7 ГЛАВА ЛАСЕРА (ГЛАВА ЗА СЕЧЕЊЕ)	44
3.8 ПОКЕРТАНА ЈЕДИНИЦА	46
3.9 ВОЂЕЊЕ СНОПА	47
3.10 РЕЗОНАТОР	49
3.11 АДАПТИВНО ТЕЛЕСКОПСКО ОГЛЕДАЛО	50
3.12 РАДНИ СТОЛОВИ (ПАЛЕТЕ)	51
4. ПРЕГЛЕД ДЕЛОВА УРАЂЕНИХ НА ЛАСЕРУ	52
5. ЗАКЉУЧАК	58
6. ЛИТЕРАТУРА	59

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

Пораст потражње тржишта за високоотпорним и уједно тешко обрадљивим материјалима као што су алатна керамика, нерђајући челици, композитни материјали, ватросталне легуре, титанијум, суперлегуре, итд. излаже савремену индустријску производњу великим притисцима за повећање квалитета, повећањем брзине израде и смањењем цена како би изашла у сусрет све захтевнијим купцима. Овакви материјали се одликују изузетним технолошким карактеристикама као што су велика затезна чврстоћа и тврдоћа, топлоотпорност, отпорност на хабање, корозиона постојаност, изузетне механичке и триболошке карактеристике и сл. па су, због својих изузетних особина, до скоро били доступни само војној и свемирској индустрији неких, економски, врло развијених земаља, а данас све више примењени у технологијама доступним великом броју потрошача. Обрада оваквих делова конвенционалним поступцима обраде је изузетно скупа и спора а самим тим није конкурентна на тржишту. Са развојем високоотпорних материјала расла је и потреба за новим поступцима обраде који се одликују флексибилношћу, прецизношћу као и ниским трошковима обраде а који ће моћи да одговоре на све већу потражњу тржишта за деловима од тешко обрадљивих материјала, сложеног облика и уских толеранција. Такви захтеви тржишта су интензивирали истраживања у области развоја и примене неконвенционалних поступака обраде.

Упоредо са захтевима тржишта и развојем високоотпорних материјала, текао је развој и усавршавање неконвенционалних поступака обраде који би могли да задовоље потражњу и испуне очекивања тржишта. Неконвенционални поступци обраде су се наметнули као решење које обезбеђује извођење низа производних операција које је тешко или готово немогуће реализовати конвенционалним поступцима обраде. Један од савремених и најперспективнијих поступака неконвенционалне обраде је обрада ласером “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation” (појачање светлости стимулисаном емисијом зрачења) која је врло брзо постала потреба у производној индустрији. Заснована је на примени високо концентрисане светлосне енергије, добијене ласерским зрачењем, на овај начин је могуће извести низ производних операција у веома различитим срединама па самим тим у многим областима ласер представља најпрецизнији и нејеконичнији метод, а у неким и једини метод обраде, што ласеру даје низ предности у односу на друге неконвенционалне поступке, па самим тим и ова метода све више добија на значају.

Проблеми који прате конвенционалне поступке као што су хабање и ломови резног алата, код ласера не постоје јер он практично нема резни алат већ се технологија

заснива на снопу усмерене светлости. Најчешће коришћена производна операција изведена применом ласера је сечење. Брзина сечења зависи од снаге ласерског снопа, врсте материјала предмета обраде, врсте радног гаса, дебљине предмета обраде, протока и притиска радног гаса, врсте ласерског уређаја и многих других фактора који могу да утичу на квалитет обрађене површине и тачност контуре.

У другом поглављу овог рада описана је анализа процеса обраде, историја и развој ласера, принцип ласерске обраде, особине ласерског зрачења, врсте ласера (чврсти, течни, гасни), CO₂ ласер, принцип рада и опис ласера, принцип ласерске обраде, технолошки поступци обраде ласером, обрадљивост материјала ласером, заваривање ласером, бушење ласером и ласерско сечење.

У трећем поглављу је описана историја компаније TRUMPF, намена машине TruLaser L4030S и њени делови (управљачка јединица, глава ласера, покретана јединица, вођење снопа, резонатор, адаптивно телескопско огледало, радни столови), TruTops CAD програм и његове могућности.

Четврто поглавље даје преглед делова израђених на ласерској машини TruLaser L4030S као и најчешће коришћене материјале у предузећу Милановић инжењеринг.

2. АНАЛИЗА ПРОЦЕСА ОБРАДЕ ЛАСЕРОМ

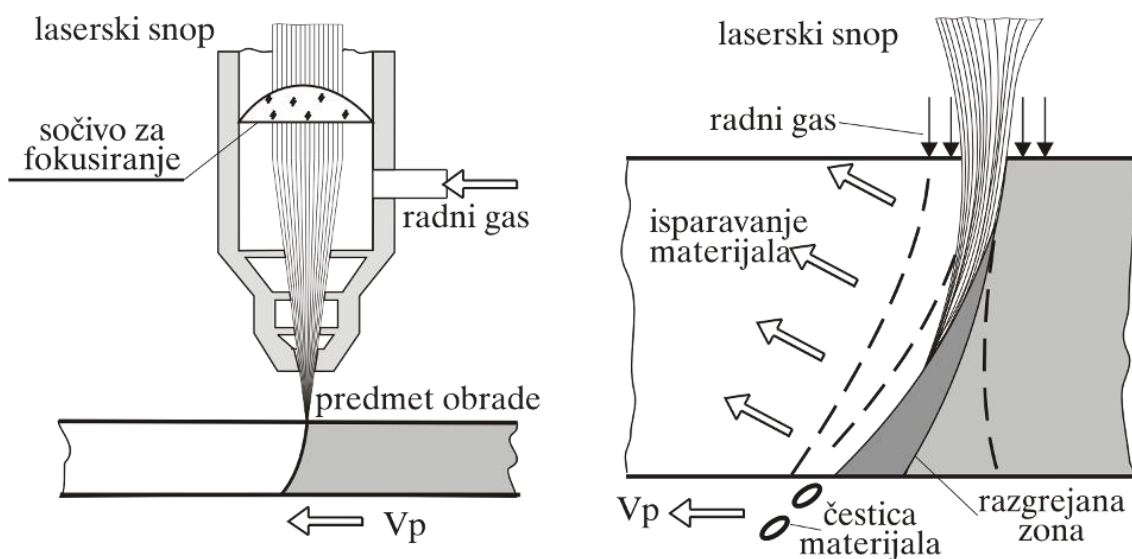
2.1 Историја и развој индустријског ласера

Ласер представља светлост електромагнетних таласа у видљивом спектру. То је у суштини монохроматични, кохерентни и конвергентни сноп електромагнетног зрачења са таласним дужинама од ултраљубичасте до инфрацрвене. Њутн је 1704. године окарактерисао светлост као струјање малих делића (честица). Јангов експеримент обављен 1803. године и непосредно откриће поларизације светлости су убедили научнике у оно време да светлост има способност таласања. Максвелова електромагнетна теорија је објаснила појам светлости као брзину вибрација у електромагнетном пољу проузрокованих осциловањем честица. Прекретница двадесетог века у друштву, "мрачна радијација тела" је појава која је изазвала настанак теорије таласне светлости. Према Максвеловој електромагнетној теорији, интензитет енергије електромагнетног зрачења фреквенције ϕ пропорционалан је квадрату ове фреквенције, чиме се интензитет енергије повећава од почетне до фреквенције у бесконачности више од ограничене таласне запремине, што је само жеља за постизањем бесконачне енергије. То је било до увођења Планковог дела концепта "кванта" 1900. године када је овај концепт био објашњен. На овај начин добијена енергија није непрекидна, већ је прекидна и може се множити само малом јединицом. Ајнштајн је предложио концепт "фотона" на основу кога ми можемо рећи да је светлост састављена од појединачних честица (фотона) који имају дискретну (прекидну) енергију или енергију кванта. Године 1917, Алберт Ајнштајн је поставио темеље за проналажење ласера, својим револуционарним извођењем из Планковог закона радијације заснованог на концепту спонтане и стимулисане емисије. Стимулисана емисија зрачења има неколико фреквенција и фаза са могућношћу радијације која би се могла објаснити уз помоћ квантне механике. Иначе, ласерски сноп могао би бити различит од нормалне светлости тзв. кохерентне светлости. Кохерентна светлост има многобројну примену али методе реализације стимулисане емисије зрачења нису реализоване до 1960 године. Први ласер је пронађен у Мајамију, маја 1960. Године у Хјузовим лабораторијама у Малибуу. Вођа пројекта је био Теодор Мајман, физичар који је успешно применио технику оптичког пумпања активног материјала (рубиновог кристала) што је довело до стимулисане емисије. То је био рубинов ласер изузетне чврстоће. Многе врсте ласера су пронађене ускоро после рубиновог ласера - први уранијум ласер у IBM (новембар 1960. године), први хелијум-неонски ласер 1961. године, први Nd ласер: YAG-ласер и CO₂ ласер 1964. године, Ag ласер 1964. године, хемијски ласер 1965. године. Већ од 1967. почиње примена технологије сечења CO₂ ласером. Када познајемо принципе ласера, ово није исувише велико изненађење. Али широки и континуални развој и примена

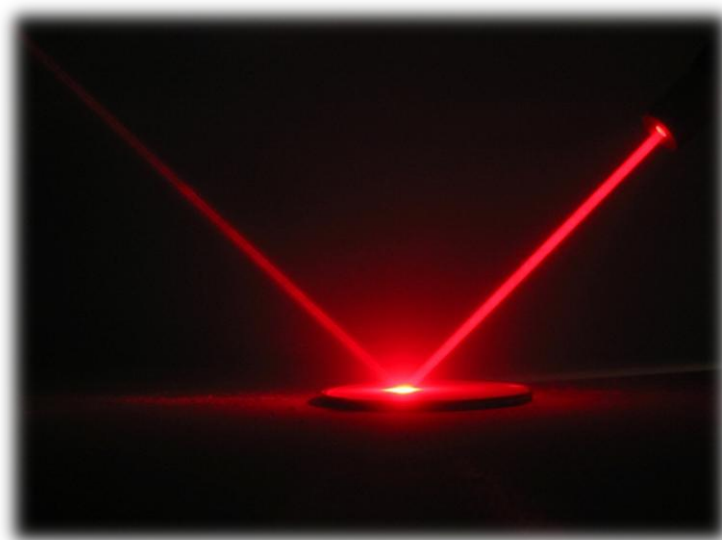
ласера су заиста изванредни и представљају чудо. Ласерски сноп (слика 2.2), који емитује ласерско тело разликује се од других познатих видова светлости:

- ласерски зраци су монохроматски, тј. имају само једну одређену таласну дужину;
- ласерски зрак је висококохерентан, са паралелним зрацима исте фазе;
- ласерски зрак може да се фокусира на веома малу површину и да обезбеди високу густину.

Уочена својства ласера у почетку развоја квантне електронике наговештавала су могућности широке примене. За последњих 16 до 18 година технолошки процеси који се базирају на локалном загревању обрађиване површине помоћу ласера, добијају значајан развој и примену. Захваљујући високом фокусирању ласерског снопа, високој густини енергије снопа, могућности једноставног управљања ласерским снопом и обраде у веома различитим срединама, обрада ласером добија све већи значај и има низ предности у односу на остале неконвенционалне поступке обраде (слика 2.1). Овај нови правац обраде материјала добио је назив *ласерска технологија*.



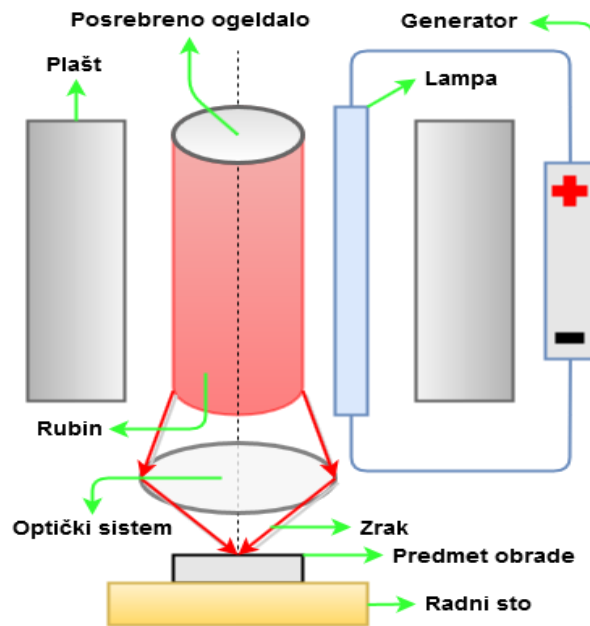
Слика 2.1. Принципијелна шема формирања ласерског снопа [3]



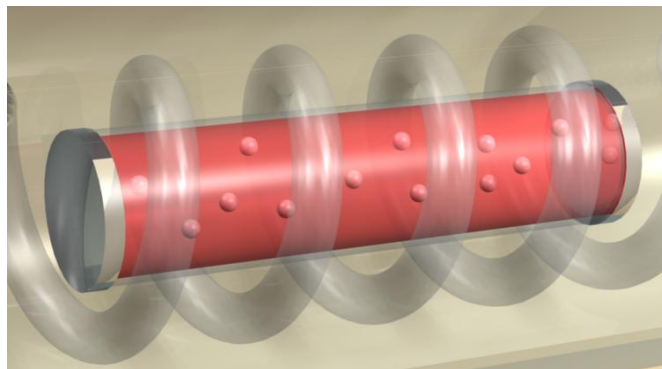
Слика 2.2. Формиран ласерски сноп [11]

2.2 Принцип рада и опис ласера

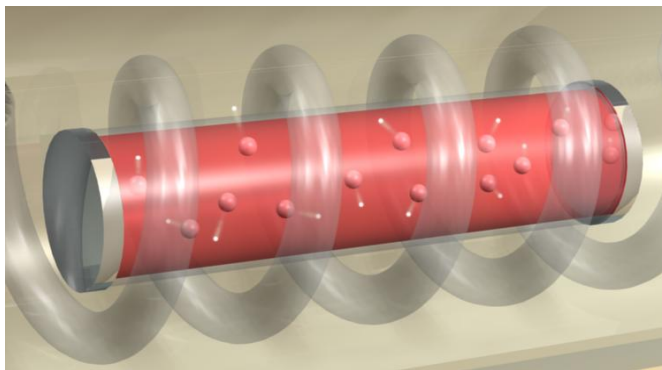
Принцип рада ласера базира се на својству емитера-активне средине (чврсто тело, течност, гас) да у кратком временском интервалу, од неколико милисекунди емитује у облику светлосног зрачења део претходно уложене енергије. Код ласера са чврстим емитером, побуђивање зрачења обично се врши претходним обасјавањем активне средине светлошћу лампе бљескавице. Код рубинског ласера, на пример, користи се импулсна ксенонова лампа, иако ова лампа емитује светлост у широком интервалу таласних дужина, блиску сунчевој, за постизање ласерског ефекта користи се само уска плавозелена 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 представљају оптички резонатор. Око рубинског штапа и лампе налази се плашт са рефлектујућом површином. Код савремених ласера сви елементи ласера стављају се у омотач ласера који се хлади посебним системом хлађења ваздушним или воденим. 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. На слици 2.3 је приказана шема обраде рубинског ласера. Помоћу оптичког система фокусира се ласерски сноп на предмет обраде постављен на радном столу (слика 2.3).



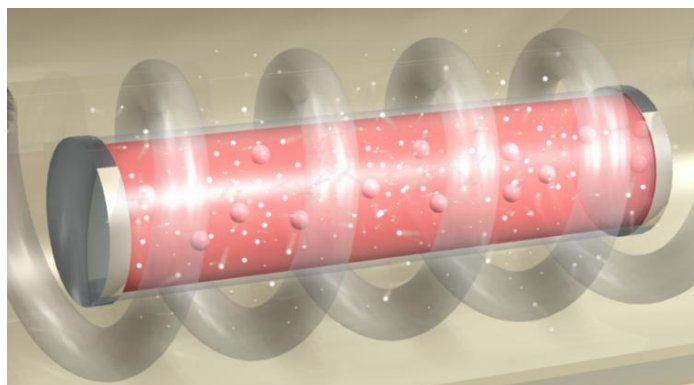
Слика 2.3. Шема обраде рубинског ласера



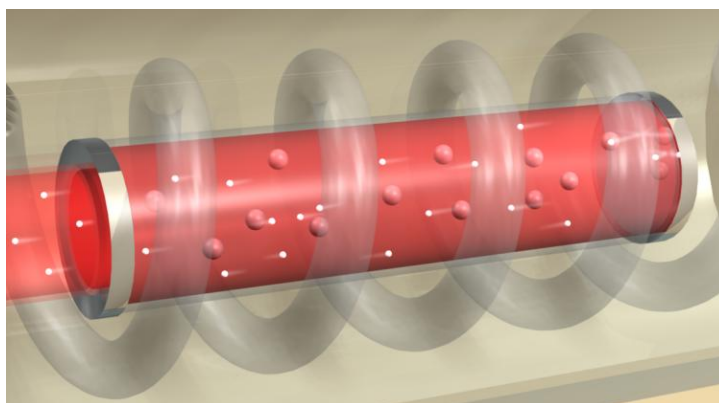
Слика 2.4. Тело ласера у непобудјеном стању са распоређеним атомима у рубиновом кристалу [2]



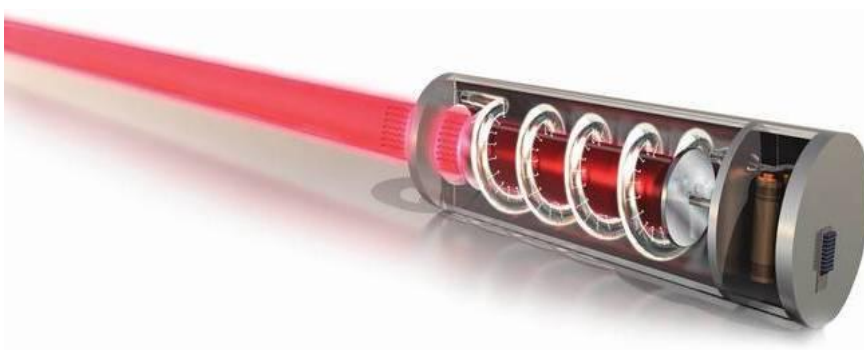
Слика 2.5. Осветљавање кристала блиц лампом и побуђивање јона хрома до инверзне насељености, долази до емитовања фотона [2]



Слика 2.6. Спонтана и стимулирана емисија светлости од стране побуђених јона хрома доводи до повећања броја фотона. Део фотона се разилази на све стране, а други део започиње стимулисану емисију у свим правцима [2]



Слика 2.7. Вишеструка ланчана реакција, односно вишеструко ланчано разбијање атома и молекула. Фотони излазе кроз предње стакло [2]



Слика 2.8. Ласер односно ласерски снап [2]

2.3 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 у 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 [3].

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. Степен монохроматичности за неку спектралну линију са таласном дужином λ_0 одређује се изразом [3]:

$$\mu = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$$

где је:

$\Delta\lambda$ - ширина спектра

Монохроматичност је уско повезана са кохерентношћу снопа ласерских зрака (фаза и амплитуда електромагнетних осцилација једнаке су или је разлика међу њима константна). Високи степен кохеренције осигурава сам механизам стимулисане емисије.

Дивергенција (разилажење) снопа ласерских зрака одређује се из израза [3]:

$$\theta = 1,22 \frac{\lambda}{d}$$

Где је:

d - пречник ласерског материјала (активне средине)

λ - таласна дужина зрачења

Дивергенција утиче на пречник фокусираног снопа ласерских зрака, а стога и на максималну густину снаге која се може добити при фокусирању.

Пречник фокусираног снопа ласерских зрака, тј. светлосне мрље на површини обратка је [3]:

$$d_r = 2 \cdot \theta \cdot f_s = 2,44 \frac{\lambda \cdot f_s}{d}$$

где је:

θ - стварни угао дивергенције,

f_s - жижна даљина сочива

Густина снаге у зони обраде, код импулсног ласерског зрачења, дата је изразом [3]:

$$q = \frac{E}{A_f \cdot t_l} = \frac{4E}{\pi d}$$

где је:

E - енергија импулса ласерског зрачења

t_i - трајање импулса зрачења

A_f - површина светлосне мрље

Густина снаге је значајна карактеристика процеса обраде која утиче на карактер разарања(ерозије) материјала под дејством ласерског зрачења. Од густине снаге зависи температура загревања материјала обраде.

Енергија импулса ласерског зрачења је [3]:

$$E = \int_0^{t_i} P_\lambda(\tau) d\tau$$

где је:

$P_l(t)$ - снага ласерског зрачења у моменту t ,

t_i - трајање импулса

Средња снага ласерског зрачења је:

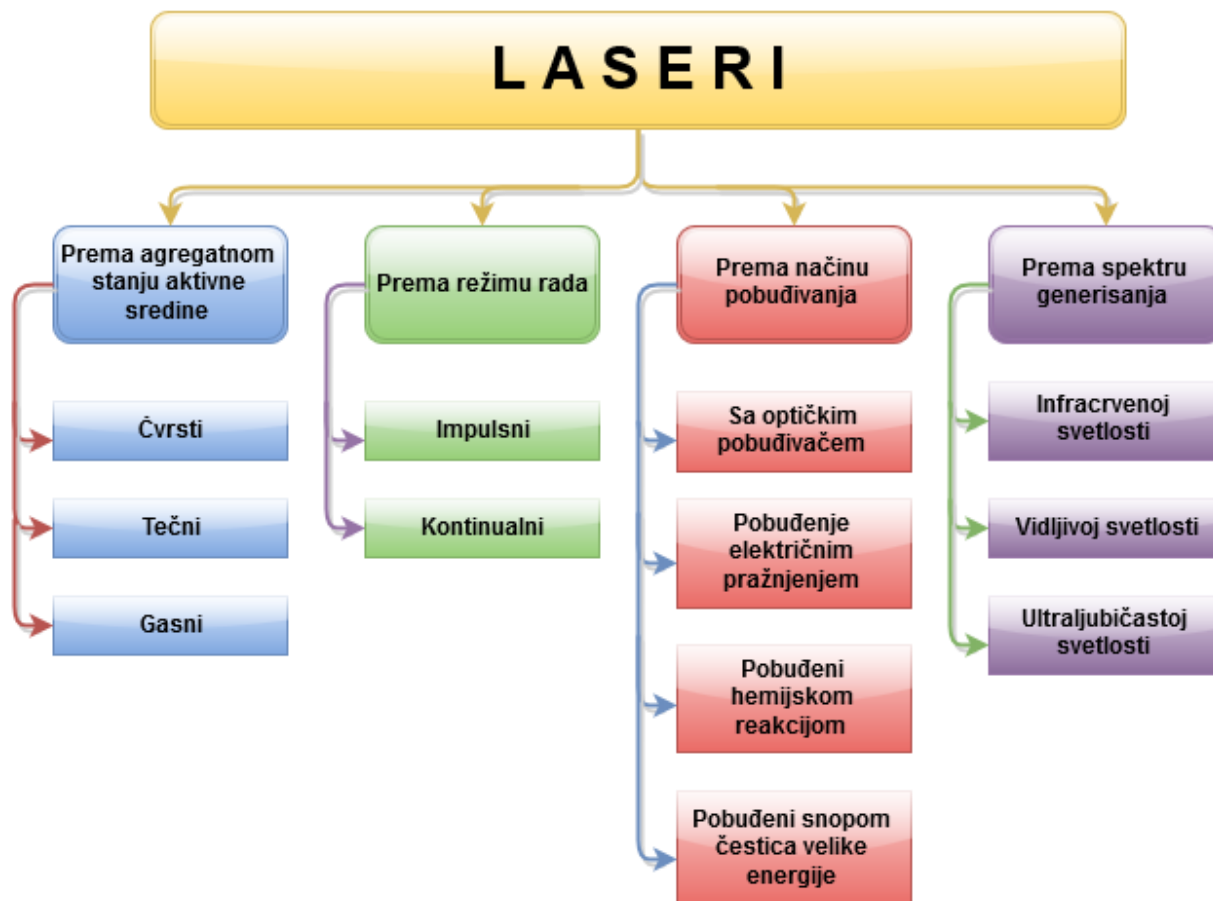
$$P_l = \frac{E}{t_i}$$

Трајање једног импулса зрачења је:

$$t_i = \frac{P_{lsr}}{E}$$

2.4 Врсте ласера

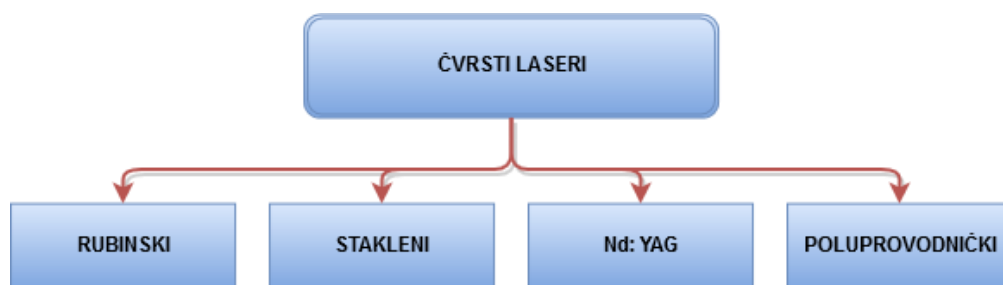
Постоји више критеријума за поделу ласера. На *слици 2.9.* приказана је најчешћа подела. Основна подела ласера је према агрегатном стању.



Слика 2.9. Подела ласера

2.5 Чврсти ласери

Ласери са чврстим телом нашли су примену у обради метала и неметала. 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. На *слици 2.10* је приказана подела чврстих ласера.

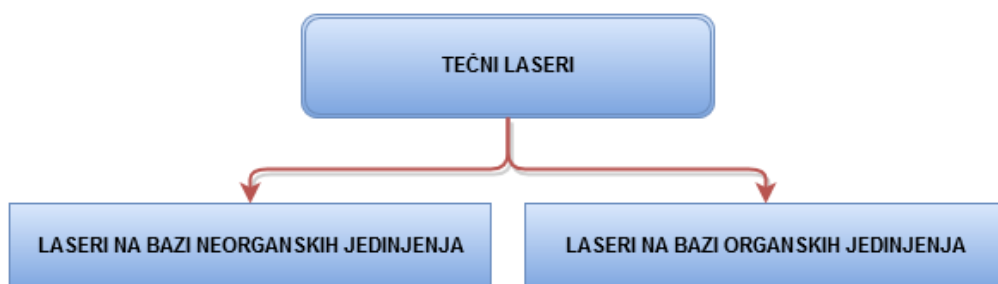


Слика 2.10. Подела чврстих ласера

2.6 Течни ласери

Као активна средина у ласерима на бази течности користе се раствори неорганских једињења ретких елемената и раствори органских боја. Разликује се две врсте ласера на бази течности (слика 2.11):

- ласери на бази неорганских једињења;
- ласери на бази органских једињења.

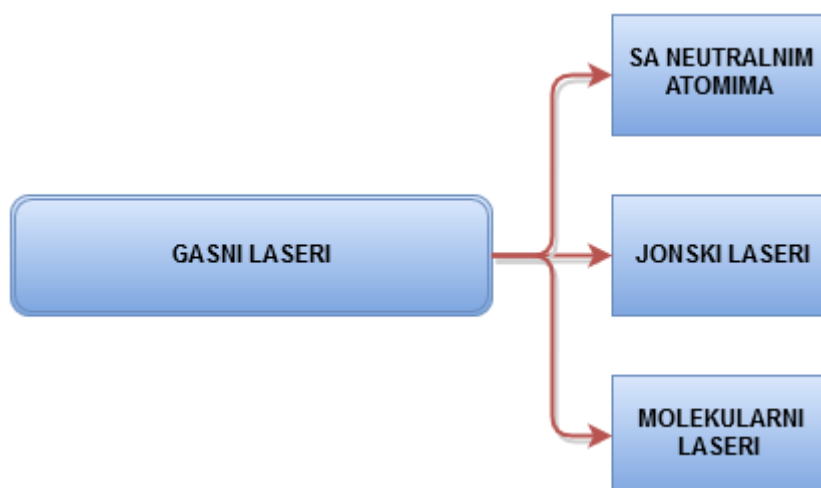


Слика 2.11. Подела течних ласера

2.7 Гасни ласери

Постоји више врста ласера, који се међусобно разликују по врсти гаса који образује активну средину, те по начину остваривања средине са инверзном насељеношћу. У односу на остала тела гасови имају тачно одређене енергетске нивое појединих атома или молекула, па зато постоји низ могућих прелаза са нивоа на нивоу 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. У пракси разликујемо три типа ласера на бази пражњења гасова (слика 2.12):

- ласере са неутралним атомима;
- јонске ласере;
- молекуларне ласере.



Слика 2.12. Подела гасних ласера

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

Један од најпримењенијих ласера је CO_2 ласер, због свеје ефикасности која је знатно већа него код других типова ласера.

2.8 CO_2 ласер

Структура CO_2 ласера је слична структури хелијум-неонских ласера. Тело CO_2 ласера се састоји од стаклене цеви која је испуњена смешом гасова (угљен диоксида, хелијума, азота и евентуално још неких гасова), при чему активну средину чине молекули CO_2 . На крајевима цеви се налазе два паралелна огледала која рефлектују сноп ласера и тако формирају резонатор. У цеви се налазе и електроде на које је прикључен високи напон.

Висок напон производи велику количину брзих електрона у цеви, који својим сударима предају енергију молекулима гаса. Молекул азота у побуђеном стању не може предати своју енергију емисијом фотона јер нема диполни момент, а његове вибрације не показују временску промену диполног момента. Због тога су побуђена вибрацијска стања азота метастабилна. Сударима, молекул азота предаје енергију молекулима CO_2 . Енергија вибрације молекула азота је приближно једнака енергији антисиметричног истезања молекула угљен-диоксида.

CO_2 ласери се одликују високом монохроматичношћу и великим коефицијентом корисног дејства. Ласерски сноп има таласну дужину светлости $\lambda = 10.6 \mu\text{m}$, која је десет пута већа од стаклених и YAG-ласера. Ови ласери могу да раде у импулсном и континуалном режиму, а као индустријски ласери имају снагу и до 15 kW. CO_2 ласерима може да се врши бушење, сечење, заваривање, маркирање, термичка обрада на различитим материјалима, наношење тврдох превоја итд. [3].

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, CO_2 ласери се деле на [3]:

- ласери са дифузним хлађењем и
- ласери са конвенционалним хлађењем.

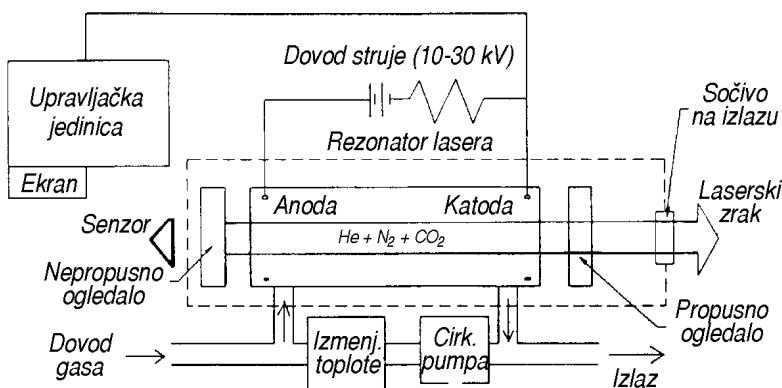
При дифузно хлађењу, гасна смеша се хлади хлађењем ласерског тела, а при конвенционалном хлађењу, изменом гасне смеше у ласерском телу а потом њеним хлађењем [3].

Према начину протока гасне смеше низ оптички резонатор и према правцу електричног пражњења низ гасни флуид, разликују се више врста CO_2 ласера [3]:

- ласери са аксијалним електричним пражњењем и аксијалним протоком гаса,
- ласери са аксијалним електричним пражњењем и аксијалним брзим протоком гаса,
- ласери са трансферзалним електричним пражњењем и трансферзалним протоком гаса и
- ласери са трансферзалним електричним пражњењем и трансферзалним протоком гаса, са претходном јонизацијом гаса.

Енергија протока гаса, неопходна за процес електричног пражњења, је знатно већа од потребне енергије. Једна од ефективних метода за решавање овог проблема је да се изврши претходна јонизација гаса, а самим тим да се смањи напон електричног пражњења [3].

Ефикасност CO_2 ласера је знатно изнад оне која се креће код других типова ласера. Ови ласери могу да емитују велике снаге. За постизање великих снага израђују се ласери великих дужина. На слици 2.13 приказана је принципијелна шема CO_2 ласера [3].



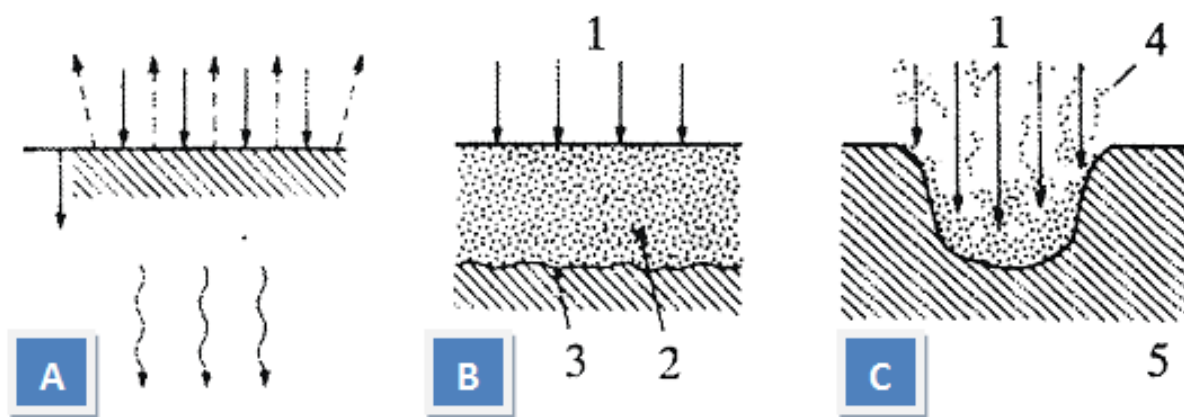
Слика 2.13. Принципијелна шема CO_2 ласера [3]

2.9 Принцип ласерске обраде

При судару ласерског снопа са непрозирним чврстим телом, на његовој површини и у подповршинским слојевима (на одређеној дубини) се одигравају различити физички процеси. Под његовим утицајем долази до интензивног површинског загревања материјала предмета обраде, топљења и испаравања материјала предмета обраде. Стога се, дејство ласерског снопа на материјал предмета обраде, може поделити у неколико карактеристичних фаза:

- рефлексија (одбијање) ласерског снопа од површине,
- апсорпција ласерског зрачења по површинским слојевима предмета обраде и трансформација фотонске енергије у топлотну,
- загревање озрачене површине, са растапањем и испаравањем површинских слојева,
- уклањање продуката разарања и
- хлађење површине материјала предмета обраде, по престанку дејства ласерског зрачења.

Поред наведеног, истовремено се одвијају и други процеси (хемијски процеси и фазна трансформација), који битно утичу на карактер дејства ласерског зрачења. Део ласерског снопа што пада на површину предмета обраде, апсорбује се у унутрашњост материјала на одређеној дубини, а део се одбија (рефлектује) од површине (слика 2.14).



Слика 2.14. Интеракција ласерских зрака са обрађиваним материјалом

а) рефлексија и апсорпција, б) топљење, ц) испаравање

1 - ласерски зраци, 2 - истопљени материјал, 3 - гранична зона између чврстог и истопљеног материјала, 4 - одношење материјала, 5 - предмет обраде

Количина ласерског снопа која се одбија, зависи од таласне дужине светлости, густине снаге ласерског зрачења, топлотне проводљивости материјала предмета обраде, специфичне енергије потребне за одређену обраду итд.

У одређеним случајевима, висока рефлексија на многе материјале при одређеној таласној дужини ласерског зрачења, доводи до тога да је материјал непогодан за обраду ласером.

У *табели 2.1* дате су вредности коефицијента рефлексије за различите материјале и различите таласне дужине таласног зрачења.

Таласна дужина ласерског зрачења	Коефицијент рефлексије, R						
	Au	Cu	Ag	Al	Cr	Fe	Ni
0.415	0.415	0.437	0.952	0.85	-	-	0.597
0.930	0.930	0.831	0.961	0.82	0.555	0.575	0.676
1.06	0.981	0.901	0.964	0.73	0.57	0.65	0.741
10.6	0.975	0.948	0.989	0.97	0.97	-	0.941

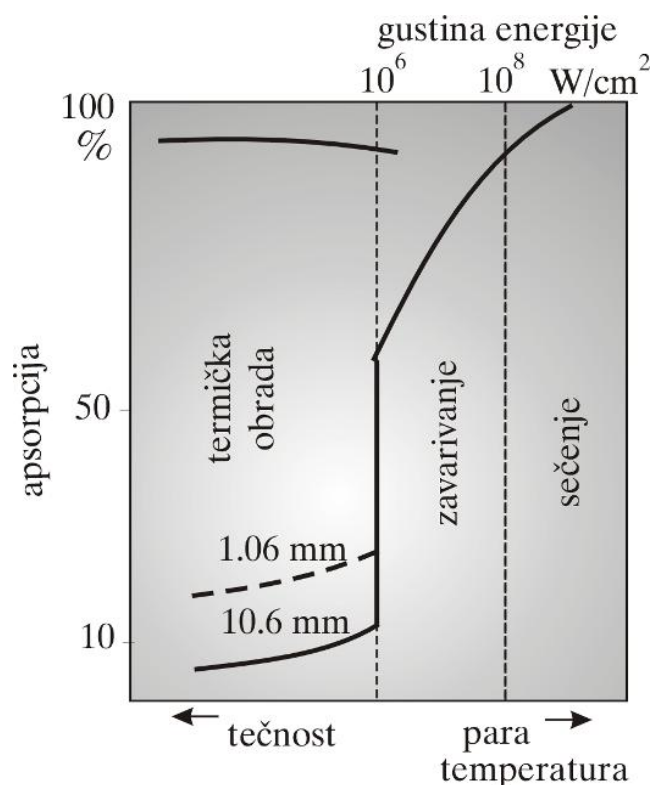
Табела 2.1. Вредности коефицијента рефлексије за различите материјале и различите таласне дужине таласног зрачења [3]

Према *табели 2.1.* за CO₂ ласере ($\lambda=10.6 \mu m$) коефицијент рефлексије **R** је много велики за све наведене метале, тако да се за обраду метала користи само мали део енергије ласерског млаза. Зато, ови ласери су непогодни за обраду метала [3].

Већина ласерских технолошких процеса заснива се на топлотном дејству ласерског зрачења. При разматрању топлотних процеса, који настају у материјалу под дејством ласерског зрачења, неопходно је познавати карактеристике као што су [3]:

- густина снаге ласерског зрачења **q**,
- просторна расподела густине снаге **q_r**,
- време трајања импулса **t_i**,
- таласна дужина ласерског зрачења **λ**,
- услови фокусирања,
- дубина продирања ласерског импулс у материјал **x**,
- апсорбовани део ласерског зрачења **α=1-R**.
- рефлексија ласерског зрачења **R** итд.

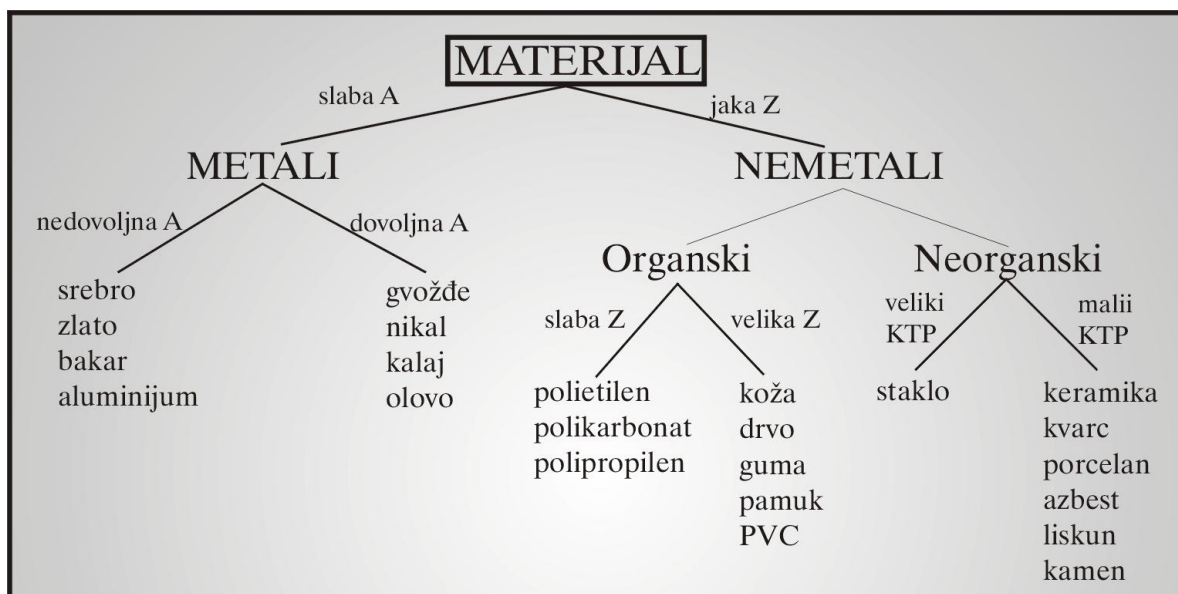
Обично се користе два различита модела расподеле густине снаге ласерског зрачења: Гаусова и равномерна.



Слика 2.15. Зависност коефицијента апсорпције од температуре на површини метала [3]

Битан утицај на коефицијент рефлексије има и густина ласерског млаза. Са повећањем густине од 10^7 - 10^8 W/cm^2 за већи број метала коефицијент рефлексије се значајно повећава. Повећање густине ласерског млаза изнад 10^{10} W/cm^2 , доводи до знатног смањења коефицијента рефлексије, у поређењу са временом датим у *табели 2.1*.

Карактеристично је да коефицијент апсорпције и рефлексије, са једне стране, зависе од карактеристика извора ласерског зрачења и оптичког система, а са друге, од особина обрађиваног материјала (слика 2.16). Апсорпција зависи и од стања површине предмета обраде (слика 2.15), параметра храпавости, предходне обраде, нечистоће, оксидних превлака, итд. као и од режима обраде брзина померања снопа ласерских зрака, димензија светлосне мрље. Повећањем брзине обраде и пречника светлосне мрље, може се битно повећати апсорпциона способност А %. У циљу повећања ефикасности обраде ласером може се вештачки снизити рефлексиона способност повећањем храпавости површине, претходним загревањем или коришћењем разних превлака [3].



Слика 2.16. Утицај врсте материјала на апсорпцију, термичку проводност и запаљивост [3]

На основу коефицијента апсорпције може се одредити минимална снага ласера, потребна за топљење материјала, помоћу израза [3]:

$$P_{Lmin} = \frac{C * k * T_1 * \lambda}{\alpha}$$

Где је:

k - термичка проводност материјала предмета обраде,

T_1 - температура топљења материјала предмета обраде,

λ - таласна дужина ласерског зрачења

α - коефицијент апсорпције и

C - константа блиска јединици која узима у обзир апроксимације.

2.10 Технолошки поступци обраде ласером

Ласерски зрак фокусиран на радни пречник 0.15-0.2 mm постао је универзални алат који може практично да сече готово све познате материјале. За разлику од конвенционалног алата он је без облика, па се не мора специјално наручивати за производњу и не намеће трошкове везане за складиштење, оштрење и подешавање [3].

За правилно одређивање могућности и подручја примене ласерске обраде, врши се класификација са енергетског и технолошког аспекта.

За класификацију обраде са енергетског аспекта, користе се параметри:

- густина снаге,
- трајање дејства ласерског снопа.

Густина снаге је:

$$q_c = \frac{4 \cdot N}{\pi \cdot d_m^2}$$

где је: N , W – снага ласерског снопа

d_m , cm – пречник фокусираног снопа са континуалним дејством, износи:

$$\tau = \frac{d}{V}$$

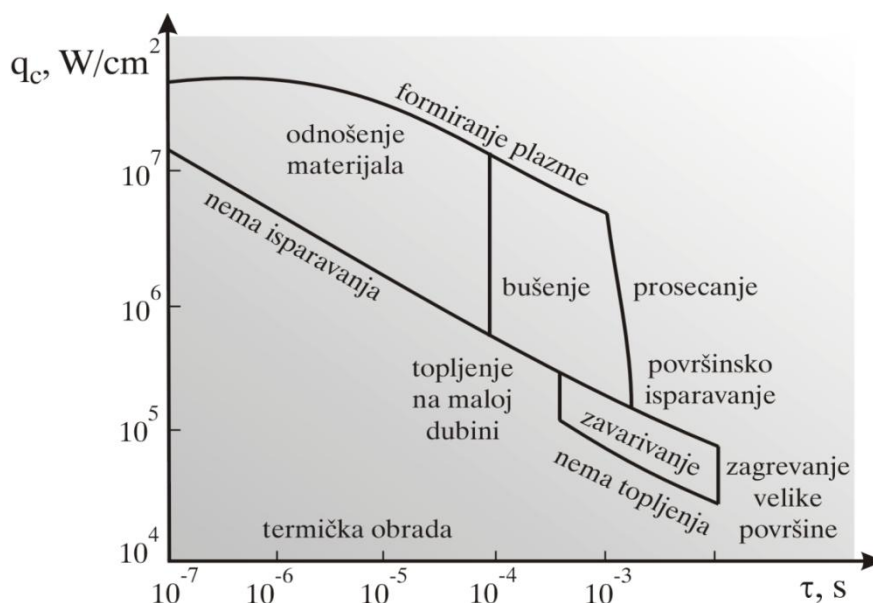
где је:

V , cm/s – брзина померања ласерског снопа по обрађиваној површини

Постоје четири карактеристичне зоне:

- површинско загревање,
- топљење,
- одношење материјала,
- формирање плазме.

На слици 2.17 је приказан дијаграм примене ласерске обраде са енергетског аспекта.



Слика 2.17. Дијаграм примене ласерске обраде са енергетског аспекта [3]

При $q_c = 10^4 - 10^5$, W/cm² и $q_c = 10^{-4} - 10^{-3}$, јавља се само површинско загревање материјала, при чему могу да наступе различите структурне измене површинских слојева.

При $q_c = 10^4 - 10^5$, W/cm² и $q_c = 10^{-5} - 10^{-4}$, могу да се врше технолошки процеси везани за површинско топљење материјала, као на пример: заваривање, сечење и сл.

При $q_c = 10^7 - 10^8$, W/cm² и $q_c = 10^{-5} - 10^{-4}$, могу да се врше технолошке операције везане за одношење материјала: побољшање отвора, сечење, гравирање, итд.

При $q_c > 10^8$, W/cm² и $q_c < 10^{-3}$, не могу да се врше технолошке операције јер формирана плазма, испод површине материјала, практично потпуно апсорбује ласерске зраке и спречава њихово дејство на материјал [3].

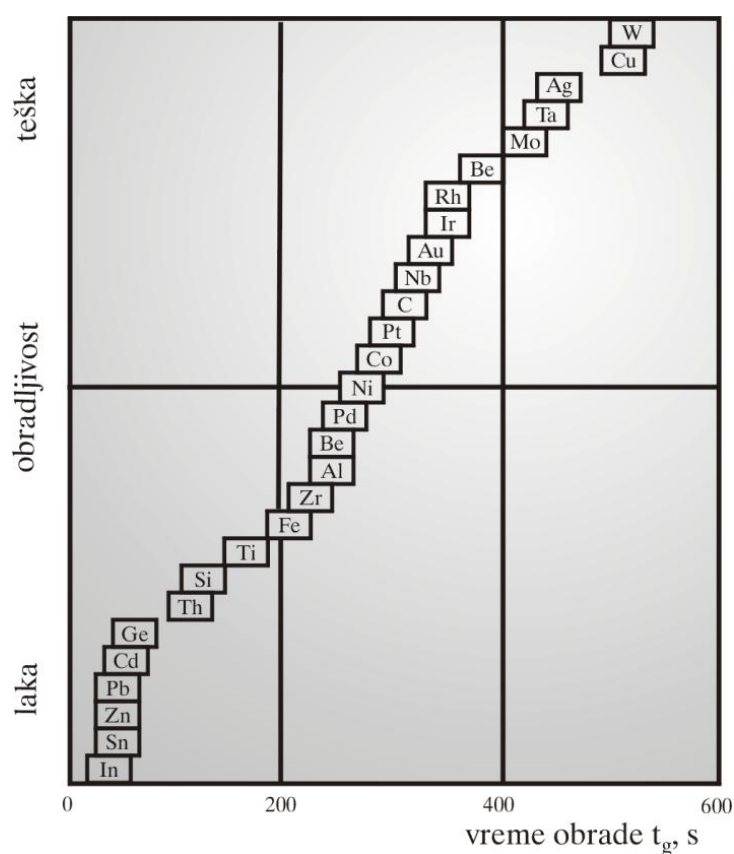
Технолошке карактеристике обраде ласером зависе од врсте технолошке операције. За операције одношења материјала, то су:

- тачност мера (пречник и дубина избушеног отвора, тачност линије реза и сл.);
- квалитет обрађене површине (храпавост обрађене површине, структурне промене на површини и сл.);
- производност обраде (количина скинутог материјала по импулсу, број избушених отвора у јединици времена).

2.11 Обрадљивост материјала ласером

Обрадљивост материјала ласером је различита и зависи од разних својстава материјала, а нарочито од топлотнофизичких својстава (специфични топлотни капацитет, топлотна проводност, топлота топљења и сублимације, температура топљења и испаравања, итд.) [3].

На слици 2.18 дат је приказ обрадљивости метала ласером.



Слика 2.18. Обрадљивост метала ласером [3]

Метали имају бољу обрадљивост уколико имају мању енергију испаравања и слабију топлотну проводљивост. На пример, Cu, Ag, Au (добра топлотна проводност) и W, Ir, Mo (велика енергија испаравања), врло тешко се обрађују ласером. Међутим, Zr, Ti (слаба топлотна проводљивост) и Zn, Pb, Sn (мала енергија испаравања), лако се обрађују ласером [3].

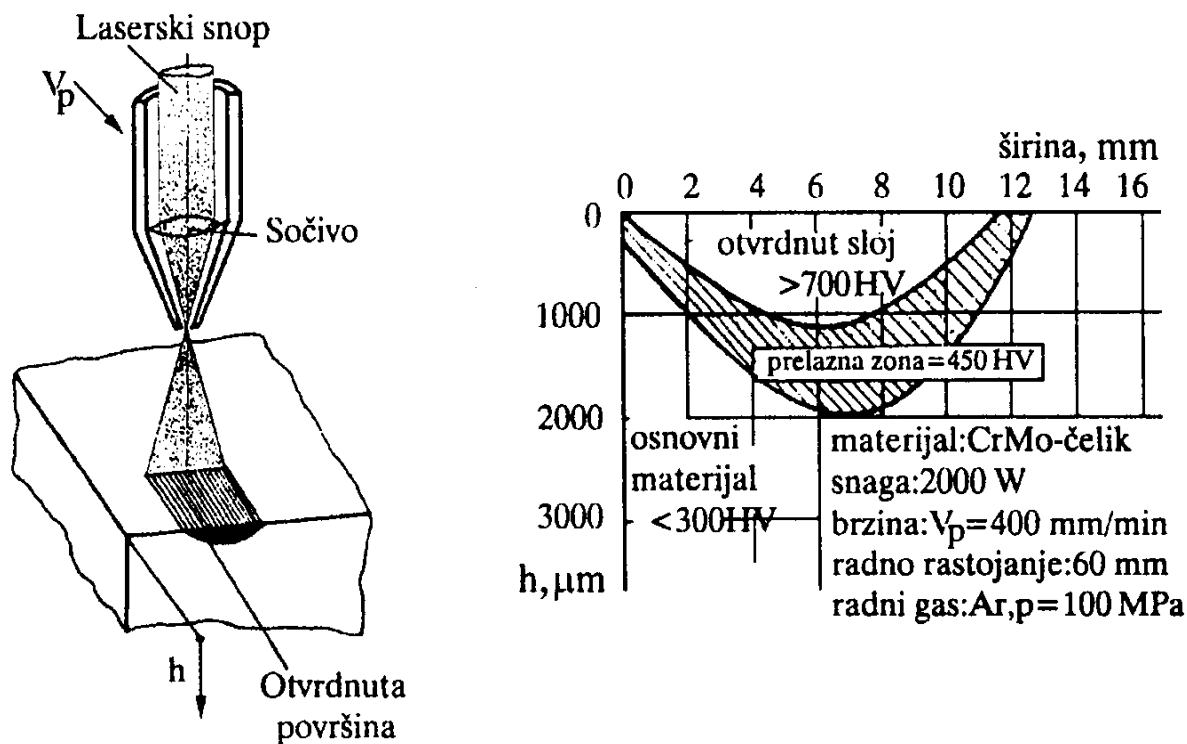
2.12 Отврдњавање ласером

Површинска термичка обрада или отврдњавање применом ласерског снопа (слика 2.19) је могуће како за поједине зоне (посебно изложене хабању) тако и за површине у целини, уз хлађење помоћу различитих средстава (вода, вазду, емулазија, итд.). Карактеристике отврдног слоја (на пример, бочних површина зуба зупчаника и чеоних површина вратила) зависе од карактеристика ласерског снопа и низа дргих параметара, а мењају се са дубином и ширином отврдног слоја [7].

Основни карактеристични параметри отврдњавања ласерским снопом, у односу на индукционо каљење, су значајно повећање тврдоће површинских слојева (3-5 пута), отпорности на хабање и производности обраде за 70 – 90% [7].

Отврдњавање површине метала ласером омогућује низ предности као што су:

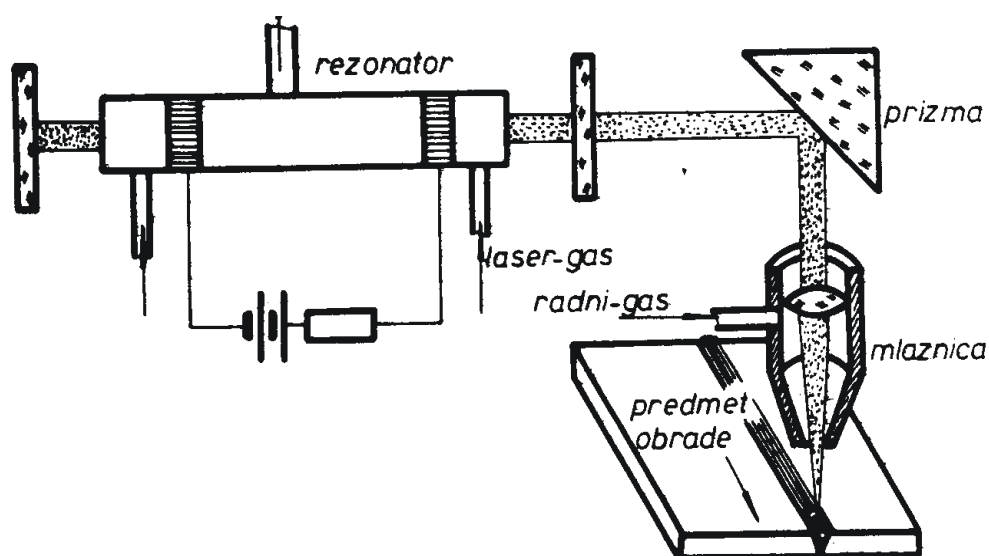
1. отврдњавање површине радних предмета сложене конфигурације које су неприступачне за обраду класичним методама;
2. примена за завршну обраду при чему се постиже висок квалитет обрађене површине;
3. могућност аутоматизације процеса, итд.



Слика 2.19. Принцип отврдњавања ласером и облик и димензије отврдног слоја [3]

2.13 Заваривање ласером

Представља технолошки процес који карактерише локално топљење метала на месту спајања (заваривања) елемената (слика 2.20). Ласерска техника и технологија се све шире примењује за извођење производних операција заваривања јер обезбеђује загревање веома уске зоне у околини шави (што је посебно значајно за заваривање лимова и других малогабаритних делова), непропустљивост спојева на резервоарима ипуњеним различитим течностима, микрозаваривање код микрошема, интегралних микрошема и других елемената микроелектронике, заваривање неметала (стакла, керамике и сл.), итд. [7].



Слика 2.20. Принципијелна шема заваривања ласером [7]

Општи захтев код заваривања ласером је да ласер даје релативно дугачке импулсе у времену од 1-10 ms, са максималном снагом од 10-100 kW. Међутим, снага која одговара укупном интензитету, мора бити довољно мала да се спречи испаравање и одмицање материјала. Трајање импулса мора бити довољно дуго да би се омогућило нижим деловима површине да дођу до тачке топљења, одвођењем топлоте са горњег дела површине.

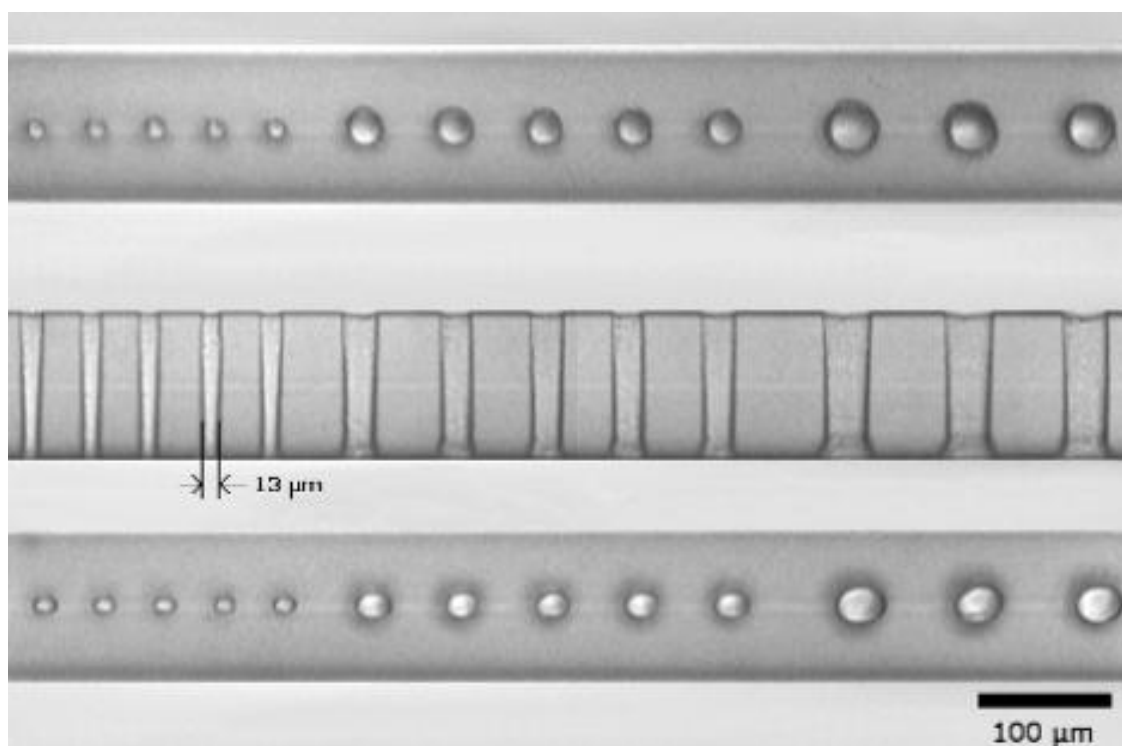
CO₂ ласери се не користе код заваривања због великог коефицијента рефлексије, који се за већину материјала креће од 94-98 % на собној температури, за таласну дужину ласера од 10.6 μ m. Индустрijски CO₂ ласери снаге неколико вати, могу се користити за заваривање танких метала дебљине 1 mm (Al и Cu легуре). Међутим, такви материјали могу се заваривати економичније класичним методама.

2.14 Бушење ласером

Примена ласера у производним операцијама стругања, глодања, бушења, израде канала и жлебова, итд. је посебно ефективна код обраде скупочених материјала и елемената микроелектронике. То из разлога што обрада ласером обезбеђује, на пример, бушење отвора малих пречника (испод 0,1mm, у било ком материјалу независно од тврдоће и сл.) и обраду материјала различитих карактеристика и намена [7].

Експериментално је утврђено да се дно отвора формира испаравањем материјала, а бокови топљењем и истискивањем растопљеног материјала из отвора. Геометријски облик отвора зависи од места фокусирања ласерског снопа, док је дубина отвора директна функција енергије ласерског снопа [7].

С обзиром да се ласерси сноп може компјутерски наводити, облици и положаји рупа и отвора, њихове димензије и густоћа у материјалу могу се унапред планирати, што доводи до невероватне прецизности, па је овом методом могуће бушење на микрометарској скали (слика 2.21).



Слика 2.21. Микрометарско бушење [1]

2.15 Сечење ласером

Сечење и димензионална обрада представља најчешће коришћене производне операције изведене применом ласера. Сам принцип обраде заснива се на локалном топљењу метала и одношењу продуката обраде под дејством силе теже, гасне струје радног гаса или струје снопа светлости ласера [7].

Ефекат сечења и брзина уклањања продуката обраде се могу повећати допунским струјањем радног гаса. Тако, на пример, увођењем кисеоника у зону обраде обезбеђује се повећање обрадљивости материјала, снижење површинских напона растопљеног метала, удаљење растопљених оскида итд. Брзина сечења зависи од снаге ласерског снопа, врсте материјала предмета обраде, врсте радног гаса, дебљине предмета обраде, протока и притиска радног гаса, врсте ласерског уредјаја и сл. [7].

Основне карактеристике сечења ласером од којих зависе технолошке карактеристике обраде (продуктивност, тачност и квалитет обраде, као и дубина и ширина реза), су дефинисане следећим параметрима:

- снага импулса P , W ,
- густина ласерског снопа q_c , W/cm^2 ,
- притисак гаса p , bar ,
- врста гаса,
- величина фокусне тачке δ , mm ,
- брзина сечења V , mm/s ,
- тачност померања ласерског снопа по предвиђеној контури и др.

Ласер производи кохерентан светлосни сноп ласерских зрака великог интензитета енергије кога карактерише правост и мала дисперзија. У интеракцији са предметом обраде, ако је енергија већа од способности материјала предмета обраде да рефлектује, пренесе или распе ову енергију, долази до апсорпције светлосне енергије и њеног претварања у топлотну енергију, односно до пораста температуре на озраченом месту. При знатном порасту температуре долази до појаве локалног топљења или испаравања материјала, што зависи од интензитета генерисане топлоте и доводи до стварања рупе или отвора у предмету обраде. Померањем ласерског зрака или предмета обраде настаје процес ласерског сечења (слика 2.22) [3].



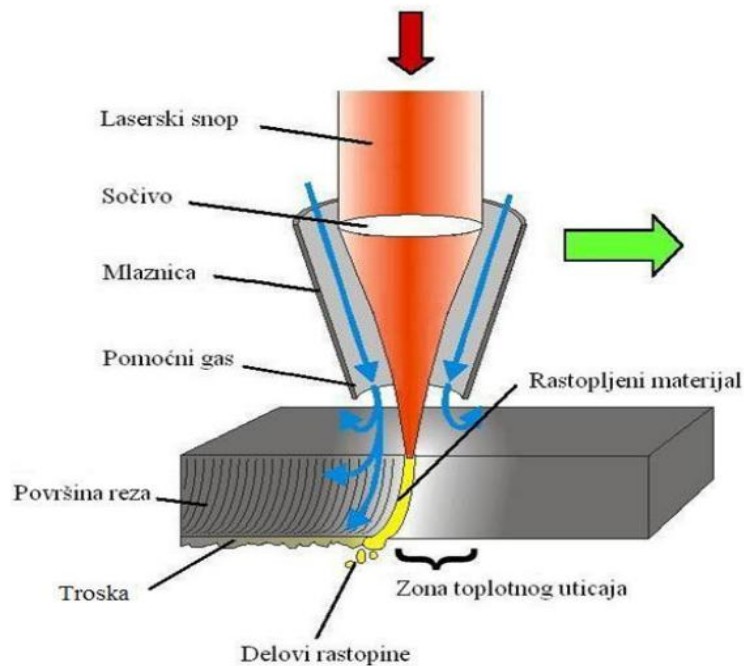
Слика 2.22. Сечење ласером [4]

У много случајева нефокусирани сноп ласерских зрака индустријских ласера веће снаге, нема адекватну енергију да учини нешто више сем да загреје озрачену површину материјала предмета обраде. Међутим, ако се сноп усмери кроз сочиво за фокусирање, енергија је концентрисана на површину пречника мањег од 0.25 mm , што производи снагу од преко 10^6 W , способну да истопи многе материјале. Ласерске машине поред топлоте добијене фокусирањем снопа ласерских зрака користе и помоћни гас који има задатак да одстрани истопљени материјал из зоне сечења, да заштити сочива од испарења и помогне у процесу сагоревања [3].

Са технолошке тачке гледишта, процеси сечења ласером (слика 2.23) доводе до пуног изражаја термичке ефекте (загревање, топљење, испаравање, термичко распадање и ерозија), који настају ласерским зрачењем.

Почетак сечења ласером условљен је спајањем ласерског зрачења са радним предметом. Феноменологија сечења ласером је знатно сложена. Поступак се заснива на

озрачењу радног предмета покретним, континуалним или импулсним снопом ласерских зрака, са локалним развојем такве густине снаге q_c , W/cm^2 , која је у стању да произведе најповољније термофизичке, термохемијске, хидродинамичке, гасодинамичке и ерозивне процесе за одвајање материјала [3].



Слика 2.23. Шематски приказ сечења ласером [5]

Методe сечења ласером

Постоје три методе сечења ласером:

1. Са потпуним одстрањивање материјала дуж линије раздвајања (испаривањем и, што је чешћи случај, топљењем и ограниченим испаривањем);
2. Са делимичним одстрањивањем материјала дуж линије раздвајања (испаривањем материјала до одређене дубине и накнадним одвајањем материјала механичким дејством);
3. Без одстрањивања материјала дуж линије раздвајања (контролисаним ломљењем у чврстом стању, под дејством и у току озрачења ласером или контролисаним ломљењем у чврстом стању, под дејством механичке силе, примењене по озрачењу ласером).

За сечење метала се најчешће користи реактиван помоћни гас O_2 , док се за сечење неметала користи неутрални гас N_2 или инертни гас Ar [3].

Поступци сечења, засновани на испаривању материјала предмета обраде, траже велику густину снаге, односно велику густину енергије. Остварују се по правилу, импулсним зрачењем. Поступак сечења ласером уз коришћење помоћног гаса врши се по правилу, континуалним зрачењем и потпомогнут је топлотом која се развија у

хемијској реакцији између O_2 и материјала предмета обраде (у случају реактивног гаса), односно ерозионим деловањем млаза гаса у зони сечења (у случају неутралног и инертног гаса), што битно смањује потребну енергију за процес сечења [3].

Метода 2. користи се за сечење металних слојева на керамичким подлогама и полимерних слојева на металним подлогама. Поступак захтева додатну механичку енергију, која врши накнадно сламање материјала када је зрачење ласером завршено.

Поступци 2. и 3. примењују се у случају кртих материјала - **стакло, полупроводници, керамички материјали**.

Битан показатељ сечења ласером је биланс снаге у зони реза. Биланс снаге код сечења ласером дат је изразом:

$$P_L = P_R + P_O + P_P + P_S$$

Где су:

P_L - снага ласерског зрачења,

P_R - снага утрошена на стварање растопине,

P_O - снага одведена преко растопине и помоћног гаса,

P_P - изгубљена снага услед провођења кроз предмет обраде,

P_S - снага добијена егзотермном реакцијом.

Део снаге ласерског снопа губи се одвођењем кроз предмет обраде и преко растопине и помоћног гаса, али се највећи део користи за стварање растопине на месту реза. Услед загревања, у зони реза, долази до отврдњавања површинског слоја реза. То има знатан утицај на квалитет реза [3].

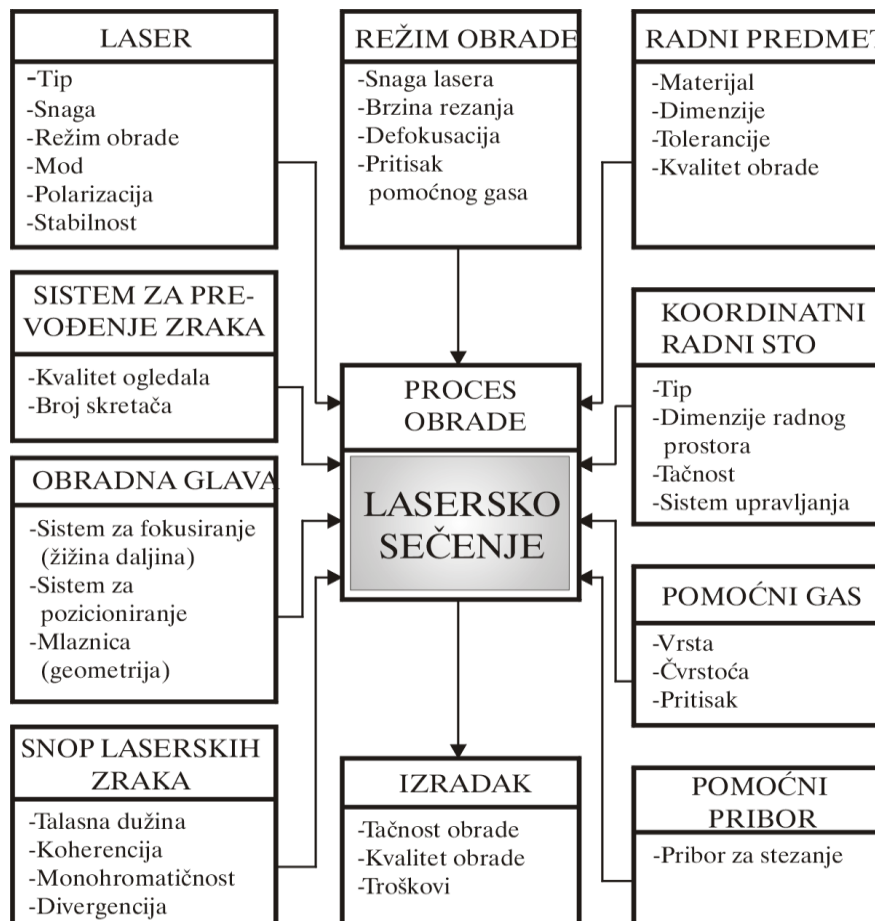
Фактори процеса сечења ласером

На процес ласерског сечења утичу:

- ласер (тип, величина, снага, режим рада, мод, поларизација), који је извор зрачења;
- сноп ласерских зрака (таласна дужина, кохеренција, монохроматичност, дивергенција), који представља алат у процесу обраде;
- обрадна глава (систем за фокусирање, млазница, сензор за позиционирање);
- координатни радни сто (тип, величина, тачност, систем управљања);
- радни предмет (материјал, облик, димензије, толеранције, квалитет обраде);

- прибор за стезање;
- режими обраде (снага ласера, брзина резања, положај жиже у односу на површину предмета обраде, притисак помоћног гаса) и
- околина (радни услови: чистоћа, вибрације).

На слици 2.24 су приказани фактори који имају утицај на процес ласерског сечења.



Слика 2.24. Фактори који утичу на процес ласерског сечења [3]

Предности и недостаци сечења ласером

Ласерско сечење има предности у односу на класичне поступке сечења материјала:

- Врло јака топлотна енергија снопа ласерских зрака, сконцентрисана на екстремно малу површину, омогућава:
 - узан и раван рез;
 - минимални термички утицај на структуру материјала у зони реза;
 - минимални термички утицај на деформисање предмета обраде.

- b)** Ласерски сноп представља безконтактни резни алат, што значи:
- нема деловања сила па ни механичких деформација предмета обраде;
 - нема трошења алата па ни потребе за заменом;
 - може да сече материјал без обзира на његову тврдоћу.
- c)** Ласерски сноп је подесан за остваривање високог степена контроле и управљивости и тиме омогућује:
- потпуну аутоматизацију и лаку интеграцију у технолошким системима;
 - неограничену могућност профилисања;
- d)** Смањењем времена обраде и помоћних времена повећава се економичност обраде.
- e)** Применом ласерске технологије повећан је квалитет производње, омогућен развој нових производа и повећана флексибилност производње.

Најважнији ограничавајући фактор за примену ласерске технологије је економски фактор. Ласерска машина за сечења материјала има велику набавну цену која се касније одражава на цену производа [3].

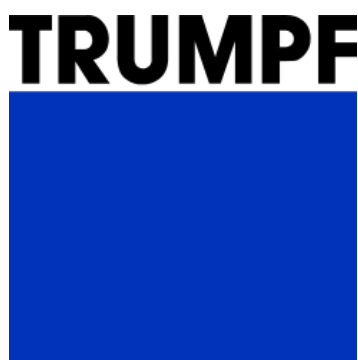
3. TRULASER L4030S (TRUMPF)

3.1 Историја компаније

Trumpf група (слика 3.1) је немачка компанија у породичном власништву са седиштем у Штутгарту. Trumpf је један од највећих светских произвођача алатних машина. Са више од 60 оперативних предузећа, Trumpf група је присутна на свим важнијим светским тржиштима. Производни капацитети се налазе у Кини, Немачкој, Француској, Уједињеном краљевству, Италији, Јапану, САД, Мексику, Аустрији, Пољској, Швајцарској и Чешкој [12].

Trumpf је 1985. године представио свој CO₂ ласер. Ласер TLF 1000 је имао снагу 1kW и то је био први компактни ласерски резонатор са радио-фреквенцијском побудом. Trumpf Lasertechnik GmbH је основан 1988. године [12].

Trumpf ласерска технологија обухвата ласерске системе за заваривање, сечење и површинску обраду тродимензионалних компоненти. Њихови ласери се најчешће користе у аутомобилској индустрији у електроници, машинству, за израду алата и калупа [12].



Слика 3.1. Лого компаније TRUMPF [10]

3.2 Намена машине

TruLaser L4030S (слика 3.2) је CNC уређај за ласерско резање за обраду равних и металних чврстих сировина. Као алат служи ласерски сноп (зрак), који се води преко огледала према глави ласера. Огледала и глава ласера су поређана на покретним деловима, што значи да машина ради са “летећом оптиком”. Капацитивно подешавање висине држи константно размак између врха главе и предмета обраде. Код употребе уређаја за цевно резање, помоћу Trumpf RotoLas опције, могу се обрадити цеви и профили. Уређај није намењен за резање пластике.

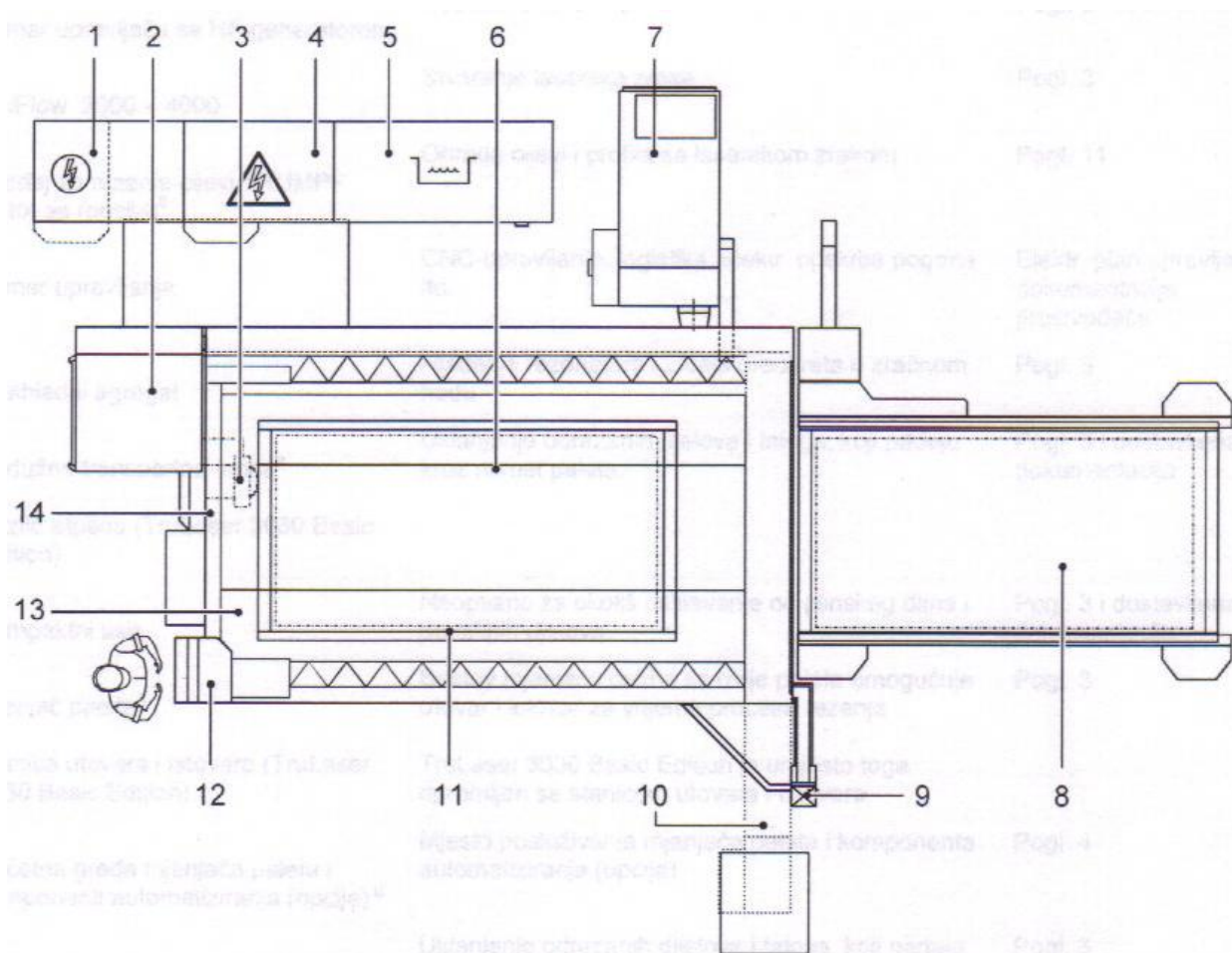
Машина је стандардно опремљена са системом мењача палета. Тај систем мењача палета измењује аутоматски палету обрађеног дела са палетом неодрђеног. Утовар и истовар палета може се паралелно извршити према обради. Кроз то смањује се време обраде на минимум. Утовар палета може се осим тога аутоматизирати помоћу LoadMaster опције.



Слика 3.2. Ласерска машина TruLaser L4030S [9]

3.3 Делови ласерске машине

На слици 3.3 су приказани делови машине *TruLaser L4030S*.



Слика 3.3. Ласерска машина *TruLaser L4030S* [6]

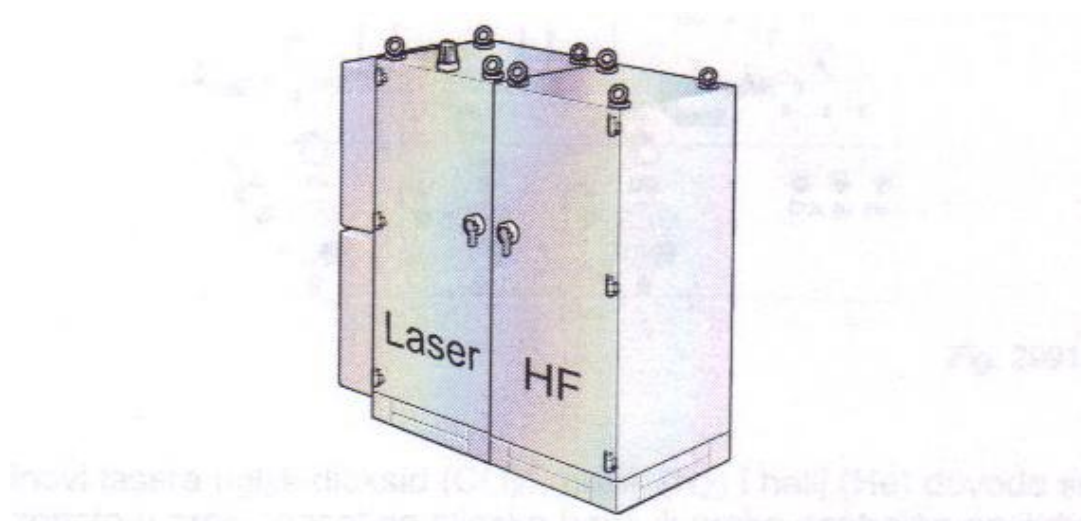
1- Ормар управљача са XF-генератором, 2- TruFlow ласер, 3- Уређај за резање цеви TRUMPF RotoLas, 4- Ормар управљања, 5- Расхладни агрегат, 6- Уздужна транспортна трака, 7- Компактни усис, 8- Мењач палета, 9- Почетна греда за мењач палета, 10- Попречна транспортна трака са отпадним контејнером, 11- Палета, 12- Панел послуживања, 13- Основна машина, 14- Заштитна кабина са вратима

3.4 Управљачка јединица

Управљачка јединица (слика 3.4) садржи на једној страни ласерско управљање као електронику управљања и електронику регулисања за магнетни турбо радијални компресор.

А на другој страни налази се ХF-генератор. Он прозводи високо фреквентну енергију која је потребна за рад ласером.

Бочно на управљачкој јединици налази се додатни орамар за складиштење гаса. Он садржи вакумску пумпу и мешавину гасова.



Слика 3.4. Управљачка јединица [3]

3.5 Управљање машином

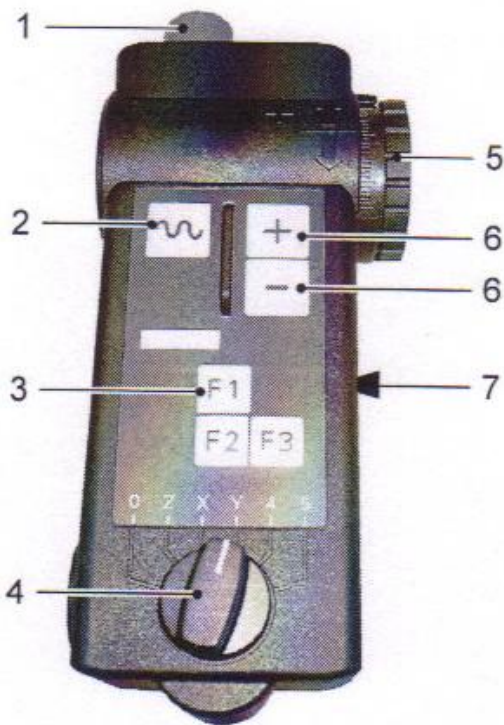
Управљање машином се врши помоћу управљачког терминала који се састоји од екрана, елеманата за управљање машином и нумеричке тастатуре (slika 3.5).



Слика 3.5. Управљачки терминал

1- Елементи за управљање машином, 2- Екран у боји, 3- Нумеричка тастатура

Поред главног постоји и ручни управљачки терминал, који олакшава надгледање и управљање машином (слика 3.6). На њему се налазе тастери за управљање покретним деловима машине као и сигурносни стоп прекидач.

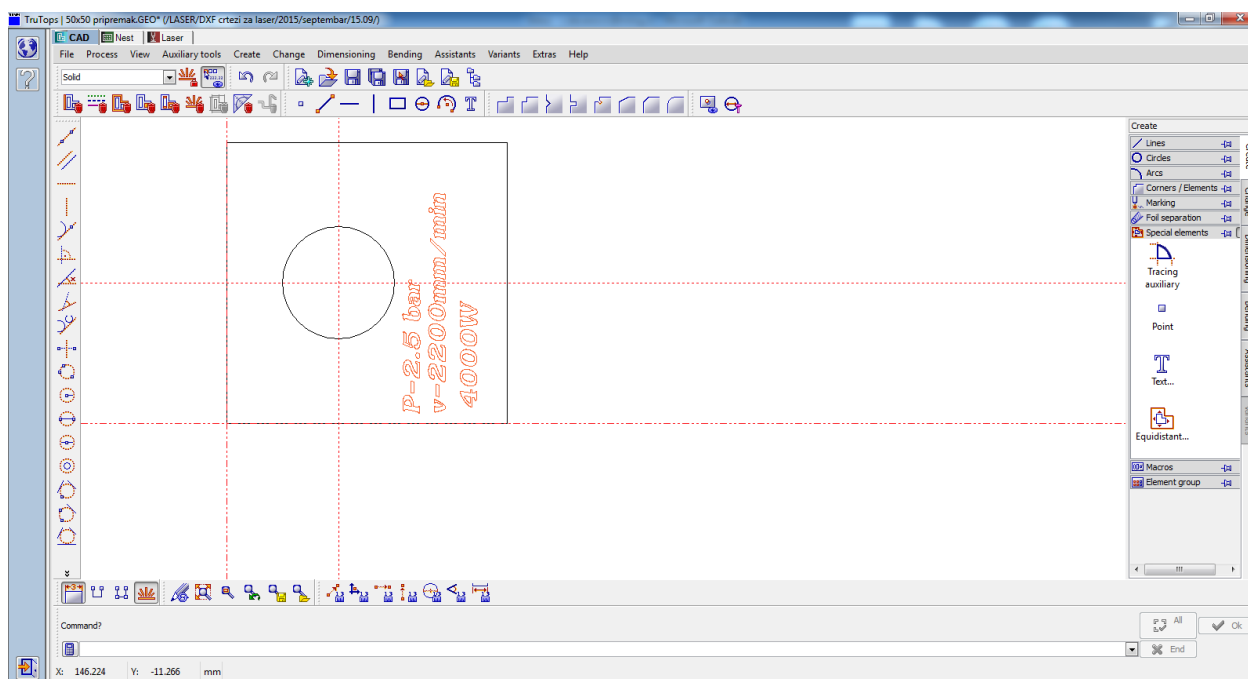


Слика 3.6. Ручни управљачки терминал [3]

1- Сигурносни СТОП прекидач, 2- Дугме за премештање помака, 3- Дугме за спремање, 4- Кружно дугме за избор осовина, 5- Ручни точак, 6- Јог дугме, 7- Прекидач потврде дворучног послуживања

3.6 Кориснички интерфејс

Уз ласерску машину TruLaser L4030S стиже и Trumpf-ов софтверски пакет. Овај програмски пакет представља базу података интегрисану са CAD софтвером тако да омогућава комплетну администрацију комплетне документације потребне за рад на ласеру.

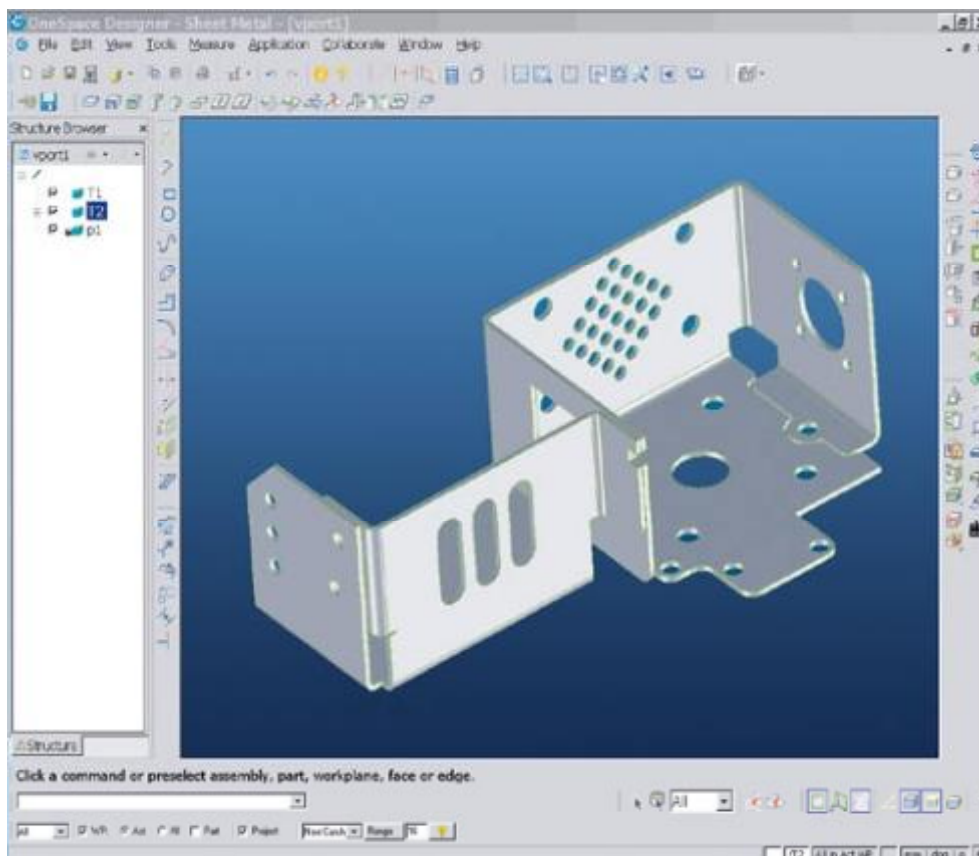


Слика 3.7. TruTops – CAD софтвер

Пројектовање се врши у 2Д окружењу (слика 3.7) уз коришћење свих познатих CAD алата. Овај програм карактеришу и посебне команде везане за машинирање радног комада као што је постављање референтних тачака за почетак и крај процеса сечења, односно улаз и излаз ласерског снопа.

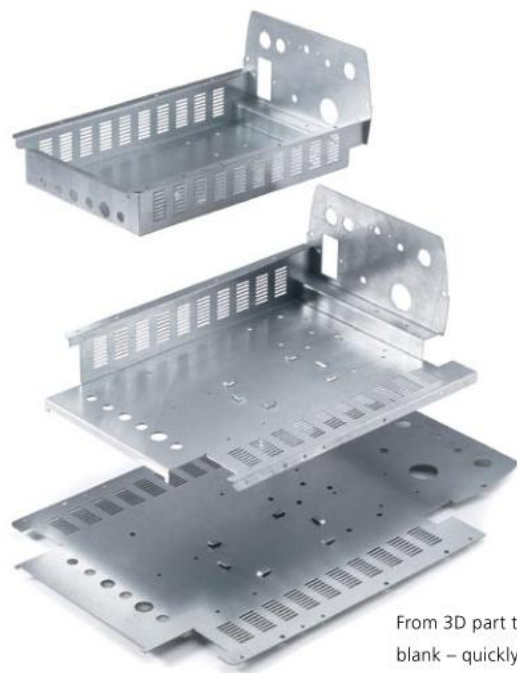
Трумпф софтверски пакет пружа идеалну подршку за обраду лимова. Омогућава брзу и лаку обраду на основу дводимензионалних цртежа и 3Д модела, који могу бити урађени у самом софтверу или увезени из других CAD софтверских пакета као што су CATIA, AutoCAD, ProEngineer, SolidWorks, итд.

TruTops омогућава да тродимензионалне идеје, које смо замислили, лако претворимо у 3Д модел помоћу опције SheetAdvisor. Ова опција омогућава савијање лимова, пробијање отвора, спајање, прављење лукова и савијање лимова (слика 3.8). Ове могућности помажу да се део прикаже онаквим какав би требао да изгелда када буде у потпуности готов.

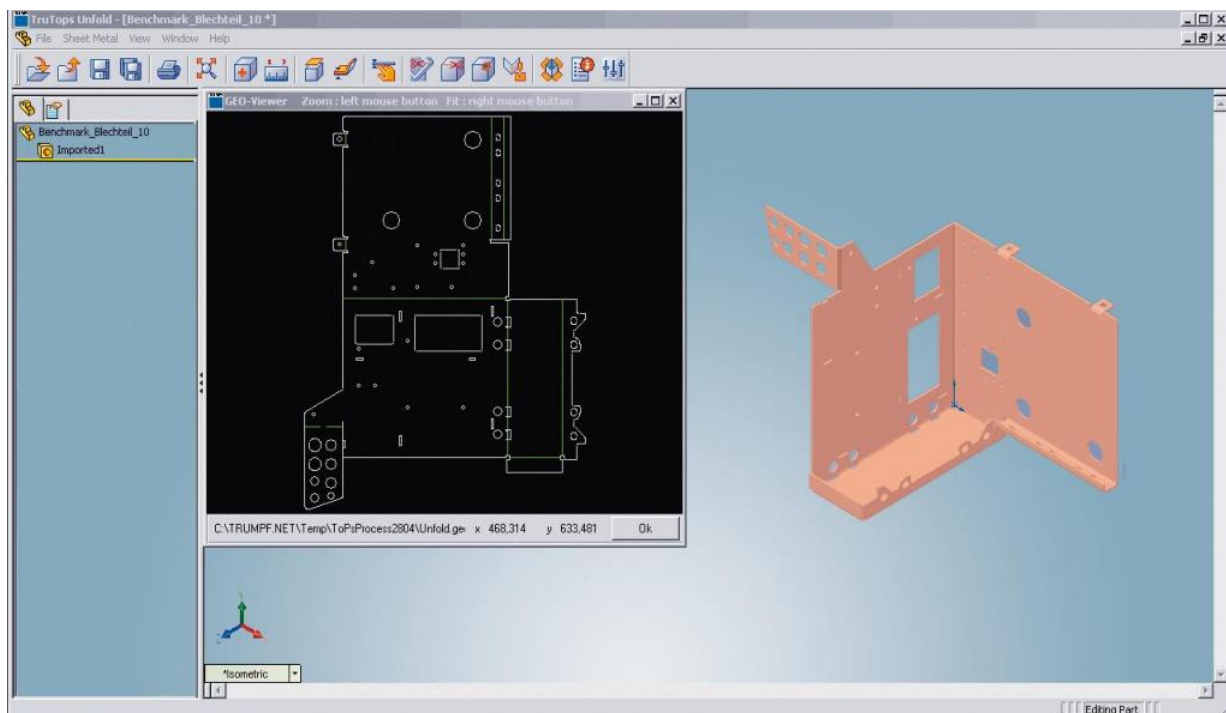


Слика 3.8. СхеетАдвисор [8]

Са опцијом “TruTops unfold” могу се делимично или потпуно расклопити лимови, који су урађени као 3Д, у 2Д формат (слика 3.9), а програм ће их претворити у GEO фајл (слика 3.10). Фајл у себи већ садржи податке потребне за обраду захваљујући интегрисаној бази података.

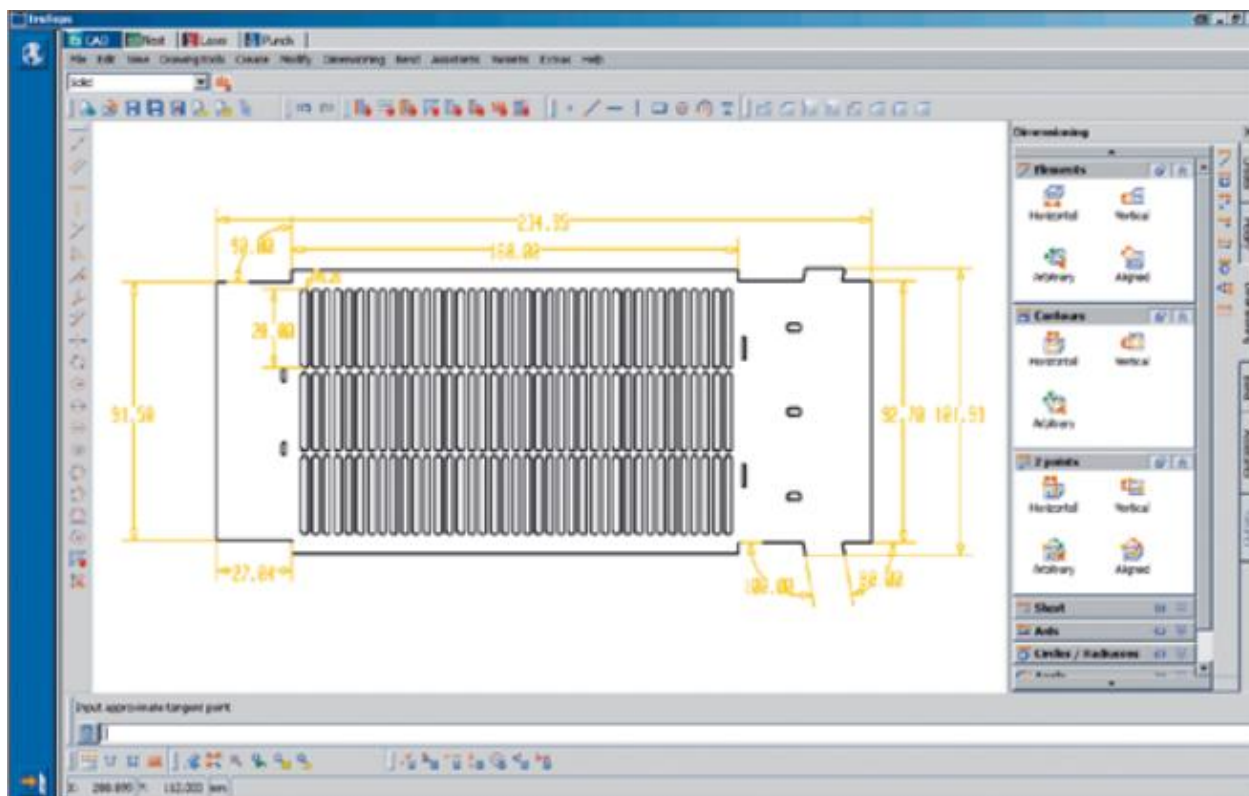


Слика 3.9. Делимично и потпуно расклапање 3Д модела [8]



Слика 3.10. Модел у GEO 2Д формату лево и 3Д облику десно [8]

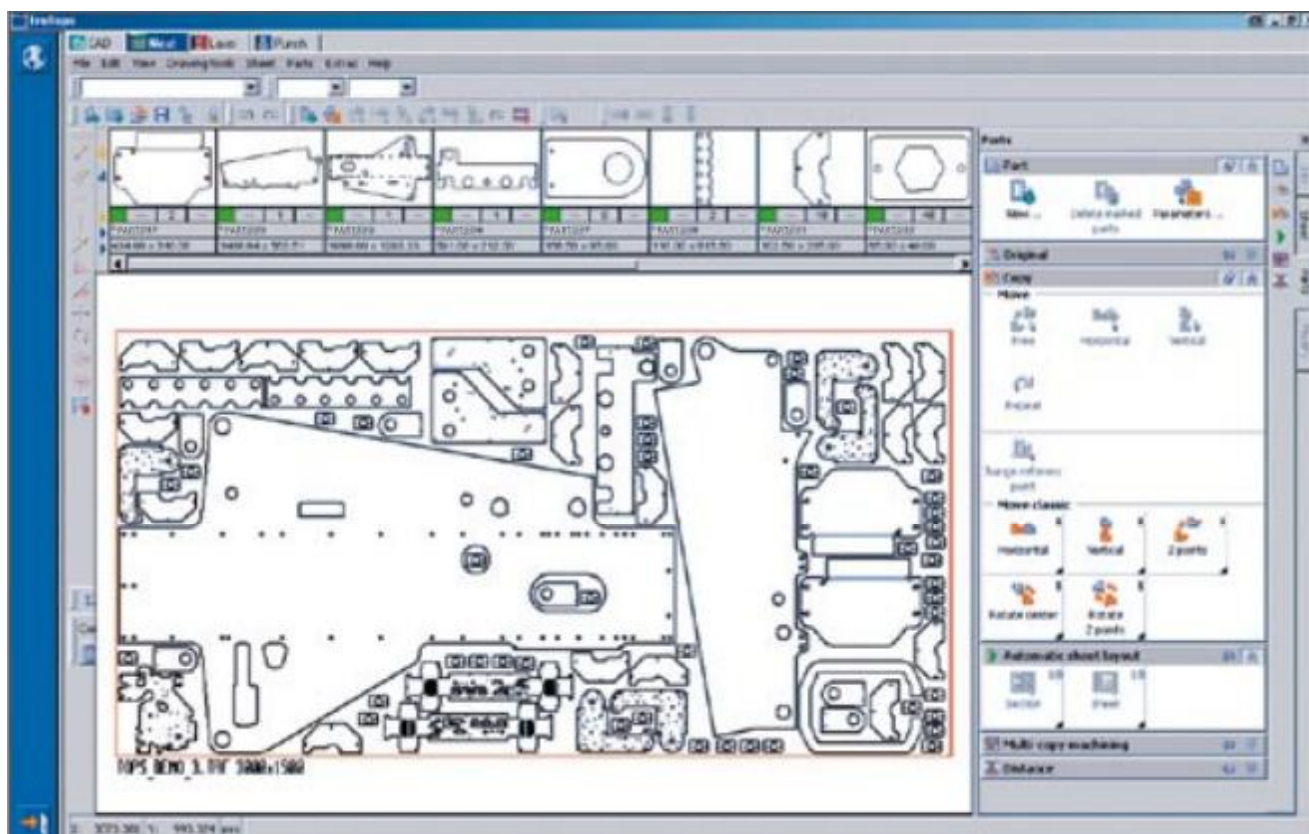
Израда 2Д цртежа за обраду лимова и њихово димензионисање је једноставно и брзо у TruTops CAD-у (слика 3.11). Програм омогућава аутоматско поређење цртежа у односу на димензије. Подаци за обраду лима се додају током израде цртежа.



Слика 3.11. Цртеж у TruTops CAD-у са датим димензијама [8]

Програм нуди велики број формата у које се могу конвертовати увезени фајлови или сачувати фајлови који су урађени у самом програму. Подржани формати су: GEO, DXF, IGES, GRA, MI/GRA+, DSTV, DWG. Све ове формате можемо конвертовати у GEO или DXF формат.

Помоћу “Nesting” модула и различитих опција подешавања, програм ће идеално организовати, распоредити и поставити све делове различитих облика на површину лима (слика 3.12). Ова могућност знатно штеди материјал, а програм такође осигурава да радни предмети не ремете један другог и спречава могући судар. Такође је могуће и сваком делу посебно задати одговарајуће параметре да би се максимално уштедело и време и новац.



Слика 3.12. Расподела делова различитих облика на површини лима [8]

Након што помоћу претходно поменутих опција распоредимо различите делове на површину лима можемо одгледати и симулацију сечења. Помоћу симулације можемо видети путању ласерског снопа и уочити евентуалне грешке које можемо исправити пре реалног сечења и тако спречити могућа оштећења делова.

3.7 Глава ласера (глава за сечење)

Ласерска глава (слика 3.13) је централни елемент уређаја. Битни саставни делови ласерске главе су цев за прихват сочива са оптичким деловима и кућиште главе ласера са дизном сечења, регулисањем размака и завртњима за подешавање.

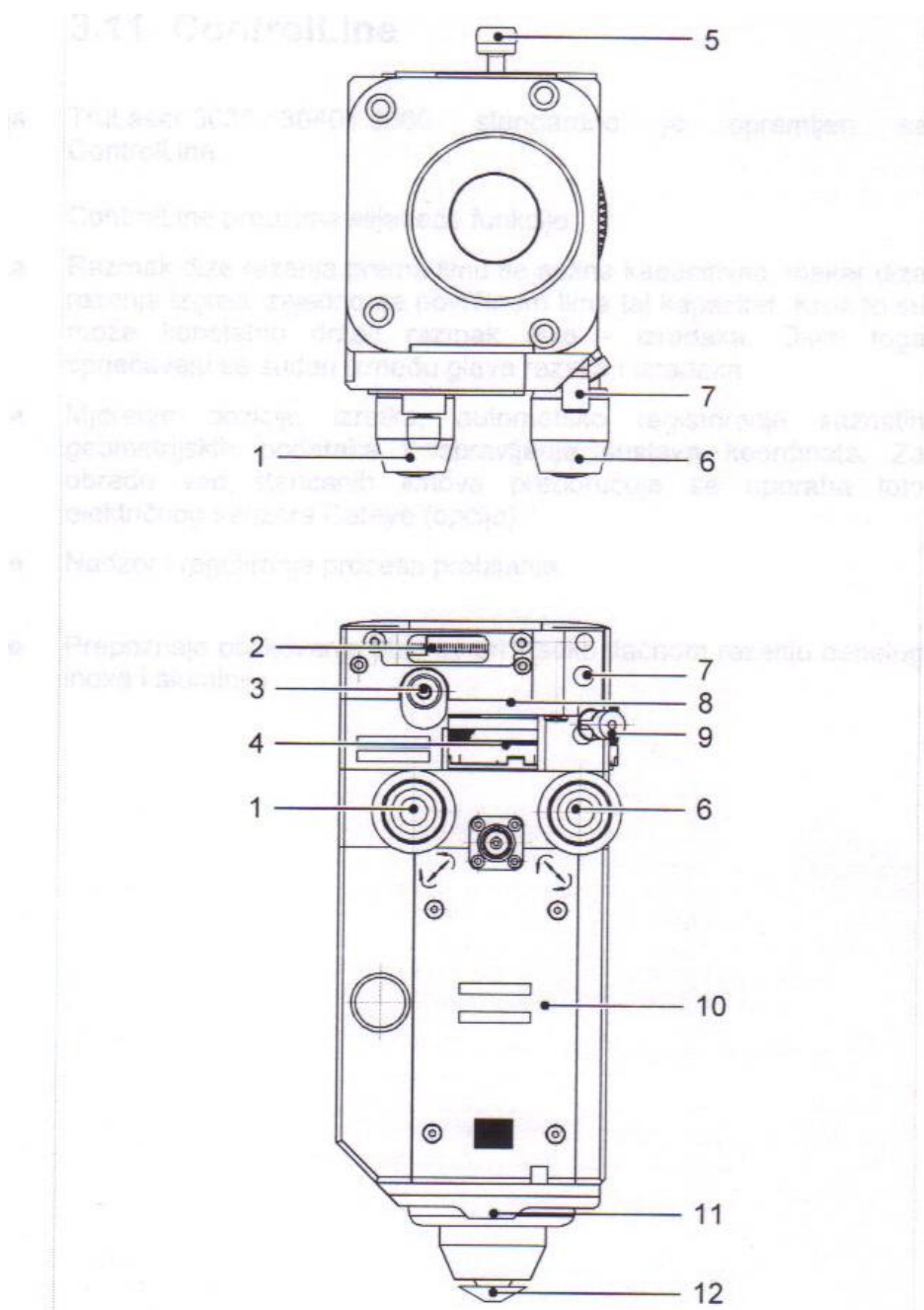
Сочиво ZnSe (Цинк селенид) прекида паралелне ласерске зраке и спаја их у фокусу, тамо где зрачење достиже своју највећу енергетску вредност. Зависно о коришћењу типа сочива, жаришна ширина износи 3.75", 5" или 7.5". За оптималне резултате рада мора бити намештен фокус на дефинисану тачку за побршину предмета обраде. Хлађење сочива следи кроз струје гасног сечења, коаксијално до ласерског снопа у шупљем простору испод сочива.

Изнад дизне сечења, која се додатно хлади са чистим компримираним ваздухом, води се зрачење и гас сечења за обраду на предмет обраде. Заштићено, кроз плочу покривања, налази се у глави ласера систем сензора за регулисање размака. Кроз капацитивно регулисање размака константно се држи размак дизне према лиму за време поступка сечења. Цела глава ласера причвршћена је на Z-оси, која се покреће преко зупчастог ремена од Z-мотора осовине. На слици 3.9 је приказана глава ласера.



Слика 3.13. Глава ласера [8]

На слици 3.14 је приказан пресек главе за сечење и њени саставни делови.



Слика 3.14. Глава за сечење [6]

1- Ваљак за подешавање са скалом, 2- Скала 3 1mm – подела, 3- Ваљак за подешавање фокуса, 4- Ваљак Z са скалом 0.1mm – Подела, 5- Чеп за затварање, 6- Ваљак за подешавање са скалом, 7- Прикључак за одвођење ваздуха, 8- Горњи део главе, 9- Осигурач подешавања, 10- Доњи део главе, 11- Цев за ваздух, 12- Дизна

3.8 Покертана јединица

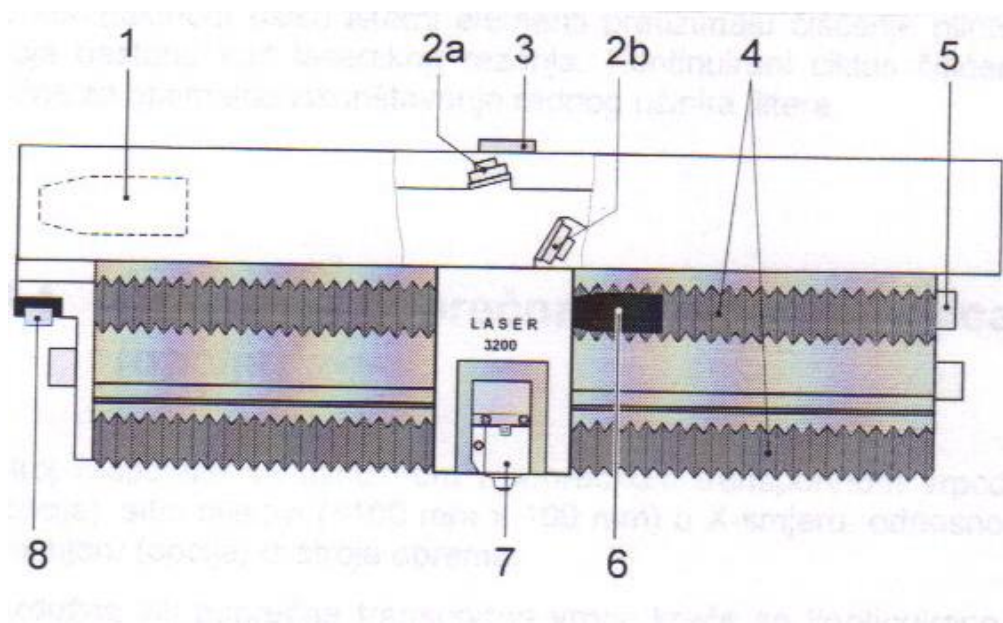
Покретна јединица (слика 3.15) се састоји од попречног носача (Х-траке), Y-траке и унутра интергирсане Z-осе. На Y-оси причвршћена је глава ласер.

Х и Y траке су изведене у линеарним верзијама и покрећу се преко обостраног зупчастог погона, преко серво мотора.

Покрети главе ласера уздуж Z-осе се такође изводе преко мотора. Он позиционира главу ласера у радни положај.

TruLaser L4030S ради по принципу “летеће оптике” код утврђеног резонатора и предмета обраде. Уз то је могућа оптимална брзина обраде као и тачност обраде, јер се може покренут само тачно дефинисана мера.

Радно подручје се ограничава кроз Software-крајњи прекидач. Изнад тога граничи се пут осовина кроз механички, сигурносни СТОП (NOT-HALT) прекидач, који лежи у подручју изван Software-крајњег прекидача.



Слика 3.15. Покретна јединица [6]

1- Мотор погона Х-осе, 2a- покретно огледало и аутофокус, 2b- Огледало FocusLine, 3- Мотор погона Y-осе, 4- Вођење Х-осе, 5- Вођење Х-траке, 6- Мотор погона Z-осе, 7- Глава резача, 8- Вођење Y-осе

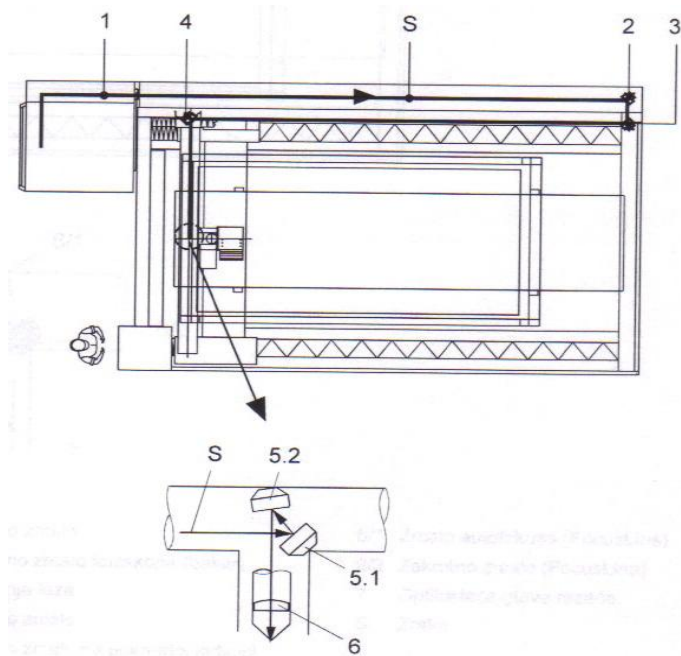
3.9 Вођење снопа

Ласерско зрачење (слика 3.16 и слика 3.17) је потпуно затворено између произвођача снопа и главе ласера, односно машине, тако да не може побећи, а гасови од процеса сечења не могу ући у вођење снопа. Након појаве невидљивог ласерског зрачења из произвођача снопа појављује се сноп, најпре преко оптичких елемената на левом бочном носачу машине. Уз то се реализују три централне функције вођења снопа:

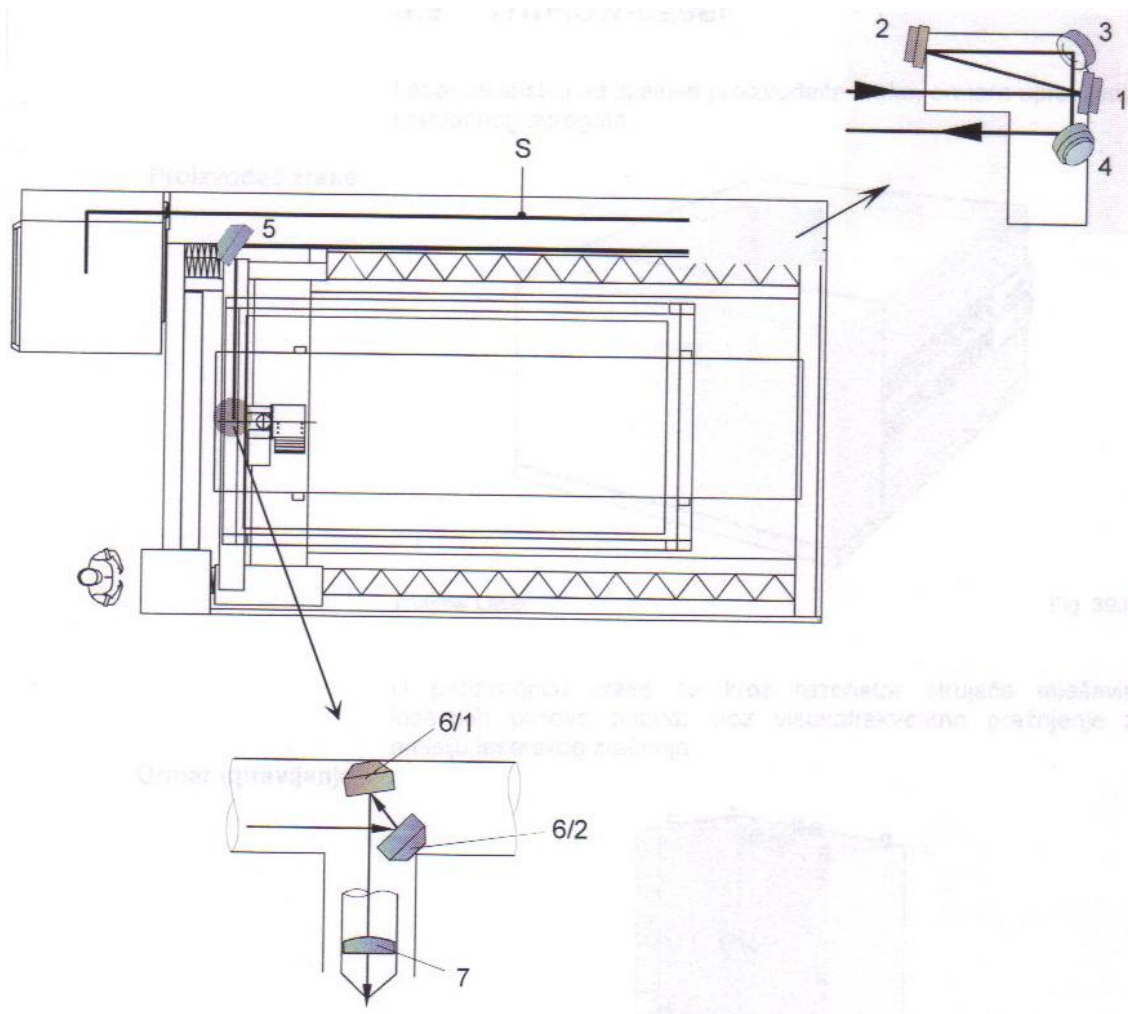
- Дуги пут снопа, да би се искључила поља на ивицама снопа;
- Оптимизација геометрије снопа (пречник снопа и фокуссхифт) кроз телескоп ласера;
- Помицање фазе (ECQ).

FocusLine је уређај за аутоматско мењање положаја фокуса. Централни део је огледао аутофокуса, чија се површина циљано обликује преко притиска расхладне воде. Следеће две функције покривају се преко FocusLine:

- Аутоматско прилагођавање положаја фокуса према врсти и дебљини материјала,
- Компензација фокуссхифта кроз различите дужине снопа изнад радног подручја.



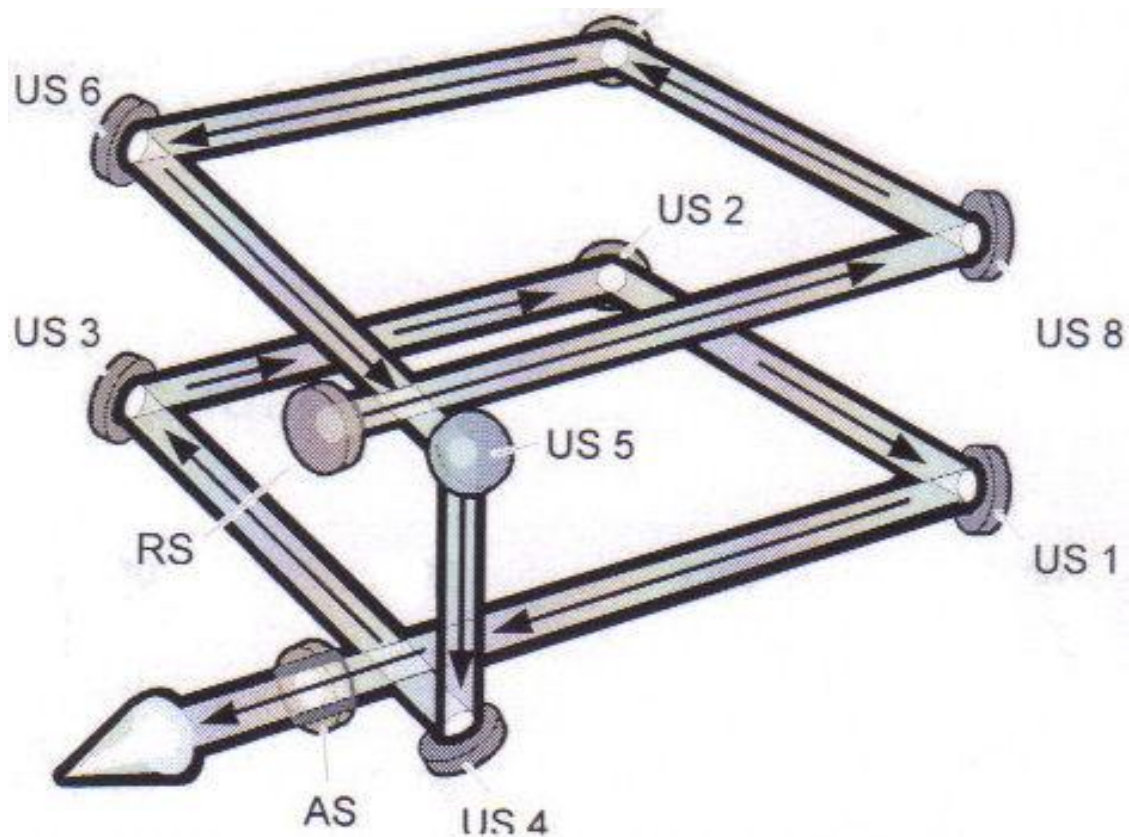
Слика 3.16. 1- TruFlow Ласер са телескопом, 2- Покретно огледало, 3- Покретно огледало и померање фазе у циркулатору поларизације, 4- Покретно огледало на покретној јединици, 5.1- Покретно огледало и ауто-фокус, 5.2- Огледало FocusLine, 6- Оптичка сочива, S- Сноп [6]



Слика 3.17. Вођење снопа [6]

1- Покретно огледало, 2- Адаптивно огледало телескопа (бакар), 3- Померање фазе, 4- Закретно огледало, 5- Покретно огледало на покретној траци, 6.1- Огледало аутофокуса (FocusLine), 6.2- Покретно огледало (FocusLine), 7- Оптика сочива, S- Сноп

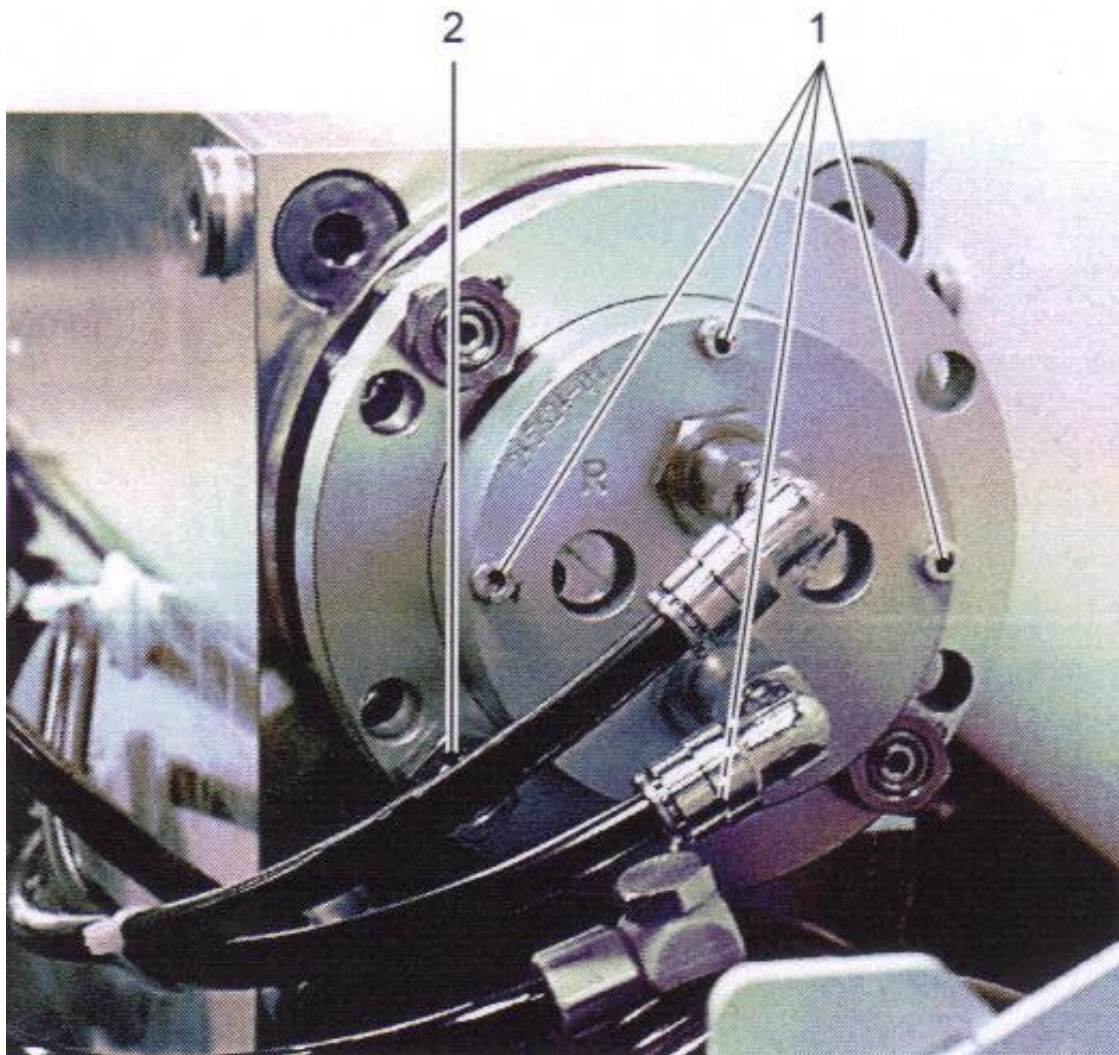
3.10 Резонатор



Слика 3.18. Резонатор, пут снопа [6]

Резонатор (слика 3.18) је квадратно склопљен и подељен на две равни. Зрачење ласера заокреће се покретним огледалима (US1 до US 8). Резонатор (RS) рефлектује потпуно зрачење ласера. Излазно огледало (AS), делимично пропустљиво огледало, рефлектује само један део зрачења ласера. Други део зрачења ласера иде кроз излазно огледало и стоји на располагању за обраду материјала.

3.11 Адаптивно телескопско огледало



Слика 3.19. Адаптивно телескопско огледало [6]

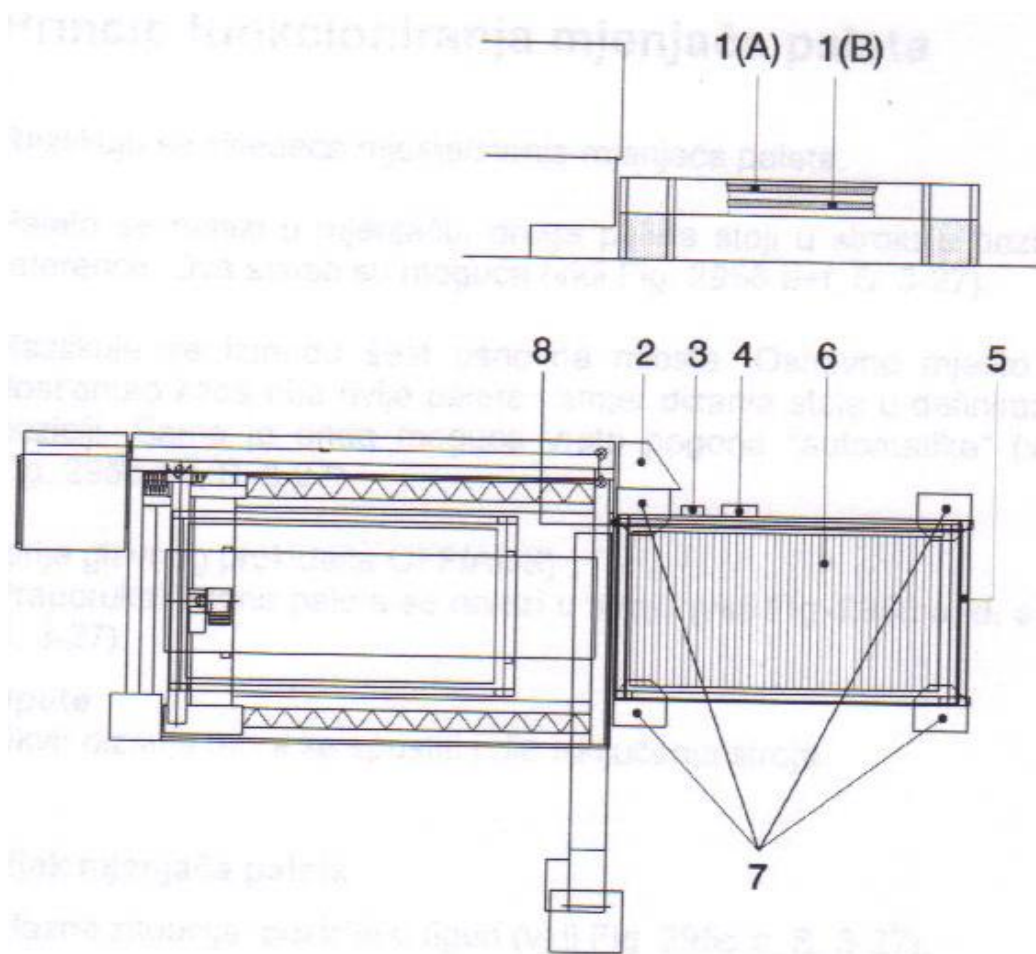
1- Завртњи цилиндра, 2- Завртањ референце

Усмеравање ласерског снопа ван резонатора врши се огледалима са могућношћу подешавања. Ова огледала оптимизују пречник ласерског снопа и обезбеђују скретање ласерског снопа за 90° . Огледало (слика 3.19) је конструисано тако да обезбеђује константне оптичке параметре за различите углове скретања ласерског снопа.

3.12 Радни столови (палете)

TruLaser L4030S поседује две палете за прихват радних комада (Слика 3.20). Овакав систем му омогућава утовар и истовар палете паралелно тј. док се на једној палети врши обрада једног предмета на другој палети се поставља следећи предмет.

Решетке на палети служе за придржавање радног комада у току процеса обраде. Решетке могу бити направљене од различитих материјала. Бакар се показао као најпогоднији за ту намену јер решетке направљене од бакра најдуже трају, а и најлакше се чисти шљака са решетака направљених баш од овог материјала.



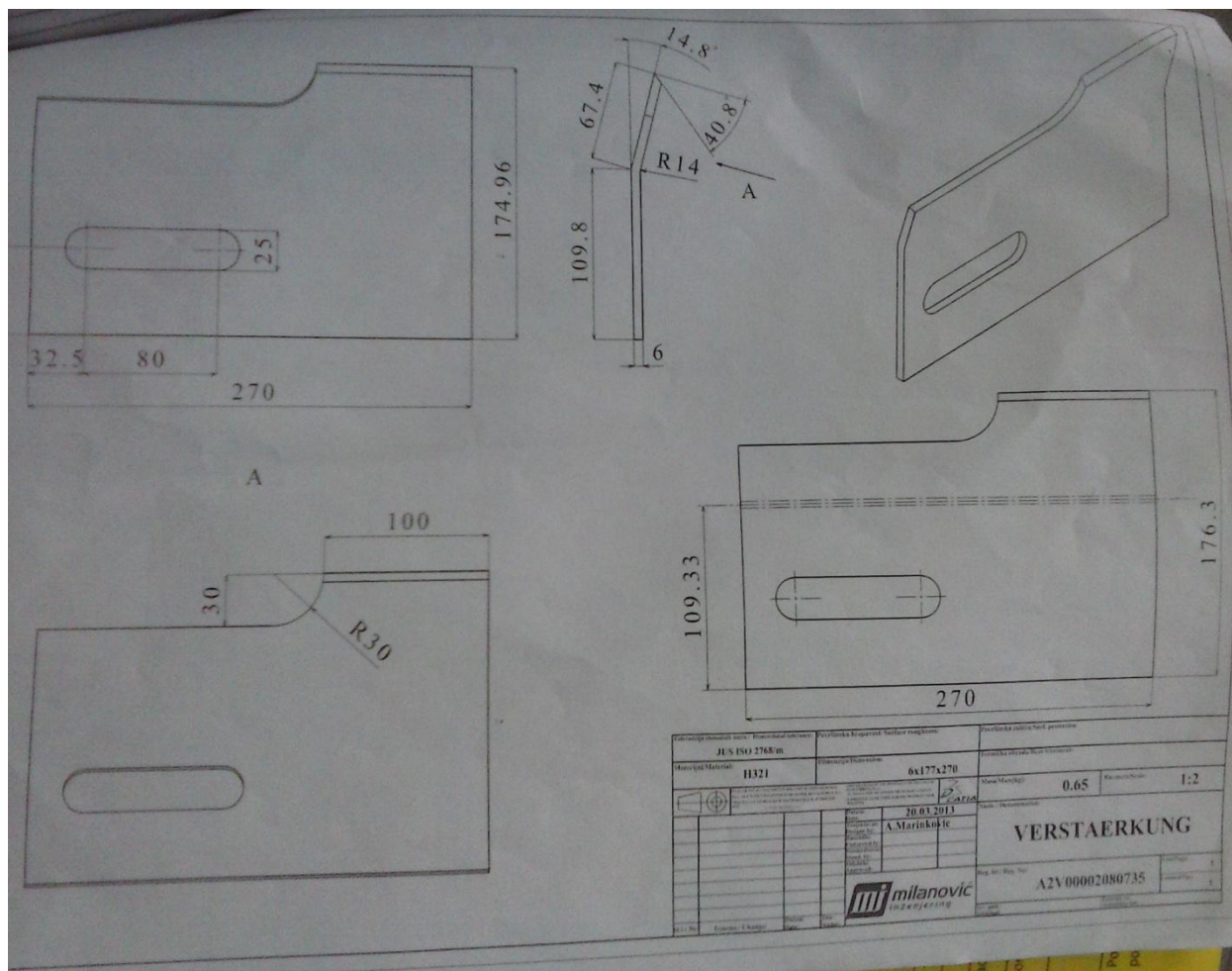
Слика 3.20. Радни столови (палете) [6]

1(А)- Палета А, 1(В)- Палета Б, 2- Хидраулични агрегат, 3- Регулација количине струје, 4- Стезна кутија, 5- Оквир за подизање, 6- Решетке, 7- Ногице мењача палета са хидрауличним цилиндром, 8- Прагови палета

4. PREGLED DELOVA URAĐENIH NA LASERU

Машина TruLaser L4030S је CNC уређај за ласерско сечење, за обраду металних сировина које су чврсте и равне.

Најчешће коришћени материјали у предузећу Милановић инжењеринг за сечење на ласерској машини су различите врсте челика и алуминијума.

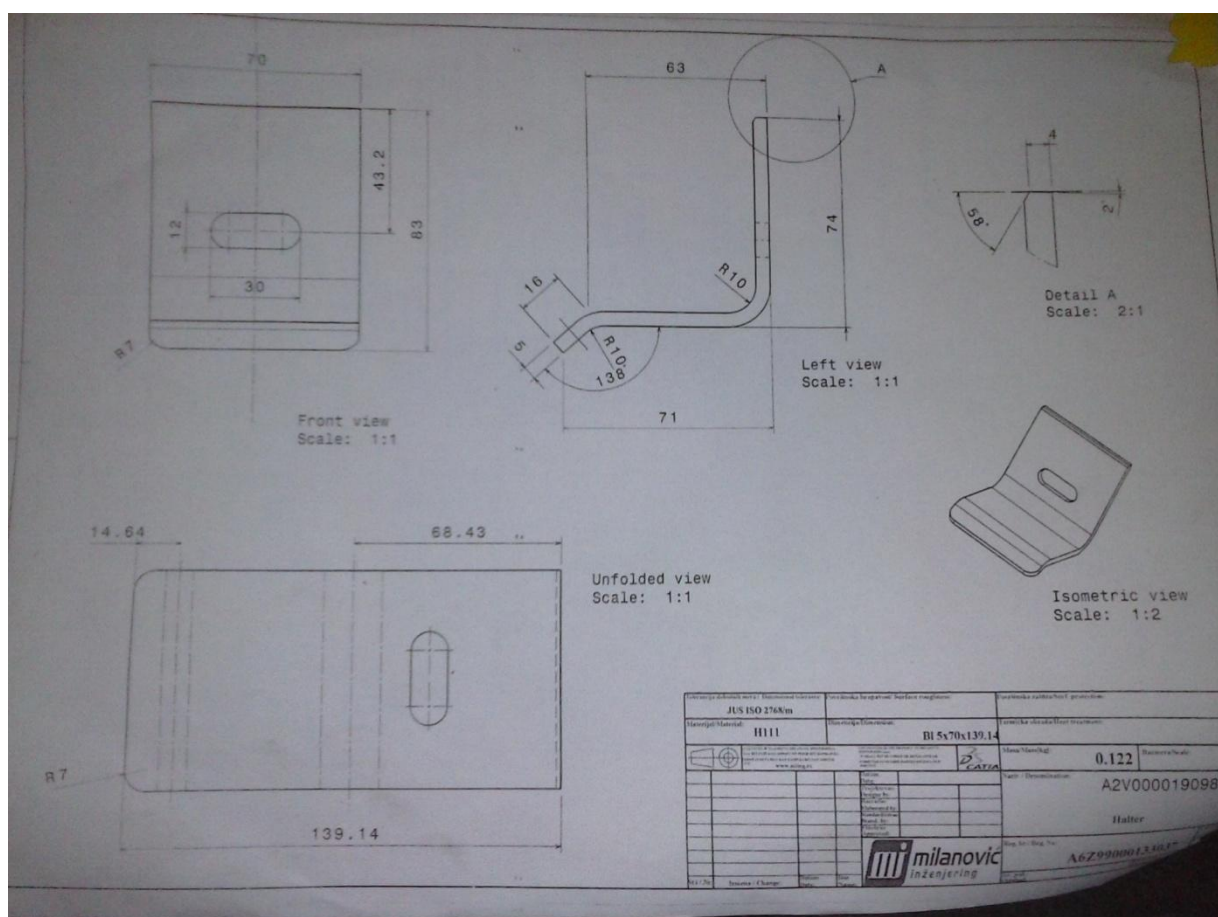


Слика 4.1. техничка документација дела за ојачање

На сликама 4.1 и 4.2 је приказан део за ојачање (нем. VERSTAERKUNG) који је израђен од алуминијума (ознака материјала H321) дебљине 6 mm. Техничка документација дела је израђена у програму CATIA.



Слика 4.2. Изглед дела за ојачање после обраде на ласеру

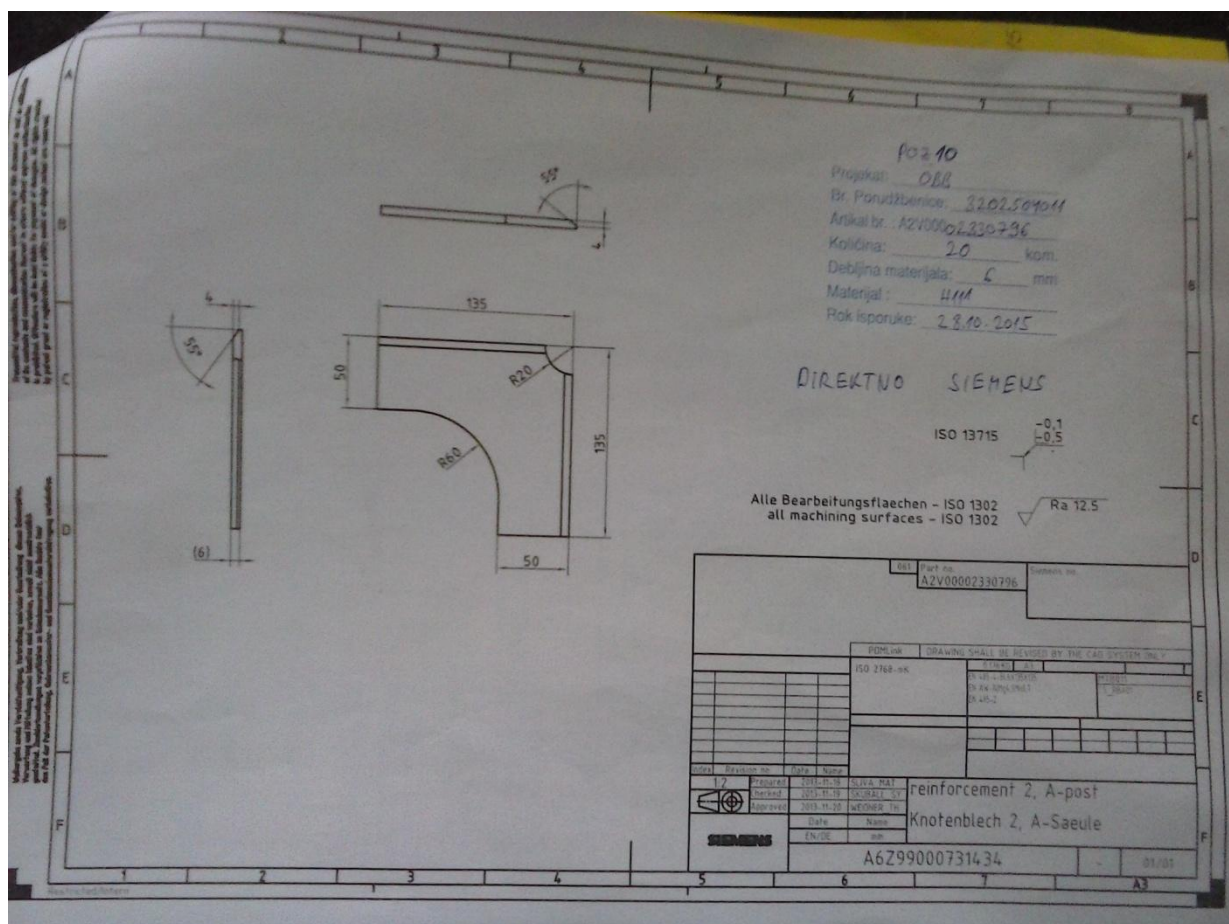


Слика 4.3. Техничка документација држача

На сликама 4.3 и 4.4 је приказан је држач (нем. HALTER) који је израђен од алуминијума (ознака материјала H111) дебљине 5 mm. Техничка документација дела је израђена у програму CATIA.



Слика 4.4. Изглед држача после обраде на ласеру



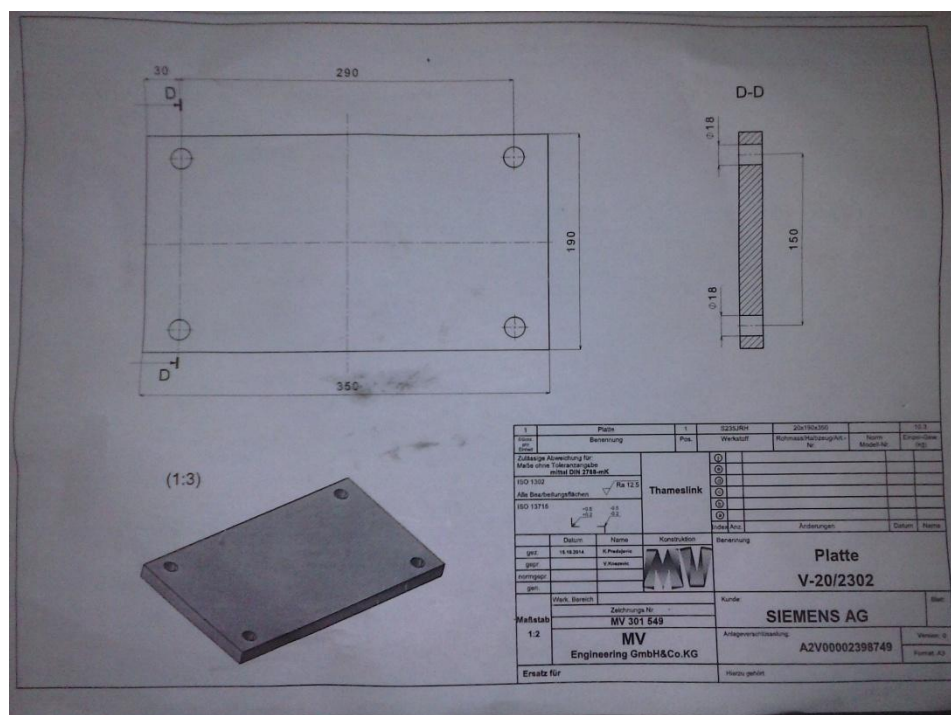
Слика 4.5. Техничка документација дела за ојачање

Држач приказан на *сликама 4.5 и 4.6* је израђен о алуминијума Н111 дебљине 6 mm. Држач је исечен помоћу ласера.

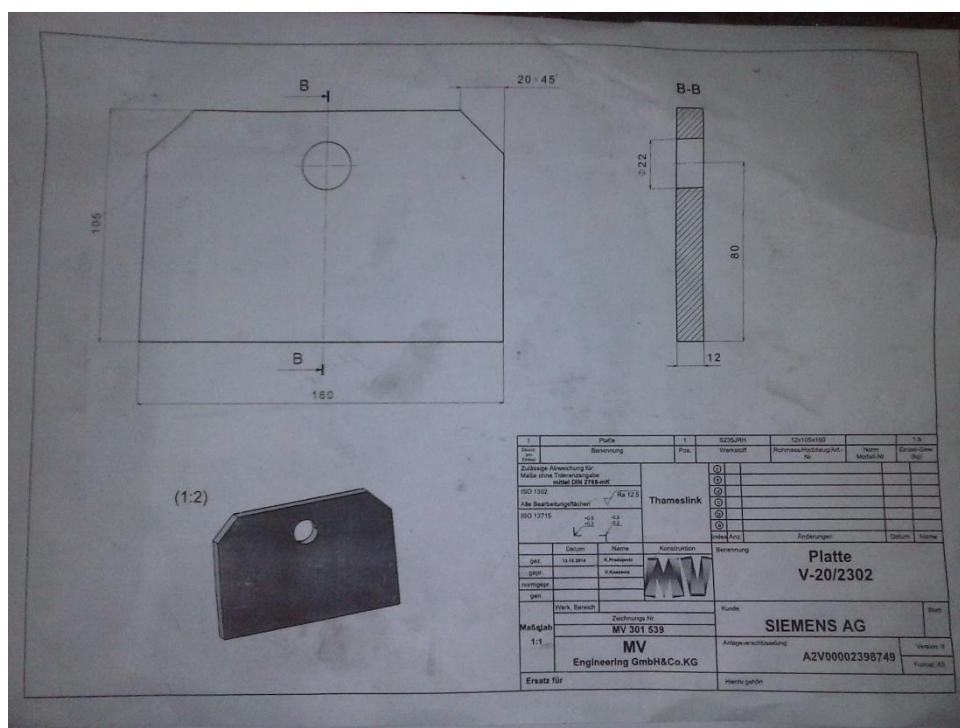


Слика 4.6. Изглед држача после обраде на ласеру

На сликама 4.7 и 4.8 су приказане техничке документације делова израђених од угљеничног челика ознаке S235JRH дебљине 12 mm.



Слика 4.7. Техничка документација дела од угљеничног челика



Слика 4.8. Техничка документација дела од угљеничног челика

На слици 4.9 су приказане слике делова израђених од различитих материјала помоћу ласерске машине TruLaser L4030S у предузећу Милановић инжењеринг.



Слика 4.9. Делови израђени на ласерској машини TruLaser L4030S

5. ЗАКЉУЧАК

Велика потражња као и велике могућности примене ласерске технологије, све више доводи до изражаја његове предности у односу на конвенционалне као и на неке неконвенционалне поступке обраде.

Основне предности ласерске обраде су мала ширина реза, равне странице реза, постизање високе температуре у уској зони обраде, мале димензије зоне обраде, могућност аутоматског регулисања густине снопа, прецизно сечење предмета по компликованим контурама, могућност израде врло малог пречника у свим материјалима, обрада готово свих познатих материјала, непотребна додатна обрада, могућност извођења обраде у нормалним условима (без потребе за дубоким вакумом или другом неутралном средином), висока концентрација енергије при оштром фокусирању снопа и уз све то, ласер је чист и еколошки прихватљив процес обраде.

Док су основни недостаци ограниченост фреквенције импулса услед наглог повећања температуре, сложеност и комплексност израде и експлоатације ласерске инсталације, чиме је ограничена и примена обраде ласером, у великој мери.

Даљим развојем и усавршавањем инсталација за обраду ласером ставарају се услови за знатно ширу примену ласерске технологије за различите производне операције.

TruLaser L4030S у предузећу Милановић инжењеринг представља брз начин за сечење различитих врста материјала (најчешће челика и алуминијума) различитих дебљина (до 20 mm).

TruTops програм представља идеалан начин за израду цртежа и модела, њихову расподелу на површини алуминијума и симулирање обраде. Делови који се израђују помоћу ласерске машине TruLaser L4030S су високог квалитета и не захтевају додатну обраду. Израда делова различитих и компликованих облика, помоћу овог ласера, је веома једноставна и брза, што га чини изузетно продуктивном машином.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1].<http://www.wophotonics.com/applications/transparent-materials/optical-fiber-drilling/>
- [2].[https://en.wikibooks.org/wiki/Wikijunior:How Things Work/Laser#Ruby Lasers](https://en.wikibooks.org/wiki/Wikijunior:How_Things_Work/Laser#Ruby_Lasers)
- [3].Иван Пантић, Примена технологије обраде ласером, Дипломски рад, Машински факултет у Крагујевцу
- [4].http://www.esab.com/global/en/news/upload/903122_Laser.jpg
- [5].Милош Мандић, Математичко моделирање и оптимизација процеса ласерског сечења применом метода вештачке интелигенције, Докторска дисертација, Машински факултет у Нишу, 2013. год.
- [6].Упутство за рад TruLaser L4030S
- [7].Недић, Б., Лазић, М., Неконвенционални поступци обраде (поглавље о обради ласером, књига у рукопису)
- [8].http://www.koz.com.tr/docs/TruServices_Software_en.pdf
- [9].<http://www.gztoten.com/en/uploads/2010032522032342765.jpg>
- [10].<https://en.wikipedia.org/wiki/Trumpf>
- [11].<http://www.dinkuminteractive.com/wp-content/uploads/2011/05/Laser-beam.jpg>
- [12].<https://en.wikipedia.org/wiki/Trumpf>