

Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Производне технологије 1

Број индекса: 32/2012

Јелена Б. Милосављевић

**Специфичности програмирања машина за сечење
ласером**

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Богдан Недић

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру завршног рада кандидат треба да размотри проблематику поступака обраде ласером, елементе опреме и карактеристике машина и примере примене. Посебан акценат кандидат треба да обрати на софтвере који се користе код машина за сечење ласером. Потребно је описати један од софтвера и дати конкретне примере примене. 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...које се користе у фирми „Радијатор Инжењеринг“. Приказане су машине на којима се врши сечење тј. основни делови ласерске машине за сечење. Детаљно је описани који се користи за израду шема за сечење ласером. И на крају раду детаљно је исписан цео поступак програмирања тј. формирања шеме сечења помочу софтвера **Lantek Expert**

Кључне речи:

Ласер, сечење ласером, програмирање сечења ласером, Lantek Expert.

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 ... Some of the lasers used in the company "Radiator Engineering" with which the candidate is introduced during secondary practice. Displayed are the machines on which to perform sečenje.kao and their equipment used for processing, ie. Crucial parts of laser cutting machines. Described some of the programs used to create schemes for laser cutting. And at the end of the work detanjno is printed the whole process of programming, ie. forming cutting schemes using software Lantek Expert

Key words:

Laser, laser cutting, laser cutting programming, Lantek Expert.

САДРЖАЈ

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА.....	1
2. АНАЛИЗА ПРОЦЕСА ОБРАДЕ ЛАСЕРОМ	2
2.1. Историјат и развој индустријске примене ласера	2
2.2. Принцип рада и опис ласера	3
2.3. Методе сечења ласером	5
2.4. Параметри ласерског зрачења	6
2.5. Врсте ласера.....	8
2.5.1. Чврсти ласери	9
2.5.2. Течни ласери	12
2.5.3. Гасни ласери	13
2.6. Принцип ласерске обраде	15
3. ОПРЕМА ЗА ОБРАДУ СЕЧЕЊА ЛАСЕРОМ	17
3.1. Машина за ласерску обраду лима сечењем.....	17
3.1.1. Ласер Orion 3015 Plus (CO ₂)	17
3.1.2. Ласер Electra FL-3015 (Fiber laser).....	18
3.1.3. Ласер AXEL 4020 (CO ₂)	18
3.2. Машине за ласерско гравирање	19
3.3. Основни делови ласерске машине	20
3.3.1. Управљачка јединица	21
3.3.2. Управљачки терминал.....	22
3.3.3. Ласерски резонатор.....	23
3.3.4. Глава за сечење	25
3.3.5. Носач главе за сечење	26
3.3.6. Радни сто	27
4. ВРСТЕ ПРОГРАМИРАЊА.....	28
4.1. Lantek expert	28
4.2. SALVAGNINI CAD/CAM	29
4.2.1. SIMLASER.....	30
4.2.2. CAMLASER	31
4.2.3. NESTLASER.....	32
4.3. CADMAN L.....	32
5. ОСНОВЕ ПРОГРАМИРАЊА LANTEK EXPERT	36

5.1. Поступак програмирања сечењем.....	36
5.2. Креирање делова.....	37
5.3. Припремање дела за сечење.....	46
5.4. Позиционирање.....	48
5.4.1. Димензије табле за сечење.....	48
5.4.2. Ручно позиционирање	48
5.4.3. Аутоматско позиционирање	51
5.4.5. Позиционирање са заједничком линијом сечења	51
5.5. Обрада	52
5.6. Пример позиционирања делова на табли за сечење	56
6. ЗАКЉУЧАК	60
7. ЛИТЕРАТУРА	61

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, отпорношћу 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.

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 ласера, подела ласера, методе сечења ласером, као и принципи обраде ласером.

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

У четвртном поглављу дати су примери софтвера који се користе за формирање шема за сечење ласером.

У петом поглављу је детаљно описан поступак креирања шеме за сечење ласером у софтверском програму Lantek Expert.

2. АНАЛИЗА ПРОЦЕСА ОБРАДЕ ЛАСЕРОМ

2.1. 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 је 1803. године и непосредно откриће поларизације светлости. Максвелова електромагнетна теорија је објаснила појам светлости као брзину вибрација у електромагнетном пољу проузрокованих осциловањем честица.

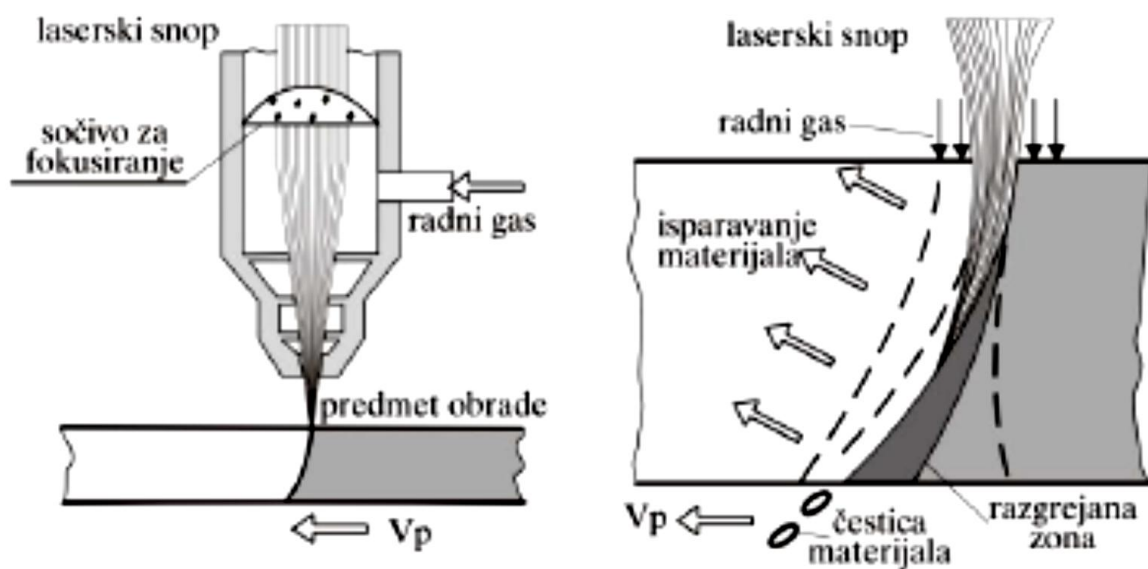
Први ласер је пронађен у Мајамију, маја 1960. године. То је био рубинов ласер изузетне чврстоће. Многе врсте ласера су пронађене ускоро после рубиновог ласера - први уранијум ласер у ИБМ (новембар 1960. године), први хелијум-неонски ласер 1961. године, први **Nd** ласер: **YAG**-ласер и **CO₂** ласер 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. Овај нови правац обраде материјала добио је назив ласерска технологија.

На слици 1. приказана је шема обраде ласерским снопом.



Слика 1. Принципијелна шема обраде ласерским снопом [1]

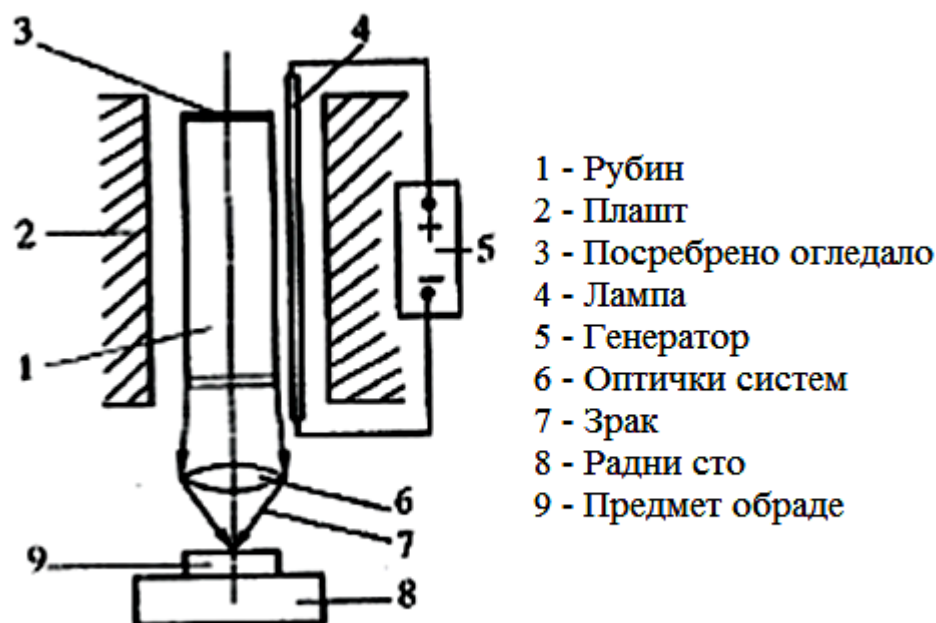
2.2. Принцип рада и опис ласера

Принцип рада ласера базира се на својству емитера-активне средине (чврсто тело, течност, гас) да у кратком временском интервалу, од неколико милисекунди емитије у облику светлосног зрачења део претходно уложене енергије. Код ласера са чврстим емитером, побуђивање зрачења обично се врши претходним обасјавањем активне средине светлошћу лампе блескавице. Код рубинског ласера, на пример, користи се импулсна ксенонова лампа, иако ова лампа емитије 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 $l = 7 \text{ mm}$, $ul = 125 \text{ mm}$, 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 ваздушног хлађења или воденог. 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.

Шема обраде и ласер са чврстим емитером од рубинског кристала дати су на слици 2.



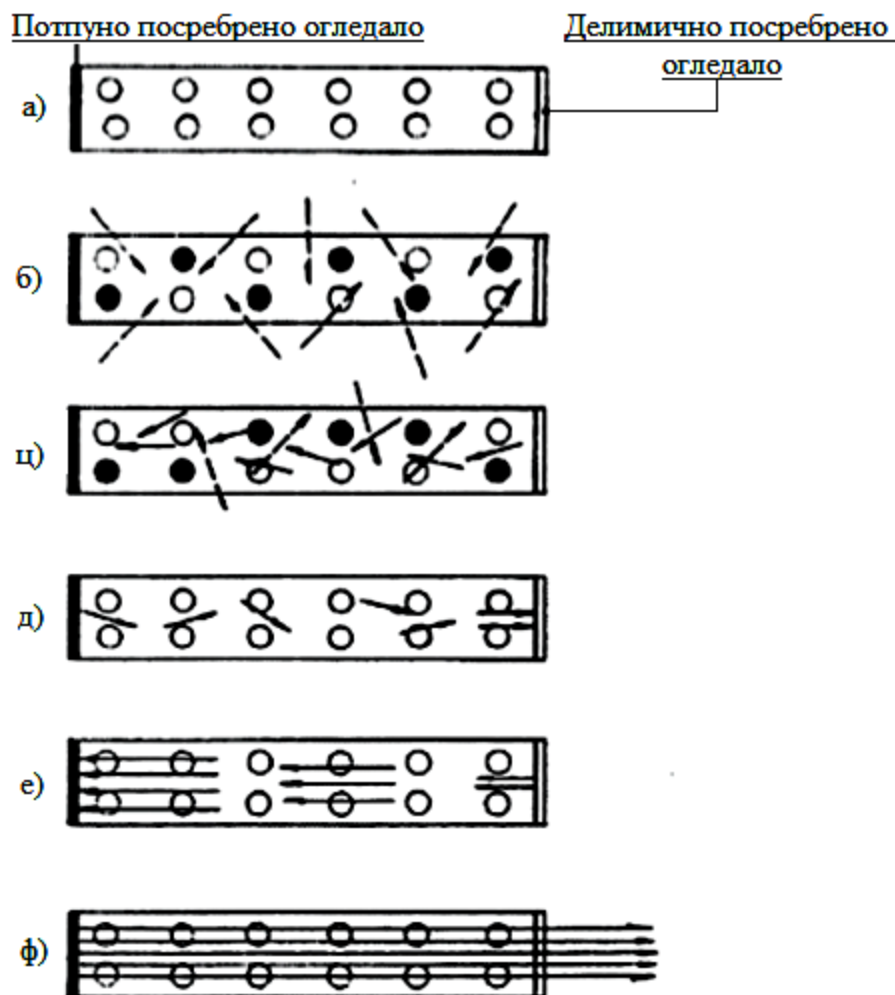
Слика 2. Шема обраде рубинским ласером [2]

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), слика 3.

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 индиковане 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 полупосребрено оледало (ϕ), слика 3.



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

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 .

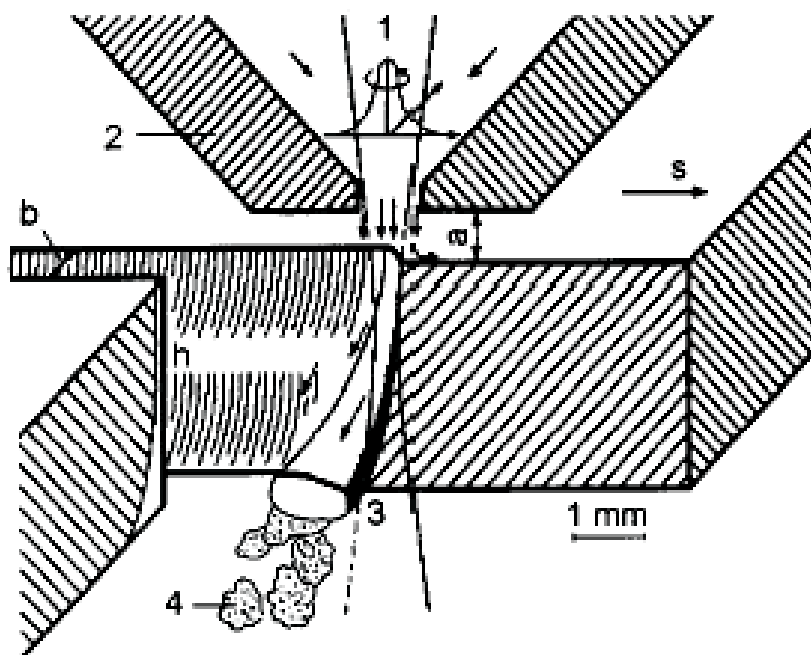
Поступци сечења, засновани на испаравању материјала предмета обраде, траже велику густину снаге, односно велику густину енергије. Остварују се по правилу, импулсним зрачењем.

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 накнадни лом материјала када је зрачење ласером завршено.

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

На слици 4. дат је шематски приказ сечења ласером.



Слика 4. Шематски приказ сечења ласером

2.4. Параметри 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. [14]

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 зрака (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 обраде 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:

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

2.5. Врсте ласера

Постоји више критеријума за поделу ласера слика 5. Основна подела ласера је према агрегатном стању активне средине:

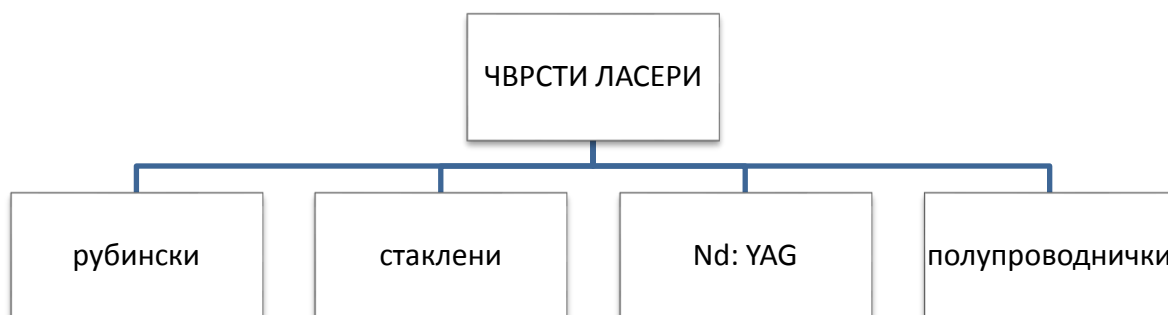
1. Чврсти ласери
2. Течни ласери
3. Гасни ласери



Слика 5. Подела ласера [2]

2.5.1. Чврсти ласери

Ласери са чврстим телом, слика 6, 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.



Слика 6. Подела чврстих ласера [2]

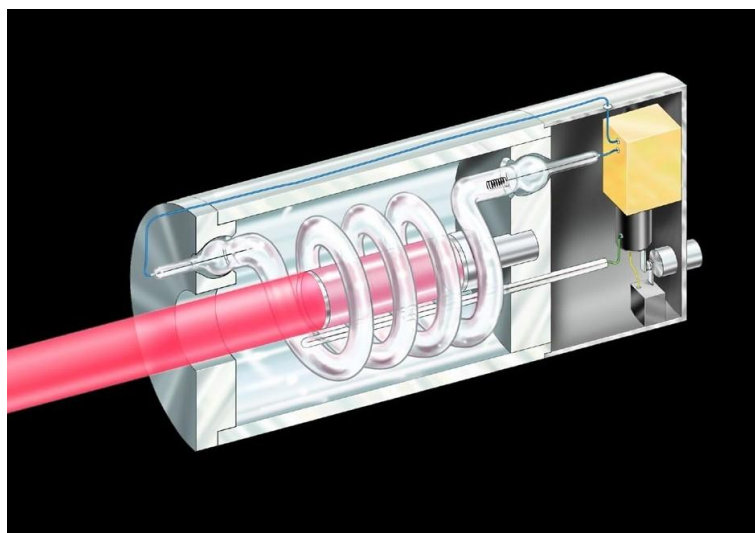
Због тога је насељеност енергетских нивоа у чврстим телима много већа од насељености енергетских нивоа у гасовима. Чврсто тело као оптичка средина има мању оптичку хомогеност него гасови, што условљава веће дисперзионе губитке светлости и смањење квалитета резонатора при његовој већој дужини, па зато нема смисла производити активне елементе веће дужине. Активни елементи ових ласера не прелазе дужину од 60 μm за оптички најхомогеније материјале.

Рубински ласер

Међу ласерима са чврстим телом најпознатији је рубински ласер који је приказан на слици 7. Он је израђен на бази ласерског материјала од кристалног синтетичког рубина (Al_2O_3) у виду цилиндра (10 x 10 mm) са додатком 0.5 % тровалентног хрома (Cr^{+++}). Рубин је минерал бледо ружичасте боје до јарко црвене боје, при чему преовладава црвена боја таласне дужине светлости $\lambda = 0.6943 \mu\text{m}$.

Рубински ласери могу да раде у импулсном (са енергијом од неколико J) и континуалном режиму (са енергијом до 100 J). Због великог загревања и малог степена искоришћења који износи 1%, рубински ласери се у већини случајева користе као импулсни. Ласери који раде 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 7. Рубински ласер [4]

Стаклени ласер

Састоји се од високопрозирног 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 ÷ 1000 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 8. YAG је скраћени назив за итријев алуминијев гранат $Y_3Al_5O_{12}$ који представља најчешћи извор ласерског зрачења. YAG спада у групу врло тврђих 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 ÷ 50 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 8. 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.

2.5.2. 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 $1 \div 2$ 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 Nd 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 (C_6H_5N), азотних ($C_4H_4N_2$) 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.

2.5.3. 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. [3].

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, зато се 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.

CO₂ ласер

Тело CO₂ ласера 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

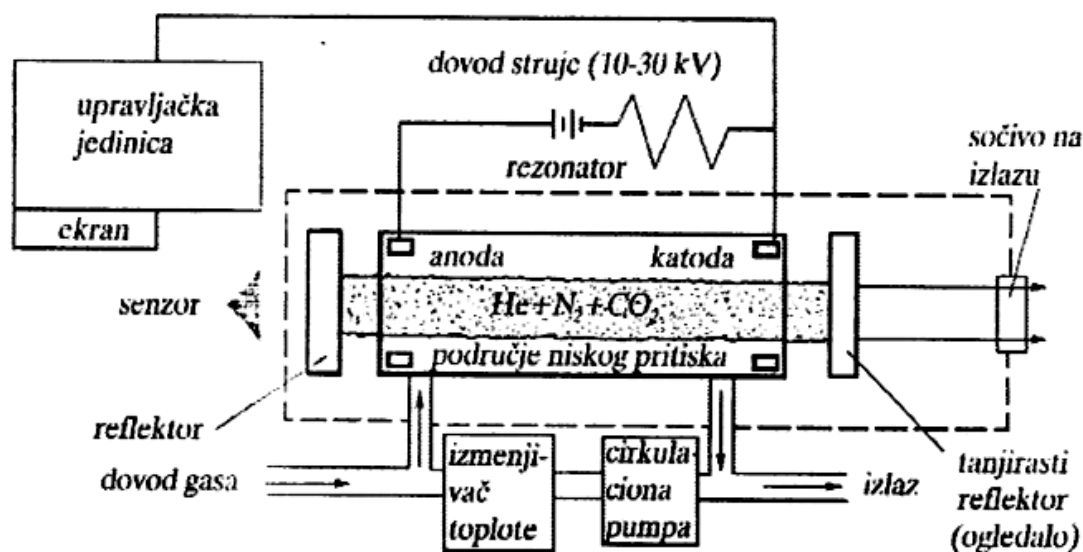
импулсном и континуалном режиму, а као индустријски ласери имају снагу и до 15KW. CO₂ ласерима може да се врши бушење, сечење, заваривање, маркирање, термичка обрада на различитим материјалима, наношење тврдох превлака итд.

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, CO₂ ласери 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 9, је приказан принцип обраде CO₂ ласера.



Слика 9. Принцип обраде CO₂ laserом [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 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.

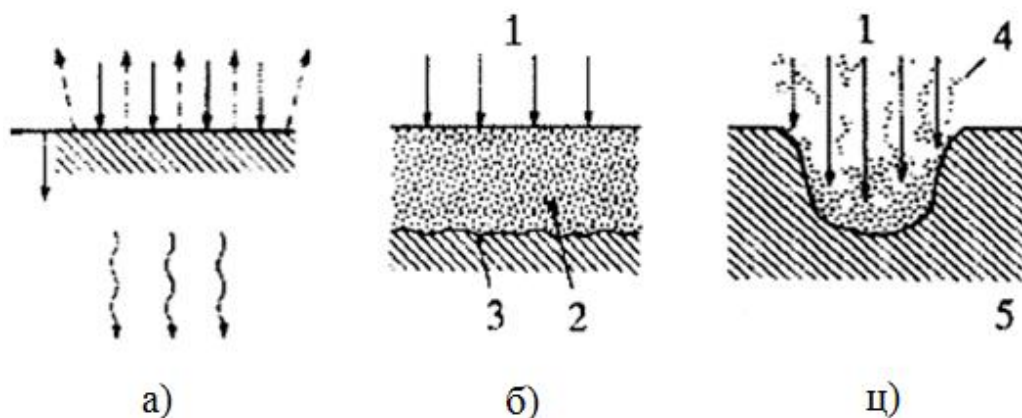
2.6. Принцип ласерске обраде

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 10. је приказана интеракција ласерских зрака са материјалом..



Слика 10. Интеракција ласерских зрака са обрађиваним материјалом [3]

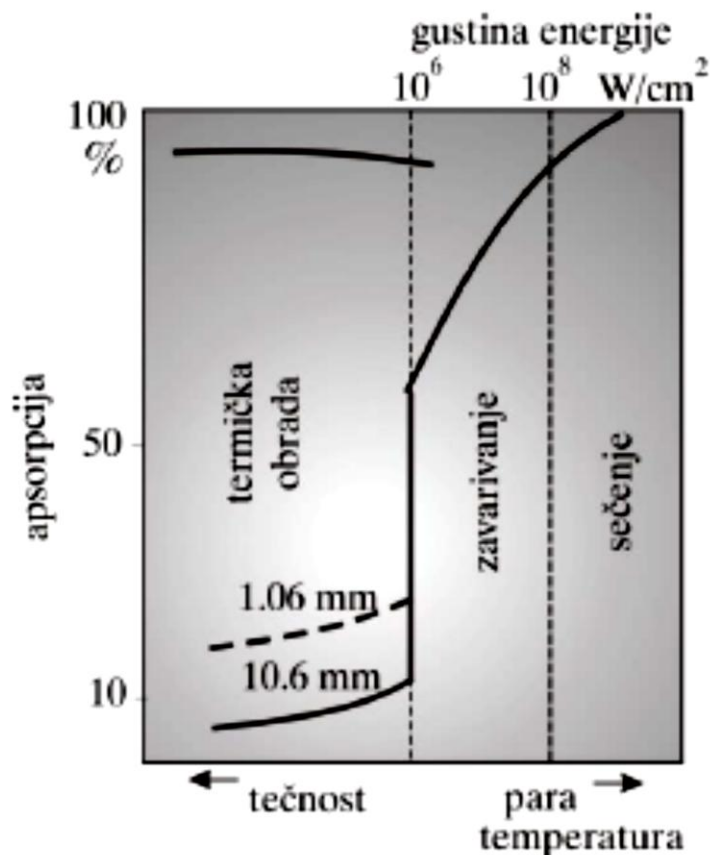
а) рефлексија и апсорпција, б) топљење, ц) испаравањ

1 – ласерски зраци, 2 – истопљени материјал, 3 – транична зона између шврстог 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.



Слика 11. 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/cm² за већи број метала коефицијент рефлексије се значајно повећава. Повећање густине ласерског млаза изнад 10^{10} W/cm², 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 А %. У циљу повећања ефикасности обраде ласером може се вештачки снизити рефлекциона способност повећањем храпавости површине, претходним загревањем или коришћењем разних превлака.

3. ОПРЕМА ЗА ОБРАДУ СЕЧЕЊА ЛАСЕРОМ

Ласером се врши сечење лимова 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.

3.1. Машина за ласерску обраду лима сечењем

У наредном делу текста су описане неке од машина које се користе и у фирми „Радијатор Инжењеринг“.

3.1.1. Ласер Orion 3015 Plus (CO₂)

Ласер ORION 3015 PLUS (слика 12), је 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. Основне карактеристике овог ласера су:

- Снага - 2500 W – 4000 W
- Сечење челика дебљине 16 мм, и алуминијума до 10 мм
- Максималне димензије табле 3000 x 1500 мм
- NC Focus елиминира потребу да оператор подешава положај фокала
- Аутоматско позиционирање табле
- 240 мм по Z- оси
- Изузетан квалитет и прецизност



Слика 12. ORION 3015 PLUS [6]

3.1.2. Ласер Electra FL-3015 (Fiber laser)

Ласер **Electra FL-3015** слика 13. је један од најсавременијих ласера нове генерације које одликује велика брзина резања танких лимова. Основне карактеристике овог ласера су:

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



Слика 13. Ласер **Electra FL-3015** [6]

3.1.3. Ласер AXEL 4020 (CO₂)

Ласер **Axel 4020** слика 14. је веома високих перформанси, веома велику брзину сечења дебелих и танких материјала, поседује и велику поузданост са ниским трошковима одржавања.



Слика 14. Ласер **AXEL 4020** [6]

Карактеристике које поседује овај ласер су:

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

3.2. Машине за ласерско гравирање

Ова снажна индустријска ласерска машина **LS900** слика 15. долази као десктоп или верзија са сопственим постолом, 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 15. Ласер **530A** за ласерско гравирање и сечење [7]

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).

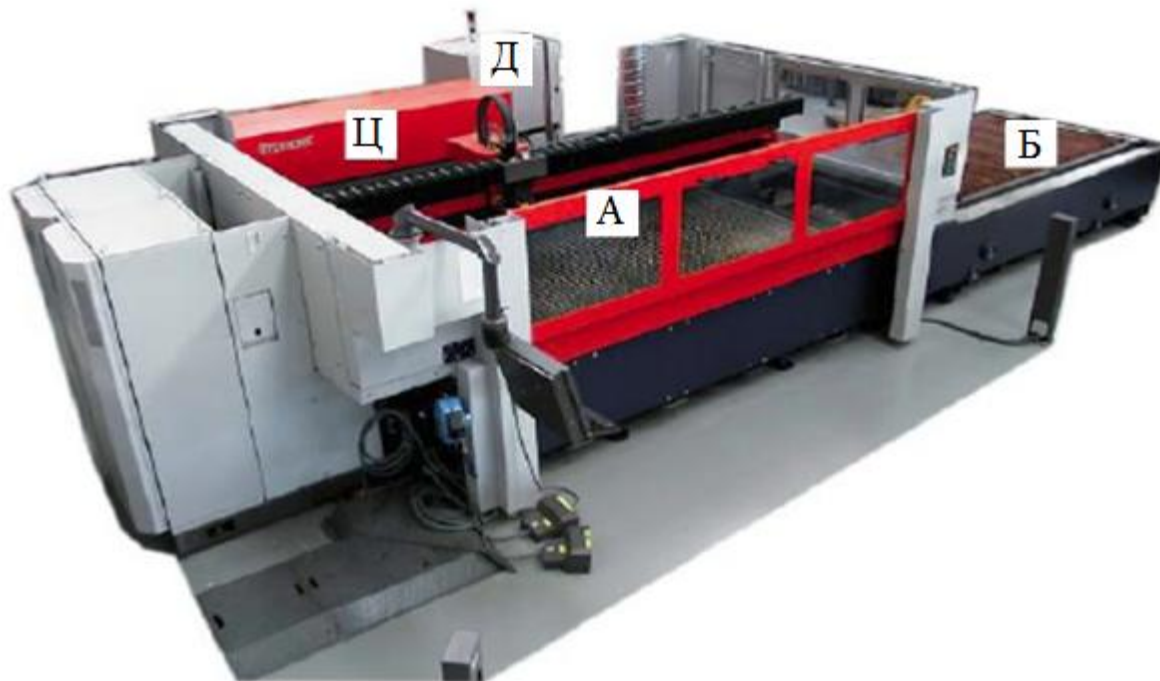
3.3. Основни делови ласерске машине

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 сачињавају 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 16. приказана је ласерска машина за сечење и њене основне компоненте.

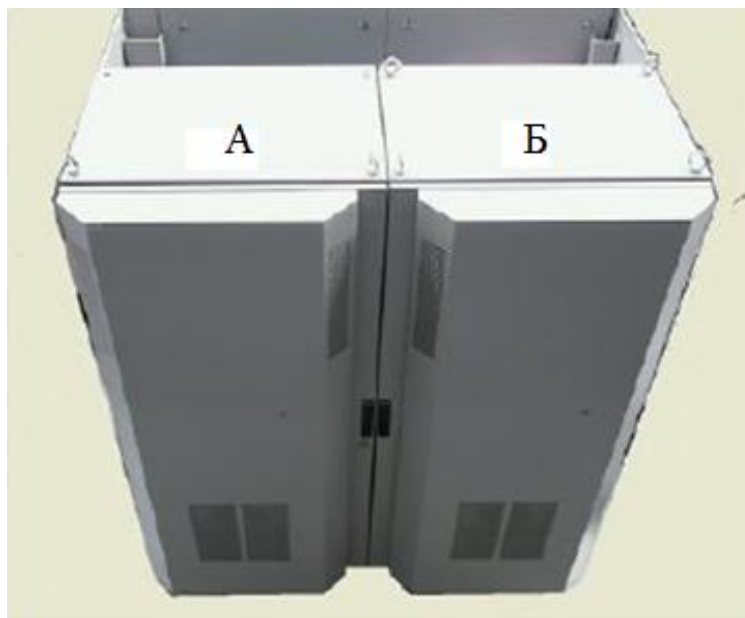


Слика 16. Ласерска машина Bystar 3015 [7]

А – Ласерска машина, Б – Радни сто, Ц – Ласер, Д – Резонатор

3.3.1 Управљачка јединица

CNC и **STL** управљачка јединица слика 17. заједно са напајањем чине управљачко језгро ове ласерске машине. У посебно одвојеним коадним 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.



Слика 17. Управљачка јединица [3]

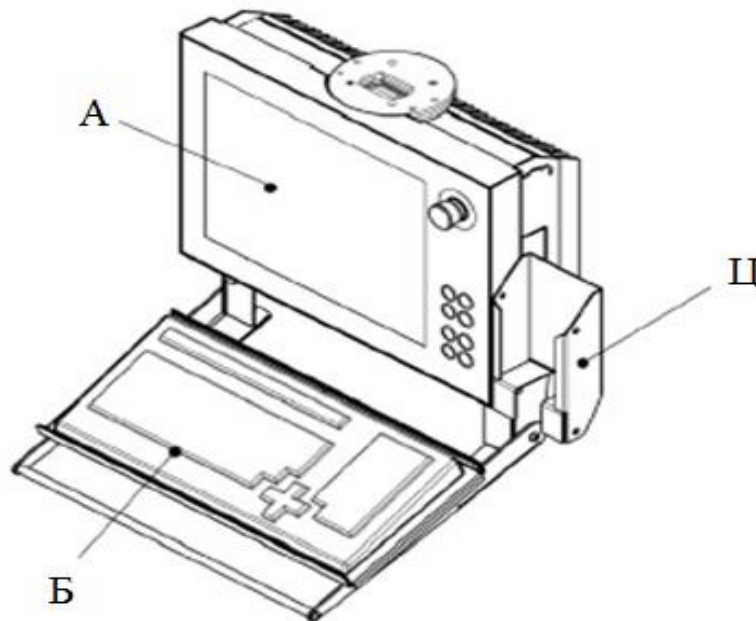
А – **STL** управљачка јединица, **Б** – **CNC** управљачка јединица

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.

3.3.2 Управљачки терминал

Управљачки терминал је приказан на слици 18. Налази се на обртном носачу који је причвршћен за ласерску машину. Носач му омогућава обртање око осе носача као и хоризонтално померање.



Слика 18. Управљачки терминал[3]

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

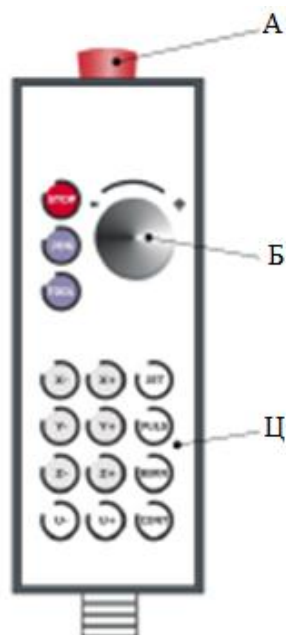
Управљачки терминал садржи:

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 вршите 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 19. који се користи приликом подешавања ласера, пробна сечења са различитим параметрима као и појединачних сечења из мањих табли лима.



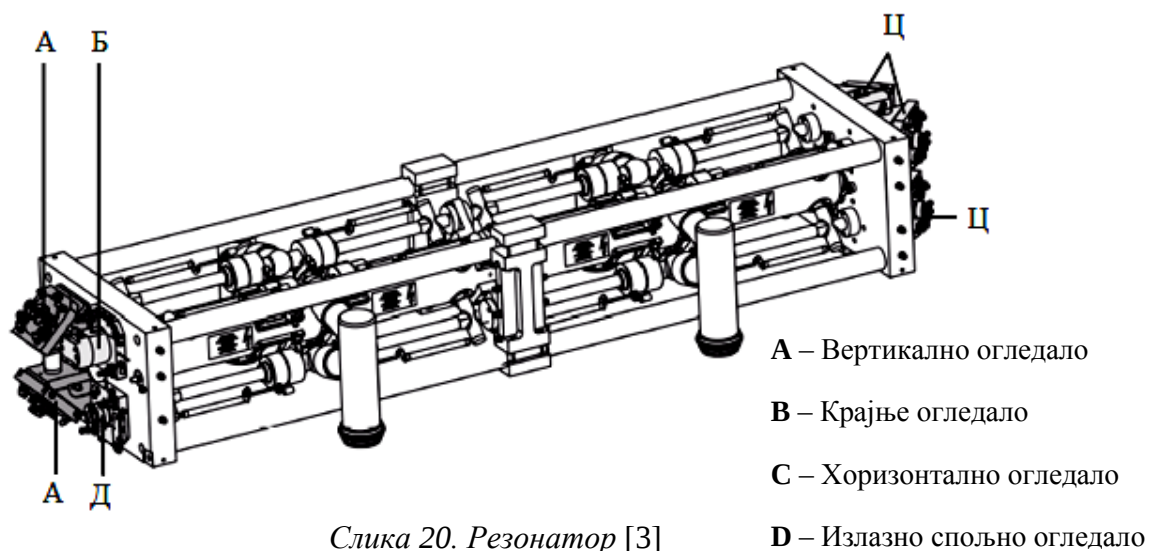
Слика 19. Ручни терминал[3]

А - STOP тастер, Б – Точкић, Ц – Тастатура

3.3.3. Ласерски резонатор

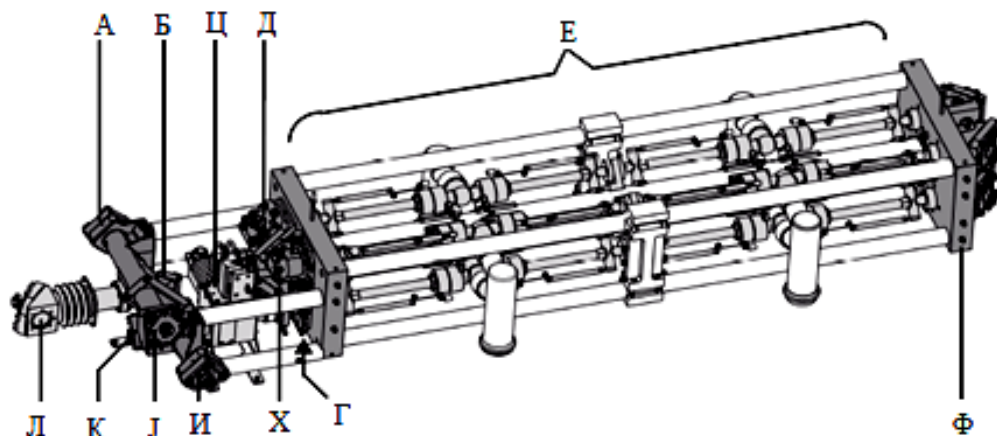
Ласерски сноп се генерише у цевима за пражњење, све у циљу постизања жељене снаге ласера. Цеви за пражњење су постављене у две нагнуте равни, што се може видети на слици 20. Крајње и излазно спојна огледала се монтирају на оба краја цеви за пражњење које заједно са хоризонталним и вертикалним поларизованим огледалима чине резонатор у коме настаје ласерски сноп.

На слици 20. је приказан резонатор са огледалима, а на слици 21. резонатор са системом излазних огледала.



Слика 20. Резонатор [3]

А – Вертикално огледало
Б – Крајње огледало
С – Хоризонтално огледало
Д – Излазно спољно огледало



Слика 21. Резонатор са системом излазних огледала [3]

А – Конкавно телескопско огледало

Б – Поларизовано огледало

Ц – Бленда (затварач)

Д – Предња плоча са свим вертикалним огледалима

Е – Резонатор са DC цевима за пражњење

Ф – Крајња плоча са 4 хоризонтална огледала

Г – Излазно спољње огледало

Х – Крајње огледало

И – Конвексно телескопско огледало

Ј – Огледало за усмеравање

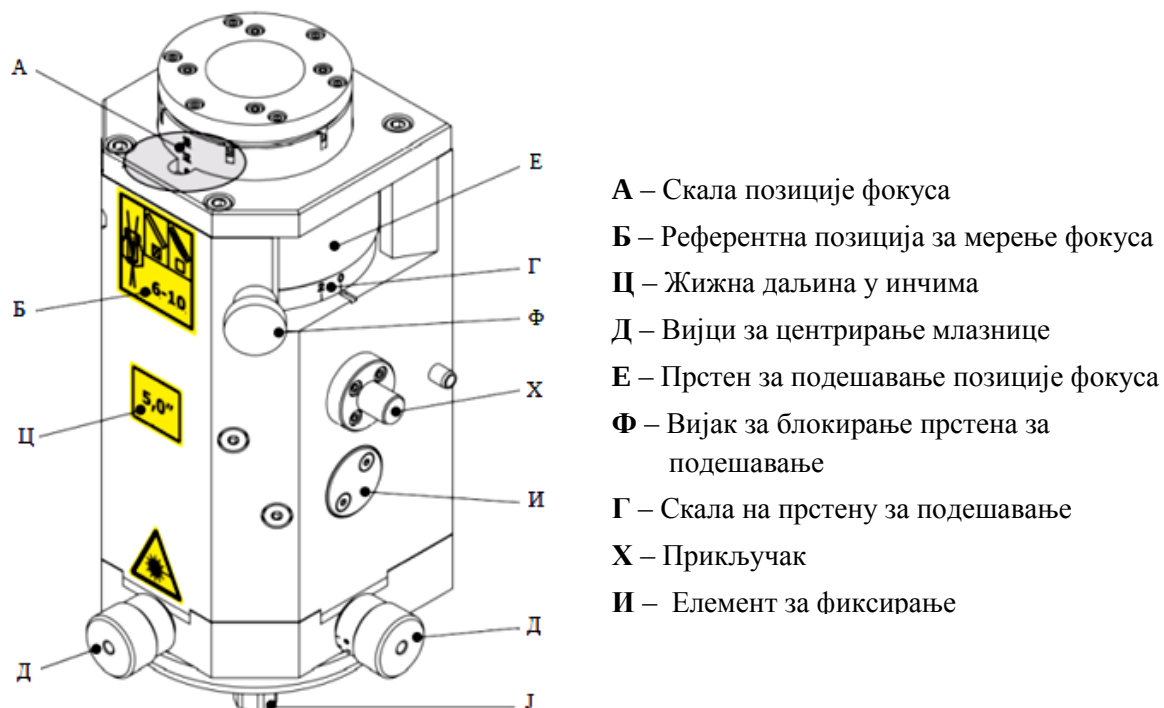
К – Огледало за усмеравање

Л – 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°

3.3.4. Глава за сечење

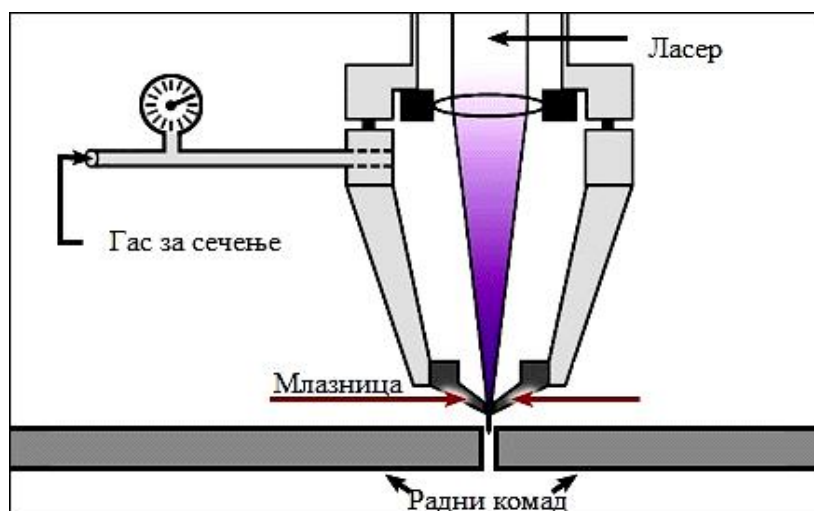
У глави за сечење слика 22. налази се сочиво које фокусира ласерски сноп према предмету обраде. У зависности од врсте материјала који се сече бира се глава за сечење са сочивом одговарајуће жижне даљине.



Слика 22. Глава за сечење [9]

Облик и пречник млазнице слика 23, које се монтира на глави за сечење зависи од:

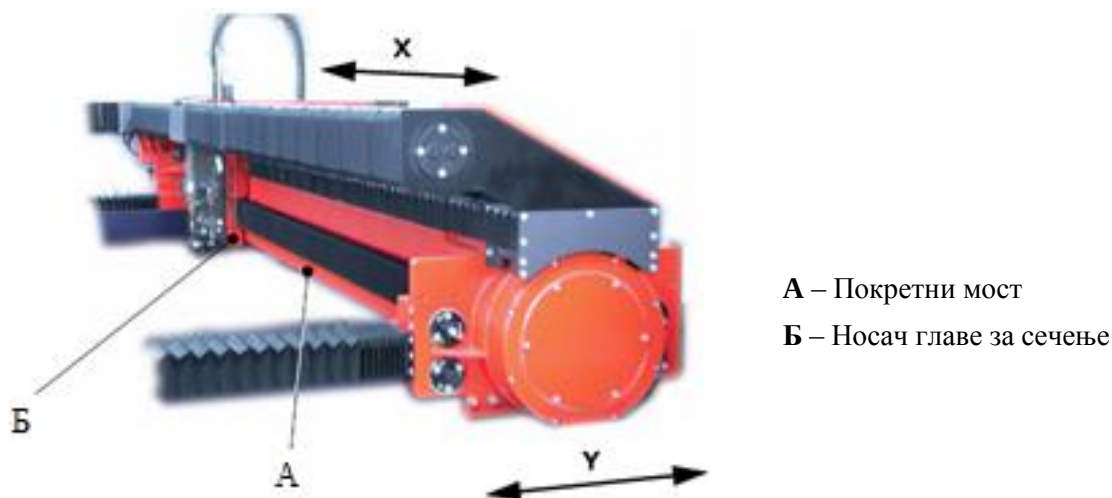
- типа материјала,
- дебљине материјала,
- прецеса сечења



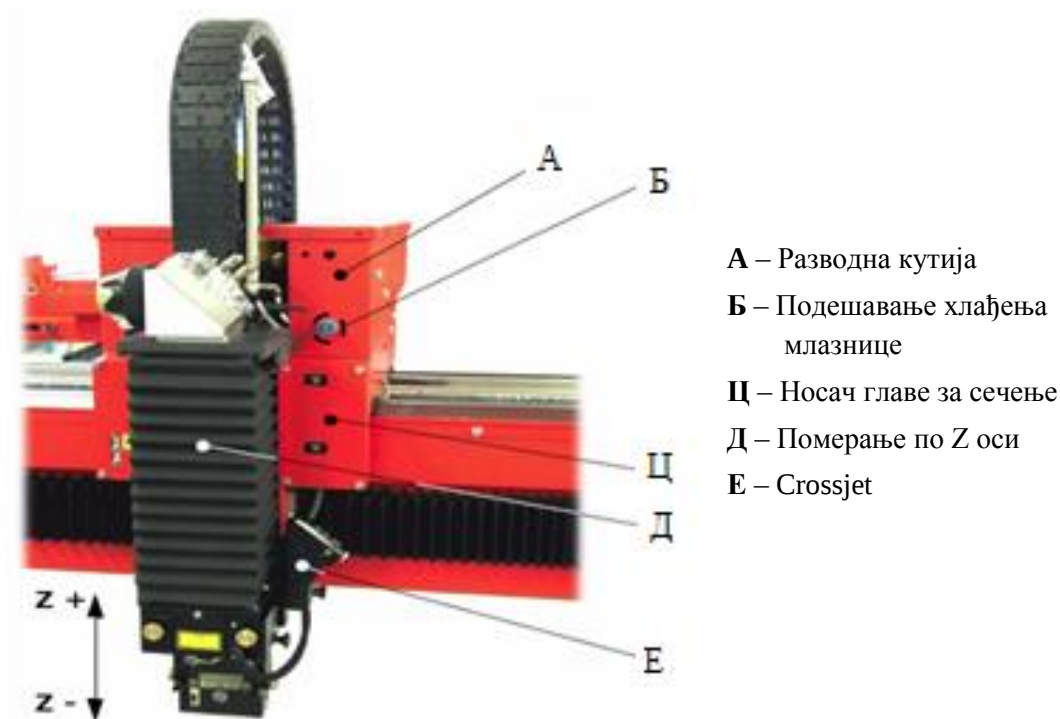
Слика 23. Млазница [9]

3.3.5. Носач главе за сечење

Носач главе слика 24. 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.



Слика 24. Покретни мост [7]



Слика 25. Носач главе за сечење [7]

Сам носач главе слика 25. 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.

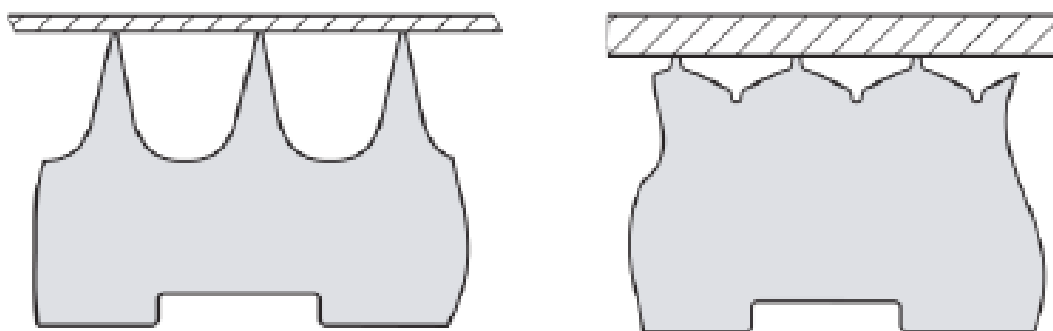
3.3.6. Радни сто

Радни сто ове ласерске машине слика 26. 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 решетци док је на другој могуће вршити припремање материјала за следеће сечење.



Слика 26. Радни сто са изменљивим решеткама Salvagnini ласера [8]

Решетке служе за придржавање радног комада у току процеса сечења слика 27. 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 27. Решетка за тање и дебље лимове [3]

4. ВРСТЕ ПРОГРАМИРАЊА

Основни програми који се користе за програмирање ласера за сечење су:

- **LANTEK EXPERT,**
- **SALVAGNINI CAD/CAM**
- **CADMAN L.**

Сви ови програми раде на сличан начин: При програмирању веома је битно обратити пажњу на опције које треба изабрати, неке од тих су: машина на којој ће се вршити сечење, затим материјал који се користи тј. његова дебљина, димензија табле, број комада, која се технологија сечења примењује итд. То су неке од основних карактеристика али треба водити рачуна и о осталим карактеристикама такође.

4.1. Lantek expert

Лантек развија **CAD/CAM** системе преко 20 година у сарадњи са произвођачима машина. **Expert II** савршено комбинује технологију машина са потребама корисника у смислу управљања и програмирања. Поред аутоматизоване израде цртежа (**Duct modul**) и креирања **NC** кода за машине, **Expert II** омогућава и различите менаџмент алате као што је управљање залихама производа, алата, подацима о пројектима и купцима, калкулатор времена израде и цене комада који се израђује. Систем подржава и штампање различитих озвештаја: од листе алата, готових комада, материјала до радног налога на коме се налазе сви подаци потребни оператеру [2].

Lantek Expert II платформа може садржати модуле:

1. CUT OxyFuel / Plasma
2. CUT Laser
3. CUT WaterJet
4. Punch
5. Shear
6. Duct

Модули **CUT** групе су дизајнирани за аутоматизовано програмирање сечења лима из табле технологијама млазног сечења. **Punch** модул омогућава рад са **CNC** пробијачицама, **Shear** за аутоматизовано одсецање табле. **Duct модул** представља библиотеку параметарских цртежа који решавају читав спектар проблема приликом пројектовања вентилационих канала и система. Параметарски цртежи се мењају преко уношења карактеристичних кота и одмах су спремни за даљу технолошку припрему. Стандардне лиценце омогућавају рад са популарним **DXF** и **DWG** форматима, док је могуће купити import/export додатке за остале водеће **2D** и **3D CAD** платформе.

LANTEK Expert II води рачуна о подешавањима машине и алатима који су одвојени за њу. Предност интегрисане платформе коју доноси **Expert** је могућност обраде цртежа на једном месту и креирање технологије за више различитих машина. Интегрисани систем за архивирање цртежа и подешавања помаже спречавање губитка информација али и омогућава лакше сервисирање и подршку купцима.

Са опционим лиценцама могуће је користити више **Lantek** радних станица са једним сервером тако да цело технолошко одељење синхронизовано ради и размењује цртеже и програме преко интегрисаног система. По стандардној лиценци, купац има право на бесплатну надоградњу своје инсталације са наредне две верзије софтвера.

Lantek Expert у себи има **Main, Drawing** и **Nesting module**. **Main modul** управља цртежима, пројектима и подешавањима. **Drawing modulom** се дефинише технологија за постојећи **CAD** цртеж.

Main, Drawing i Nesting CAD Drawing modulo Main modul DWG/DXF не купује dodatni **CAD** softver (као што су AutoCAD, BickCAD...). **Nesting modul** омогућава слагање комада на таблу и генерисање **NC** кода. За **LANTEK Expert I** није доступан модул за аутоматски **Nesting**. Систем води рачуна о залихама материјала али и о остацима табле – чиме доприноси оптималном искоришћењу. Уколико је купљена лиценца са Automatskim Nestingom (доступно само за **LANTEK Expert II**), систем ће сам оптимално распоредити комаде на табли на основу задатих потребних количина. Систем такође води рачуна и о остацима табле (remnants) те тако доприноси оптималном искоришћењу.

LANTEK Easy Punch

Представља варијанту **Expert II** система са **Expert II** постпроцесором и разликује се од осталих пакета по повољној цени која је резултат стратешког партнерства **Euromac-a** и **Lanteka**. [2]

LANTEK Expert III – Обухвата све могућности система **Expert II**, али поред њих он омогућава управљање производима, креирање и управљање понудама, евидентирање и вођење продаја, производног циклуса, залиха производа и материјала и управљање набавкама.

ERP (Enterprise Resource Planning Software) решење за управљање ресурсима предузећа специјализован за производну индустрију / обраду лима. Основна предност оваквог **ERP** решења у односу на остале је његова интерпретација са **CAD/CAM** решењем што представља добро решење менаџмента производног предузећа.

4.2. SALVAGNINI CAD/CAM

SALVAGNINI од почетка производње аутоматизованих производних система има сопствени развој софтвера што представља једну од кључних предности компаније у односу на конкуренцију. Сопственим развојем софтвера **SALVAGNINI** је обезбедио потпуну оптимизацију рада својих машина и максимално искоришћење примењене опреме [3].

SALVAGNINI L3 Fiber Laser

Овај модел представља унапређено решење којим је компанија учврстила своју позицију на тржишту. **L3** је први систем за **2D** ласерско сечења. Он представља резултат вишегодишњег истраживања и развоја у области ласерске технологије, што га чини идеалним решењем које испуњава потребе купаца као што су: “**user-friendly**”- управљање ласерским системом, високе перформансе, ниски оперативни трошкови, ниска потрошња енергије и флексибилност.

SALVAGNINI L5 Fiber Laser

Овај модел представља унапређено решење модела **L3**. Омогућава знатно веће брзине сечења ситних комада јер се ослања на две додатне осе.

Главне предности **SALVAGNINI L5** решења у односу на конкуренцију су:

- Могућност сечења помоћу компримованог ваздуха - **ACUT**
- Наменски развијана **SALVAGNINI** ласерска глава за супериорне перформансе
- Наменски развијан управљачки и **CAD/CAM** софтвер
- Наменски развијена **CNC** платформа: **SALVAGNINI** и **SIX**
- Најнижи оперативни трошкови (енергија, гасови)
- Супериорна техничка подршка

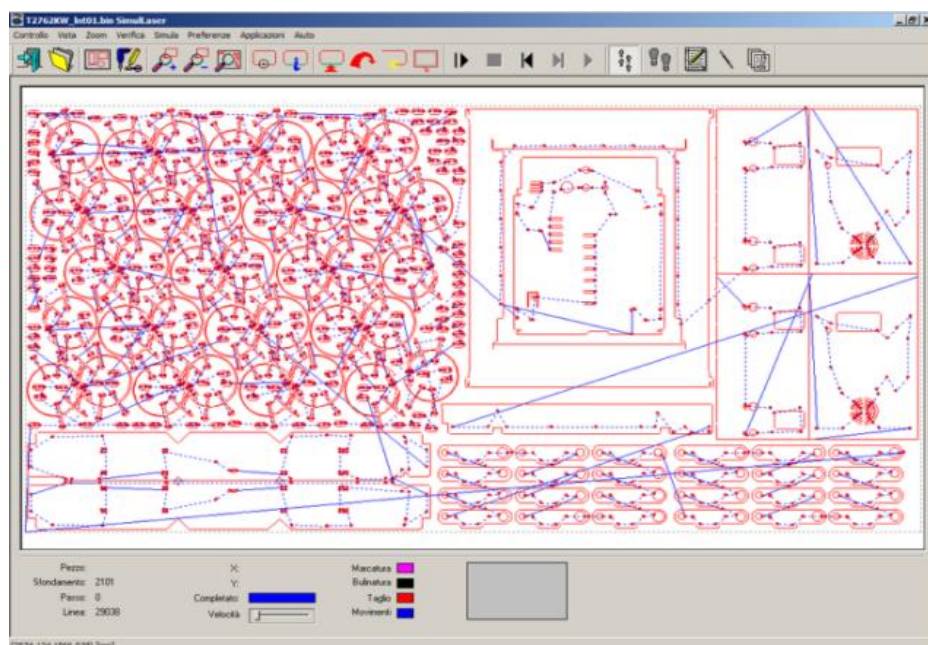
Другу групу **SALVAGNINI** софтвера (описану скраћеницом **CAD/CAM**) чине софтверски алати за **CAD/CAM** операције, симулације и оптимизацију искоришћења материјала.

У наставку текста ће бити описане софтверске компоненте ове групе:

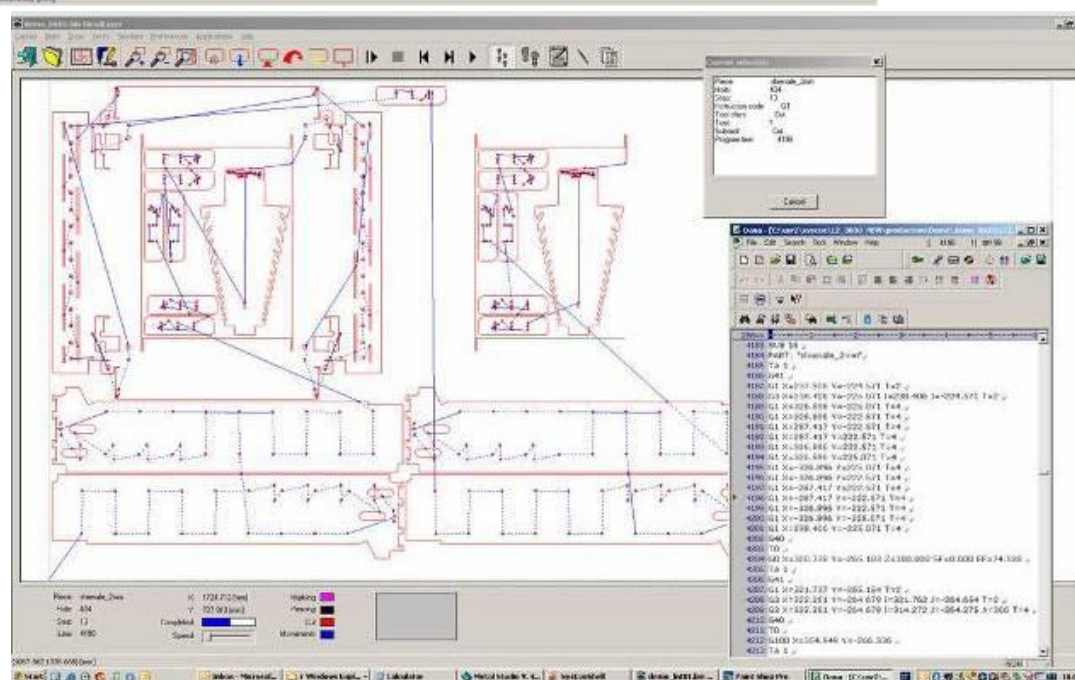
1. **SIMLASER**
2. **CAMLASER**
3. **NESTLASER**

4.2.1. SIMLASER

Систем за симулацију и анализу извршног програма ласерског сечења. Програм је могуће користити директно на управљачкој конзоли као и на канцеларијском (припремном) рачунару. **SIMLASER** се користи за: сагледавање редоследа операција извршног програма за ласерско сечење, позиција које се исецају, путање ласерске главе и увид у технолошке параметре. [3]



Слика 27.
SIMLASER корисничко
окужење [12]



Слика 28. SIMLASER корисничко окужење [12]

4.2.2. CAMLASER

Комплетно **CAD/CAM** окружење за аутоматско “**off-line**” (у канцеларији) програмирање ласерског система на основу техничких цртежа у популарним индустријским форматима (**DWG, DXF ...**).

CAMLASER се састоји из модула – функционалних целина - Интегрисан **2D CAD** модул који омогућава прављење **2D** техничких цртежа, import/export популарних **CAD** формата (**DXF, DWG**).

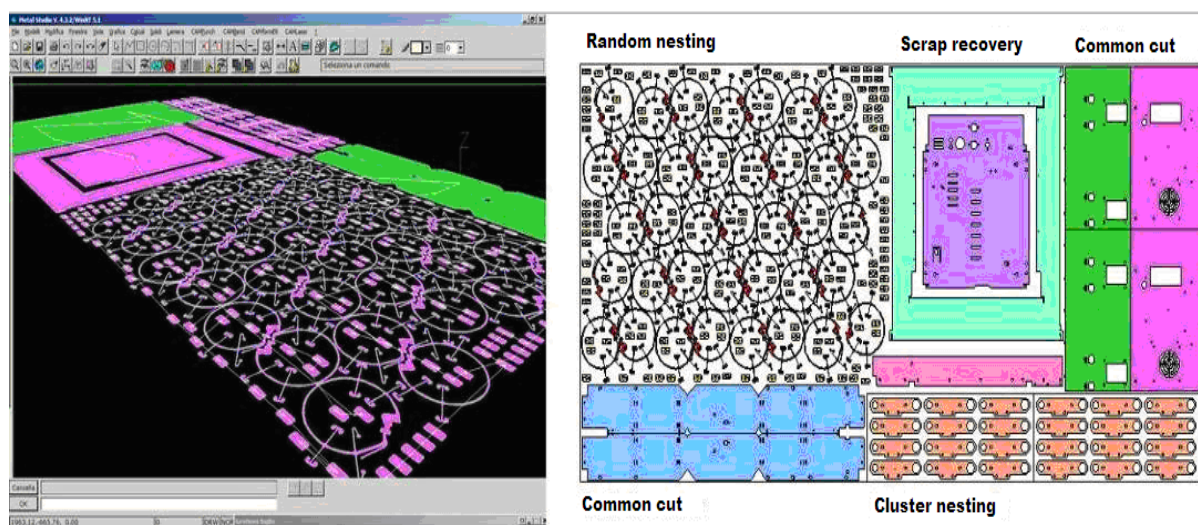
Метал Студио такође подржава и интеграцију са другим **CAD** софтверским пакетима (надogradње које омогућавају интеграцију са **CAD** софтвером представљају додатну опрему – нису укључене у цену машине).

Програм је намењен конструисању производа од лима а кориснички интерфејс је оптимизован за рад са **SALVAGNINI** машинама.

Модул за управљање цртежима представља **CAM** компоненту **CAMLASER** окружења. Помоћу овог модула се на основу **2D** цртежа врши дефинисање технолошког поступка и пратећих информација, односно креирање извршних програма за **SALVAGNINI** машине. Програм аутоматски оптимизује секвенцу исецања и додаје улазне криве (**lead-ins**) уколико технологија обраде то захтева. [3]

4.2.3. NESTLASER

Надоградња за **CAMLASER CAD/CAM** систем која омогућава оптимизацију распореда цртежа (позиција) из радних налога на таблама лима. Постављање цртежа на табли може бити аутоматско, полу-аутоматско и ручно. Сврха **NESTLASER-a** је да обезбеди оптимално искоришћење материјала на основу листе послова које треба реализовати на ласеру.



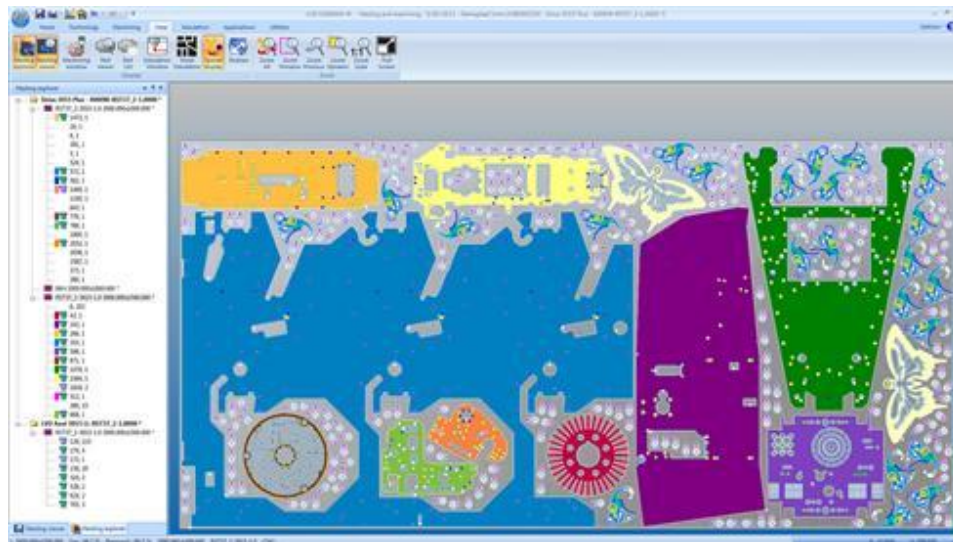
Слика 29. Кориснички интерфејс NESTLASER-a [12]

Програм аутоматски израчунава потребну количину материјала – табли лима – за задату листу програма, односно радних налога. Такође, организује редослед производње како би оптимизовао функционисање **SALVAGNINI** линије (за случај када је ласер део линије). [12]

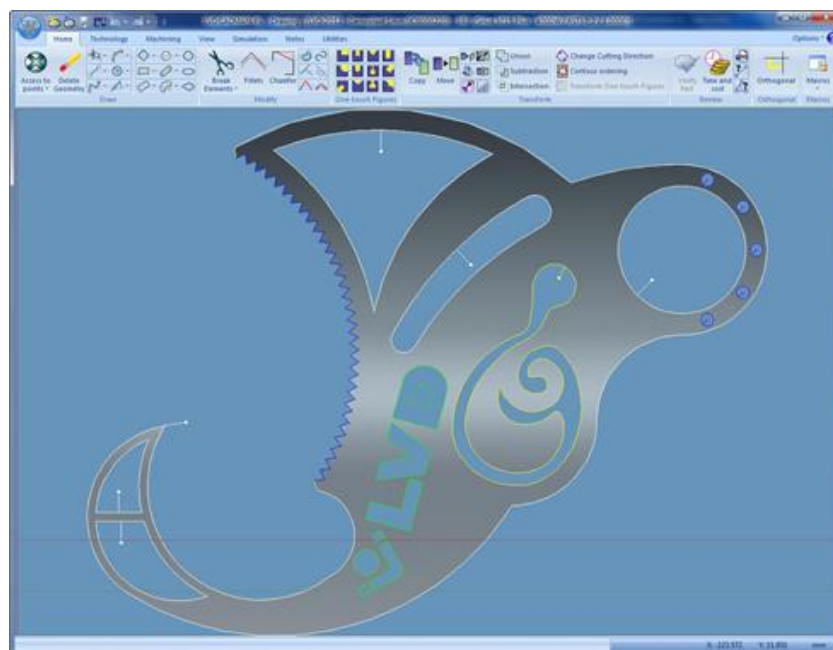
4.3. CADMAN L

Овај програм чини поступак ласерског сечења лаким, пружа могућност аутоматског, полуаутоматског или ручног слагања делова на табле лимова за сечење. Овај модул софтвера омогућава корисницима интуитивно постављање делова на таблу и контролисање основних функција при сечењу. Омогућава флексибилан улаз и излаз при сечењу свих врста контура, мостова, микро зглобова датих делова, који су дефинисани по материјалу, дебљини, технологији резања итд. Аутоматски избор разних врста микро зглобова, што је веома битно за улаз и излаз при сечењу, што

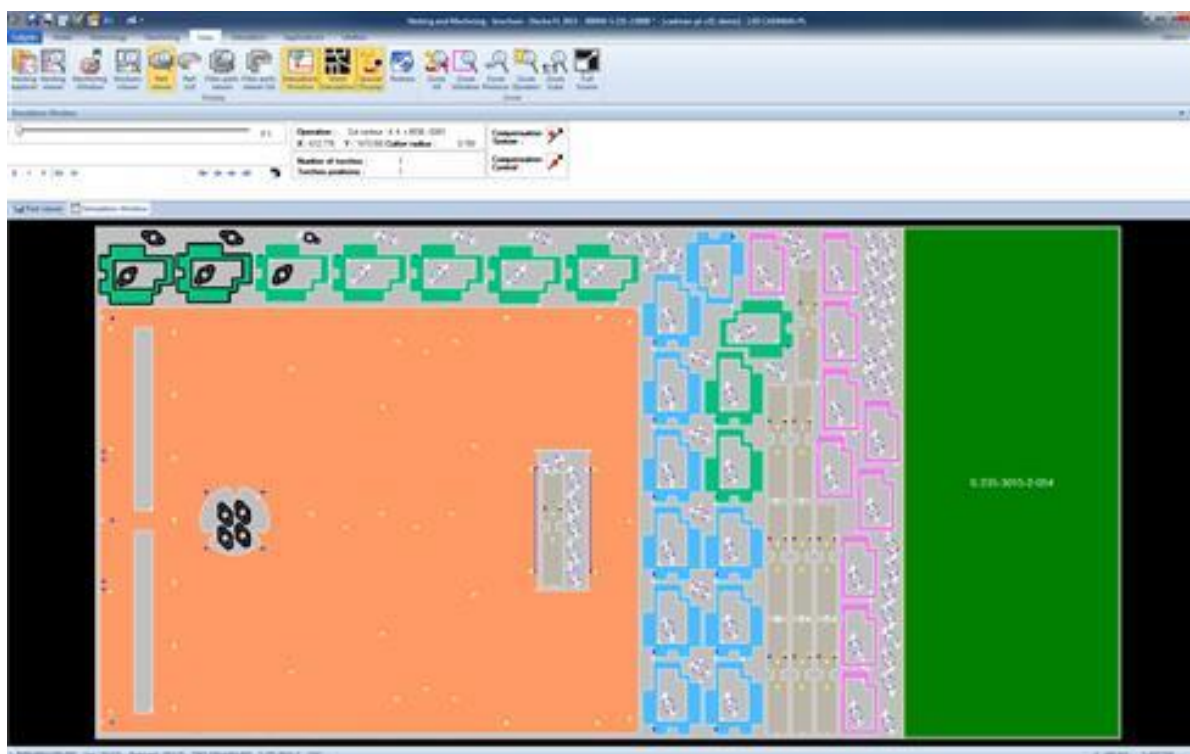
смањује трајање циклуса сечења. Заједничка линија – путања сечења са додатком засецања углова, и ред аутоматског сечења. [13]



Слика 30. Табла са деловима за сечење [10]



Слика 31. Пrikaz одрађеног дела [10]



Слика 32. Технологија сечења [10]

		Ref	RST37 2-3015-1.0			Quantity	1
		Job	Demoplaat 1mm-JOB000220				
		CNC	Demopl05	3000	x 1500	x 1	17/07/2012
		User data 3	hot rolled carbon steel				
							
Machine		Sirius 3015 Plus - 4000W		Weight		35.55	kg
Material		RST37_2		X		2999.96	
Total time		01:15:19.41		Y		1499.66	
User data 1		STEEL		Use (%)		68.155	
User data 2		S 235 JR G2		Remnant (%)		88.307	77.18
#	Reference	Sheet	Total	Missing	Weight	Dimensions	
36	871	1	1	0	0.306	330	x 330
19	6	202	251	48	0.007	30	x 51
31	353	1	1	0	10.459	1223.92	x 1732
61	380	23	26	2	0.047	159.768	x 122.578
25	266	1	1	0	1.189	766	x 228
40	1084	1	1	0	0.728	733.011	x 293.704
45	512	1	1	0	0.284	189.872	x 303.603
62	668	1	1	0	0.383	367	x 282
24	243	1	1	0	3.991	1237.66	x 506.187
20	43	1	1	0	0.373	316.2	x 316.2
43	1818	2	6	4	0.321	458.035	x 247.881
29	1079	1	1	0	2.291	1020.097	x 668.12
35	598	1	1	0	1.026	450	x 391.304

Slika 33. Prikaz vremena sečenja [10]

5. Основе програмирања Lantek Expert

5.1. Поступак програмирања сечењем

У оквиру овог поглавља дате су полазне информације са којима корисници треба да се упознају да би лакше приступили програму **Lantek Expert**.

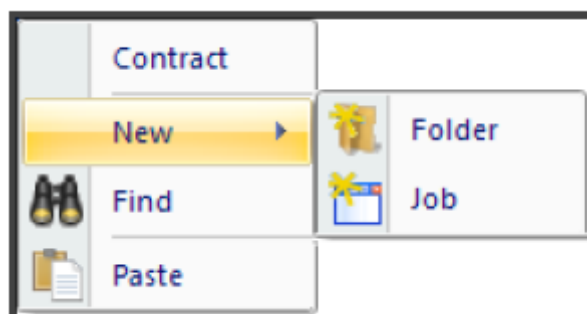
1. Фолдер / Пројекат

У фолдерима се могу креирати различити пројекти. За рад са фолдерима тј. пројектима мора се користити **Job explorer** параметар. Ова опција пружа могућност да се у оквиру једног фолдера може направити под фолдер, и да се фолдери могу организовати у структурна стабла приказана на левој страни панела у прозору програма.

2. Креирање фолдера / пројекта

- Покретање програма: **Start – Programs – Lantek – Lantek Expert CAM**
- Укључивање опције **Job explorer** се врши следећом путањом: **CAM – View – Displaz – Job Explorer**.

Корисник може да креира нови фолдер / пројекат тако што ће десним тастером миша изабрати базу или већ постојећи фолдер.

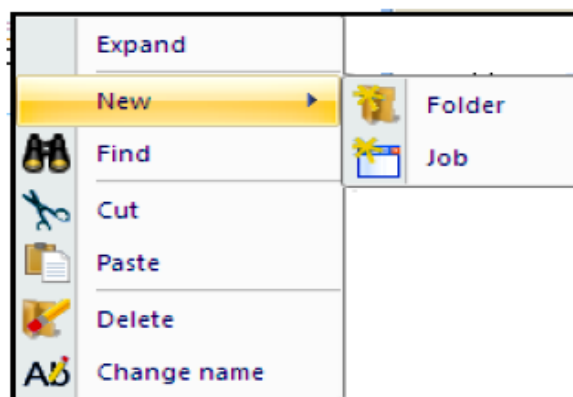


Слика 34. *Job Explorer*

3. Детаљи пројекта

У параметру **Job Explorer** постоје два идентификатора: име и референца. Када се креира пројекат, аутоматски се генерише референца која ће бити јединствена у бази података, а корисник треба да упише назив пројекта. Исти назив пројекта не може се два пута поновити у једном фолдеру. Десним тастером миша корисник може да прегледа наведене послове **Job > Open**, који се може погледати на десној страни панела. Нови посао може бити додељен под новим именом, засебним корисничким подацима, референцом и другим информацијама. Корисник може да отвори, премести, копира, обрише и да промени параметре новог пројекта.

4. Управљање фолдерима и пројектима



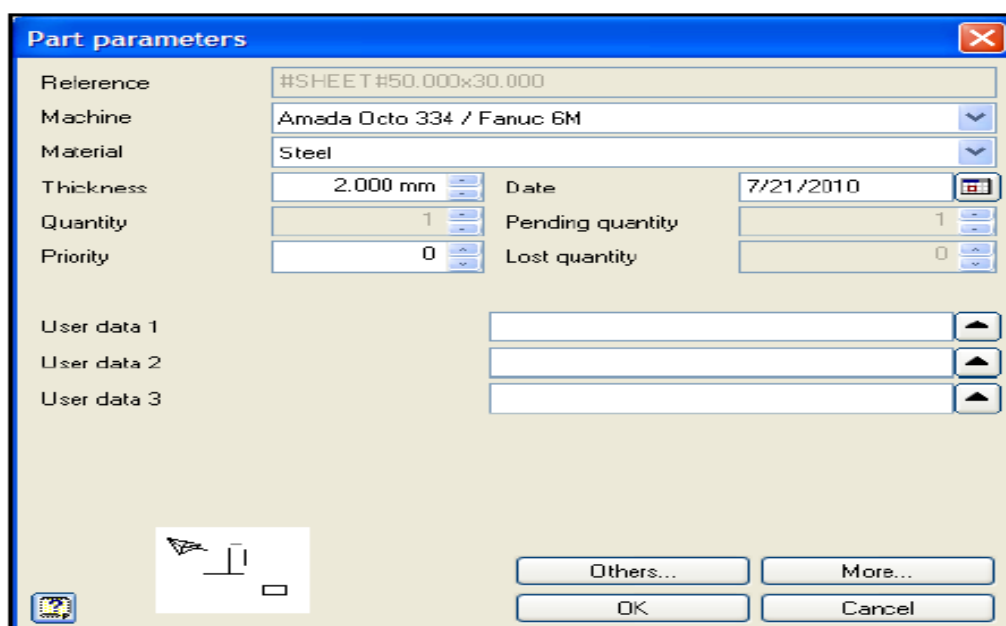
Слика 35. Управљање фолдерима и пројектима

- **Expand** – Кликком на ово команду проширује се изабрани фолдер
- **New** – Корисник може да креира нови фолдер / пројекат
- **Find** – Ова опција омогућава кориснику да лакше нађе пројекат
- **Cut** и **Paste** – Овом опцијом корисник може да премести и налепи изабрани фолдер / пројекат
- **Delete** – Ова опција брише одабрани фолдер / пројекат
- **Change name** – Са овом опцијом корисник може променити назив одабраног фолдера / пројекта.

5.2. Креирање делова

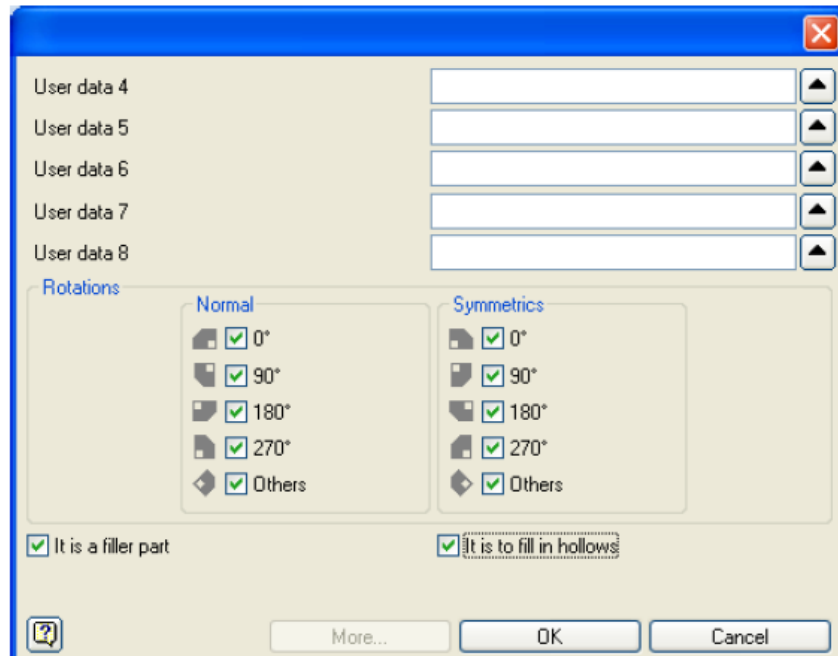
1. Карактеристике делова

Корисник може да провери карактеристике изабраног дела:



Слика 36. Карактеристике изабраног дела

- **Reference** – Ово је јединствено име дела.
- **Machine, Material и Thickness** – Изабрати машину на којој се врши сечење, одговарајући материјал и потребну дебљину тог дела.
- **Quantity** – Овде се уноси број комада који је потребно обрадити у том пројекту.
- **Priority** – Корисник може доделити приоритет за постављање делова на листу за сечење.
- **More** – Додатне информације о делу који се обрађује



Слика 37. Додатне информације о делу

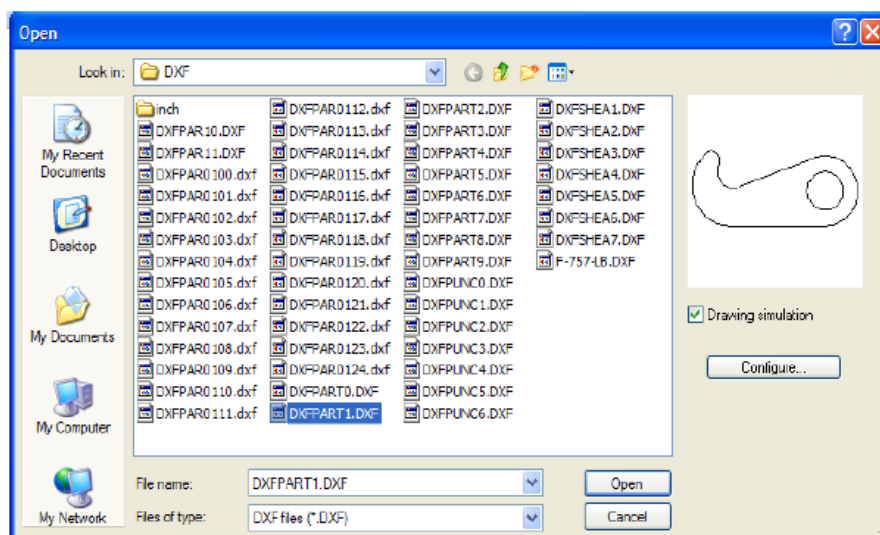
- **Rotations** – Систем ће покушати да аутоматски позиционира део користећи све могуће ротације наведене овде.
- **It is a filler part** – Када је активирана ова команда, систем аутоматски позиционира део на слободном простору.
- **It is to fill in hollows** – Када је активирана ова команда, систем аутоматски позиционира део тако да попуни веће растојање између осталих делова.

2. Учитавање дела

Тастер **Import** омогућава да се увезе геометрија дела специфичног формата, параметре делова итд. Када се изабере ова опција систем приказује списак различитих делова који се могу учитавати у одређеном формату.

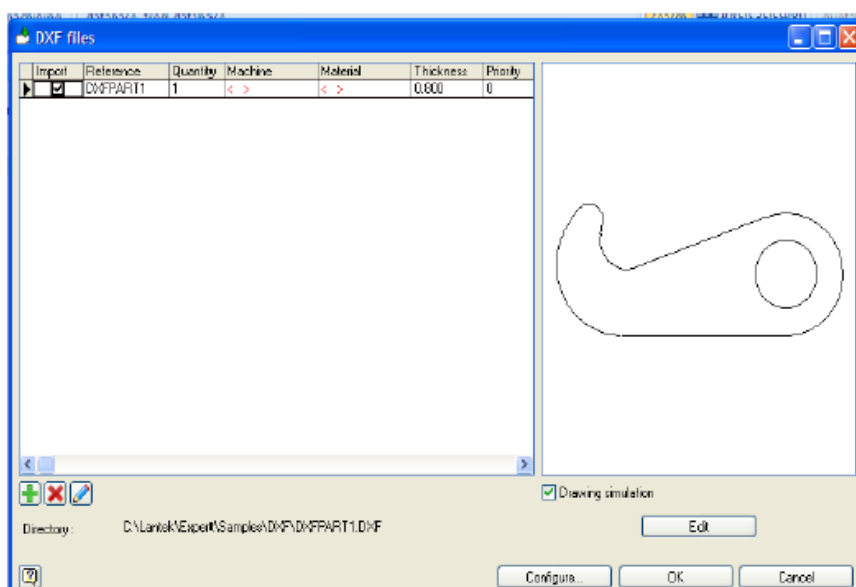
Пример – Да би се увезао **DXF** део, потребно је урадити следеће:

- а) Изабрати геометрију дела, из радног пројекта, а затим изабере **ОК**. Систем приказује дијалог са списком различитих **DXF** датотека.



Слика 38. Радни пројекат са **DXF** датотекама

- б) Изабере се жељени **DXF** фајл и изабере **Отвори**.
- ц) Систем отвара прозор изабраног **DXF** фајла, корисник може доделити материјал, машину на којој ће се вршити сечење, дебљину и количину.



Слика 39. Изабрани **DXF** са параметрима

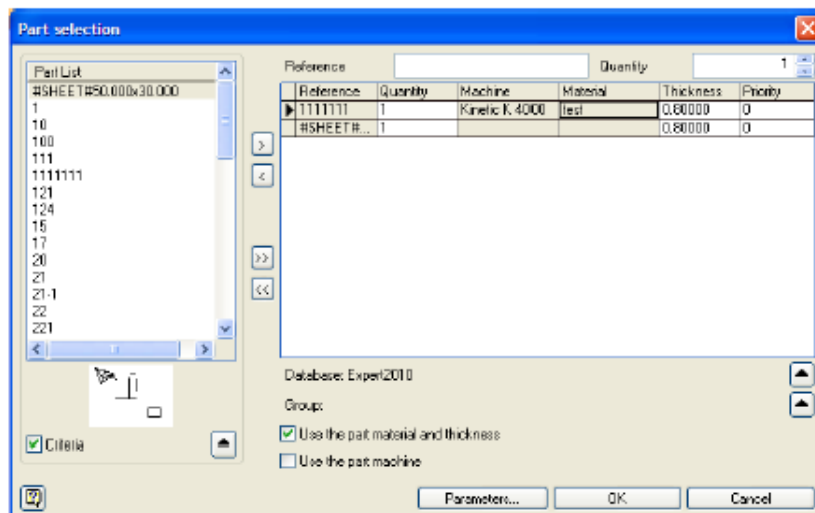
- **Add**  - Ово дугме додаје нови **DXF** фајл
- **Delete**  - Са овом опцијом корисник може избрисати селектовани **DXF** фајл
- **Edit**  - Са овом опцијом корисник може изменити селектовани **DXF** фајл

д) Унесу се потребне вредности за изабрану геометрију **DXF** фајла, а затим кликнемо на **ОК**. Одабрана геометрија **DXF** фајла је учитана.

3. Увоз делова из базе података

Ова опција омогућава да се увезу делови из постојеће листе у тренутну радну листу.

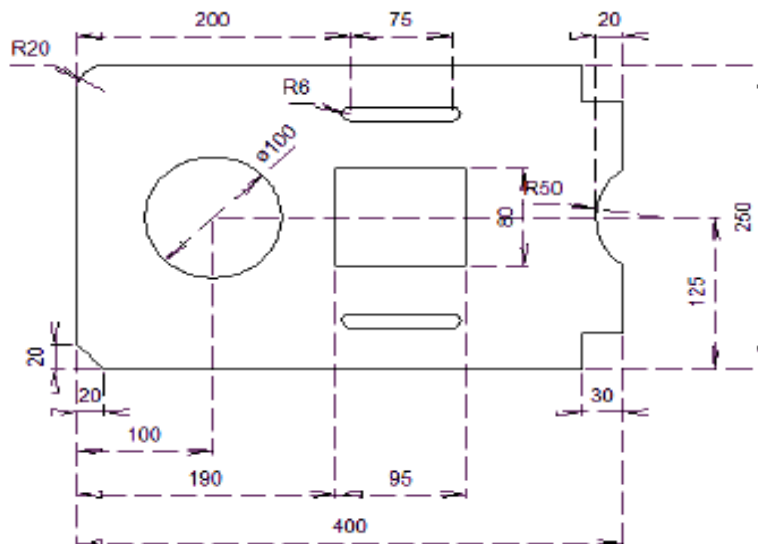
Избор ове опције приказан је на слици 40.



Слика 40. Изабрани део

- а) Изабрати део са листе и кликнути на , пошто се изабере део његови подаци ће бити пребачени у листу, кликом на овај тастер  омогућава да корисник може доделити референцу, машину и материјал.
- б) **Use the part material** и **thickness** – Селектовањем ове команде може се користити материјал и дебљине које се налазе у бази података.
- ц) **Use the part machine** - Селектовањем ове команде може се користити машину на којој се врши сечење наведено у бази података.

4. Цртање дела у **DRAWING** модулу



Слика 41. Пример нацртаног дела

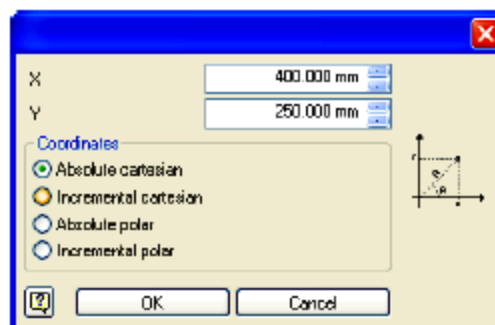
- Да би се нацртао правоугаоник, потребно је:
 - а) У главном менију изабрати опцију **Home - Drawing**
 - б) Затим унутар тог модула изабрати команду **Home - Draw - Rectangle**
 - ц) Изабрати команду **2 points**, а затим означити почетну тачку из које треба да се нацрта правоугаоник.



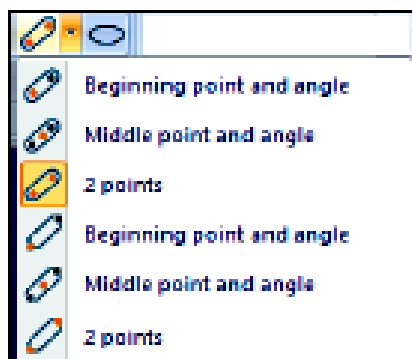
Слика 42. Врсте правоугаоника

- д) Да би се означио почетак полазне тачке куцати на тастатури „0“, појавиће се дијалог.

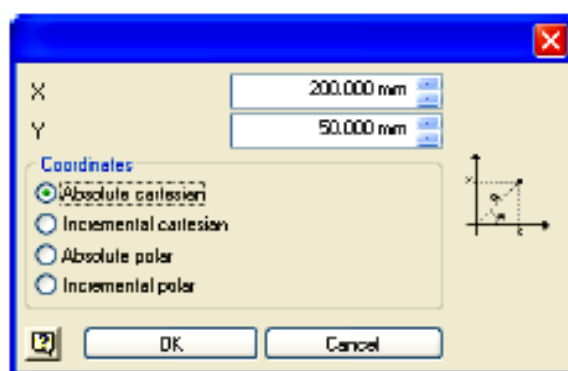
Унесите 0 за k вредности и 0 за i вредности, изабрати **OK** (у одељку за координате, изабрати опцију **Absolute Cartesian** за читав процес цртања).

Слика 43. Дијалог унетих вредности координата X и Y

- е) За крајњу тачку поново укуцати за X вредност 400 као на слици 43.
 - ф) У пољу Y укуцати вредност 250 и затим кликнути на **OK**. Правугаоник одређених мера ивућиће се и почетне тачке.
- За цртање **Obrounds** потребно је:
 - а) Селектовати **Obrounds**.
 - б) Изабрати команду **2 points**.

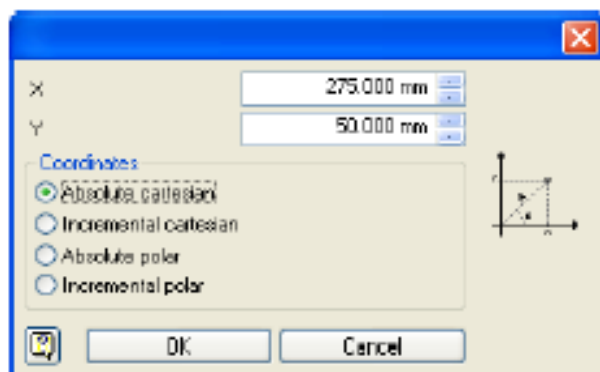
Слика 44. **Obrounds** алатке

- ц) Унети у пољу X вредност 200 и у пољу Y унети вредност 50.



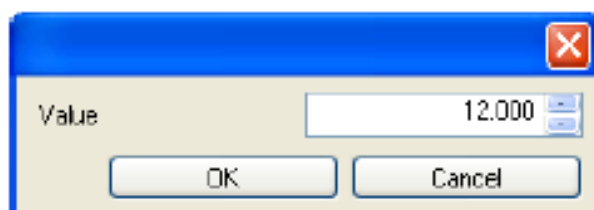
Слика 45. Дијалог унетих вредности координате 1

- д) Унети другу тачку са вредностима за X 275 и вредност за Y 50.



Слика 46. Дијалог унетих вредности координате 2

- е) Унети вредност 12 у пољу *Value* и кликнути **OK**.



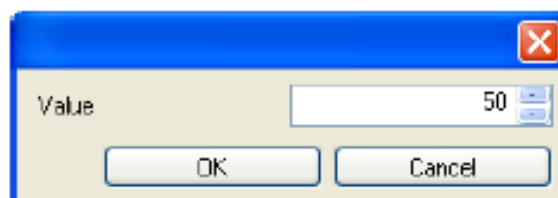
Слика 47. Вредност ширине Obrounds

- Да би се нацртали кругови потребно је урадити следеће:
 - а) Изабрати **Circles** и систем ће приказати његов падајући мени.



Слика 48. Падајући мени *Circles*

- б) Изабрати прву опцију **Centre and radius** слика 48.
- ц) Да би се означила централна тачка, потребно је укуцати 100 на тастатури и дијалог ће се појавити. За k вредност унети 100, а за вредност u унети 125, затим кликнути на **ОК**.
- д) Унети вредност 50 у циљу дефинисања полупречника круга и кликнути на **ОК**.



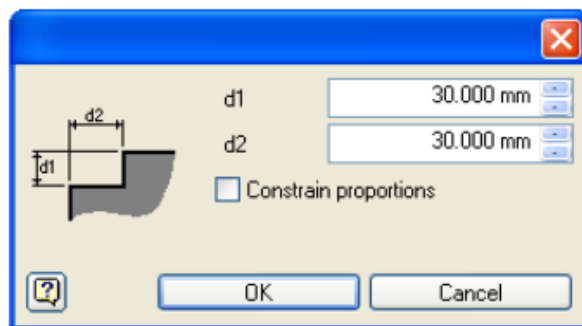
Слика 49. Вредност полупречника круга

- е) Круг одређеног радијуса је нацртан у односу на почетну тачку.

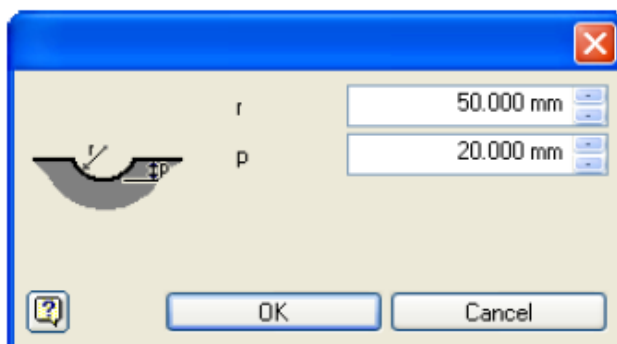
- Да би се нацртали основни облици ивица дела треба урадити следеће:

Слика 50. *One-touch* трака са алаткама

- а) Изабрати **One-touch figure 1** и систем ће приказати следећи дијалог:

Слика 51. *One-touch figure 1* дијалог

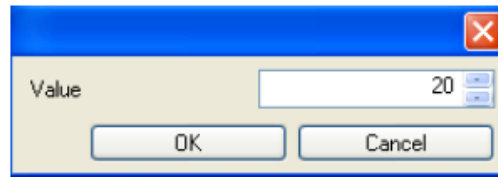
- б) Унети прво растојање у поље $d1$ а затим друго растојање у поље $d2$, изабрати опцију **Contrains proportions** да би се вредности $d1$ и $d2$ пропорционално промениле, а након тога притиснути **ОК**.
- ц) У нацртаном прозору, изабрати први и други елемент геометрије и рез се ствара на тамену.
- д) Након тога кликнути на **One-touch figure 6** и систем ће приказати следећи дијалог:

Слика 52. *One-touch figure 6* дијалог

- е) Унети вредност радијуса у полје r и вредност дубине у поље p , а затим кликнути на **ОК**. Вредност радијуса треба да буде већа од вредности дубине.
- ф) У нацртаном прозору изабрати основни елемент и тачку уметања.

- г) Изабрати позицију реза на одређеном радијусу и дубина реза ће се створити.
- Да би се нацртао радијус од 20 мм на крајевима треба урадити следеће:

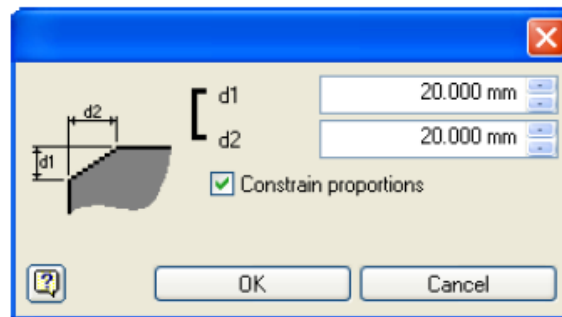
- а) Изабрати **Fillets** () и систем ће приказати следећи дијалог.



Слика 53. Вредност радијуса

- б) За вредност радијуса унети 20, потом притиснути ОК.
- Да би се направили оборене ивице на темену геометрије треба урадити следеће:

- а) Кликнути на **Chamfers** () и систем ће приказати следећи дијалог:

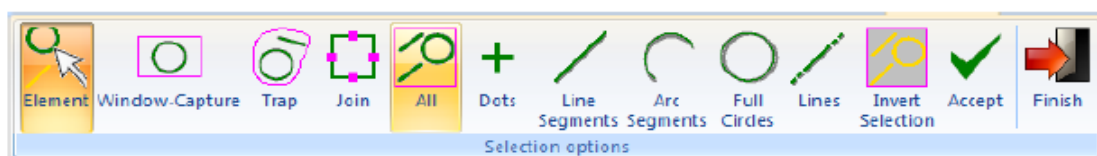


Слика 54. Дијалог обарања ивица

- б) Унети прво растојање у поље $d1$ и друго растојање у поље $d2$, изабрати опцију *Constrain proportions* да би вредности $d1$ и $d2$ биле пропорционално промењене, а затим кликнути ОК.
- ц) Кликнути на цртеж у прозору да би се изабрао први и други елемент геометрије. Закошење је креирано на темену геометрије.
- У циљу провере дела, да ли постоје отворени елементи тј. отворене контуре или елементи који се преклапају треба урадити следеће:

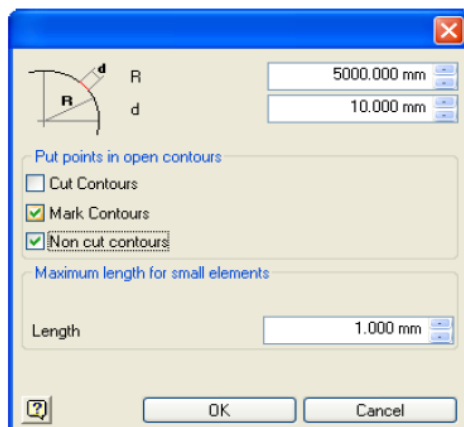
- а) Изабрати **Verify part** ()

- б) Кликните на опцију **All**, а затим на последњу опцију

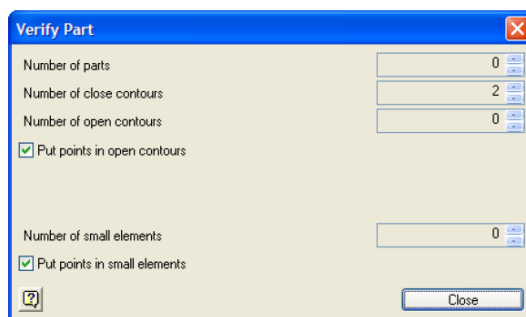


Слика 55. Падајући мени **Verify**

- ц) Унети 5000 за вредност R и 10 за вредност d . Ове вредности вероватно су већ ушле у стандардне вредности и самим тим кориснику преостаје само да притисне **ОК**.

Слика 56. Унете вредности R и d

- д) Проверити да ли је број делова 1 и број отворених контура 0 и потврдити на **Close**.



Слика 57. Провера отворених контура

5.3. Припремање дела за сечење

1. Дефинисање **LEAD IN/ LEAD OUT** тј. улаза и излаза.
- а) Изабрати технологију сечења тј. почетну тачку сечења и крајњу **LEAD IN/ LEAD OUT**.

Технологија сечења може се задати и ручно, постоји 9 варијанти, избор технологије сечења се врши у зависности од дебљине материјала као и од облика контуре која се сече.

Слика 58. **LEAD IN/ LEAD OUT** опције

- б) Изабрати опцију **Automatic** ().

2. Како се пријављује MICRO JOINTS

MICRO JOINTS омогућава увођење различитих типова микро спојева између делове. Сам систем нуди различите врсте микро-зглобова који могу бити уведени.



Слика 59. Падајући мени **Micro joints**

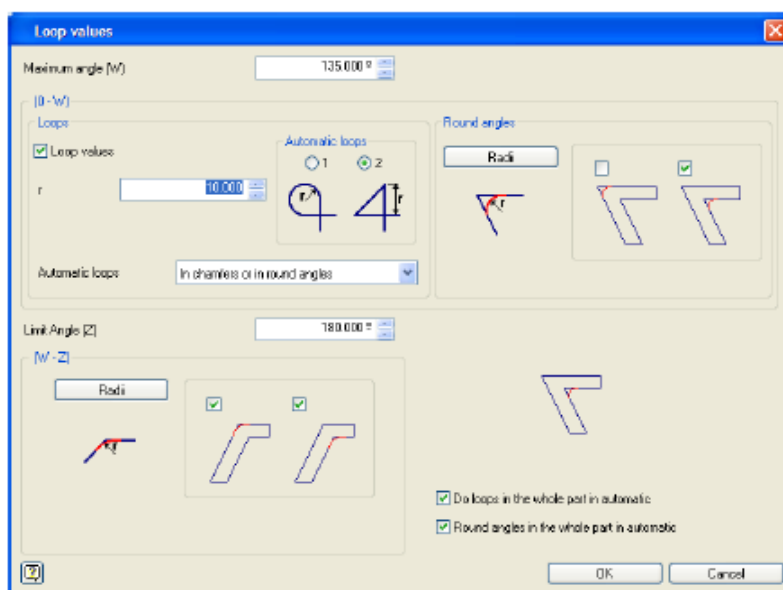
3. Засецање ивице дела

Ова опција се користи када је потребно извести засецање ивице дела због лакшег сечења. Систем нуди различите врсте засецања која се могу користити.



Слика 60. Падајући мени **Loops**

- Да би се подесили параметри засецања ивице дела, потребно је урадити следеће:
 - Кликнути на **Configuration** и систем ће приказати **Loops** дијалог.



Слика 61. **Loops** дијалог

- Унети потребне вредности и клинути на **OK**.

5.4. Позиционирање

5.4.1. Димензије табле за сечење

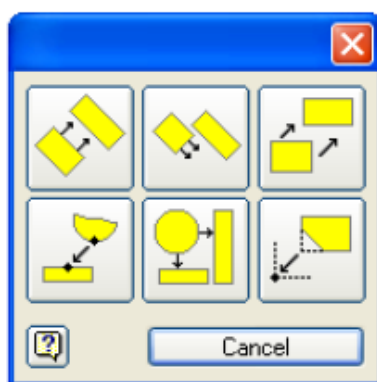
У циљу креирања нових димензија табле за сечење потребно је урадити следеће:

- а) Кликнути на **New**  и систем ће аутоматски приказати све активне димензије табли за сечење.
- **Add:** Са овом командом корисник може додати колико је потребно табли истих димензија за сечење.
 - **Remove:** Овом командом корисник уклања број претходно дефинисаног броја табли за сечење. Потребно је унети број табли за одузимање и систем ће скинути за тај број. Уколико је количина 0, систем ће обрисати лист из базе података.
 - **Create:** Помоћу ове команде се врши креирање табле за сечења, корисник уноси димензије које су му потребне, као и материјал, дебљину лима и количину.
- б) Кликнути на **ОК** и систем ће учитати изабрану таблу за сечење.

5.4.2. Ручно позиционирање

Са овом опцијом корисник може приступити различитим могућностима ручног позиционирања, које омогућава прикључивање једног дела или групе делова другим деловима на одређени начин. **Drawing window** опција омогућава да се повећа и смањи растојање између делова.

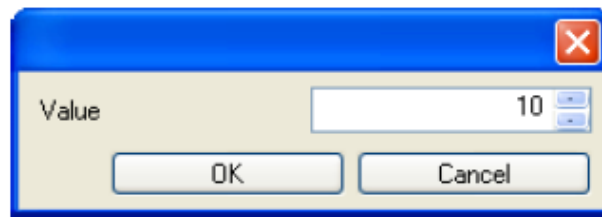
- а) Кликом на ову опцију приказује се следећи дијалог са понуђеним опцијама:



Слика 62. **Place near** дијалог

- б) Изаберите жељену опцију у **Place near**-у и кликнути на **ОК**.
- ц) Изаберите делове које треба поставити.
- д) Изабрати референтни елемент из одабраних (селектованих) делова.

- е) Изаберите елемент са којим референтни део треба да буде усклађен.
- ф) Унесите вредност која представља растојање између референтног елемента и коначног дела тј. дела са којим треба да буде усклађен.

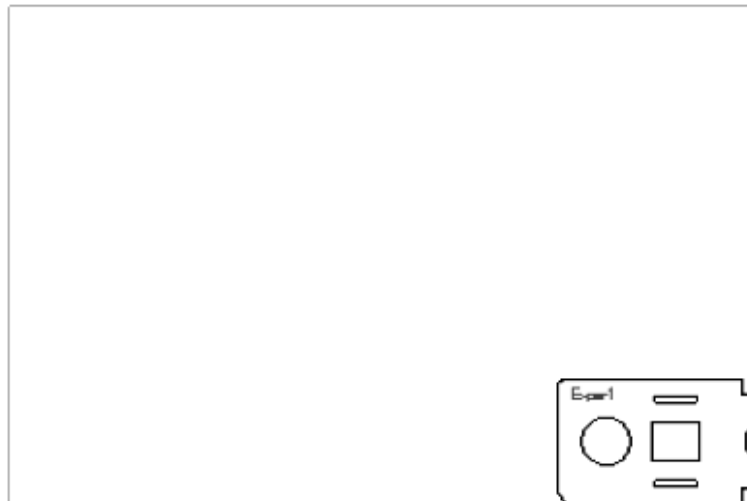


Слика 63. Унето растојање

1. Fit

Ова опција омогућава да се премести део постављен у углу табле за сечење на следећи начин:

- а) Изабрати опцију **Fit: Nesting module – Home – Transform – Fit**
- б) Затим је потребно изабрати тачку у углу табле.
- ц) Изабрати жељену тачку и на том месту ће се позиционирати део.

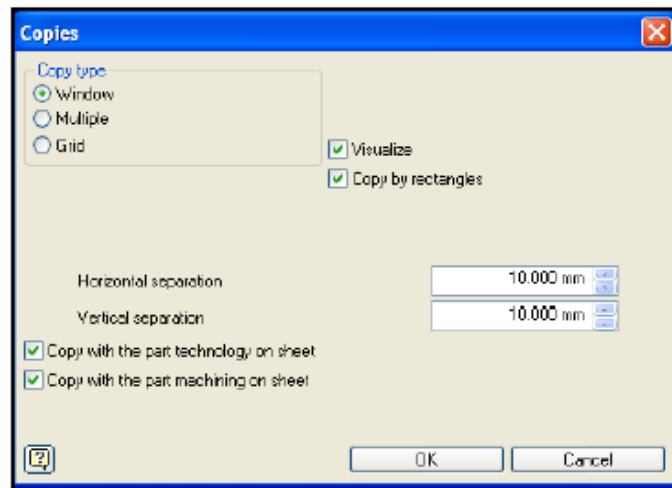


Слика 64. Пример за позиционирање дела

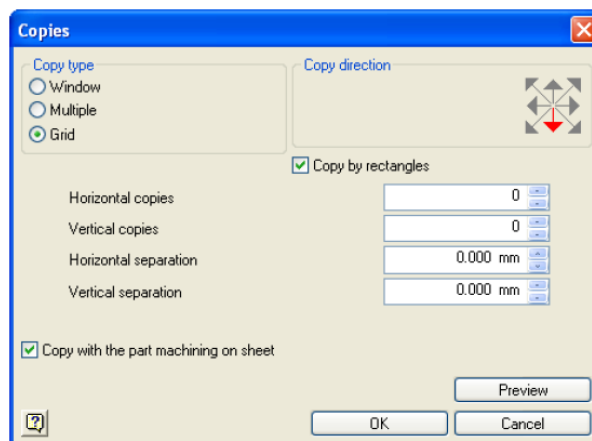
2. Copy

Ова опција омогућава копирање одабраног дела. Постоје различите методе копирања:

- а) Кликнути на команду **Copy** и затим изабрати део за копирање.
- б) Изаберите делове које желите копирати користећи **Selection** и онда кликнути на **Accept** (✓). Систем ће приказати **Copies** дијалог.

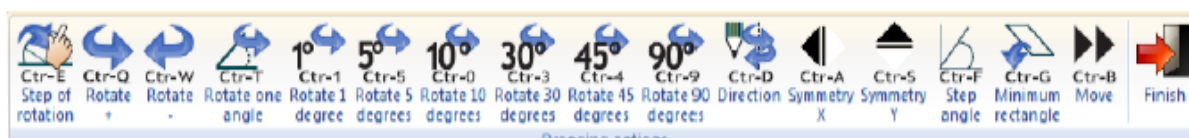
Слика 65. *Copies* дијалог

- ц) У секцији **'Copy type'** изабрати жељени начин копирања. Опција **'Window'** омогућује копирање дела на истој табли, опција **'Multiple'** пружа могућност да се део копира на изабраној тачки и командом **'Grid'** могу се копирати делови у одређеном правцу.
3. *Копирање уз помоћ опције Grid*
- а) У секцији **'Copy type'** изабрати опцију **Grid**.
- б) Селектовати делове које треба копирати и потврдити.

Слика 66. *Копирање уз помоћ опције Grid*

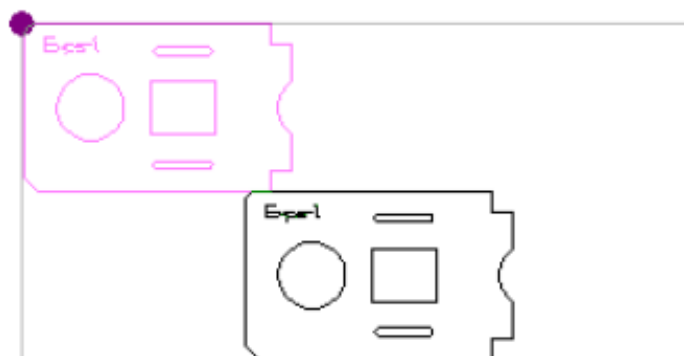
- ц) Изабрати жељени смер копирања
- д) Унети број хоризонталних и вертикалних копија и њихово међусобно растојање.
- е) Изабрати **ОК** и систем ће копирати делове.

4. Померање и окретање дела



Слика 67. Падајући мени Move

- Премештање изабраног дела се врши тако што је потребно кликнути на референтну тачку и изабрати место на које желите преместити део.
- Да би се изабрани део ротирао потребно је држати десни тастер миша.



Слика 68. Пример 3

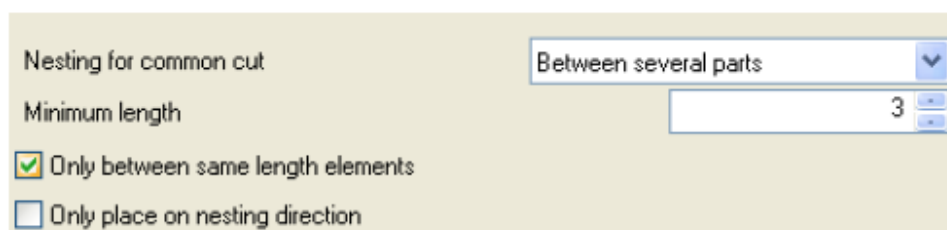
- Селектовати делове које је потребно померити и потврдити.
- Изаберите у ком правцу ће се померати делови горе / доле / лево / десно
- Изабрати горњи крај, доњи крај, леви крај, десни крај и преместити одабрани део на изабрану позицију.
- Изабрати у односу на коју осу ће део бити симетричан (X или Y осу)

5.4.3. Аутоматско позиционирање

Са овом опцијом корисник може аутоматски позиционирати делове на табли за сечење.

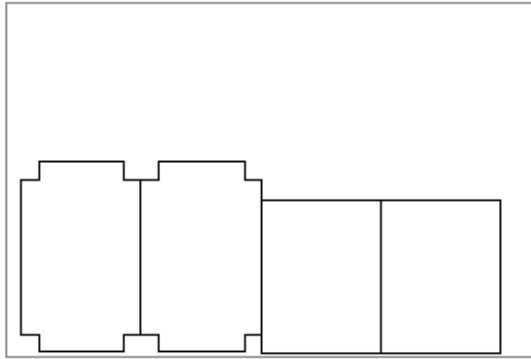
5.4.5. Позиционирање са заједничком линијом сечења

Ова опција се покреће на следећи начин: **Nesting for Common Cut: CAM – Manage – Components - Machines-Cutting Machine – Configure - System Tab - Common Cutting Parameters - Nesting for common cut.**

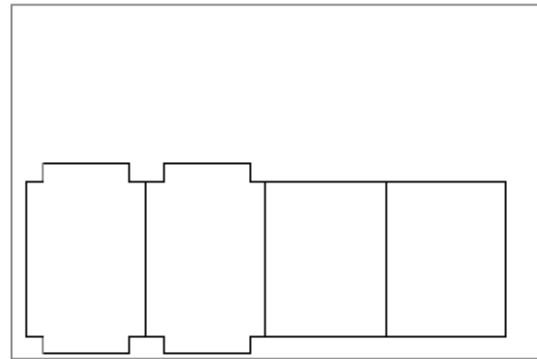


Слика 69. Позиционирање са заједничком линијом сечења

- **Between two parts** – Позиционирање је оптимизовано за постављање два спојена дела.
- **Between several parts** – Систем ће покушати да користи заједничку линију сечења више делова.
- **Minimum length** – Корисник треба да унесе вредност минималне дужине за примену заједничке линије сечења.
- **Only between the same length elements** – Заједничка линија примениће се само ако контуре имају исту дужину.
- **Only place on nesting direction** – Позиционирање ће бити оптимизовано по заједничкој линији сечења.



Слика 70. Позиционирани делови без заједничке линије сечења



Слика 71. Позиционирани делови са заједничком линијом сечења

5.5. Обрада



Са ово опцијом () систем ће аутоматски обрадити позициониране делове у зависности која је команда изабрана, да ли је то аутоматска обрада сечењем или је аутоматска обрада пробијањем.

1. Ручна обрада

- Ова обрада омогућава ручно сечење различитих делова.

2. Ручна обрада контура

- Изабрати контуру за употребу која ће смањити одабране елементе контуре.

3. Отвори

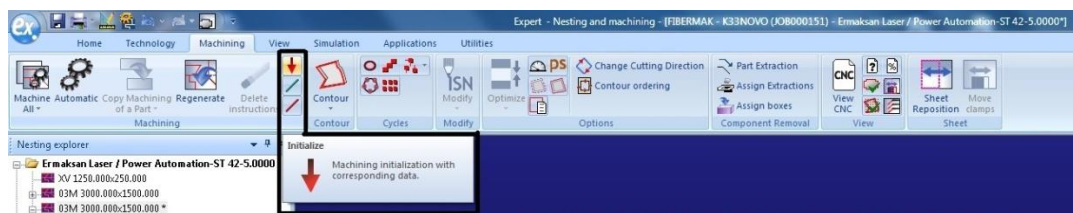
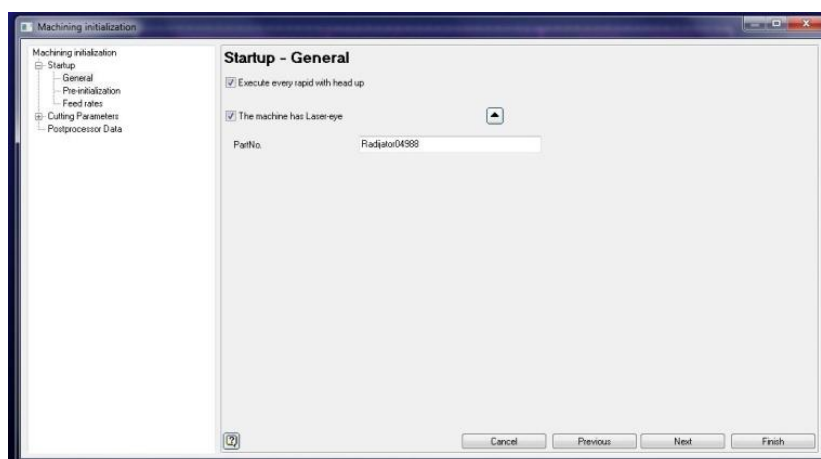
- Изаберите ову опцију да машина обради све отворе на табли лима

a) Изабрати опцију **All holes**, систем ће приказати **Machining initialization** дијалог и притиснути **OK**.

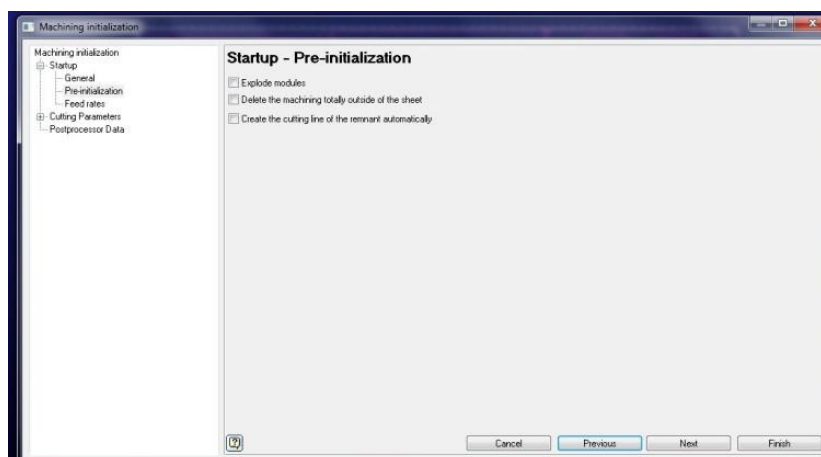
b) Затим подесити параметре обраде и изабрати **Finish**.

4. Делови

- а) У мениу **Machining**, отварањем команде **Initialize** врши се иницијализација, и отвара се прозор у коме се задаје назив **NC** програма.

Слика 72. Команда **Initialize**Слика 73. Уношење **NC** програма

- б) Након уписивања назива потврдити притиском на **Next**.



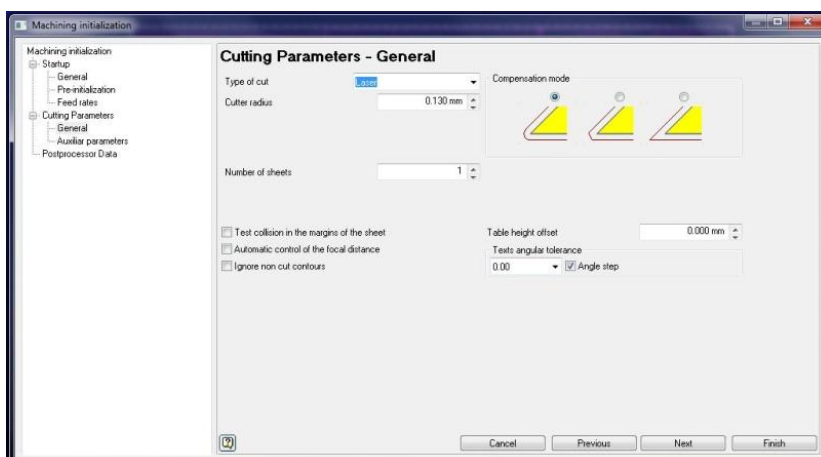
Слика 74. Додатне операције при сечењу

- ц) Поново одабрати опцију **Next**.



Слика 75. Брзине сечења

- д) Унети одговарајуће вредности за брзине сечења и затим поново потврдити притиском на **Next**.



Слика 76. Параметри сечења и начин сечења

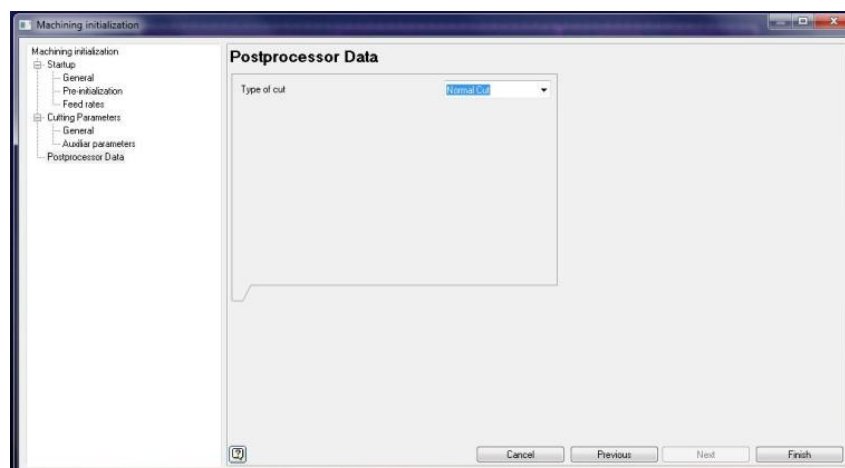
- е) Опција генерални параметри сечења омогућава да се одабере тип сечења, као и начин сечења крајева, да ли ће бити радијус или оштра ивица. Затим изабрати **Next**.



Слика 77. Главни параметри сечења

У овом прозору се врши унос параметра сечења, висина главе у односу на таблу, избор гаса за сечење и снага машине. Затим потврдити притиском левог тастера миша на **Next**.

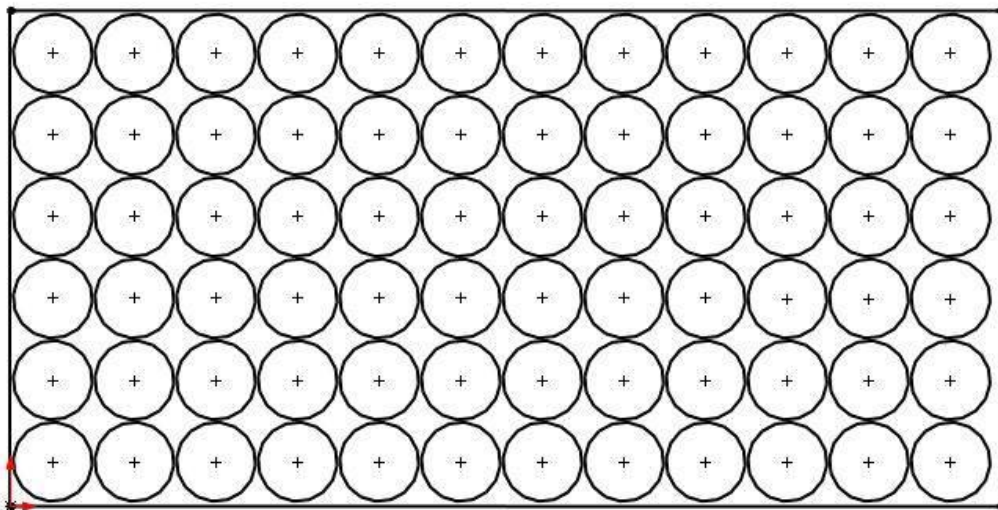
- ф) Са овом последњом тачком завршен је унос свих потребних параметара, преостаје само да се притисне на **Finish**.



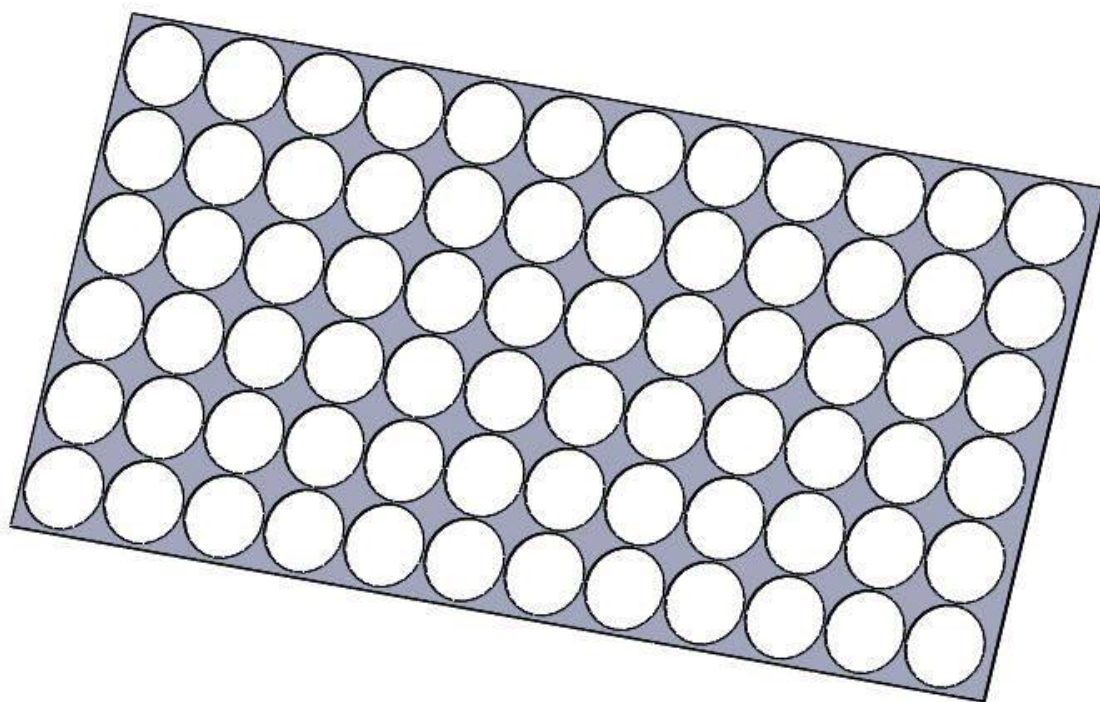
Слика 78. Тип сечења

5.6. Пример позиционирања делова на табли за сечење

1. Позиционирање делова кружног облика на табли димензија 3м x 1.5м, док је површина једног кружног дела $0,0452389 \text{ м}^2$, отпад материјала након сечења износи $1,242797 \text{ м}^2$.

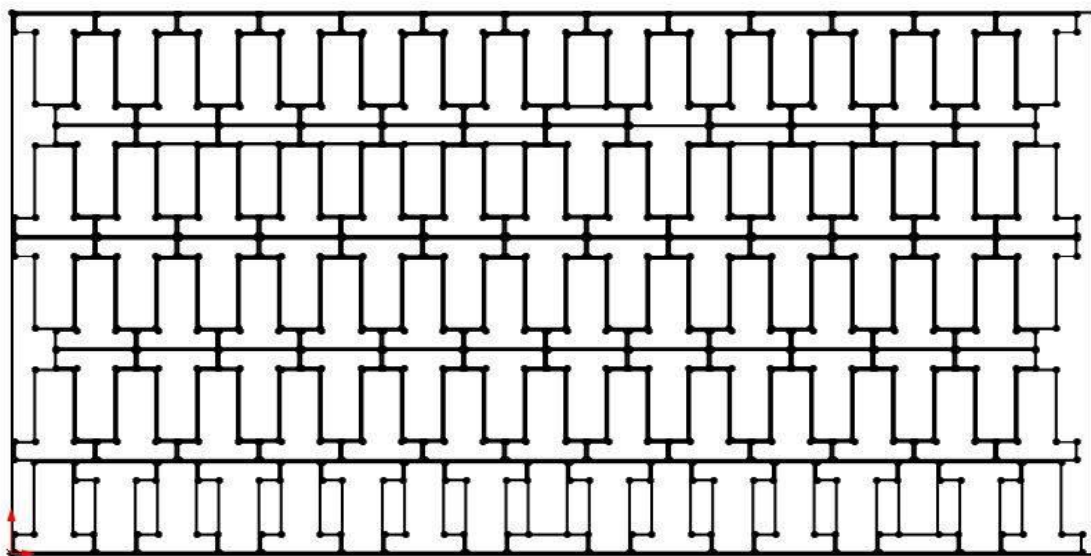


Слика 79. Шема позиционираних кружних делова

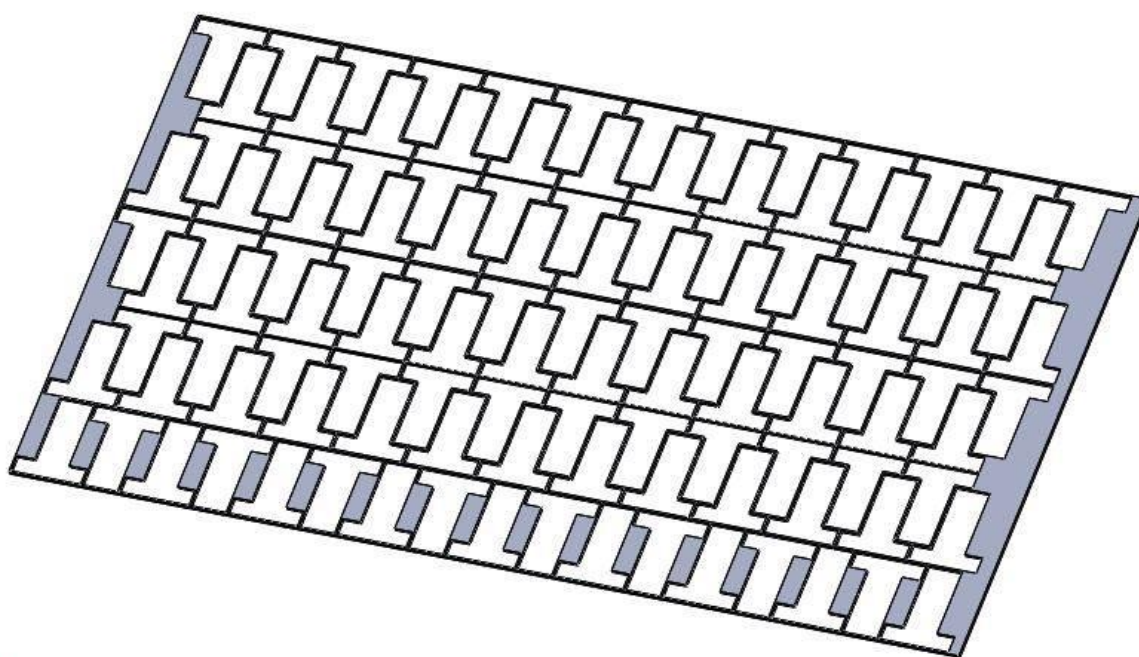


Слика 80. Остатак табле након сечења

2. Позиционирање делова у облику Т профила на табли димензија 3м x 1.5м, површина једног Т профила је $0,032600 \text{ м}^2$, отпад материјала након сечења износи $0,685800 \text{ м}^2$.

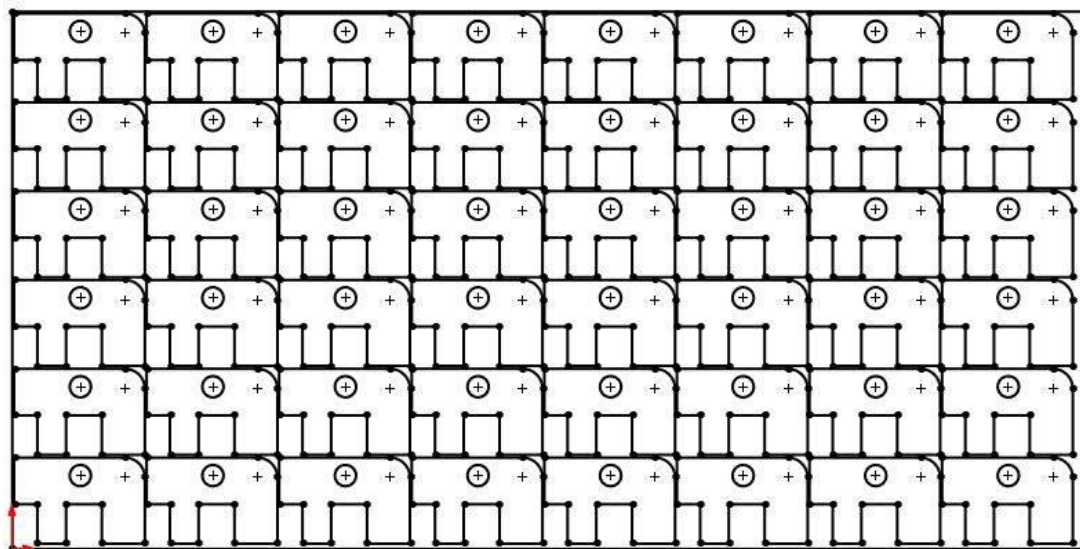


Слика 81. Шема позиционираних Т профила



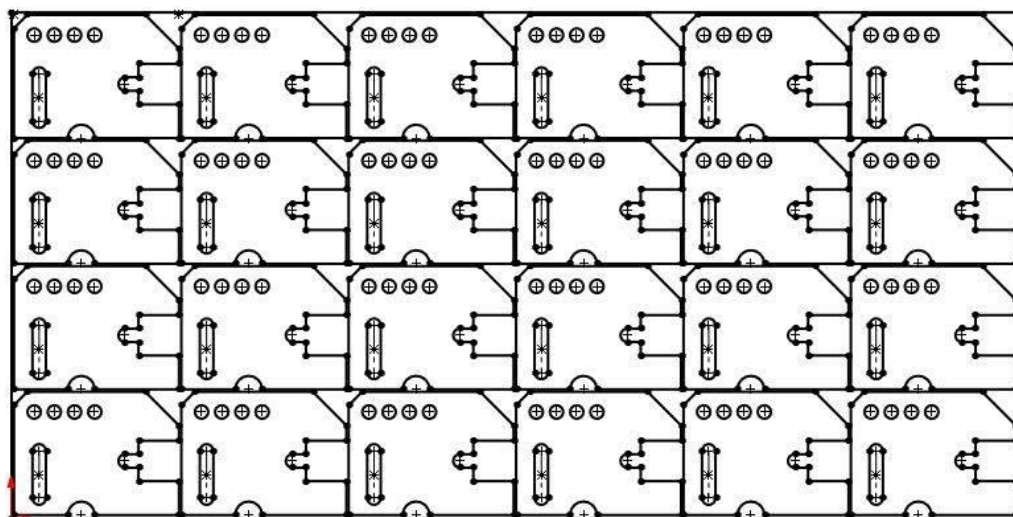
Слика 82. Остатак табле након сечења

3. Позиционирање делова захтеваног облика на табли димензија 3м x 1.5м, површина једног дела је $0,0659734 \text{ м}^2$, отпад материјала након сечења износи $1,333276,8 \text{ м}^2$.

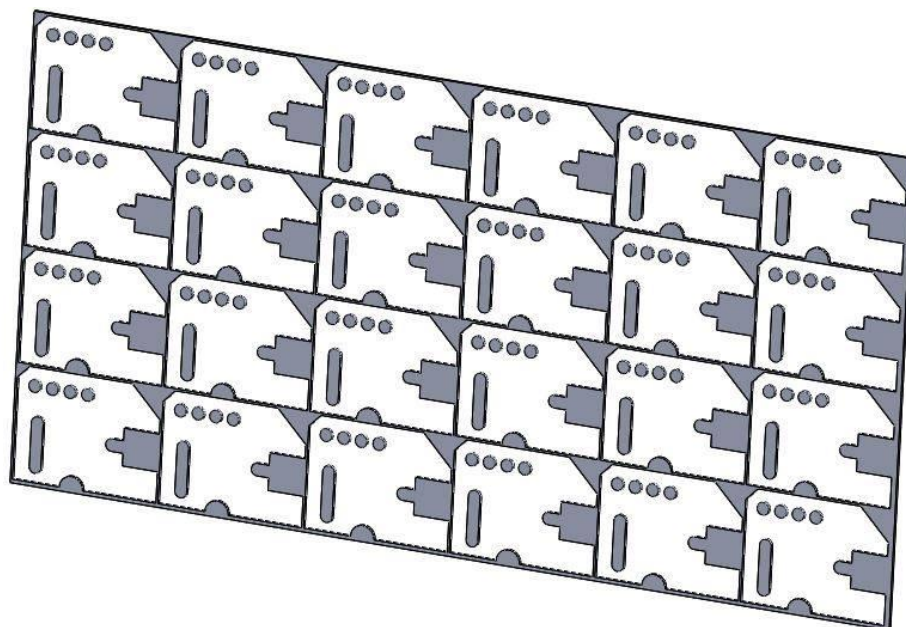


Слика 83. Позиционирање делова захтеваног облика

4. Позиционирање делова сложенијег облика него у предходним предметима на табли димензија 3м x 1.5м. Површина једног дела износи 0.142802305 м^2 , а отпад материјала након сечења износи $1,07274448 \text{ м}^2$.



Слика 84. Шема позиционирања сложенијег дела



Слика 85. Остатак табле након сечења

Из предходних примера можемо да закључимо да је највећи степен искоришћења табле када се користи Т профил.

6. 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 вакуумом или другом неутралном средином).

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.

Основни програми који се користе за програмирање ласера за сечење су: Lantek expert, Salvagnini CAD/CAM, Cadman L, Camlaser, Nestlaser...

Програмирање ласера за сечење у фирми „Радијатор Инжењеринг“ се врши уз помоћ софтверског пакета Lantek.

Lantek expert омогућава аутоматску израду цртежа и креирање NC кода за машину. Омогућава и управљање залихама производа, алата, подациома о пројектима и купцима... Lantek Expert у себи има Main, Drawing и Nesting module. Main modul управља цртежима, пројектима и подешавањима. Drawing modulom се дефинише технологија за постојећи CAD цртеж.

Lantek Expert II платформа може садржати модуле:

- CUT OxyFuel / Plasma, CUT Laser, CUT WaterJet, Punch, Shear, Duct

LANTEK Expert III обухвата све могућности система Expert II, али поред њих он омогућава управљање производима, креирање и управљање понудама, евиндетирање и вођење продаја, производног циклуса, залиха производа и материјала и управљање набавкама.

7. ЛИТЕРАТУРА

1. Миодраг Лазих, Неконвенционални поступци обраде, Научна књига, Београд, 1990
2. Иван Миликић, Квалитет обраде ласером, Дипломски рад, Машински факултет Крагујевац, 2010
3. Драгоје Миликић, Неконвенционални поступци обраде, Факултет техничких наука, Нови Сад,
4. https://sr.wikipedia.org/sr-el/Рубински_ласер 22.07.2015
5. <http://www.directindustry.com/prod/wuhan-tianqi-laser-equipmentmanufacturing-co-ltd/product-69351-550228.html> 01.08.2015
6. <http://www.omegathermoproducts.com/page/our-process> 22.07.2015
7. <http://www.robtechnika.com/sr/gepek-2> 01.08.2015
8. <http://www.salvagnini.com/en/product/fiber-laser/l3> 02.08.2015
9. <http://www.idacontrol.com/articles.php?nid=10> 11.07.2015
10. http://www.lvdgroup.com/us/metalworking_CADMAN-L-3D_41.aspx 2.08.2015
11. <http://koplasserbia.koplasmreza.net/2013/04/20/lantek-expert-ii-easypunch/> 25.07.2015
12. <http://koplasserbia.koplasmreza.net/2012/12/03/salvagnini-cadcam/> 25.07.2015
13. <http://www.newtech.cz/media/attachments/cadman10eng.pdf.pdf> 25.07.2015
14. Милан Станојевић, Проблеми и грешке при сечењу ласером, Мастер рад, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2015.