

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Неконвенционални поступци обраде

Број индекса: 309/2013

Милан З. Станојевић

**Проблеми и грешке при сечењу ласером
мастер рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Богдан Недић

2. _____

3. _____

Датумодбране: _____

Оцена: _____

У оквиру дипломског рада кандидат треба да размотри проблематику обраде ласером, изврши анализу поступака обраде ласером, елементе опреме и карактеристике машина и примере примене. Посебан акценат кандидат треба да обрати на проблеме при сечењу ласером и да прикупи и опише што више конкретних примера грешака обраде. При изради рада потребно је да се кандидат упозна са једним од предузећа које има опрему за сечење ласером.

Препоручена литература

1. Миодраг Лазић, Неконвенционални поступци обраде, Научна књига, Београд, 1990
2. Драгоје Миликић, Неконвенционални поступци обраде, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2002

Ментор:

Проф. Др Богдан Недић

Резиме:

У раду је дат историјат и развој ласера, методе сечења ласером, анализа процеса обраде ласером као и поступци сечења ласером, њихова подела и њихов принцип обраде. Представљени су машине ласери за сечење, бушење, заваривање... Дати су и технолошки поступци обраде ласером (ласерско бушење и ласерско сечење). Приказане су машине на којима се врши сечење. као и њихова опрема која се користи за обраду, тј. основни делови ласерске машине за сечење. У наставку је дато место примене ових машина. У раду је дата спецификација проблема који се могу јавити при сечењу. Неки од тих проблема су приказани који се јављају при раду ласера за сечење у фирми „Радијатор Инжењеринг“, и објашњено је како се ти проблеми могу отклонити.

Кључне речи:

Неконвенционални поступци обраде, ласер, сечење ласером, проблеми сечења ласером.

Summary:

In this paper presents the history and development of lasers, laser cutting methods, the analysis processing by laser and laser cutting processes, their classification and their treatment principle. Featured lasers are machines for cutting, drilling, welding ... They are given the technological procedures laser processing (laser drilling and laser cutting). Displayed are the machines on which the cutting is done. as well as their equipment to be used for processing, ie. Crucial parts of laser cutting machines. Below is a point of application of these machines. In the paper specification problems that can occur when cutting. Some of these problems are presented that appear during laser cutting in "Radiator Engineering", and explained how these problems can be eliminated.

Key words:

Unconventional methods of machining, laser, laser cutting, laser cutting problems.

САДРЖАЈ

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА	5
2. АНАЛИЗА ПРОЦЕСА ОБРАДЕ ЛАСЕРОМ	7
2.1. Карактеристике неконвенционалних поступака обраде.....	7
2.2. Историјат и развој индустријске примене ласера	8
2.3. Методе сечења ласером.....	10
2.4. Принцип рада и опис ласера.....	10
2.5. Особине ласерског зрачења	12
2.6. Врсте ласера	14
2.6.1. Чврсти ласери.....	15
2.6.2. Течни ласери.....	17
2.6.3. Гасни ласери	19
2.7. Принцип ласерске обраде.....	21
3. ТЕХНОЛОШКИ ПОСТУПЦИ ОБРАДЕ ЛАСЕРОМ.....	23
3.1. Ласерско бушење.....	25
3.2. Ласерско сечење	26
4. ОПРЕМА ЗА ОБРАДУ СЕЧЕЊЕМ ЛАСЕРОМ.....	31
4.1 Машина за ласерску обраду лима сечењем.....	31
4.1.1. Ласер Orion 3015 Plus (CO ₂)	31
4.1.2. ЛасерElectra FL-3015 (Fiber laser).....	32
4.1.3. Ласер AXEL 4020 (CO ₂).....	33
4.2. Машине за ласерско гравирање.....	34
4.3. Основни делови ласерске машине	35
4.3.1 Управљачка јединица	35
4.3.2 Управљачки терминал.....	36
4.3.3. Ласерски резонатор	37
4.3.4. Глава за сечење.....	39
4.3.5. Носач главе за сечење	40
4.3.6. Радни сто.....	40
5. ПРИМЕРИ ПРИМЕНЕ	42
5.1. Примена ласерског сечења.....	43
5.2. Примена ласерског заваривања.....	44
5.3. Примена гравирањаласером.....	45
6. СПЕЦИФИКАЦИЈА ПРОБЛЕМА ПРИ СЕЧЕЊУ ЛАСЕРОМ	47
6.1. ПАРАМЕТРИ КОЈИ УТИЧУ НА СТВАРАЊЕ ПРОБЛЕМА ПРИ СЕЧЕЊУ	47

6.2.	Проблеми који су се јавили при сечењу ласером у „Радијатор инжењерингу“ ...	50
6.2.1	Лош програм	50
6.2.2	Оштећење сочива и дизне.....	51
6.2.3	Запрљаност огледала.....	52
6.2.4	Focal definition.....	53
6.2.5	Проблем радног материјала, табле за сечење.....	54
6.2.6	Лоше ваљање табле	55
6.2.7	Лоша мешавина гасова	55
6.2.8	Софтверски проблем	56
6.2.9	Проблеми са резонатором (срце ласера)	57
7.	ЗАКЉУЧАК.....	59
8.	ЛИТЕРАТУРА.....	60

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

Брзим развојем авионске, ракетне и нуклеарне индустрије непосредно после другог светског рата, наметнута је потреба коришћења нових материјала специфичних особина. У том период произведен је низ нових легура које се одликују великом термо затезном чврстоћом, опорношћу на топлоту и тврдоћом, које су, осим у наведеним, нашле примену и у другим гранама индустрије, нарочито при изради одређених врста алата. Данас се широко примењују легирани челици за израду делова који су у радним условима изложени температури до 1000°C , легуре на бази никла, кобалта, тешко топиве легуре на бази молибдена и ниобиума које задржавају своја механичка својства на високим температури до 1800°C , а на бази волфрама и до 2300°C .

Обрада делова од оваквих материјала конвенционалним поступцима обраде је веома тешка а често и немогућа. Економична обрада резањем различитих материјала, од оних најмекших до најтврђих, остварује се различитим брзинама резања, које су тако одређене да представљају економске брзине резања. Повећањем механичких својстава материјала обратка опада економска брзина резања, која код врло тврдых метала има веома малу вредност.

Разлог за ово лежи првенствено у томе што је у данашњим условима тешко наћи материјал резног алата који би имао довољну тврдоћу и чврстоћу и могао да реже са релативно високим економским брзинама резања при обради делова од тврдых, жилавих и топлотно отпорних легура. Са друге стране обрада малим брзинама резања траје веома дуго и неекономична је.

Упоредо са развојем нових високоотпорних материјала, улагани су значајни напори у развоју одговарајућих поступака обраде. При том су вршена паралелна истраживања на усавршавању конвенционалних поступака обраде и проналажењу нових квалитетнијих резних алата, као и проналажењу нових поступака обраде који раде на сасвим новим принципима у односу на резање. С обзиром да се код ових поступака обраде скидање материјала обратка остварује на сасвим другим принципима у односу на конвенционалне поступке обраде резањем, исти су добили назив неконвенционални поступци обраде (НПО).

Конвенционални поступци не могу да задовоље све захтеве савремене технологије обраде свих врста материјала, због чега се све више проширује примена неконвенционалних поступака. Њихова примена оправдана је не само при обради тешко обрадљивих материјала, већ и при обради делова сложеног геометријског облика, од иначе добро обрадљивих материјала, због знатно једноставније технологије и кинематике алата за обраду.

Класификација неконвенционалних поступака обраде је могућа према: врсти енергије и радног (преносног медијума), основним механизмима уклањања вишка материјала, типу извора енергије и слично.

У оквиру овог рада, у другом поглављу објашњено је историја и развој ласер, подела ласера, методе сечења ласером, као и принципи обраде ласером.

Технолошки поступци обраде ласером као што је ласерско бушење, сечење, гравирање итд. описани су у трећем поглављу.

Информације о машинама које се користе за обраду сечењем ласером приказане су у четвртном поглављу, у овом поглављу дати су и основни делови једне ласерске машине.

У претом поглављу дати су примери примене технолошких поступака обраде ласером.

Спецификација проблема који се јављају приликом обраде сечењем CO_2 ласером извршена је у шестом поглављу.

2. АНАЛИЗА ПРОЦЕСА ОБРАДЕ ЛАСЕРОМ

2.1. Карактеристике неконвенционалних поступака обраде

Основне карактеристике неконвенционалних поступака обраде зависе од врсте извора, врсте енергије, механизма разарања метала и врсте преносног механизма.

Значај неконвенционалних поступака обраде у њиховој повећаној примени долази као резултат утицаја мање или више релевантних фактора и то:

1. Фактора везаних за повећање брзине, температуре и оптерећења рада одговорних елемената машина и уређаја. Да би се испунили ови захтеви потребно је да се примене високо-отпорни, високо легирани челици и метали, композитни и други материјали.
2. Факторима везаним за знатно ширу примену обраде тачног и прецизног ливења, примене пластичних маса, и примену обраде деформисањем. Све ово доводи до пораста захтева везаних за квалитет и тачност израде ковачких, ливачких, пресерских и других алата.
3. Факторима везаним за потребу израде отвора, канала и профилисаних прореза малих димензија, а нарочито када је потребно уклонити вишак материјала на неприступачном месту.

Неконвенционални поступци обраде су касније развијени и уведени у производну праксу, али су достигли висок степен развоја који у неким подручјима примене све више потискују конвенционалне поступке обраде, због тога што су економичнији или што дају много боље резултате обраде (квалитет и тачност).

Овакав тренд развоја и увођења неконвенционалних поступака последица је пре свега следећих захтева:

1. Пораст конструкцијских захтева машинских делова ка повећању удела тешко обрадивих материјала за њихову израду,
2. Повећани захтеви ка сложености облика алата за различите намене:
 - а) алати за обраду обликовањем (пластична деформација и ливење под притиском)
 - б) алати за прераду стакла, пластичних маса, гуме и сличних материјала,
3. Повећани захтеви у погледу продуктивности и стварања претпоставке за увођење аутоматизације и аутоматизованих производних система у специфичним областима производње,
4. Повећани захтеви ка сложености резних алата од брзорезног челика и тврдог метала;
5. Повећани захтеви при изради минијатурних делова повећане тачности,

6. Претпоставке за врло добру интеграцију ових производних метода са НУ-управљањем и системима CAD/CAM и CIM.

При вредновању неконвенционалних поступака треба имати у виду и неке њихове заједничке карактеристике а то су:

1. Независност брзине обраде, квалитета обрађене површине и производности од механичких својстава материјала обратка.
2. Одсуство потребе за постојањем алата веће тврдоће од тврдоће материјала обратка, што је код конвенционалних поступака основни предуслов.
3. Висока тачност обраде, нарочито у оним случајевима када је обрада конвенционалних поступака немогућа или врло тешка.
4. Значајно смањење одстрањеног дела материјала у односу на исти који настаје применом конвенционалних поступака, тј. већа искоришћеност.
5. Могућност делимичне обраде предмета великих димензија без коришћења производних машина такође великих димензија.
6. Могућност потпуне аутоматизације и механизације процеса обраде који се изводе неконвенционалним поступцима.
7. Висока производност и економичност у односу на конвенционалне поступке.
8. Побољшање услова рада са становишта здравствене угрожености радника.

Основни недостатак неких неконвенционалних поступака је релативно мала производност у односу на конвенционалне поступке и висок утрошак енергије по јединици запремине.

Производност и утрошак енергије по јединици скинуте запремине материјала су пре свега последица физичких принципа на којима се заснивају поједини неконвенционални поступци и не морају увек бити једини критеријум за вредновање неког поступка обраде.

Највећу препреку већег коришћења неконвенционалних поступака, бар за сада, чини висока цена машина, односно комплетних постројења за обраду

2.2. Историјат и развој индустријске примене ласера

Ласер је извор светлосног зрачења који емитује кохерентан сноп фотона, као извор стабилан је по фреквенцији, таласној дужини и снази. За разлику од светлости коју емитују уобичајени извори, као што су сијалице, ласерска светлост је углавном монохроматска, тј. само једне таласне дужине (боје) и усмерена је у уском снопу. Сноп је кохерентан, што значи да су електромагнетни таласи међусобно у истој фази и шире се у истом смеру. Састављен је од резонаторске шупљине и активне средине која га испуњава. Њутн је 1704. окарактерисао светлост као струјање малих делића (честица). Јангов експеримент обављен 1803. године и непосредно откриће поларизације светлости. Максвелова електромагнетна теорија је објаснила појам светлости као брзину вибрација у електромагнетном пољу проузрокованих осциловањем честица.

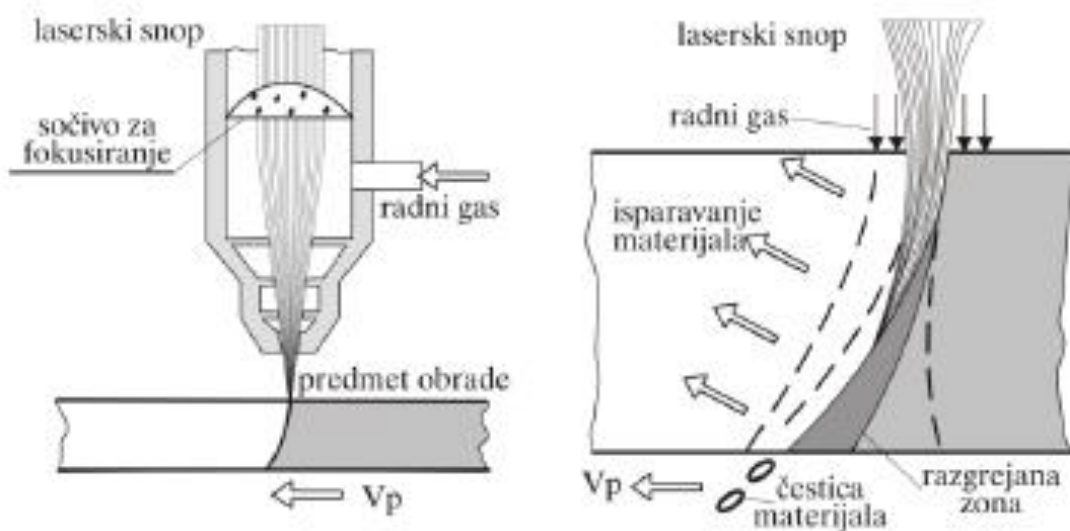
Први ласер је пронађен у Мајамију, маја 1960.године. То је био рубинов ласер изузетне чврстоће.Многе врсте ласера су пронађене ускоро после рубиновог ласера - први уранијум ласер у ИБМ (новембар 1960. године), први хелијум-неонски ласер 1961.године, први Nd ласер: YAG-ласер и CO₂ ласер 1964. године, Ar ласер 1964. године, хемијски ласер 1965. године.

Ласерски сноп разликује се од других видова светлости:

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

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 различитим срединама, обрада ласером добија све већи значај и има низ предности у односу на остале неконвенционалне поступке.

На слици 1 приказана је шема формираног ласерског снопа.



Слика 1. Принципијелна шема формираног ласерског снопа [1]

2.3. Методе сечења ласером

Постоје три методе сечења ласером:

1. Са потпуним одстрањивањем 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 .

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.

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

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

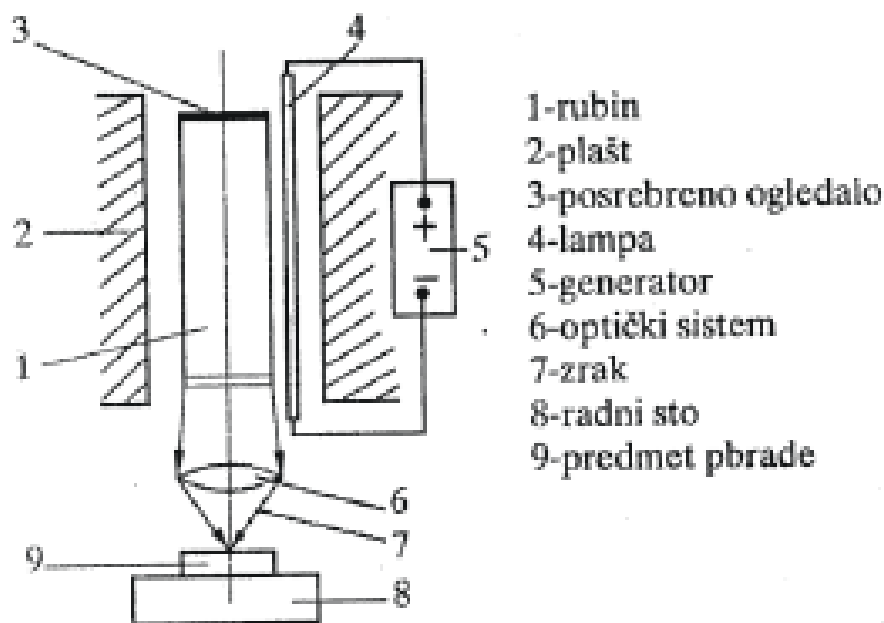
2.4. Принцип рада и опис ласера

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 блескавице. Код рубинског ласера слика 2, 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 $\lambda = 694.3 \text{ nm}$. 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 $l=7\text{ мм}$ и $d=125\text{ мм}$, 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 кондензатора.

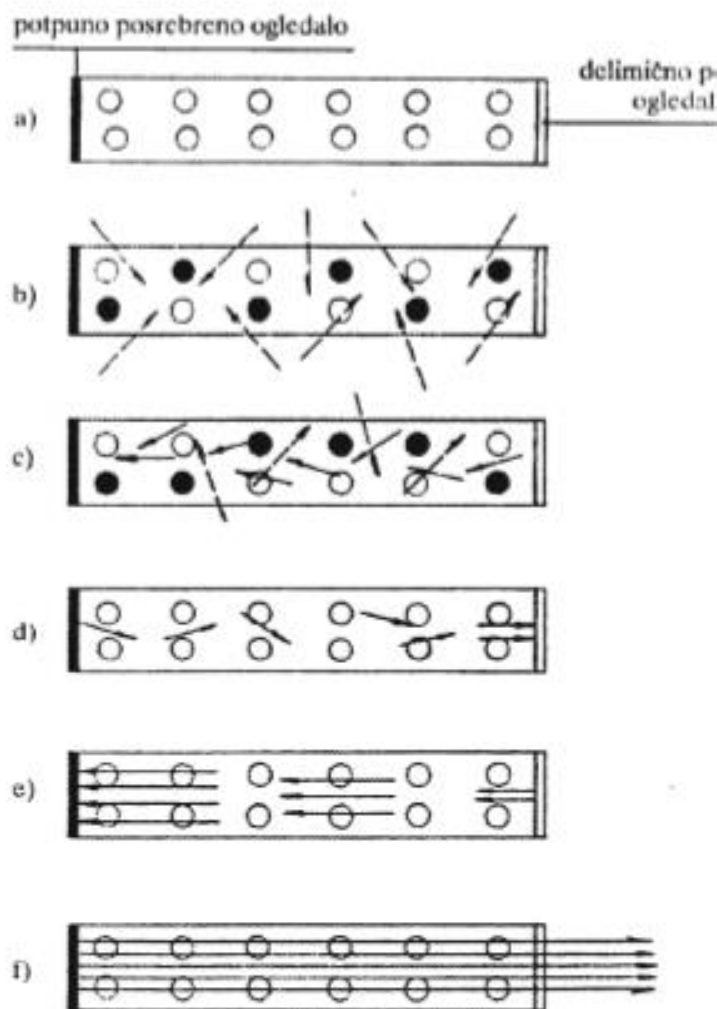


Слика 2. Шема обраде рубинским ласером [2]

Помоћу оптичког система фокусира се ласерски сноп на предмет обраде постављен на радном столу. До укључења импулсне лампе, јони хрома се налазе у основном стању (бели кружићи).

Када се кристал рубина осветли снажном лампом (испрекидане стрелице) јони хрома апсорпцијом упадних фотона бивају побуђени на један од виших енергетских нивоа (б,ц - црни кружићи). Са виших енергетских нивоа јони хрома прелазе не зрачећи светлост (вишак енергије се предаје кристалној решетци) на метастабилни ниво.

Са метастабилног нивоа врше индуковане прелазе у основно стање и емитују фотоне одређене енергије. Сваки емитовани фотон (црна стрелица) индукује прелаз следећег јона и број фотона се повећава. Ефекат појачања постоји за оне фотоне који се крећу паралелно оси цилиндричног кристала (д, е). Након неколико узастопних рефлексија на чеоним плочама снажни флуks фотона пролази кроз полупосребренооледало (ϕ) слика 3.



Слика 3. Појаве које се дешавају у рубинском ласеру [3]

2.5. 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.

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 μ одређује се изразом:

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

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:

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

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:

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

где је:

θ – стварни угао дивергенције,

f_s – жижна даљина сочива

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

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

где је:

E – енергија импулса ласерског зрачења

t_l – 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:

$$E = \int_0^{\tau_l} P_l(\tau) d\tau$$

где је:

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

Средња снага ласерског зрачења је: $P_l = \frac{E}{t_i}$

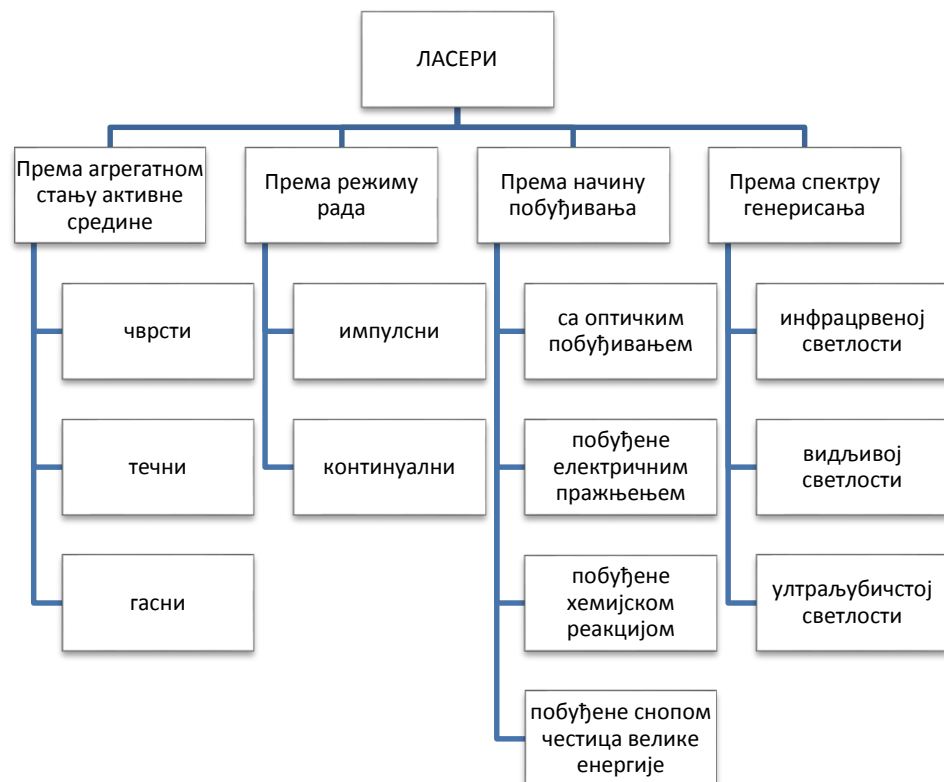
Трајање једног импулса зрачења је:

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

2.6. Врсте ласера

Постоји више критеријума за поделу ласера слика 4. Основна подела ласера је према агрегатном стању активне средине:

1. Чврсти ласери
2. Течни ласери
3. Гасни ласери



Слика 4. Подела ласера [2]

2.6.1. Чврсти ласери

Ласери са чврстим телом (слика 5) 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 μm за оптички најхомогеније материјале.



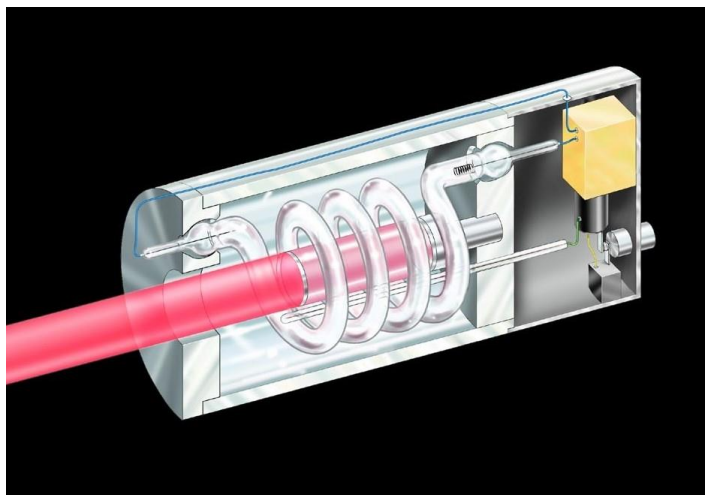
Слика 5. Подела чврстих ласера [2]

Рубински ласер

Међу ласерима са чврстим телом најпознатији је рубински ласер који је приказан на слици 6. 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 бледе 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 у континуалном режиму обично се хладе посебним системом за хлађење.

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



Слика 6. Рубински ласер [4]

Стаклени ласер

Стаклени ласер: Састоји се од високопрозрачног стакленог тела у коме су дисперзно распоређени јони ниодијума 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 импулса 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 $1 \div 1000 \text{ J}$. Постоје стаклени ласери и са такозваним гигантским импулсом са енергијом од 10^4 до 10^5 J .

Nd: YAG ласер

Један од најважнијих ласера који има многобројне индустријске и научне примене је Nd: YAG ласер (неодијумски ласер) слика 7. YAG је скраћени назив за итријев алуминијев гранат $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ који представља најчешћи извор ласерског зрачења. YAG спада у групу врло тврдых материјала.

YAG 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. У импулсном режиму овај ласер ослобађа енергију од неколико стотина MJ у основном моду, са фреквенцијом од $1 \div 50 \text{ Hz}$. У континуалном режиму снага његове емисије је између 1 и 20 W .

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



Слика 7. YAG ласер [5]

Полупроводнички ласери

Данас се 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.

2.6.2. 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:

1. ласери са растворима неорганских једињења и
2. ласери са растворима органских једињења.

У ласерима на бази течности постиже се иста концентрација активних честица као и у активној средини на бази чврстих тела, тако да се може добити велика енергија зрачења по јединици запремине. Течност је оптички хомогенија од чврстог тела, па су зато у течности мањи губици зрачења него у чврстим телима, у којима постоје разни

дефекти у структури. Хлађење течности као активне средине врши се циркулацијом што представља једноставну и ефикасну методу. Недостатак ласера на бази течности представља временска нестабилност раствора. У раствору се већ 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 селектовних елемената у резонатор постиже се ласерско зрачење на жељеној таласној дужини унутар таласног подручја. Овакви ласери могу радити и у континуалном и у импулсном режиму, док се ласери са неорганским растворима користе само у импулсном режиму. Побуђивање ласера на бази течности врши се оптичким пумпањем.

Ласери на бази неорганске течности

Сада се развијају углавном ласери на бази растворених соли неодијума у неорганским течностима. Као растварачи користе се течности као што су: SeOCl_2 и SnCl_4 , што се пише у облику: $\text{Nd}^{3+}:\text{SeOCl}_2:\text{SnCl}_4$. Исто тако постоје раствори: $\text{Nd}^{3+}:\text{POCl}_3:\text{SnCl}_4$. Као емисиони прелази на овим једињењима користе се исти прелази јона као и у Нд ласерима на бази стакла.

Апсорпциони и емисиони спектри Nd ласера на бази течности и Nd ласера на бази стакла веома су слични, тако да се ова врста течних ласера може третирати као варијанта YAG ласера.

Ласери на бази органских боја

Представљају нову врсту ласера која се својим специфичним особинама издваја из групе течних ласера. Карактерише их могућност континуалног мењања таласне дужине ласерске емисије у широком интервалу, што је последица особине органских боја да поседују релативно узане ласерске прелазе. Као органска једињења која се називају органским бојама, а користе се као активна средина, најчешће се употребљавају: родамин 6G, родамин 6, кумарин 2, кумарин 6, итд.

Органске боје су сложена органска једињења која јако апсорбују видљиву светлост. Обично се састоје из бензенских (C_6H_6), пиридинских ($\text{C}_6\text{H}_5\text{N}$), азотних ($\text{C}_4\text{H}_4\text{N}_2$) и других прстенова. Већина боја у растворима има јонски карактер. Активна средина, у овом случају органска боја, растворена је у погодном растварачу. Као растварач користе се алкохол, бензин, етанол али је у употреби и пластика са диспергованом бојом. У првим типовима оваквих ласера побуда се вршила помоћу рубинских ласера, али се касније показало да се пумпање може остварити и помоћу бљескалица.

2.6.3. 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 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.

Управо ова особина гасова дозвољава да растојање између огледала у оптичком резонатору гасних ласера буде велико, чиме се лакше постиже монохроматичност и боља усмереност ласерског зрака. С друге стране, гас као активна средина има и одређене недостатке: густина гаса је знатно нижа од густине чврстих тела, затосе у јединици запремине не може постићи велика количина побуђених атома који емитују светлост, као у чврстим телу. Због тога се у гасним ласерима не може постићи импулс велике снаге као у чврстим телима. Инверзна насељеност у овим ласерима постиже се побудом атома или молекула гаса при њиховом судару са брзим слободним електронима за време пражњења гаса. Притисак гаса у овим ласерима износи од 10^{-3} до 10^{-2} Ра.

У пракси се разликују три типа ласера на бази пражњења гасова:

1. ласере са неутралним атомима,
2. јонске ласере и
3. молекуларне ласере.

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

CO₂ласер

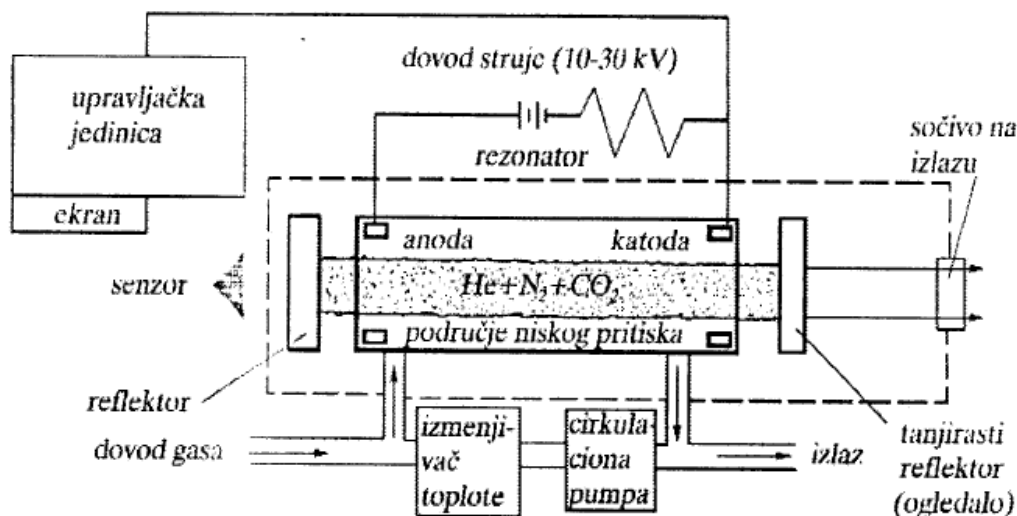
Тело CO₂ласера се састоји од гасне смеше CO₂, He и N₂, при чему активну средину чине молекули CO₂. Ови ласери се одликују високом монохроматичношћу и великим коефицијентом корисног дејства. Ласерски сноп има таласну дужину светлости десет пута већу од стаклених и YAG-ласера. Ови ласери могу да раде у импулсном и континуалном режиму, а као индустријски ласери имају снагу и до 15KW. CO₂ласерима може да се врши бушење, сечење, заваривање, маркирање, термичка обрада на различитим материјалима, наношење тврдох 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, CO₂ласери се деле на:

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

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

На слици 8 је приказан принцип обраде CO₂ ласера.



Слика 8. Принцип обраде CO₂ ласером [3]

Према начину протока гасне смеше низ оптички резонатор и према правцу електричног пражњења низ гасни флуид, разликују се више врста CO₂ ласера:

- 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,
- 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. Ефикасност CO₂ 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.

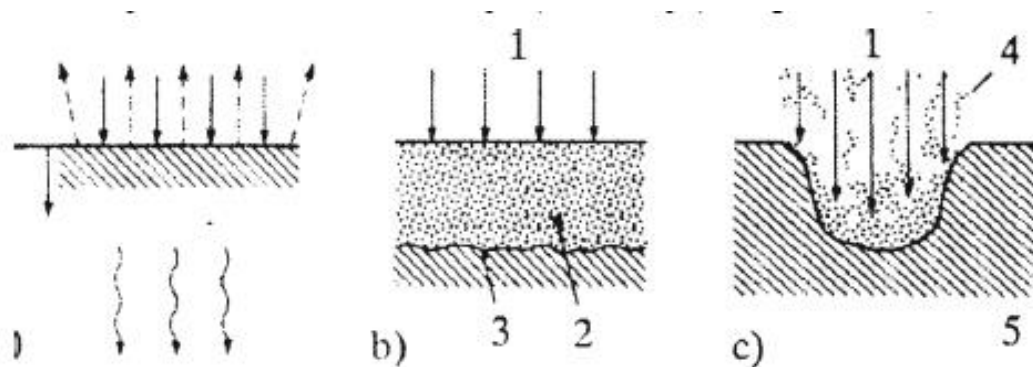
2.7. Принцип ласерске обраде

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:

1. рефлексија (одбијање) ласерског снопа од површине,
2. апсорпција ласерског зрачења по површинским слојевима предмета обраде и трансформација фотонске енергије у топлотну,
3. загревање озрачене површине, са растапањем и испаравањем површинских слојева,
4. уклањање продуката разарања и
5. 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. На слици 9 је приказана интеракција ласерских зрака са материјалом..



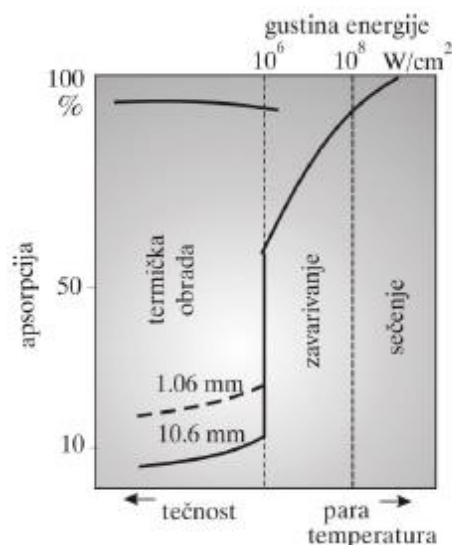
Слика 9. Интеракција ласерских зрака са обрађиваним материјалом [3]

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

1 – ласерски зраци, 2 – стопљени материјал, 3 – гранична зона између шврстог и стопљеног 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.



Слика 10. Зависност коефицијента апсорпције од температуре на површини метала [2]

Битан утицај на коефицијент рефлексије има и густина ласерског млаза (слика 10). 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.

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. Апсорпција зависи и од стања површине предмета обраде 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 $A \%$. У циљу повећања ефикасности обраде ласером може се вештачки снижити рефлекциона способност повећањем храпавости површине, претходним загревањем или коришћењем разних превлака.

3. ТЕХНОЛОШКИ ПОСТУПЦИ ОБРАДЕ ЛАСЕРОМ

Ласерски зрак фокусиран на радни пречник 0.15-0.2 мм 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.

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:

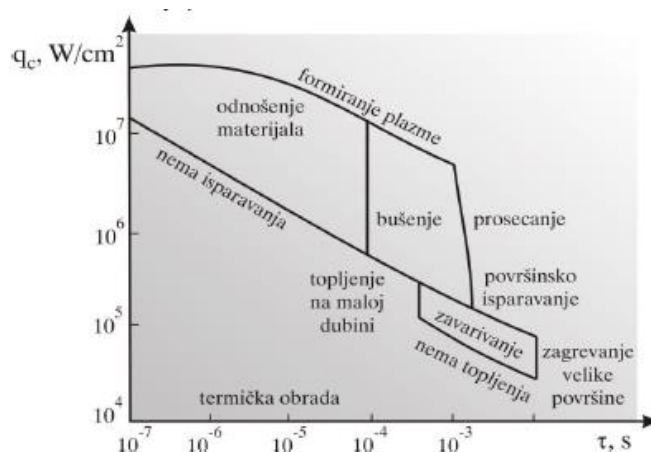
$$\tau = \frac{d}{V}$$

где је:

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

Постоје четири карактеристичне зоне:

1. површинско загревање,
2. топлјење,
3. одношење материјала
4. формирање плазме



Слика 11. Дијаграм примене ласерске обраде са енергетског аспекта [2]

При $q_c = 10^4 - 10^5$, W/cm² и $i_{q_c} = 10^{-4} - 10^{-3}$, 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 $i_{q_c} = 10^{-5} - 10^{-4}$, 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 $i_{q_c} = 10^{-5} - 10^{-4}$, могу да се врше технолошке операције везане за одношење материјала: побољшање отвора, сечење, гравирање, итд.

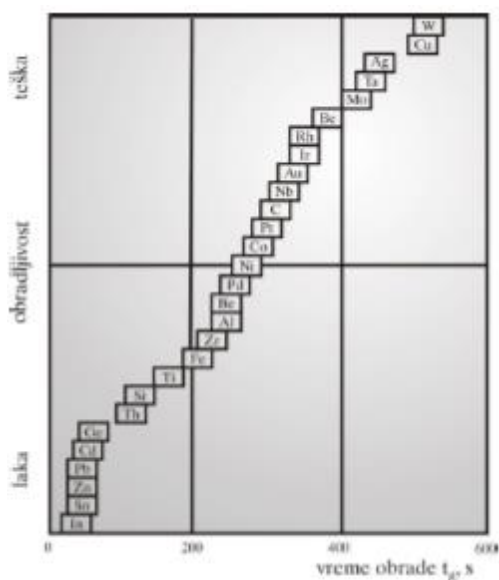
При $q_c > 10^8$, W/cm² и $i_{q_c} < 10^{-3}$, не могу да се врше технолошке операције јер формирана плазма, испод површине материјала, практично потпуно апсорбује ласерске зраке и спречава њихово дејство на материјал слика 11.

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

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

- 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.) слика 12.



Слика 12. Обрадљивост метала ласером [2]

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.

3.1. Ласерско бушење

Ласерско бушење (слика 13), је типична операција ласерске обраде која представља основу за друге технолошке операције обраде ласером. Процес обраде се заснива на стварању рупе или отвора на материјалу предмета обраде деловањем фокусираног ласерског зрачења при чему се материјал уклања испаравањем. При импулсу ласерског зрачења наступа снажно избацивање продуката испаравања материјала при чему се добија рупа или отвор кружног облика.



Слика 13. Ласерско бушење [6]

Режими обраде:

1. Квалитет обраде

Квалитет обраде код ласерског бушења одређен је:

- а) тачношћу обраде,
- б) квалитетом обрађене површине и
- с) физичко-хемијским особинама материјала у зони обраде.

2. Тачност обраде

Тачност обраде, код израде отвора ласером, при правилном избору режима обраде и стабилним енергетским и временским параметрима ласерског зрачења, може бити задовољавајућа, са одступањем мера у односу на номиналне. Тачност обраде може знатно да се повећа увођењем различитих технолошких мера.

3. Храпавост

Храпавост обрађене површине чине микрогеометријске неравнине по површини отвора добијеног ласерским бушењем. Храпавост зависи од режима обраде и карактеристика материјала предмета обраде.

-Примена ласерског бушења

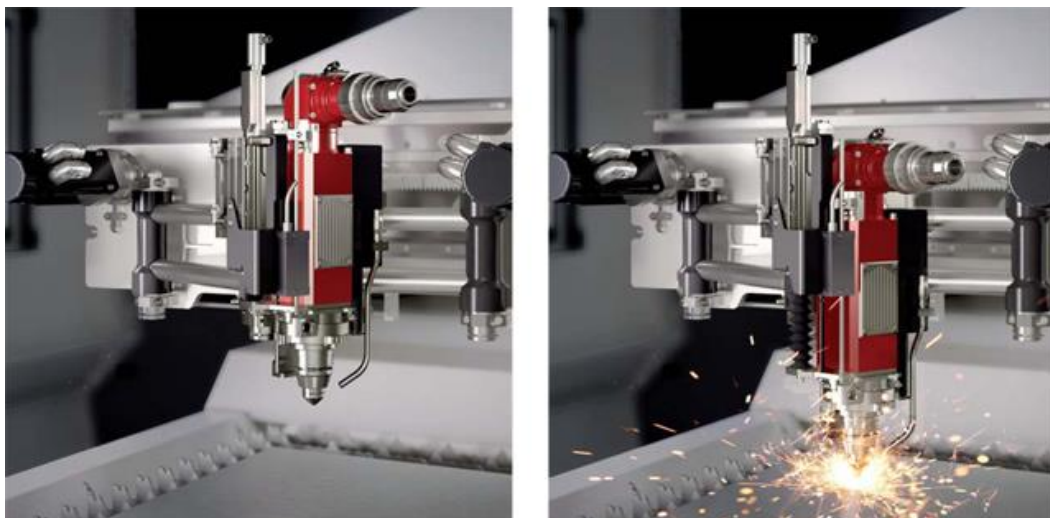
Ласерско бушење се користи за бушење отвора малих пречника (микроотвора) и бушење отвора у тврдим материјалима, који се класичним технологијама обраде не могу извести. Ласерима се буше отвори на ситима, дијафрагмама, филтерима за израду синтетичких влакана, иглама за ињекције и др.

3.2. Ласерско сечење

Основне карактеристике сечења ласером (слика 14) од којих зависе технолошке карактеристике обраде (продуктивност, тачност и квалитет обраде, као и дубина и ширина реза), су дефинисане следећим параметрима:

1. снага импулса P , W ,
2. густина ласерског снопа q_c , W/cm^2 ,
3. притисак гаса P , бар,
4. врста гаса,
5. величина фокусне тачке d , мм,
6. брзина сечења V , mm/s ,
7. 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 14. Сечење ласером [7]

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 мм, што производи снагу од преко 106 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.

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

На процес ласерског сечења утичу:

1. ласер (тип, величина, снага, режим рада, мод, поларизација), који је извор зрачења;
2. сноп ласерских зрака (таласна дужина, кохеренција, монохроматичност, дивергенција), који представља алат у процесу обраде,
3. прибор за стезање,
4. обрадна глава (систем за фокусирање, млазница, сензор за позиционирање),
5. координатни радни сто (тип, величина, тачност, систем управљања),
6. околина (радни услови: чистоћа, вибрације),
7. радни предмет (материјал, облик, димензије, толеранције, квалитет обраде) и
8. режими обраде (снага ласера, брзина резања, притисак помоћног гаса, положај жиже у односу на површину предмета обраде.).

Режими обраде:

1. Снага ласера

Најважнија карактеристика за избор ласерске машине је снага ласера.

2. Брзина сечења

Продуктивност обраде, зависи директно од брзине сечења. Брзина сечења је други по значају битан параметар за сечење ласером и зависи од низа фактора:

- а) снага ласера,
- б) мод,
- с) величина светлосне мрље,
- д) врста и дебљина материјала радног предмета итд.

3. Жижна даљина сочива

Обзиром да је брзина сечења функција густине снаге, избор сочива за фокусирање знатно утиче на квалитет реза.

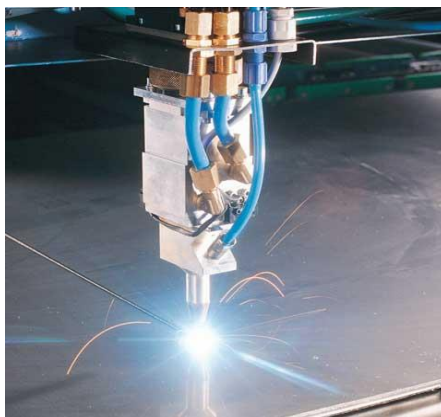
4. Квалитет и тачност обраде

Квалитет обраде код сечења ласером је одређен квалитетом реза и тачношћу облика и димензија. Квалитет реза се обично дефинише геометријским карактеристикама (ширина реза, храпавост обрађене површине) и физичко-хемијским карактеристикама на израженој површини материјала предмета обраде. Квалитет и тачност обраде сечења ласером, у највећем степену зависе од: брзине резања, снаге ласерског млаза, врсте и притиска гаса, пречника и положаја млазнице у односу на површину предмета обраде..

3.3. Ласерско заваривање

Заваривање ласером представља технолошки процес који карактерише локално топљење метала на месту спајања - заваривања елемената (слика 15). Општи захтев код заваривања ласером је да ласер даје релативно дугачке импулсе у времену од 1-10 *мс*, 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 *μм*. Индустијски CO₂ ласери снаге неколико вати, могу се користити за заваривање танких метала дебљине 1 *мм* (Al и Cu легуре). Међутим, такви материјали могу се заваривати економичније класичним методама.



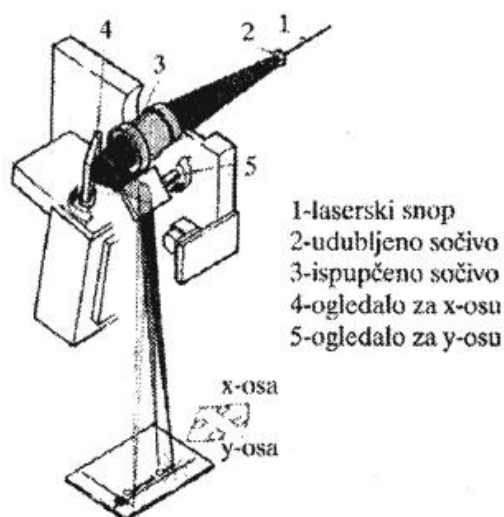
Слика 15. Заваривање ласером [8]

3.4. Ласерко гравирање

Гравирање ласером (слика 17) или ласерска контурна обрада се користи за различите намене:

1. маркирање или обележавање на предметима са наношењем серије бројева или других ознака за идентификацију;
2. израда печатерских ваљака;
3. израда шема различитих танких превлака од различитих материјала које се наносе на изабрану подлогу, итд,

При коришћењу ласера за маркирање, најчешће се користи YAG-ласер са акустичним оптичким модулатором. Режим рада је пулзирајући. За ову намену довољни су ласери са просечном снагом до 50 W.



Слика 16. Шема рада савремене машине за гравирање ласером [3]



Слика 17. Гравирање ласером [9]

3.5. Ласерска термичка обрада

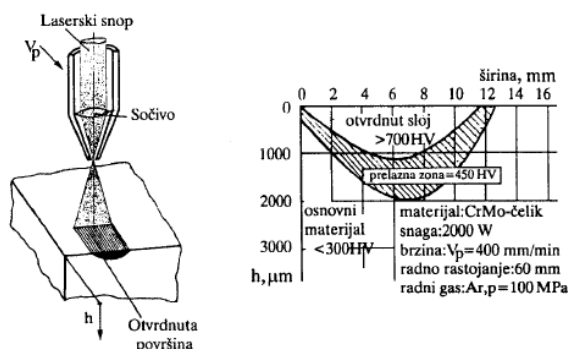
Отврдњавање или површинска термичка обрада снопом ласерских зрака заснива се на загревању, топљењу и ударном оптерећењу. Термичка обрада ласером је могућа како за поједине зоне посебно изложене хабању, тако и за површине у целини, уз хлађење различитим средствима.

Карактеристике отврдног слоја зависе од карактеристика ласерског снопа и низа других параметара, а мењају се са дужином и ширином отврдног слоја. Основни параметри отврдњавања ласерским снопом, у односу на индукционо каљење, су значајно повећање тврдоће површинских слојева (3-5 пута), отпорности на хабање и повећање производности обраде.

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.

На слици 18 је приказан принцип отврдњавања ласером и облик и димензије отврдног слоја.



Слика 18. Принцип отврдњавања ласером и облик и димензије отврдног слоја [3]

4. ОПРЕМА ЗА ОБРАДУ СЕЧЕЊЕМ ЛАСЕРОМ

Ласером се врши ласерско сечење лима и ласерско гравирање. Веома је велики спектар производа који се могу обрађивати обрадом ласерског сечења. Сечењем ласером се добија веома висок квалитет готовог комада у односу на друге поступке сечења.

4.1 Машина за ласерску обраду лима сечењем

4.1.1. Ласер Orion 3015 Plus (CO₂)

Ласер ORION 3015 PLUS (слика 19) машина је идеална за руковође и за оне који немају велико искуство са оваквим машинама. Поседује екран којим се управља додиром што олакшава још више његову употребу.

Снага: 2500 W – 4000 W

- Сечење челика дебљине 16 мм, и алуминијума до 10 мм
- Максималне димензије табле 3000 x 1500 мм
- NC Focus елиминише потребу да оператор подешава положај фокала
- Аутоматско позиционирање табле
- 240 мм по Z- оси
- Изузетан квалитет и прецизност

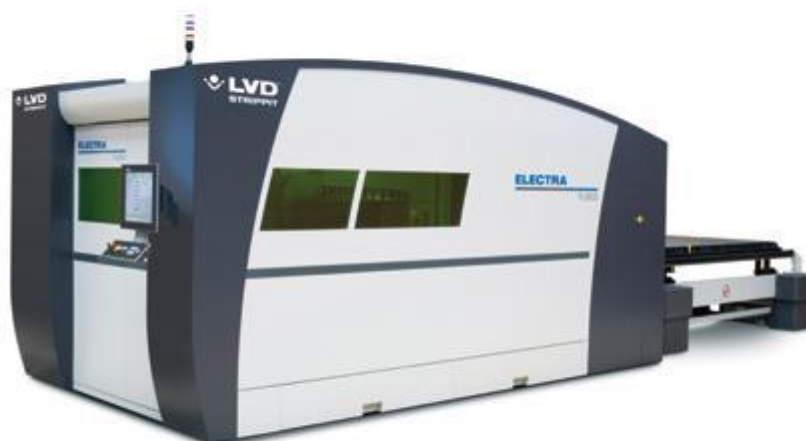


Слика 19. ORION 3015 PLUS [10]

4.1.2. ЛасерElectra FL-3015 (Fiber laser)

ЛасерElectra FL-3015(слика 20) је један од најсавременијих ласера нове генерације које одликује велика брзина резања танких лимова.

- Снага: 2000 W, 3000 W, 4000 W
- Сечење челика, алуминијума...
- Интегирани систем
- Максималне димензије табле 3000 x 1500 мм
- Потпуно аутоматизован



Слика 20. ЛасерElectra FL-3015[10]

4.1.3. Ласер AXEL 4020 (CO₂)

Ласер Axel 4020 (слика 21) је веома високих перформанси, веома велику брзину сечења дебелих и танких материјала, поседује и велику поузданост са ниским трошковима одржавања.

- Снага 4000 W i 6000 W
- Максималне димензије табле 4000 x 2000 мм
- Максималне тежине табле 1600 кг
- Сечење челика, алуминијума, инокса...
- Константна удаљеност снопа



Слика 21. Ласер AXEL 4020 [10]

4.2. Машине за ласерско гравирање

Ова снажна индустријска ласерска машина LS900 (слика 22) долази као десктоп или верзија са сопственим постољем, и са својом гравирном површином од 610x610 мм је идеална машина за искусне мајсторе ласерског гравирања, са средњим до високим нивоом производње. Црвени ласерски зрак за праћење смањује могућност грешке тако што омогућава да се изврши симулација гравирања помоћу тог зрака, пре него што се приступи стварном гравирању.



Слика 22. Ласер LS900 за ласерско гравирање [11]

Основне карактеристике машине су:

1. Погодна машина за кориснике са средњим или високим обимом производње.
2. Опсег снаге ласерског пуњења до 80 W.
3. Машина са радним столом са гравирном површином 610 x 610 мм способна да прими велике предмете или врши матрично гравирање инвентарских плочица у великом обиму.
4. Приступ радном столу са предње стране омогућава лако смештање и позиционирање предмета који се гравира.
5. Црвени ласерски поинтер омогућава лако подешавање тако што врши симулацију гравирања, па оператер може лако да провери да ли ће коначна гравура стварно и бити на предвиђеном месту.
6. Ауто фокус аутоматски подешава фокусну дужину у односу на предмет који се гравира (чак и у случају удубљених предмета).

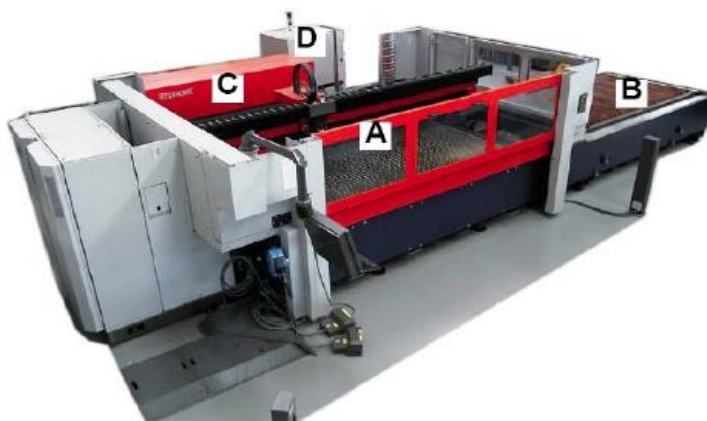
4.3. Основни делови ласерске машине

Ласерско постројење има задатак да обезбеди генерисање ласерског зрака одређених карактеристика, као и да осигура његово вођење и обликовање пре самог усмеравања на површину обратка. Осим тога оно мора да обезбеди прихватање и стезање обрадака, као и потребна кретања при обради слично као код машина за обраду резањем. Ласерска постројења сачињава низ јединица које обављају одређене задатке, а све су преко контроле и управљања повезане у једну функционалну целину.

У састав ласерских постројења улазе следеће јединице:

1. Управљачка јединица
2. Управљачки терминал
3. Ласерски резонатор
4. Глава за сечење (резна глава)
5. Радни сто
6. Кориснички интерфејс

На слици 23 приказана је ласерска машина за сечење и њене основне компоненте.



Слика 23. Ласерска машина Bystar 3015 [11]

:

A – Ласерска машина, B – Радни сто, C – Ласер, D – Резонатор

4.3.1 Управљачка јединица

CNC и STL управљачка јединица (слика 24) заједно са напајањем чине управљачко језгро ове ласерске машине. У посебно одвојеним комадним орманима налазе се контролери који управљају целокупним радом ласерске машине. Врата са посебним системом за хлађење одржавају температуру на одређеном нивоу што повећава поузданост система.

STL - управљачка јединица врши управљање заменом радних столова и контролом заштитних система на ласерској машини. У овој управљачкој јединици је смештен и главни прекидач напајања ласера.

CNC – управљачка јединица садржи CNC (Computer Numeric Control) контролер. CNC контролер врши конвертовање планова сечења у координате по осама. Контролише кретање главе ласера преко предмета обраде. Аутоматски прилагођава брзину кретања главе сечања као и снагу ласера према задатој контури предмета обраде. Ласерска машина извршава програм независно од управљачког терминала што омогућава креирање и модификовање геометријских контура у току самог извршавања програма.

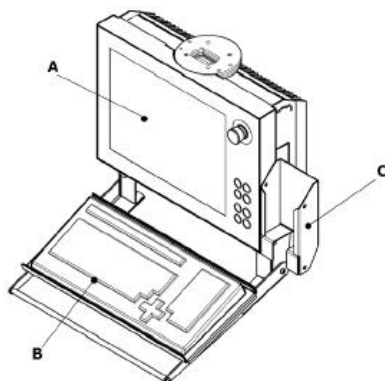


Слика 24. Управљачка јединица [3]

А – STL управљачка јединица, Б – CNC управљачка јединица

4.3.2 Управљачки терминал

Управљачки терминал је приказан на слици 25, налазисе на обртном носачу који је причвршћен за ласерску машину. Носач му омогућава обртање око осе носача као и хоризонтално померање



Слика 25. Управљачки терминал [3]

А – Монитор осетљив на додир, Б – Тастатура, С – Држач на ручни терминал

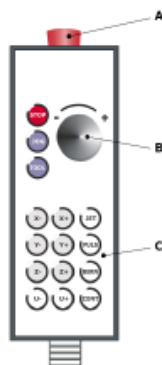
Управљачки терминал садржи:

1. Матичну плочу и процесор
2. Хард диск
3. USB 2.0 интерфејс
4. DVD - RW уређај за пребацивање података
5. Мрежну картицу
6. Windows XP оперативни систем
7. Монитор осетљив на додир
8. Стандардна РС тастатура

Управљање машином се врши преко екрана осетљивог на додир или преко тастатуре.

Пренос података се може вршити преко мрежне картице директним учитавањем података у управљачки терминал или преко улазно излазних уређаја DVD -а или USB порта.

Поред екрана налази се држач за ручни терминал (слика 26) који се користи приликом подешавања ласера, пробна сечења са различитим параметрима као и појединачних сечења из мањих табли лима.



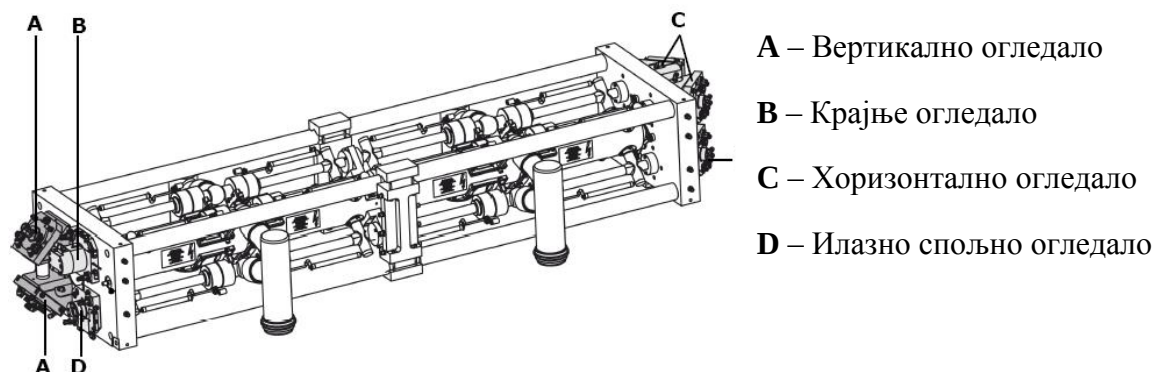
Слика 26. Ручни терминал[3]

A - STOP тастер, **B** – Точкић, **C** – Тастатура

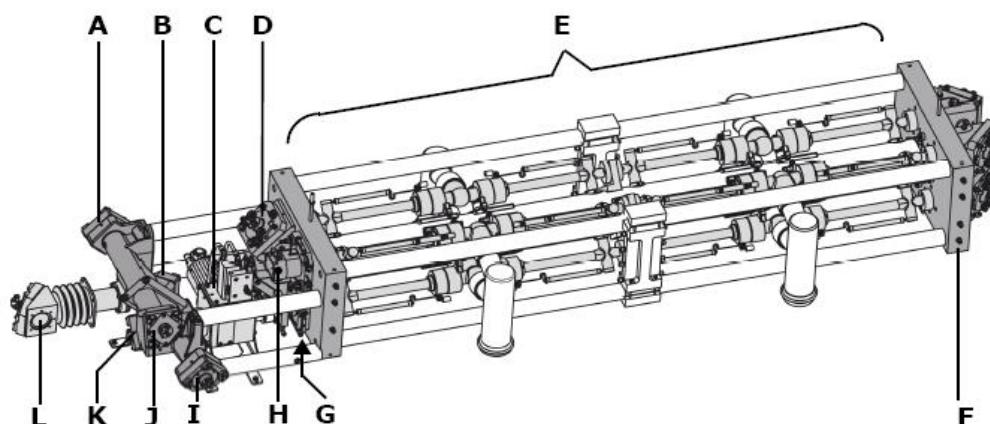
4.3.3. Ласерски резонатор

Ласерски сноп се генерише у цевима за пражњење, све у циљу постизања жељене снаге ласера. Цеве за пражњење су постављене у две нагнуте равни, што се може видети на слици. Крајње и излазно спојна огледала се монтирају на оба краја цеви за пражњење које заједно са хоризонталним и вертикалним поларизованим огледалима чине резонатор у коме настаје ласерски сноп.

На слици 27 је приказан резонатор са огледалима, а на слици 28 резонатор са системом излазних огледала.



Слика 27. Резонатор[3]



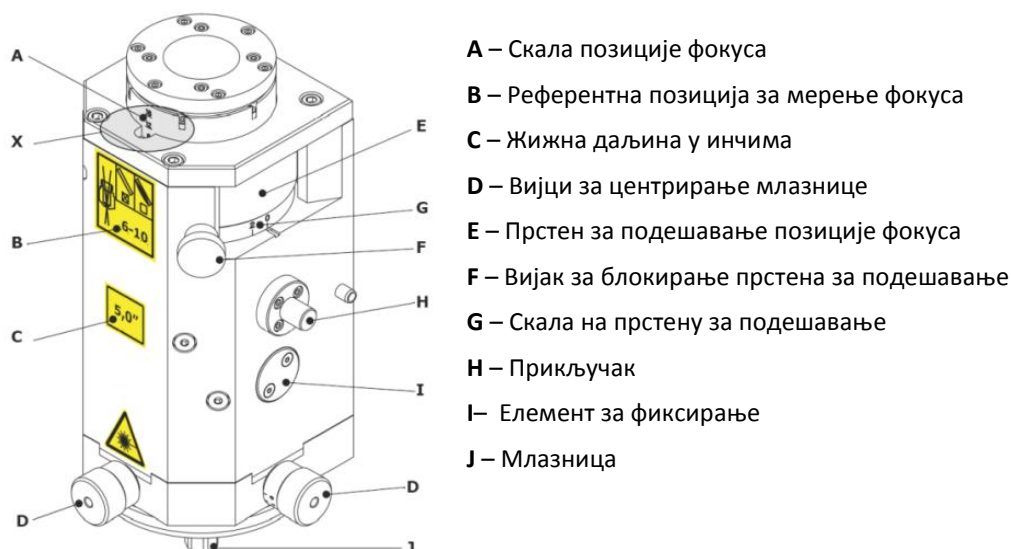
Слика 28. Резонатор са системом излазних огледала [3]

- | | |
|---|------------------------------------|
| A – Конкавно телескопско огледало | G – Илазно спољње огледало |
| B – Поларизовано огледало | H – Крајње огледало |
| C – Бленда (затварач) | I – Конвексно телескопско огледало |
| D – Предња плоча са сва вертикална огледала | J – Огледало за усмеравање |
| E – Резонатор са DC цевима за пражњење | K – Огледало за усмеравање |
| F – Крајња плоча са 4 хоризонтална огледала | L – ARC огледало |

Усмеравање ласерског снопа ван резонатора врши се огледалима са могућношћу подешавања односно ARC огледалима (Adaptive Radius Control). Ова огледала оптимизују пречник ласерског снопа и обезбеђују скретање ласерског снопа за 90°.

4.3.4. Глава за сечење

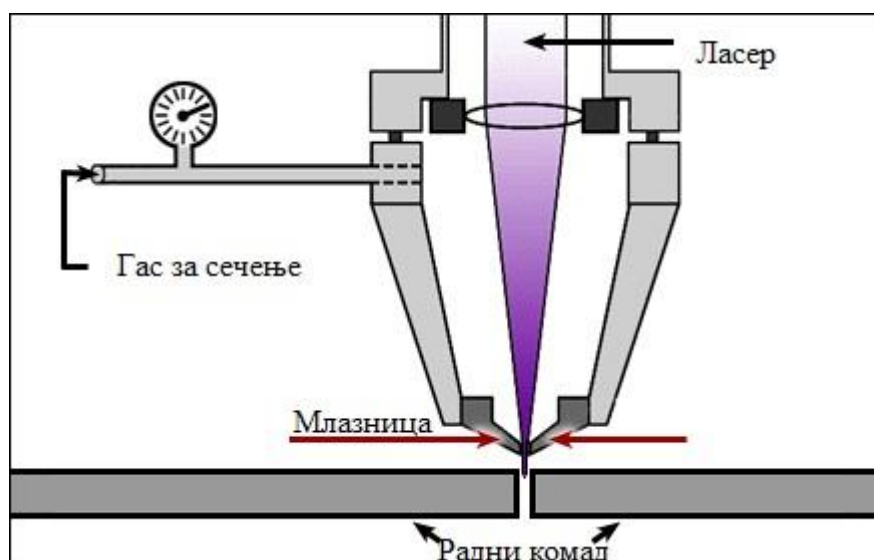
У глави за сечење (слика 29) налази се сочиво које фокусира ласерски сноп према предмету обраде. У зависности од врсте материјала који се сече бира се глава за сечење са сочивом одговарајуће жижне даљине.



Слика 29. Глава за сечење [9]

Облик и пречник млазнице (слика 30) које се монтира на глави за сечење зависи од:

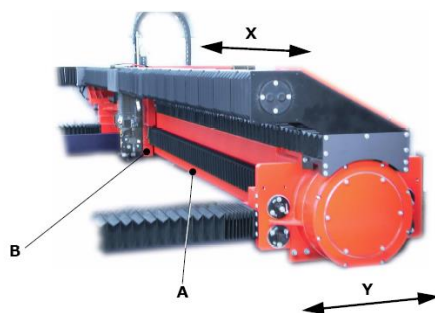
- типа материјала,
- дебљине материјала,
- прецеса сечења



Слика 30. Млазница [16]

4.3.5. Носач главе за сечење

Носач главе (слика 31) за сечење налази се на покретном мосту који омогућава кретање главе за сечење преко радног комада у правцу Y осе. Ласерски зрак се усмерава са Y осе према X оси помоћу огледала монтираних на покретном мосту.

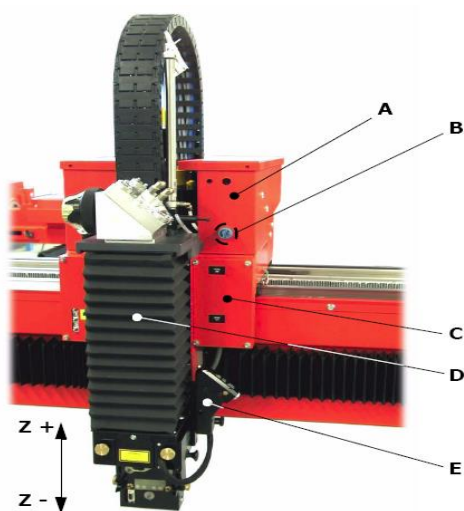


A – Покретни мост

B – Носач главе за сечење

Слика 31. Покретни мост [11]

Сам носач главе (слика 32) за сечење омогућава померање главе за сечење у правцу X осе као и вертикално померање у правцу Z осе. Подешавање положаја главе за сечење по Z оси је веома значајно у процесу сечења јер обезбеђује константан размак између млазнице и предмета обраде.



A – Разводна кутија

B – Подешавање хлађења
млазнице

C – Носач главе за сечење

D – Померање по Z оси

E – Crossjet

Слика 32. Носач главе за сечење [11]

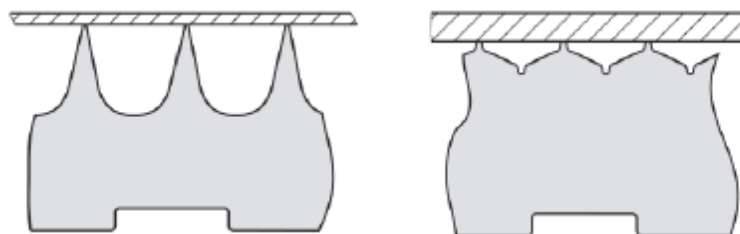
4.3.6. Радни сто

Радни сто ове ласерске машине (слика 33) састоји се од две решетке за прихват радних комада и погонске јединице. Замена решетке на радном столу се може вршити аутоматски након завршетка задатог плана сечења или ручно притиском на одговарајуће дугме. Овај систем омогућава процес сечења материјала на једној решетки док је на другој могуће вршити припремање материјала за следеће сечење.



Слика 33. Радни сто са изменљивим решеткама Salvagnini ласера[12]

Решетке служе за придржавање радног комада у току процеса сечења (слика 34). Могу бити направљене од различитих материјала. Бакар се показао као најпогоднији за ту намену јер решетке направљене од овог материјала трају најдуже, а и шљака се најлакше скида са решетака направљених од овог материјала.



Слика 34. Решетка за тање и дебље лимове [3]

5. ПРИМЕРИ ПРИМЕНЕ

Специфичне особине ласерског зрачења омогућиле су широку примену ласера у индустрији, информатици, медицини, војној индустрији и науци.

Ласерска технологија је нашла широку примену у металопрађивачкој индустрији за обраду материјала, мерење и контролу квалитета. У обради материјала ласери се највише користе за сечење лимова, бушење, површинско отврдњавање и заваривање. У метрологији највећа примена је у контроли квалитета производа, позиционирању и баждарењу. Ради се о одређивању димензија радних предмета, квалитету обрађене површине или о позиционирању и вођењу алата и машина. Поред наведеног веома је битна примена ласера у области истраживања и развоја нових технологија. Замена класичних технологија ласерским има не само производне циљеве већ је и услов освајања нових производа. Већина ласерских технолошких процеса заснива се на топлотном дејству ласерског зрачења.

Ласери су нашли примену и у разним гранама медицине и биологије. Успешне примене остварене су у офтамологији, хирургији, дерматологији, стоматологији, при дијагностици разних обољења, лечењу унутрашњих органа и др.

И ако је до данас развијен велики број различитих врста ласера, за обраду металних и неметалних материјала, углавном се користе две врсте ласера и то CO_2 и Nd: YAG ласери.

CO_2 ласерису веома велике снаге до 25000 W који се углавном користе за сечење и заваривање материјала велике дебљине, а Nd: YAG ласери се знатно мање снаге па се из тог разлога користе за када је потребно постићи финију и прецизнију обраду.

Примена обраде ласером у машинској индустрији је бројна и разноврсна, углавном је оријентисана на:

1. Бушење малих отвора на матрицама за извлачење жице или вештачких влакана, у часовничарској и јувелирској индустрији и др.,
2. Обрада просторних површина, тзв. "ласерско глодање",
3. Израда делова специфичних захтева у електронској и другим индустријама;
4. Гравирање натписа, мерних скала, нонијуса, ознака и др.,
5. Сечење танким резovima, нарочито код скупих и тешко обрадљивих материјала;
6. Заваривање истих или различитих метала и неметала,
7. Лемљење електронских микроелемената,
8. Површинска термичка обрада.

5.1. Примена ласерског сечења

Ласерско сечење има више предности у односу на класичне поступке сечења материјала. Ширина реза је мала, странице реза су равне, топлотно деформисани слој је мали, могуће је сећи радни предмет по компликованим контурама са великом прецизношћу, могућа је обрада готово свих познатих врста материјала, додатна обрада није потребна, чист је и еколошки прихватљив процес обраде. Технолошки проблеми у вези примене ласерских машина за сечење лима су у недовољном познавању примене ласерске технике са једне стране и непостојању довољно поузданих практичних података и знања о утицајним параметрима на сам процес обраде са друге стране. Последица овога је недовољна искоришћеност технологије ласерске обраде с обзиром на могућности које она пружа.

На слици 35 приказани су примери примене ласерског сечења.



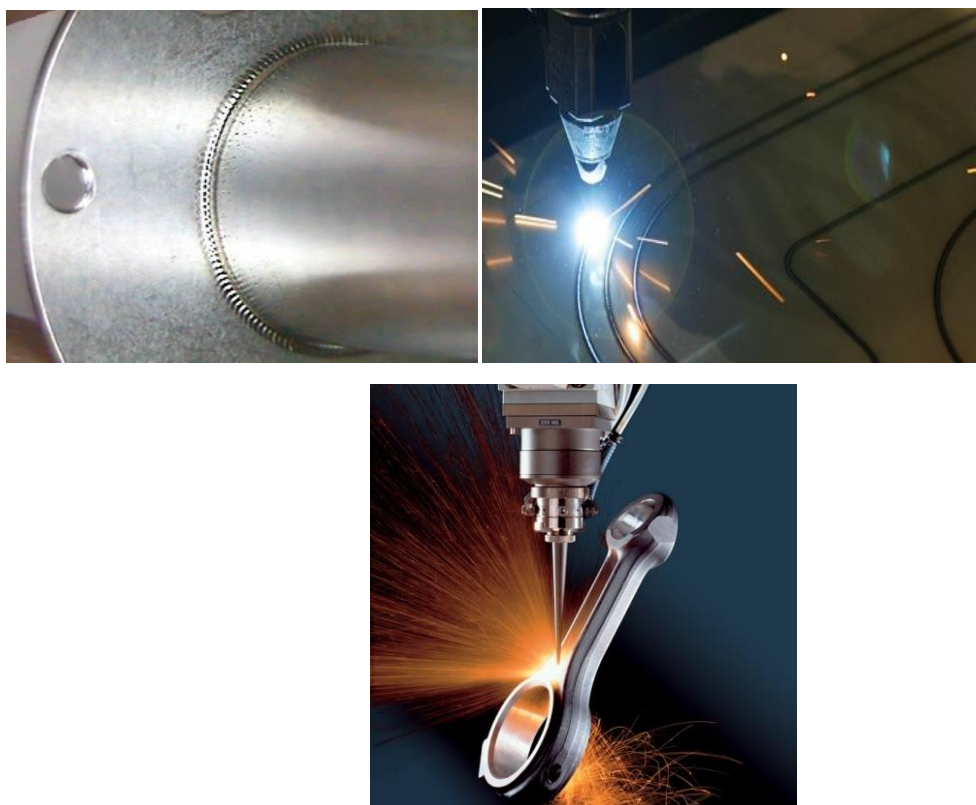
Слика 35. Пример ласерског сечења [12]

5.2. Примена ласерског заваривања

Ласерска техника и технологија се све више примењује за извођење производних операција заваривања, јер обезбеђује низ предности:

1. Загревање веома уске зоне у околини шави,
2. Непропустљивост спојева на резервоарима испуњеним различитим течностима,
3. Микрозаваривање код микрошема и других елемената микроелектронике,
4. Заваривање неметала (стакла, керамике и сл.).

На слици 36 приказани су примери примене ласерског заваривања.



Слика 36. Ласерско заваривање [13]

5.3. Примена гравирањаласером

Гравирање ласером или ласерска контурна обрада се користи за различите намене:

- 1) Маркирање или обележавање на предметима са наношењем серије бројева или других ознака за идентификацију, укључујући и израду логаритамских скала;
- 2) Израда штампарских ваљака;

Израда шема различитих танких превлака од различитих материјала које се наносе на подлогу, итд.

На слици 37 приказани су примери примене ласерсог гравирања.



Слика 37. Ласерско гравирање [14]



Из овог шематског приказа може се видети и закључити да је ласерско резање 31 % најзаступљеније од других видова ласерске обраде, док је површинска обрада са 2% најмање заступљена.

6. СПЕЦИФИКАЦИЈА ПРОБЛЕМА ПРИ СЕЧЕЊУ ЛАСЕРОМ

6.1. Параметри који утичу на стварање проблема при сечењу

Параметри који утичу на стварање проблема могу бити следећи:

1. Ширина енергије
 - Снага ласера
 - Пулс фреквенције
2. Ширина испоруке зрака
 - Удаљеност између дизне и радног комада
 - Дужина фокала
 - Положај фокала
 - Брзина резања
 - Убрзање
3. Конфигурација гаса за сечење
 - Тип и притисак гаса за сечење
 - Пречник и врста дизне
4. Карактеристике материјала
 - Тип материјала
 - Површина радног комада
 - Облик радног комада
 - Дебљина материјала

При подешавању снаге која ће бити најбоља за сечење, мора се имати у виду одлучујући фактори, а то су површина, тип и дебљина материјала (метал или не, његова тачка топљења итд.)

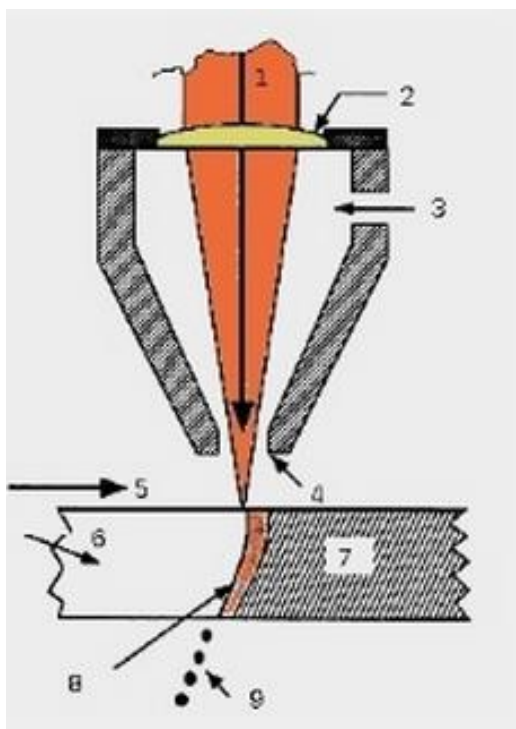
Врста гаса – чистоћа гаса за сечење углавном се одређује по врсти материјала који се сече. Као што је у другом поглављу напоменуто кисеоник се користи при сечењу метала, тако да ако се користи кисеоник са чистоћом 99.5%, могућа брзина сечења се смањује за приближно 10%. Слично је и када се користи азот као гас за сечење, у случају да постоје благи трагови кисеоника долази до појаве оксида по површини сечења.

Сечење ласером може успорити, а и довести до неког оштећења и материјала. Проблеми материјала који узрокују то су валовите табле, запрљане и корозија. Све то лоше утиче на сечење ласером.

При обради материјала ласером велики утицај има површина материјала на квалитет сечења. Материјал за сечење мора да буде чист и без уља.

Бушење рупа ласером се врши веома брзо, али није сигурно као осталим методама, јер приликом бушења може доћи до експлозије. Коришћењем континуалног поступка сечења ствара се велика вероватноћа да дође до експлозије приликом пробијања. Ово се решава променом параметара сечења.

На слици 38 приказан је фокус ласера.



Слика 38. Фокус ласера[15]

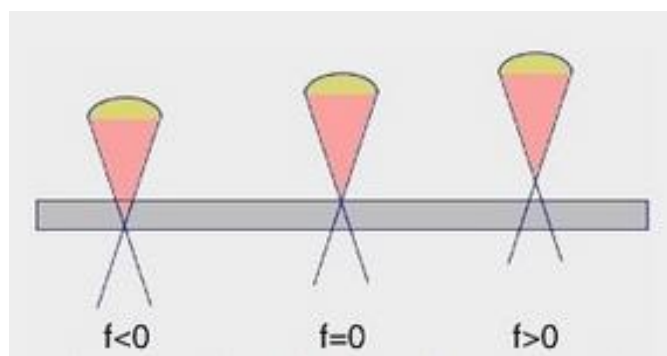
1. Ширина ласера, 2. Сочиво, 3. Снабдевање гасом, 4. Дизна, 5. Смер сечења, 6. Површина сечења, 7. Пресек радног комада, 8. Истопљени слој, 9. Излаз одпадног материјала

Сочиво треба одржавати чистим. Прљаво сочиво апсорбује више енергије, што проузрокује његово грејање и деформисање. Деформисано сочиво мења жижну даљину што се односи на лошији квалитет сечења.

Проблем при сечењу може бити и положај фокуса, због тога је веома битно да тачка где је максимална ласерска енергија буде на одговарајућем месту јер са тиме је и квалитет сечења бољи.

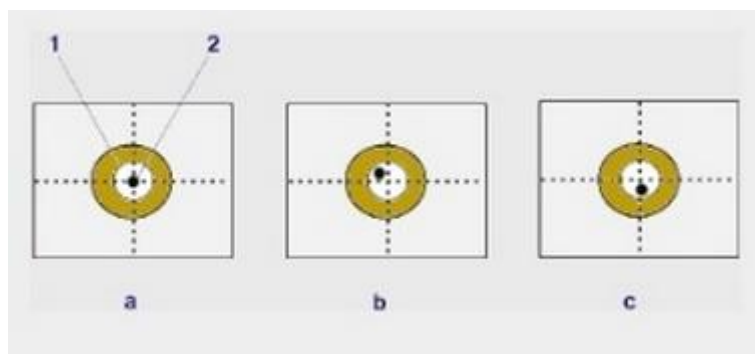
Нека од правила којих се треба држати при подешавању положаја фокуса су:

- а. Фокус на површини лима, када је лим дебљине око 6 мм
- б. Фокус изнад површине лима, када је дебљина лима 8 мм или више
- с. При сечењу алуминијума положај фокус треба подесити да буде у самом лиму. (слика 37)



Слика 39. Положај фокуса[15]

Центрирање зрака кроз млазницу, позиционира се сочива тако да зрак мора да пролази кроз центар млазнице. Да би се добијао бисок квалитет сечења. Добро фокусирани ласерски зрак треба да буде највише 0.005 мм у односу на центар млазнице.



Слика 39. Положај зрака у односу на центар млазнице[15]

1. Центар млазнице; 2. Ласерски зрак

- а) добро позициониран зрак у односу на центар млазнице
- б) лоше позициониран зрак
- ц) лоше позициониран зрак

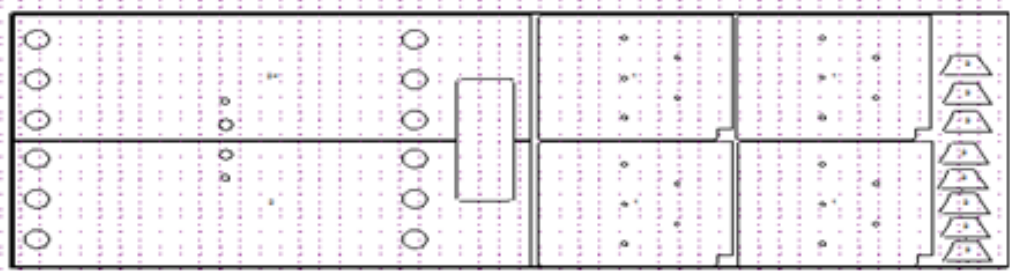
6.2. Проблеми који су се јавили при сечењу ласером у „Радијатор инжењерингу“

У овом делу је извршена спецификација проблема и грешака које су уочене при сечењу ласером у предузећу „Радијатор инжењеринг“ д.о.о. Краљево.

6.2.1 Лош програм

Главни проблем када је лош програм је мали размак између делова. Потребно је да растојање између делова буде минимум 5 – 10 мм, јер се при сечењу део који је одсечен подиже и долази до удара дизне у део.

Овај проблем се може решити променом шеме сечења, повећањем растојања између делова или применом опције *Homocutting-a*, тада делови имају заједничку линију сечења.

		Ref	RST37_2-3000x1020-3		Quantity	1
Job		CNC	CMD35-JOB000108		4/22/2015	
PartNo		3000	3000 x 1020 x 3		12:40:00.00	
						
Machine		Sinus 3015 Plus - 31i - 4000W		User data 1		
Material		RST37_2		X		2954.973
Total time		00:07:48.34		Y		1017.24
Total cost		36.267		Use (%)		85.745
User data 2				Remnant (%)		89.626 95.67
#	Reference	Part time	Sheet	Total	Missing	User data 3 Dimensions
2	CMD35_01_1020x_0108	00:01:47.83	2	2	0	1884.822 x 600
1	CMD35_01_1020_3	00:00:47.18	4	4	0	400 x 1020
3	CMD350C_01_110_3	00:00:08.08	8	8	0	144 x 82231

Слика 40. Лоша шема табле за сечење



Слика 41. Исечена табла применом опције Homocutting-a

6.2.2 Оштећење сочива и дизне

Главни проблем који доводи до оштећења сочива је лош пирсинг (бушење материјала), при лошем забушивању долази до одбијања шљаке и удара ситних честица у сочиво, такође и лоше димензије табле утичу на оштећење сочива.

На сочиву се јављају тачкице које дају знак да се не може више употребљавати. Јер када је сочиво лоше време које је потребно да се изврши бушење материјала се заврши, а због његовог стања се не може пробушити материјал и даљи процес сечења је немогуће.



Слика 42. Истрошено сочиво са тачкицама



Слика 43. Ново сочиво

Положај зрака се мора подесити у средиште дизне, подешавање се врши помоћу сочива, његовим померањем. Прво се поставља дизна са већим пречником, затим се постепено смањује пречник дизне, ово се дешава када се дизна оштети, то се најчешће

дешава при удару дизне у предмет који је одсечен. Када се то догоди, на дизни долази до деформисања материјала, што проузрокује да дизна губи на оријентисаности тј. погрешно дефинисање растојања између дизне и материјала за сечење.

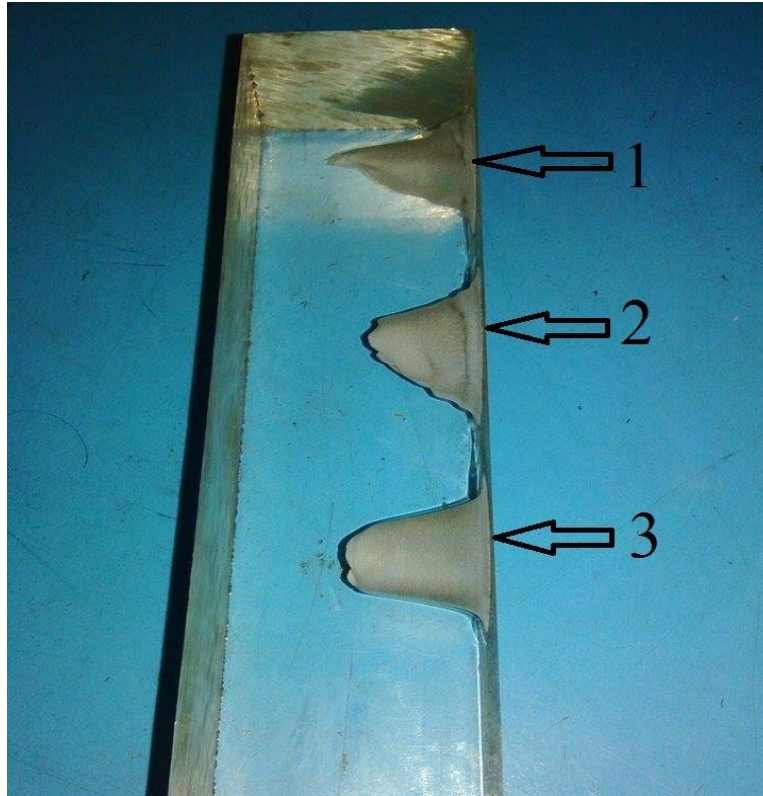


Слика 44. Оштећене дизне

6.2.3 Запрљаност огледала

Запрљаност огледала се јавља у крајњим радним часовима пред сервисирање, што се одражава на губитак радне снаге у зависности колико су огледала запрљана (долази до распршивања зрака) што може да се одрази на деформитет сочива, грејања дизне и главе.

После сваке замене огледала у ласерској путањи или чишћења истих, користи се плексиглас димензије 40 x 45 мм за упуцавање зрака, излазне снаге резонатора.



Слика 45. Плексиглас

Као што се види на слици, потребно је да буде идеално топљење пластике, то је на овој слици под бројем 3.

Ово штеловање је потребно урадити, јер уколико се деси да није правилно наштеловано, главно сочиво би имало деформисаност, машина не би могла правилно да функционише, нити би била безбедна за рад.

6.2.4 Focal definition

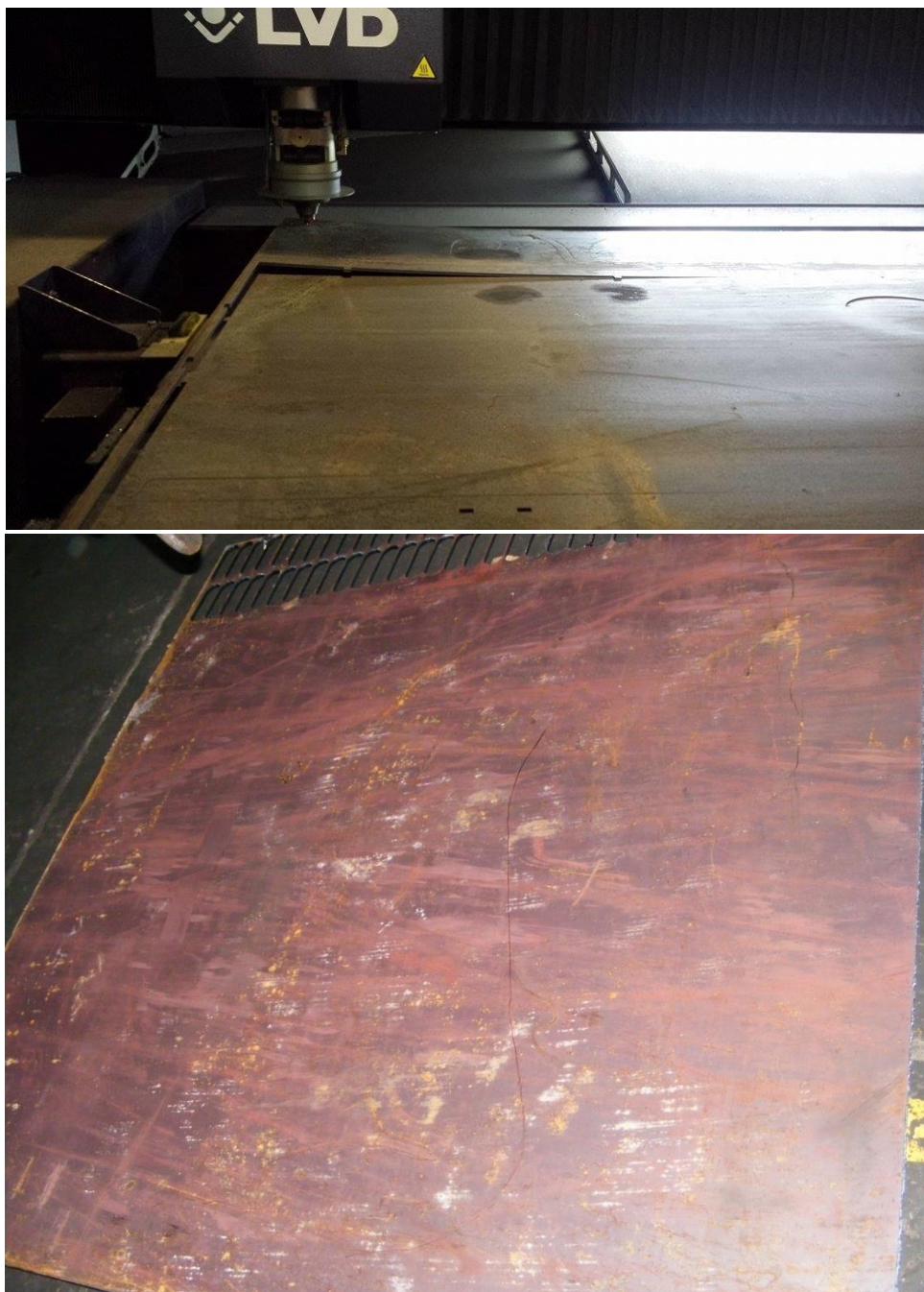
Услед померања фокала (место где се пресеца зрак) долази до лошег реза сечења то се догађа при неком дужем радном периоду. У зависности где је потребно позиционирати место пресецања зрака, положај фокала се може подесити да буде испред табле за сечење, у табли или испод табле.

Пожељно је да се на сваких месец дана ради рефракција фокала.

6.2.5 Проблем радног материјала, табле за сечење

Веома су чести проблеми који се сада јављају са материјалом, јер више није добар квалитет као некада, главни проблеми са материјалом за сечење су:

- Запрљаност табле за сечење
- Корозија на табли
- Валовитост табле за сечење



Слика 46. Пример корозије и запрљаности табле за сечење

6.2.6 Лоше ваљање табле

Када табла лима није правилног облика дешава се деформација после сечења, јер постоји ризик од удара главе при празном ходу.



Слика 47. Неправилно изваљана табла за сечење

6.2.7 Лоша мешавина гасова

Када је лоша мешавина гасова, није омогућено нормално и квалитетно сечење материјала, овај проблем се решава заменом старих боца новим боцама. Лоша мешавина утиче и на притисак.

Сечење је немогуће када притисак азота падне испод 1 бара, као и при сечењу неметала и прохрома када притисак O_2 падне испод 8 бара.



Слика 48. Боце са радним гасовима



Слика 49. Одговарајући притисак у боцама

6.2.8 Софтверски проблем

При раду долази и до одређених софтверских проблем, неке може да реши сам оператор, док за неке проблеме мора стручно лице.

Један од проблема је BEAM DISABLED – при овом проблем машина изгуби комуникацију између огледала, овај проблем се дешава веома често, да би се отклонио потребно је рестартовати комплетну машини да би она наставила са радом, овај процес траје око 45 мин.

Други проблем је KEY 1 DISABLED – машина такође изгуби комуникацију са сигурносним сензором.

Веома је битно да је рачунар машине добрих карактеристика, јер је некада потребно брзо реаговати како би се спречило да не дође до неког оштећења.



Слика 50. Софтверски проблем

6.2.9 Проблеми са резонатором (срце ласера)

Веома су ретки, јер редовним сервисом се спречавају да дође до њих. Основне ствари које спадају у редован сервис су:

- Чишћење оптичке путање,
- Замена уља у турбинама и вакум пумпи, као и Turbo Blower пумпи,
- Подешавање технологије сечења за различите врсте и дебљине материјала итд.,
- Замена електричних компоненти, сензора, осигурача...



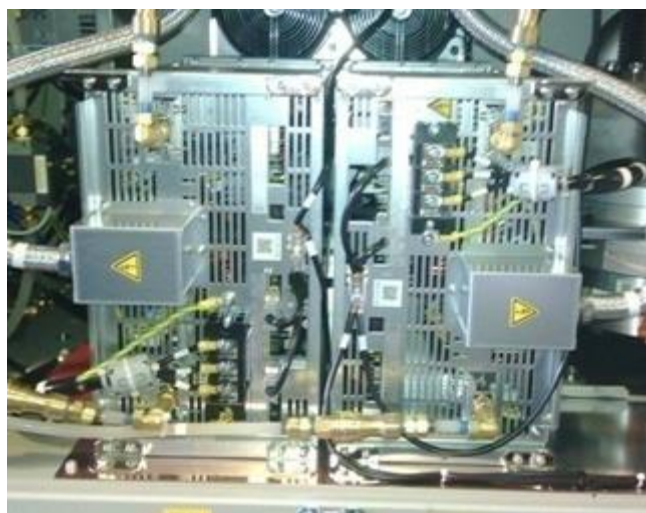
Слика 51. Резонатор



Слика 52. Вакум пумпа



Слика 53. Турбо Blower пумпа



Слика 54. Електричне компоненте резонатора



Слика 55. Осигурачи

7. ЗАКЉУЧАК

Откриће и сама примена ласера убрзава развој технологије. Својим развојем и применом, ласер је потиснуо из употребе неке друге поступке обраде.

Развој нових високо квалитетних материјала захтева интензивирање и развој поступака њихове обраде. Један од савремених поступака обраде је и обрада ласером.

Основне предности обраде ласером су могућност аутоматског регулисања густине снопа, постизања високе температуре у уској зони обраде, мале димензије зоне обраде, могућност померања снопа уз високу тачност и брзину, могућност израде врло малог пречника у свим материјалима, висока концентрација енергије при оштром фокусирању снопа, могућност извођења обраде у нормалним условима (без потребе за дубоким вакумом или другом неутралном средином).

Док су основни недостаци ограниченост фреквенције импулса услед наглог повећања температуре, велики габарити ласерског уређаја, сложеност и комплексност израде и експлоатације ласерске инсталације, чиме ограничавају и примену обраде ласером, у знатно већој мери. Међутим, даљи развој и усавршавању инсталације за ласерски обраду ствара услове и за знатно ширу примену ласера за реализацију низа производних операција.

Обрадом сечењем ласером се постиже већи степен искоришћења, што је поред квалитета резне ивице главна предност. Док је једини недостатак мања продуктивност. Развој ласера је унапредио и развој РС технологије, не само израду рачунара већ и њихове меморије (CD, DVD) која временом добија све веће капацитете.

При раду машине ласера за сечење често се јављају проблеми који утичу на квалитет сечења, брзину сечења... Главни и најчешћи су проблеми везани за сочиво и дизну. Под тиме се подразумева запрљаност сочива што проузрокује лоше забушивање, као и оштећење дизне које може доћи услед лошег материјала за сечење, лоше шеме сечења због чега долази до удара дизне у материјал и онеспособљавања за њену даљу употребу.

Веома је битно да је добра мешавина радних гасова, јер уколико није такође утиче на квалитет сечења. Лоша мешавина гасова утиче и на притисак сечења.

То су неки од проблема које оператор може сам решити и омогућити машини да настави са радом, док неке проблеме мора отклонити сервисер тј. стручно лице.

8. ЛИТЕРАТУРА

3. Миодраг Лазих, Неконвенционални поступци обраде, Научна књига, Београд, 1990
4. Иван Миликић, Квалитет обраде ласером, Дипломски рад, Машински факултет Крагујевац, 2010
5. Драгоје Миликић, Неконвенционални поступци обраде, Факултет техничких наука, Нови Сад,
6. https://sr.wikipedia.org/sr-el/Рубински_ласер 22.06.2015
7. <http://www.arpel.rs/rs/proizvodiDetaljnije/laseri/yagmaster.html> 22.06.2015
8. <http://www.laico.com/company-laser-drilling.html> 28.05.2015
9. <http://koplasserbia.koplasmeza.net/2012/12/03/salvagnini-l5-fiber-laser/> 02.06.2015
10. <http://www.omegathermoproducts.com/page/our-process> 02.06.2015
11. http://en.wikipedia.org/wiki/Laser_engraving 21.05.2015
12. <http://www.lvdgroup.com/us/laser-cutting-machine.aspx> 20.05.2015
13. <http://www.bystronic.com> 21.05.2015
14. <http://www.salvagnini.com> 22.05.2015
15. <http://www.retecon.co.za/retecon/sheetmetal/laser-welding/> 27.05.2015
16. <http://lasersko-graviranje.bisa.hr/lasersko-graviranje-2/> 11.06.2015
17. <http://www.idacontrol.com/articles.php?nid=10> 11.06.2015
18. <http://www.teskolaser.com/laserglossaryn.html> 27.06.2015