

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Савремени обрадни системи

Број индекса: 402/2017

Лазар З. Борић

**Примена сечења ласером за израду
развијеног стања делова од лима
мастер рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. Др Недић Богдан

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____



Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука



Мастер студије: **Машинско инжењерство**

Студијско подручје (усмерење): **Производно машинство**

Име и презиме: **Лазар Борић**

Број индекса: **402/2017**

ПРИЈАВА МАСТЕР РАДА

Тема рада: **Примена сечења ласером за израду развијеног стања делова од лима**

Задатак: У оквиру мастер рада кандидат треба да изврши прикупљање и систематизацију података о савременим обрадним системима за сечење ласером. Потребно је описати принцип сечења ласером и машине које се користе за ове операције. У посебном делу рада описати прорачун развијеног стања код израде делова од лима. Извршити експериментална истраживања утицаја радијуса врха ножа за савијање на дужину развијеног стања дела од лима.

Мастер рад треба да садржи следеће целине:

1. Уводна разматрања,
2. Суштина сечења ласером,
3. Карактеристике машине за сечење ласером у предузећу ЗАСТАВА ТЕРВО,
4. Прорачун развијеног стања код делова од лима,
5. Експериментална истраживања,
6. Закључци
7. Литература.

Ментор:

Др Богдан Недић, редовни професор

Крагујевац, 16.11.2019.

Резиме:

У оквиру овог рада извршена је систематизација и прикупљање података о савременим обрадним системима за сечење ласером. Описан је принцип сечења ласером као и машине које се користе за ову врсту обраде. У наставку рада описане су машине за обраду деформисањем. У посебном делу рада одрађено је експериментално испитивање утицаја радијуса врха ножа за савијање на дужину развијеног стања дела од лима.

Кључне речи: савијање, деформисање, ласерско сечење, преса, радијус савијања.

Садржај:

1. Уводна разматрања.....	1
2. Суштина сечења ласером	2
2.1 Развој ласера	2
2.2 Врсте ласера.....	2
3. Анализа процеса обраде ласером	10
3.1 Тачност обраде	10
3.2 Технолошки поступци.....	10
3.3 Опрема за обраду.....	13
3.4 Обрада ласером.....	17
3.5 Процес обраде ласером	18
4. Карактеристике машине за сечење ласером у предузећу „Застава Терво“	20
4.1 Елементи машине за сечење	20
5. Обрада метала деформисањем.....	22
5.1 Савијање лима	23
5.2 Угаоно савијање.....	24
5.3 Кружно савијање	24
5.4 Остали типови савијања	25
5.5 Положај неутралне осе	26
5.6 Одређивање развијене дужине.....	27
5.7 Деформације при савијању	28
5.8 Еластична повратност	30
5.9 Минимална вредност радијуса савијања	31
5.10 Максимална вредност радијуса савијања	32
6. Хидрауличне пресе.....	34
6.1 Радни циклус	36
6.2 Радна течност.....	37
6.3 Степен корисног дејства хидрауличне пресе	39
6.4 Врсте хидрауличних преса.....	39
6.5 Хидрауличне пресе за обраду лима	40
6.6 Хидрауличне пресе за савијање	40
7. Експериментална истраживања.....	44
8. Закључци:	54
9. Литература:.....	55

1. Уводна разматрања

У оквиру глобалне конкуренције на домаћем и светском тржишту савремена производња је изложена интензивним притисцима за повећањем квалитета, смањењем времена израде, смањењем цене и флексибилним променама производног програма у циљу задовољења променљивих и све сложенијих захтева купаца. Повећање конкурентности и обезбеђење потребног нивоа квалитета производње, као једног од врхунских захтева, директно је повезано са увођењем нових технологија. Ласерска обрада је у том смислу једна савремена технологија која је брзо постала потреба у скоро свим производним индустријама. За примене у многим областима ласерска обрада је најпрецизнији и најекономичнији метод на располагању. За неке, ласерска обрада је једини метод. Од свих поступака ласерске обраде најраспрострањеније је ласерско сечење. Сноп ласерских зрака је нови универзални резни алат који може практично да сече готово све познате материјале. Произвођачи прототипова знају да је ласерско сечење економична алтернатива другим методама сечења. У односу на поступке гасног сечења, плазма сечења, сечења тестером и просецања предности ласерског сечења су: узан рез, минимална зона топлотног утицаја, правилан профил реза, глатке и равне ивице, минимална или никаква деформација радног предмета, могућност обраде великим брзинама, израда сложених профила и брза адаптација на промену производног програма.

Са друге стране, обрада метала деформисањем је једна од начешће примењиваних метода обраде делова од лима. Готово да не постоји сфера индустрије у којој се користе делови од лима а да се не примењује деформисање. Развој индустрије поставља све оштрије захтеве у погледу прецизности израђених делова. Поред прецизности израђених делова због све већег броја конкурентских фирми, намеће се потреба за смањењем трошкова производње. Један од најочигледнијих начина за смањење трошкова производње је свакако повећање искоришћења ресурса и улазних сировина. Прецизно прорачунавање развијеног стања делова од лима је овде веома значајно јер не само да се на овај начин повећава искоришћење табле од лима него се и смањује потреба за накнадном обрадом истих делова. Ово је нарочито значајно за серијску и великосеријску производњу.

2. Суштина сечења ласером

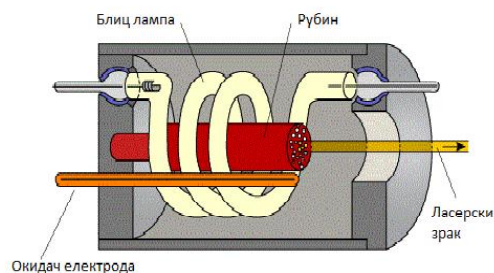
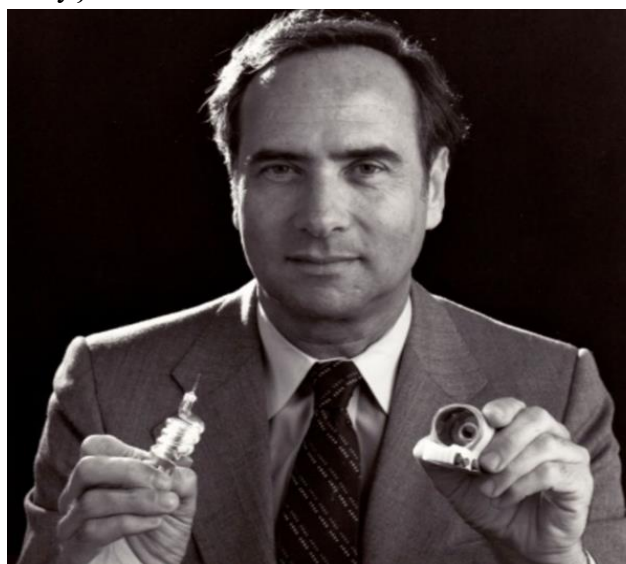
2.1 Развој ласера

Још је 1917. године у свом раду „On the Quantum Theory of Radiation“ *Алберт Ајнштајн* дао теоријски концепт и описао теоријске основе симулације емисије светлости те је предвидео изум ласера и његове претече масера. Масер је уређај који функционише на исти начин као ласер само у другом фреквенцијском подручју.

Масер представља извор микроталаса, док ласер представља извор електромагнетних таласа у инфрацрвеном и видљивом спектру.

Емисију светла у видљивом подручју теоријски су одрадили *H.J.Zeiger, J.P.Gordon, C.H.Townes* 1958. године. *C.H.Townes, N.Basov* и *A.Prokhorov* су 1964 добили Нобелову Награду за физику. У *табели 1.* приказани су важни догађаји кроз историју настанка ласера.

Први ласер направио је 1960. године *T.H.Maiman* запослен на Hughes Research Laboratorie Malibu, California. Овај ласер је емитовао светлост таласне дужине 694 nm у пулсном режиму, а емисију је постигао стимулисаном емисијом из рубиновог кристала побуђеног светлосном лампом.



Слика 2.1 Мaітап са првим ласером

2.2 Врсте ласера

Конструкција ласера зависи од самог типа ласера, међутим сви ласери се састоје из готово истих делова (*слика 2.*). Делови који чине ласер се могу поделити на:

- Систем за побуђивање ласера,
- Радна или активна супстанца и
- Резонатор.

Систем за побуду је систем помоћу ког се активна супстанца преводи у побуђено стање. Систем за побуну може бити изведен на више начина и то: помоћу флеш лампе,

помоћу система за електрично пражњење кроз гас или помоћу неког другог ласера. На основу радне супстанце бира се који тип побуде је најпогоднији за примену.

Радна или активна средина представља средину која испуњава простор у коме се одиграва умножавање броја фотона. Сама активна средина може бити у различитим агрегатним стањима. Као активна средина данас се користи велики број једињења док у ранијем периоду се користило неколико материјала који су били испитани. Ради добијања боље ефикасности активна супстанца се ставља у оптички кондензатор. У зависности која се супстанца изабере може се добити ласер који ради на једној фреквенцији или ласер који ради на више фреквенција које се могу подешавати према потреби.

Резонатор је део уређаја који је у почетку настанка ласера задавао највише проблема око конструкције. Данас постоји неколико основних типова резонатора који се користе. Основна улога је продужење пута зрачења кроз активну супстанцу. Да се не бих користили ласери великих димензија користе се резонатори, који омогућавају довољно дуг пут зрачења без потребе за повећавањем димензија ласера. Резонатор представља простор у коме је смештена активна супстанца, а на крајевима се налазе огледала.

Типови ласера:

Сви ласери се могу поделити на више начина и то:

Према режиму рада деле се на:

- Пулсне ласере
- Континуалне ласере

Према агрегатном стању радне супстанце деле се на:

- Гасне ласере
- Течне ласере
- Чврсте ласере

Према стању у коме се налази радна супстанца деле се на:

- Атомске ласере
- Молекулске ласере
- Јонске ласере
- Слободне - електрон ласере

Разврставање ласера по групама је веома тешко пошто се групе међусобно преклапају а и поред ових наведених група постоји још много подгрупа за поделу ласера.

Пулсни ласери су ласери који не дају континуалан ласерски сноп, већ је сноп издељен на импулсе. У ову врсту спада први ласер то јест рубински ласер. Карактеристика ових ласера је веома велика енергија у кратком временском интервалу. Време импулса је много краће од једне секунде. Ова група ласера се може поделити на:

ласере чији импулс траје дуже од једне наносекунде, то је примењено код несто старијих ласера великих снага;

ласере са веома кратким импулсима око једне пикосекунде, ови ласери имају огромну изражену снагу по јединици површине.

Континуални ласери су ласери који емитују континуални ласерски сноп у трајању дужем од једне секунде. Ови ласери имају велику средњу снагу и називају се још и

војни ласери, јер се користе за уништавање пројектила у војне сврхе. Ови ласери су у употреби од 1966. године.

Гасни ласери су ласери чија је радна средина у гасовитом стању. Ова група има своју подгрупу и то:

- Атомске гасне ласере (He – Ne, Cs,...)
- Молекулске гасне ласере (Ar, Kr,...)
- Јонске гасне ласере (CO₂, N₂, XeBr,₂)
- Хемијске ласере

Течни ласери имају радну средину у течном стању, могу се поделити на:

- ласере са неорганским једињењима;
- ласере са органским бојама.

Чврсти ласери су ласери чија радна супстанца има чврсто стање, могу се поделити на:

- кристалне ласере (рубински, YAG,...);
- аморфне ласере (стаклени, пластични,...).

Гасни ласер

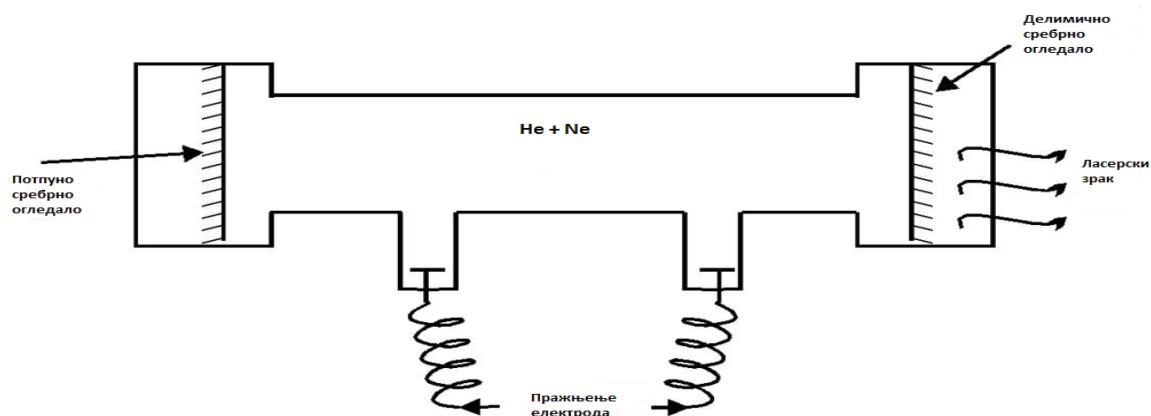
Гасни ласери представљају све ласере код којих је активна средина у гасовитом агрегатном стању, без обзира да ли је гас јонски, атомски или молекуларни. Ови типови ласера су веома често примењиви јер су лаки за коришћење и такође су једноставне конструкције. Представници овог типа се најчешће састоје од стаклене или керамичке цеви у којој је смештен гас. Ови ласери могу радити у два режима: пулсном или континуалном, у зависности од конструкције. Гасови у односу на остала тела имају тачно одређене енергетске нивое атома, па постоји могућност прелаза атома са једног на други енергетски ниво. Густина гаса је релативно мала, па због тога не долази до дисперзије светлости и изобличавања светлосног зрака. Самим тим што је густина мала могу се поставити огледала и резонатор на већу удаљеност и добити боље усмеравање зрака. Али поред својих предности и гасови имају одређене недостатке и то: густина гасова је знатно нижа од густине чврстих тела, па се не могу добити велике количине побуђених атома као што је случај код чврстих тела. Притисак гаса код гасних ласера најчешће се креће у опсегу од 10^{-3} до 10^{-2} Pa.

Хелијум- неонски ласер

Хелијум - неонски ласер је први континуални ласер. Хелијум - неонски ласер је приближно двадесет година од свог настанка био доминантан тип ласера. Конструисао га је *A. Jovan* са својим сарадницима 1961. године. Шематски приказ овог типа ласера приказан је на *слици 3*. Овај ласер се производио као ласер мале снаге, па ретко који ласер овог типа прелази снагу од 100 mW у континуалном режиму. Због тога што је најчешће ласер мале снаге, његова примена се своди на примену као што је: скенирање бар кодова и мерења. Као активна супстанца овог ласера користи се смеша неона и хелијума у односу 1:10. Побуда гаса се врши електричним пражњењем кроз смешу

гасова, на притиску од 100 Pa и напону између 2-4 kV. Ови ласери данас користе разне прелазе како би се добили зраци различитих боја.

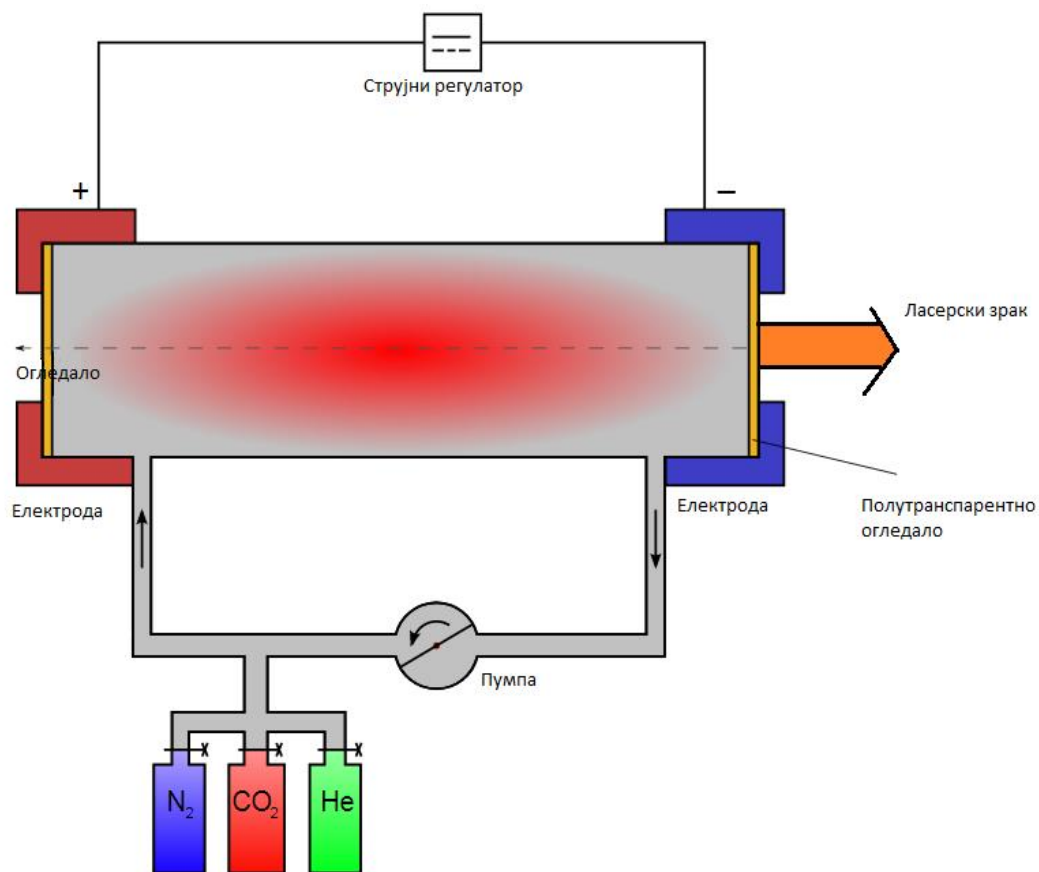
Постојали су покушаји да се направи чист неонски ласер јер у хелијум - неонском ласеру хелијум служи само за побуђивање. Неуспех се огледа у томе што се јављају изузетно велики губици, чак 99% уложене енергије се изгуби на загревање цеви у којој се налази гас.



Слика 2.2 Шематски приказ хелијум-неонског ласера

CO₂ ласер

Овај ласер је изумео K. Patel 1964. године када је кроз стаклену цев која је испуњена CO₂ пропустио струју. Шематски приказ CO₂ ласера је дат на слици 4. Том приликом је увидео да је помоћу CO₂ могуће добити ласерски сноп који је веома слаб. Да би поправио карактеристике ласерског снопа он је покушавао да комбинује различите гасове. Као комбинација која је давала најбоље резултате испоставила се комбинација CO₂, N₂, He и то у размери 1:1:8. У оваквој смеши хелијум има улогу да помаже при празњењу нижих енергетских нивоа док N₂ помаже при побуђивању CO₂. Ови ласери се одликују високим коефицијентом корисног дејства. Ласерски сноп има таласну дужину која је десет пута већа од стаклених и YAG- ласера. Пошто ови ласери поседују велику снагу своју примену су нашли у металној индустрији, и то за: бушења, сечења, заваривања, термичка обрада, наношење тврдих превлака, итд. Ласери могу да раде у импулсном и континуалном режиму. Уколико је ласер у континуалном режиму снаге од 15 kW тај исти ласер у импулсном режиму би био снаге између 20-50 kW. Овакав вид прелаза са једног режима на други је могуће веома лако извести уколико се замени једно фиксно огледало са ротирајућим огледалом.



Слика 2.3 Шематски приказ CO_2 ласера

Течни ласери

Течни ласери су ласери код којих је радна средина у течном агрегатном стању. Течности које се користе су раствори органских боја и раствори неорганских једињења. У ласерима на бази течности постиже се иста концентрација активних честица као и код ласера на бази чврстих тела. Течност је оптички хомогенија од чврстог тела па су губици у течностима мањи него код чврстих тела. Хлађење течности се спроводи циркулацијом што представља веома ефикасну методу хлађења. Недостатак ових ласера је нестабилност раствора током времена, већ после 1-2 месеца стварају се талози што утиче на смањење зрачења.

Ласери на бази неорганских раствора могу радити само у импулсном режиму, док ласери на бази органских раствора могу радити и у импулсни и у континуалном режиму. Побуђивање ласера се врши оптичким пумпањем.

Ласери на бази неорганских течности

Углавном се развијају ласери на бази соли неодијума и неорганских течности. Као растварачи користе се течности као што су: SeOCl_2 и SnCl_4 , у облику: $\text{Nd}^{3+}:\text{SeOCl}_2:\text{SnCl}_4$. Такође постоји и раствор: $\text{Nd}^{3+}:\text{POCl}_3:\text{SnCl}_4$. Као емисиони прелази на овим једињењима користе се исти прелази као и у Nd ласерима на бази стакла.

Емисиони и апсорпциони спектри Nd ласера на бази течности и Nd ласера на бази стакла веома су слични, тако да се ови ласери могу третирати као YAG ласер.

Ласери на бази органских боја

Ласери на бази органских боја представљају нову врсту ласера који поседују добре и специфичне особине. Код ових ласера је могуће континуално мерење таласне дужине у широком интервалу. Као органска једињења која се користе као активна средина употребљавају се: радомин 6G, радомин 6, кумарин 2, кумарин 6, итд.

Органске боје су сложена органска једињења која јако апсорбују видљиву светлост. Обично се састоје од бензенских (C_6H_6), пиридинских (C_6H_5N), азотних ($C_4H_4N_2$) и других прстенова. Велика већина боја има јонски карактер. Активна средина, у случају органских боја, растворена је у погодном растварачу. Као растварачи користе се: алкохол, бензин, етанол, пластика са диспергованом бојом.

Чврсти ласери

Чврсти ласери су ласери код којих је радна средина у чврстом стању на собној температури. Први ласер чврстог стања је био *Maimann-ov* рубински ласер који је био импулсног типа. Данашњи ласери користе системе са три или четири енергетска нивоа, имају велику снагу а могу бити континуалног и импулсног типа. Ови ласери нашли су велику примену у многим областима од којих су неке: метална индустрија, медицина-хирургија, разна мерења, научна истраживања. Најснажнији ласери данас су ласери чврстог стања и то импулсног типа. Данас постоји много различитих једињења које се користе као активна средина. Најчешће се користи неодијум (Nd) који се јавља као примеса разним сложеним једињењима. Најпознатији је Nd:YAG ласер, где YAG представља: Итријев алумијев гранат ($Y_3Al_5O_{12}$) који има много нижи праг обраде ласером од рубинског, много већу снагу и ради у блиској инфрацрвеној области. Код континуалних ласера за побуду се користи ксенонска или криптонска блиц лампа. Код импулсних ласера користи се ксенонска флеш лампа код које се помоћу прекидачног кола стабилише рад. У новије време веома снажни YAG ласер се експериментално користи као мотор код ракета, али за сада само код екстра лаких малих пројектила.

Полупроводнички ласер

Полупроводнички ласер је ласер који је предложио *R. Hall* 1962. године. Ови ласери раде на принципу рп-споја код којих се при рекомбинацији електрона и шупљине јавља емисија електромагнетног зрачења. Први полупроводнички ласер је имао једну ману, и то да се веома брзо прегревао па је могао да ради само у импулсном режиму. Касније се проблем са загревањем решио 1967. године.

Основна предност полупроводничких ласера у односу на друге ласере је: мале димензије, мала маса, висока ефикасност и ниска ефикасност побуде. Ови ласери могу се помоћу спољне оптике побољшати фокусирањем снопа, тако да се добије већа снага, што доводи до могућности примене у микрохирушким захватима и специфичним

истраживањима. Данас ови ласери имају кључну улогу у информационим системима, оптичкој комуникацији као и у електроиндустрији.

Рубински ласер

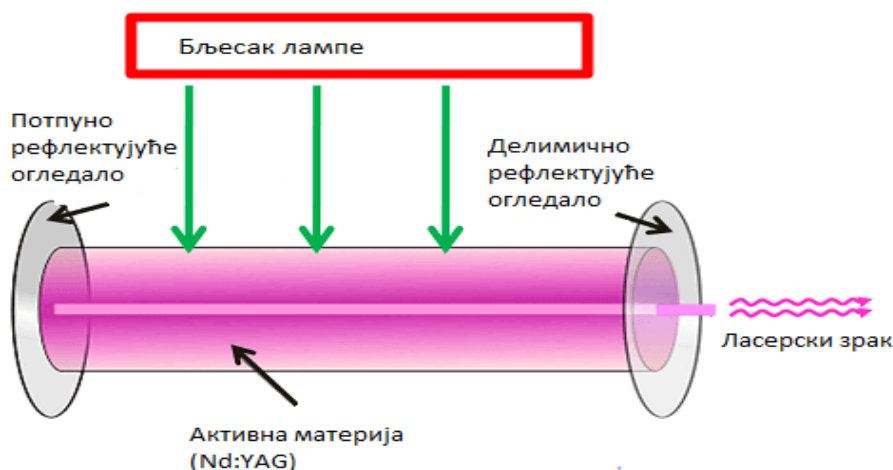
Од ласера са чврстим телом најпознатији је рубински ласер. Он се састоји на бази ласерског тела од кристалног синтетичког рубина (Al_2O_3) у виду цилиндра, са додатком 0,5 % тровалентног хрома (Cr^{+++}). Шематски приказ овог ласера је дат на *слици 5*. Рубин је минерал бледо ружичасте боје до јарко црвене боје, при чему се јавља црвена боја таласне дужине. Рубински ласер може да ради у два режима и то: импулсном и континуалном режиму. Због великог загревања и малог степена искоришћења од 1 % у континуалном режиму рубински ласери се најчешће користе у импулсном режиму. Ласери који се користе у континуалном режиму имају посебан систем за хлађење. Овај ласер се користи за бушење малих отвора у различитим материјалима и за тачкаста заваривања. Рубински ласер је први ласер који је почео да се користи у бушењу дијаманата и алата за извлачење танке жице.

Nd:YAG ласер

Један од најважнијих ласера који има доста научних и индустријских примена је неодијумски ласер (Nd:YAG). YAG је скраћеница од итријев алуминијев гранат ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$). YAG спада у групу врло тврдых материјала. Захваљујући својој тврдоћи обрада YAG-а је веома тешка јер захтева коришћење дијаматских средстава.

Значајна предност овог ласера у односу на рубинов ласер и стаклени ласер је висока топлотна проводљивост и отпорност, чиме је омогућено његово интензивно хлађење. Захваљујући овој предности овај ласер може да ради како у континуалном тако и у импулсном режиму.

Nd: YAG ласер је карактеристичан по свом облику, јер се израђује у облику штапова са полираним крајевима. Шематски приказ овог ласера дат је на *слици 6*. Због саме израде штапова са полираним крајевима мора се применити посебан технолошки поступак за њихово добијање.



Слика 2.4 Добијање ласерског зрака

Стаклени ласер

Као активна средина код стаклених ласера користи се високопрозирно стаклено тело у коме су дисперзно распоређени јони нодијума Nd^{+++} .

Постоје две врсте стаклених ласера:

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

Израда тела ласера је једноставна, при чему могу да се израде велика ласерска тела како би се повећала снага ласера. Али стаклени ласер има слабу топлотну проводљивост и отпорност, због тога се не може радити са високим фреквенцијама.

Због ниже цене од рубинских ласера стаклени ласери су више заступљени.

3 Анализа процеса обраде ласером

3.1 Тачност обраде

Тачност обраде ласером првенствено зависи од интензитета и стабилности ласерског снопа, од параметара за обраду, као и од тачности кретања саме машине. Одступања мера од прописаних су нарочито изражена прилоком обраде недефинисаних геометријских облика или код грубе обраде делова великих димензија, уколико се ради о завршној обради, ласером је могуће постићи високу тачност.

Ласерски зраци се карактеришу најужом зоном утицаја топлоте. Односно расипање енергије приликом ове обраде је минимално, самим тим се овим поступцима постиже највећа тачност. Како би се обезбедила висока тачност неопходно је обезбедити максимално фокусирање светлосног снопа на месту обраде.

3.2 Технолошки поступци

Ласером се може урадити велики број операција, и то

- Бушење малих отвора (пречника $0,01 \div 0,1$ мм) на матрицама за извлачење жице или вештачких влакана, у часовничарској и јувелирској индустрији и др.;
- Обрада просторних површина, тзв. „ласерско глодање”;
- Гравирање натписа, мерних скала, нонијуса, ознака и др.;
- Сечење танким резovima, нарочито код скувих и тешко обрадљивих материјала;
- Заваривање истих или различитих метала и неметала;
- Површинска термичка обрада;
- Локално наношење тврдих превлака и др.

Бушење ласерским снопом омогућава израду малих рупица на сваком материјалу. Тачно усмерен снап користи се и код пластичних материјала, где се радња изводи пулсирајући до израде коначне димензије рупе. Употребом пулсирајућег ласера могу се изградити и конуси.

Процес обраде се заснива на стварању рупе или отвора на материјалу предмета обраде деловањем фокусираног ласерског зрачења при чему се материјал уклања испаравањем. Количина материјала која ће бити одстрањена испаравањем зависи од густине снаге ласерског зрачења и латентне топлоте испаравања материјала предмета обраде.



Слика 3.1 Бушење ласером

Обрађивање површине ласерским снопом подразумева различите употребе као што су термомеханички поступци, емајлирање, легирање, дисперзија и слично. Остварује се померањем обратка у односу на алат – ласерски зрак, које подсећа на копирно глодање, па отуда и назив „ласерско глодање”. Површинска обрада ласерским снопом нуди неколико предности у односу на друге поступке: минималан унос топлоте на обрадак, тачна контрола подручја обраде, мали број грешака, одлична и једноставна контрола процеса. Да би се избегле структурне промене и дефекти у површинском слоју, ласерски зрак се креће великом брзином по површини обратка, па тако нема времена да топлота продре дубље у обрадак. Тако се постиже да слој са измењеном структуром буде око 0, 01 mm. При обради се постиже производност од $30 \div 800 \text{ mm}^3/\text{min}$, док тачност скидања материјала по дубини износи око 0, 1 mm.

Означавање са ласерским снопом и гравирање су врло раширени поступци . Са ласером можемо постићи специфичну промену површине или одређеног подручја. Померање ласерског снопа по програмираној контури врши се помоћу два огледала која се могу окретати, једно око вертикалне, а друго око хоризонталне осе. При томе ласерски сноп може да се креће по одређеној линији (контури и др.) у једној равни. Метода гравирања вођењем ласерског зрака се користи у случајевима када је потребан висок квалитет гравирања и велика флексибилност. Критеријуми за оцену квалитета гравирања су: контраст, оштрина контуре, храпавост површине, отпорност на механичке и хемијске утицаје и др.



Слика 3.2 Гравирање ласерским снопом

Сечење (резање) помоћу ласерског зрака, и то скоро свих врста материјала, данас је најраспрострањенија примена ласера у подручју обраде материјала. Ефикасност сечења

ласером може се знатно повећати применом тзв. радног гаса (користе се: O, N и Ar), који се убацује у смеру деловања ласерског зрака, а чији задатак је да побољша сагоревање и одстрањивање продуката обраде. Сечења ласером уз примену радног гаса изводи се континуалним режимом рада. Овом обрадом се обрађују обрадиви материјали, танки и лако ломљиви материјали, делови сложеног облика, минијатурни делови и сл.

Ласерско резање је успостављена процедура за прецизно резање контура, резање цеви и профила.

Ласерско резање има своје предности као што су брзина, прецизност.

Лоша страна су само високе инвестиције и оперативни трошкови, а ласерско резање не надмашује увек конкуренцију.



Слика 3.3 Сечење ласером

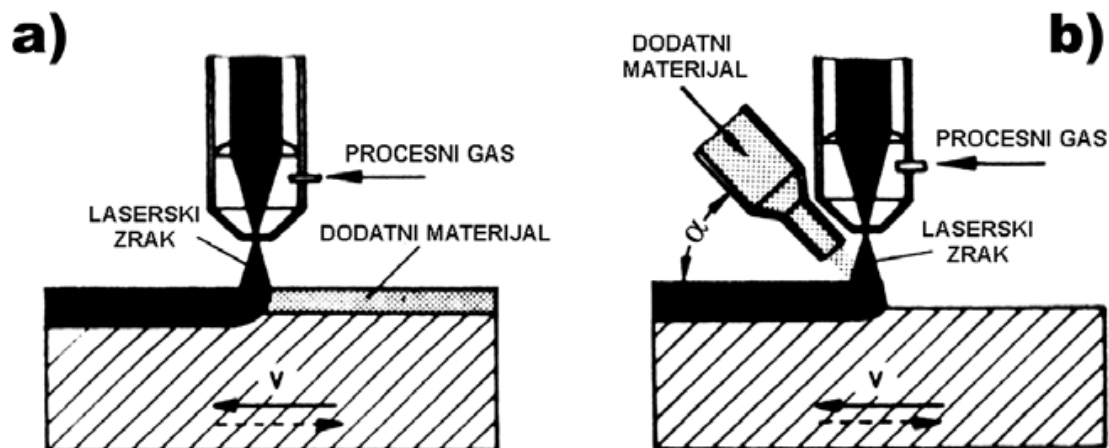
Заваривање ласером се такође веома често примењује у пракси због бројних предности у односу на друге поступке заваривања. Може се одвијати уз примену додатног материјала или без њега, као и у атмосфери или под заштитом гаса. Поред металних могу се заваривати и неметални материјали, што је изузетно тешко, а у неким случајевима и немогуће извести било којом конвенционалном методом заваривања. Ласерско заваривање изводи се са CO₂ ласером. Ласерски сноп се усмери на једну малу тачку, чиме се добије довољна снага за топљење материјала. За фокусирање великих снага CO₂ ласера, уместо огледала се користе водом хлађена огледала.



Слика 3.4 Заваривање ласером

Ласер је изузетно погодан за локално загревање површинског слоја материјала који се термички обрађује. На тај начин се могу спровести скоро сви до сада познати **облици термичке обраде** који имају задатак да ојачају или оплемене одређене површине на обратку. 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.

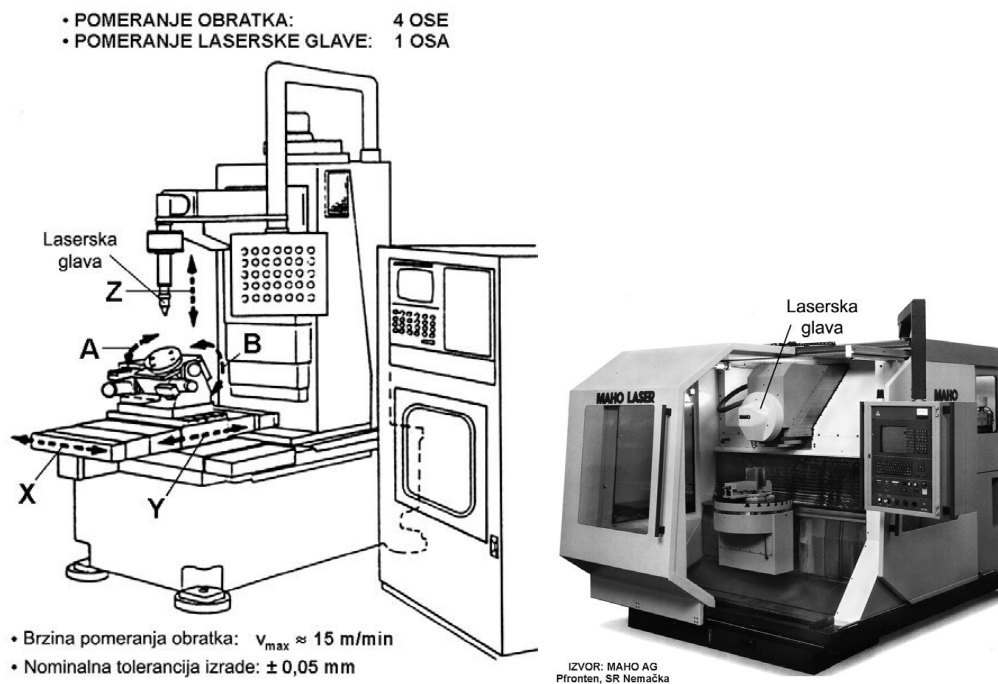
Наношење тврдих превлака ласером је модеран и перспективан поступак којим се повећава површинска отпорност на хабање елемената машина и алата. Превлаке нанете овим поступком су ниске порозности, високе тврдоће и чврсто су везане за основни материјал. Додатни материјал се посебним поступцима претходно наноси на површину обратка, или се доводи на површину кроз дизну у зону деловања ласерског зрака. Деловањем ласерског зрака, додатни материјал се претвара у течно стање и разлива по основном материјалу формирајући тако превлаку одговарајућих карактеристика.



Слика 3.5 Шема наношења тврдих превлака помоћу ласерског зрака а) са додатним материјалом нанетим на површину обратка; б) са дозирањем додатног материјала

3.3 Опрема за обраду

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. Дат је шематски приказ ласерског постројења са ЦНЦ управљањем у правцу 5 НУ–оса изглед једног таквог постројења фирме МАНО.



Слика 3.6 Шематски приказ ласерског постројења за обраду различитих материјала

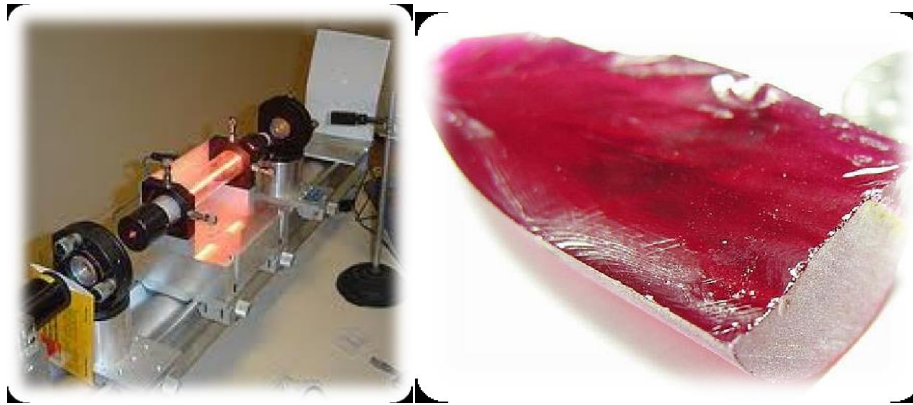
У металопрерађивачкој индустрији ласери су нашли примену за обраду метала, мерење и контролу квалитета. У обради метала, како је наведено, ласери се користе за: бушење, сечење, обележавање, контурну обраду, заваривање и термичку обраду.

Ласерске машине се састоје од: ласера, оптичког система за пренос снопа ласерских зрака, обрадне главе, координатног радног стола, система за напајање енергијом и управљачке јединице.

Ласер ствара униформни, са могућношћу фокусирања, светлосни сноп ласерских зрака који може бити концентрисан и усмерен са великом прецизношћу. Сноп ласерских зрака представља алат у обрадном систему.

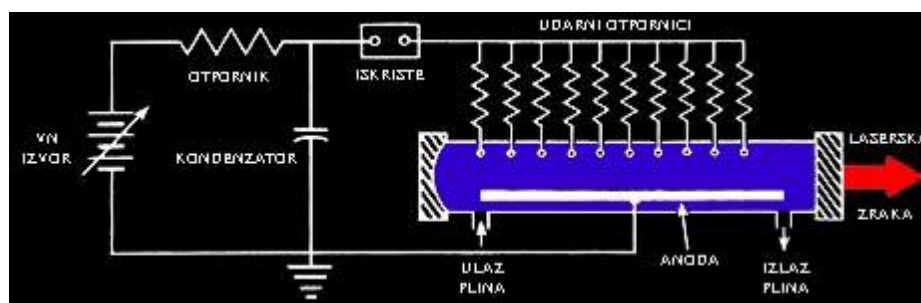
Активна материја ласера може бити у сва три агрегатна стања, односно чврстом, гасовитом и течном стању, зависно од жељене снаге и подручја примене.

Чврсти ласери се праве са рубинским емитором (Al_2O_3) уз додатак јона хрома (Cr^{+3}) или неодијума (Nd^{+3}) као активних језгара, итријумско–алуминијумски оксид ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$) са јонима неодијума као активним језгрима, тзв. YAG–ласер, затим разне врсте стакла итд. Углавном раде у импулсном режиму да би се избегло велико загревање ласерског тела, при чему су за континуалан рад најпогоднији YAG–ласери, с обзиром да се најмање загревају при раду.



Слика 3.7 Рубински ласер је ласер са крутим језгром. Као језгро користи штапић рубина

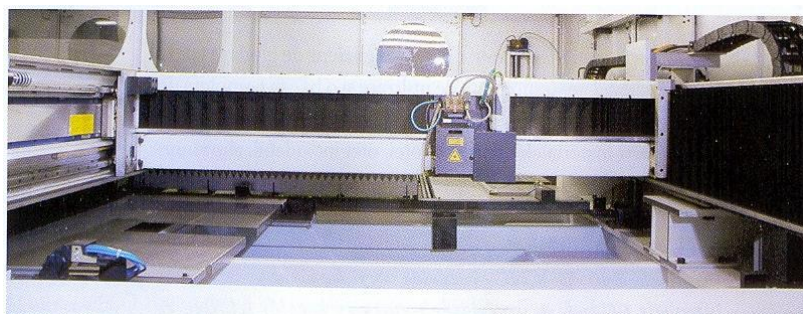
Гасовити ласери су веома распрострањени, а за обраду се најчешће користи CO_2 -ласер чију гасну смешу чине: азот (N_2) и хелијум (He), уз додатак угљен диоксида (CO_2) који игра улогу активне материје, као и смеше хелијума (He), неона (Ne), аргона (Ar) и криптона (Kr). Могу да раде у континуалном и импулсном режиму.



Слика 3.8 Поједностављена шема CO_2 ласера

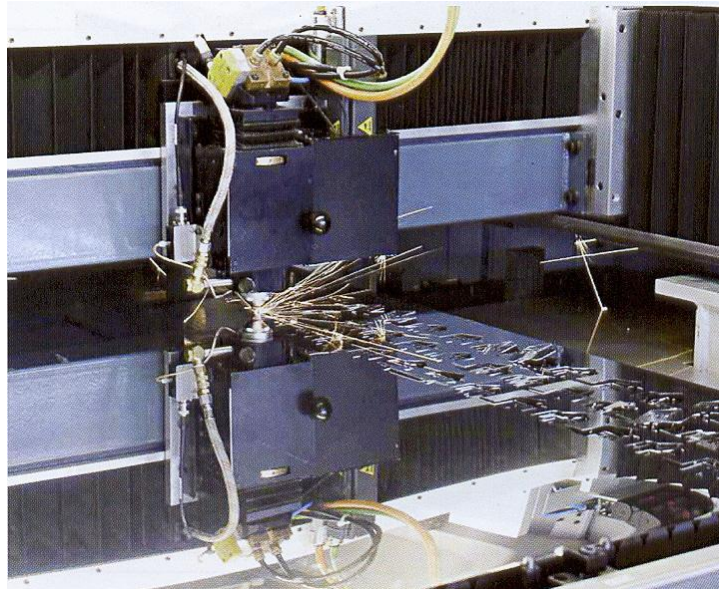
Течни ласери нису нашли примену у уређајима за обраду материјала. Иначе се као течна ласерска тела користе неоргански раствори соли: фосфор-оксихлорид (POCl_3) и селен-оксихлорид (SeOCl_4) са додатком олово тетрахлорида (PbCl_4) или халогенида метала као активне материје.

Оптички систем за пренос снопа ласерских зрака представљају погодни реализовани манипулатори (телескопске цеви и огледала) који преносе снап ласерских зрака од ласера до обрадне главе.



Слика 3.9 Вођење ласерског снопа

У **обрадној глави** се врши фокусирање снопа ласерских зрака на радни пречник од 0. 2 mm при чему се добија густина снаге од преко 108 W/cm^2 . Фокусирани снап ласерских зрака, уз помоћ млаза радног гаса, се користи за обраду.



Слика 3.10 Ласерска глава за сечење

Координатни радни сто обезбеђује кретања која су усаглашена са потребама ласерске машине.

Систем за напајање енергијом се састоји од: система за напајање ласерске машине електричном енергијом, система за напајање ласера смешом гасова када се ради о CO_2 ласеру и система за напајање обрадне главе радним гасом (O_2 , Ar, N_2 или ваздух).

Ласер и оптички систем за пренос снопа ласерских зрака се хладе најчешће водом.

Управљачка јединица је комплексан hardware и software систем чији је задатак да процесира блокове програмских информација, контролише вишеосна померања, параметре ласера, параметре обраде и сензоре.



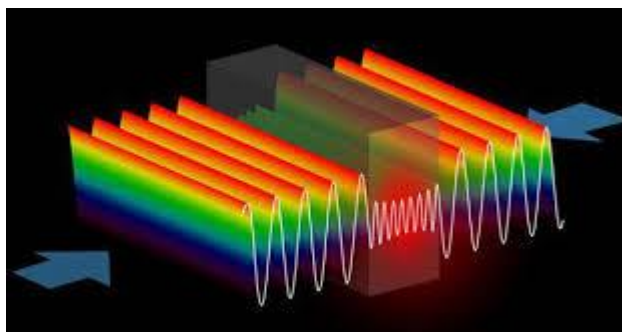
Слика 3.11 Управљачка јединица Siemens Sinumerik 840D CNC је 320-biti са интегрисаним PC-ом

3.4 Обрада ласером

Основе процеса

Развојем ласера створени су услови за развој различитих поступака обраде. Усмеравањем ласерског снопа на предмет обраде могуће је остварити велики број производних операција које се реализују искључиво фокусирањем ласерског снопа на површину предмета обраде. једноставно управљање ласером, велике могућности аутоматизације, обрада у различитим срединама велика производност само су неки од предности који обраду ласером чине једном од најзначајнијих неконвенционалних поступака обраде.

Сам поступак обраде ласером базира се на котишћењу електромагнетног осциловања светлосног снопа формираног помоћу ласерског уређаја. Усмеравање ласерског снопа на предмет обраде доводи до топљења и испаравања било ког материјала само у зони деловања снопа.



Слика 3.12 Процес настајања ласерског снопа унутар уређаја

Основе формирања ласерског снопа

Ласерису уређаји који спадају у групу квантних генератора код којих се светлони сноп формира индукованим зрачењем атома и молекула. Уколико у оптичком резонатору дође до појаве фотона одређене фреквенције долази до појаве стимулисане емисије светлости и ланчаног разбијања молекула и атома. Огледала са обе стране резонатора вишеструко усмеравају ланчану реакцију и долази до емисије светлости односно појаве ласера.

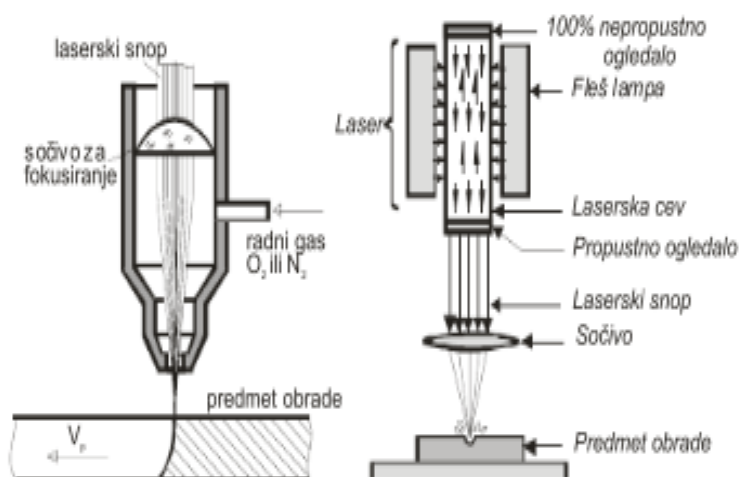


Слика 3.13 Ласерски уређај

3.5 Процес обраде ласером

Машинска обрада ласером (eng. Laser Beam Machining – LBM) је процес термалног уклањања материјала. При обради ласером се користи високо-енергетски сноп светлости за отапање и вапоризовање честица на површини материјала машинских делова.

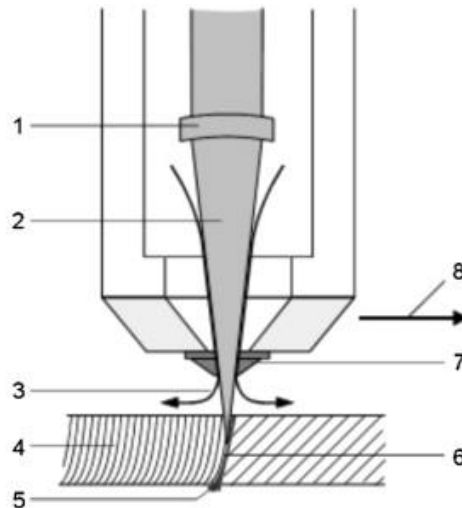
Усмеравање ласерског зрака на предмет обраде могуће је извести велики број производних операција: сечење, бушење, заваривање, отврдњавање, наношење превлака, итд. Ова метода је посебно погодна за израду прецизно постављених рупа, а највише се користи у електричној и аутомобилској индустрији.



Слика 3.14 Шема формирања ласерског снопа

Недостатак обраде је промена структуре материјала у зони обраде. Могућност сечења: пластични материјали, композити, гума, дрво, челик, Al, Cu. Погодан је за обраду цилиндричних зупчаника малих димензија.

Технолошке карактеристике ове врсте обраде су: производност (маса или запремина скинутог материјала у јединици времена), тачност обраде (толеранција израде мера) и квалитет обраде (храпавост површине и стање површинског слоја) зависе од енергије извора, односно специфичне снаге у фокусу (W/cm^2), али и од других параметара, као што су утицај специфичне снаге – интензитета у фокусу и утицај пречника ласерског зрака у фокусу.



Слика 3.15 Процес ласерског сечења 1 ласерски сноп 2 усмеривач ласера 7 млазница 3 компримовани ваздух 8 правац сечења 4 одсечена површина, 5 зона топљења 6 угао сечења

4. Карактеристике машине за сечење ласером у предузећу „Застава Терво“

4.1 Елементи машине за сечење

Резонатор у коме се ствара ласер зрак, специјални оптички кабл који преноси ласер зрак до ласерске главе, глава за резање, осе главе за резање x,y,z по којима мотори покрећу главу, лежајеви, постоље машине, заштићено кућиште, систем за брз утовар и истовар табли лима, са интегрисаном измењивачем радних столова.

Фибер ласер диоде произведене од великог броја резонатора се комбинују за снабдевање светлосног улаза. Фибер Bragg огледала су постављена у облику резонаторског кавеза и таласне дужине ласера фибер око 1070 nm. Ова таласна дужина је десетина од таласне дужине CO₂ ласера који се обично користе на тржишту. Просечан век диода резонатора је преко 100.000 сати. Веома квалитетан ласер зрак који се ствара на таласној дужини од 1070 nm и 8 mm*m рад може се пренети у квалитету на растојање до 50 m. Активан значи да влакна коришћена у фибер каблу су дебљине само неколико микрометара.



Слика 4.1 Фибер ласер за сечење лимова NUKON NF 2060-3kW

Транформација ласерског зрака између резонатора и резне главе је постигнута са специјалним оптичким каблом. Овде нам нису потребна рутер огледала, чишћење зрака, који су веома скупи. Велика је уштеда остварена компактном структуром резонатора.



Слика 4.2 Резна глава ласера

У поређењу са CO₂ ласерима који су широко у употреби на тржишту, фибер има десет пута мању таласну дужину и веома висок квалитет зрака 8mm*m рад што омогућује резање материјала које се тешко секу. Због тога што има наведене карактеристике зрак се неће одбијати од метала, већ ће бити добро апсорбован. Нарочито не-гвоздени материјали обојени метали, као што је бакар и бронза, танки нерђајући челик, алуминијум се могу сећи брже него директно. У зависности од снаге машине и типа материјала од којих су урађене табле трошкови се могу смањити за 20%. Ово значи 80% уштеде у поређењу са CO₂ на тржишту. Фокусирање фибер ласер зрака је боље, има већу брзину резања, дисипација топлоте је мања, има глађу резну површину, а деформације су готово занемарљиве.

Брз систем за утовар и истовар табли са интегрисаним измењивачем палета је лоциран са предње стране машине. Ово је високо ефикасан систем који спречава губитак времена за утовар табли за сечење и истовар исечених делова.

5. Обрада метала деформисањем

Обрада метала деформисањем представља методу обраде без скидања струготине, подразумева методу обраде при коме се радном делу даје жељени облик пластичним деформисањем услед дејства спољашњих сила. Обрада деформисањем је првенствено везана за серијску производњу за разлику од обраде материјала стругањем.

Користећи ову технологију можемо остварити производњу делова најразличитијих облика и димензија, можемо деформисати различите типове материјала. Циљ овог начина прераде је што мањи број потребних операција са најмањим отпадом материјала.

Како би се полуфабрикант у облику лимова, плоча, цеви и др. могао прерађивати, потребно је применом оптерећења довести га у стање пластичног течења односно оптеретити га изнад границе еластичности. Потребан рад и силу остварују машине за обраду деформисањем. У ту групу спадају пресе, машине за савијање, ковачке пресе итд. Геометрију радног комада обезбеђује алат који се монтира на машину која остварује потребну силу.

Обрада се може вршити у хладном и топлом стању. У топлом стању деформабилност материјала је повећана, тако да је потребна мања сила а самим тим и мањи утрошак енергије за процес деформисањем. Током обраде у хладном стању материјал ојачава, већа је прецизност, површине су квалитетније и постижу се повољније механичке особине.

Технологија обраде материјала деформисањем је веома заступљена у производњи јер поседује доста предности. Предности су:

- добре механичке особине делова,
- релативно једноставна, брза и ефикасна израда делова великих димензија и сложених геометрија,
- низак утрошак енергије по јединици масе комада,
- ниска цена по јединици производа и
- широк спектар делова је могуће произвести искључиво овом методом.

У недостатке технологије обраде материјала деформисањем спадају:

- тешкоће при обради материјала које карактерише ниска почетна пластичност,
- најчешће економска оправданост се постиже тек у серијској производњи и
- појава великих деформационих сила и напона током појединих процеса обликовања који доводе до већих трошкова у изради алата и захтева машине велике снаге.

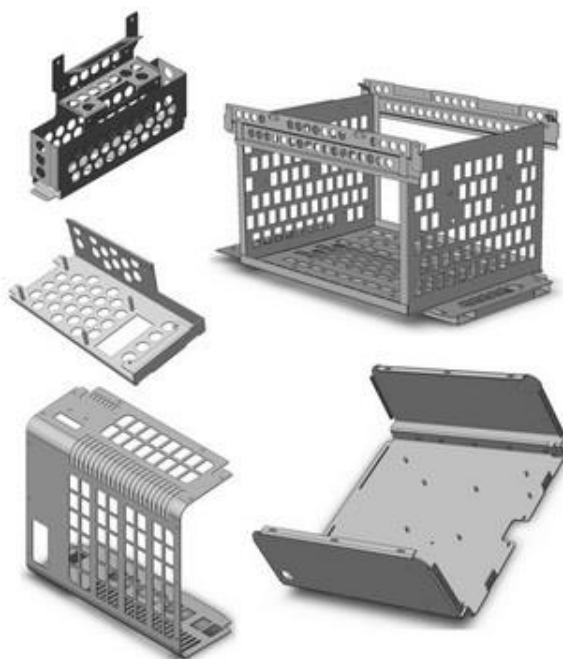
За време процеса пластичног обликовања потребно је обратити пажњу на граничне вредности деформације. Уколико дође до прекорачења деформације долази до разарања структуре материјала или се јављају дефекти. За сваки технолошки поступак изводи се прорачун компоненти напона и деформација, а затим и прорачун

деформационих сила и радова. За правилан избор машина и димензионисања алата ови параметри су неопходни.

Како пластичну деформацију увек прати и еластична, треба узети у обзир еластично исправљање при конструкцији алата. Последица ове појаве је промена димензије радног комада након растерећења. За ту величину потребно је извршити корекцију облика алата у односу на тражене димензије. У већини случајева савијања, зона пластичног деформисања је локална, односно обухвата мањи део комада где честице материјала мењају своје међусобно растојање на месту где дејствују силе.

5.1 Савијање лима

Савијање лима је веома заступљено у металној индустрији. Код савијања лимова као полупроизводи користе се лимови различитих дебљина и карактеристика. У малосериској као и у великосериској производњи технологија савијања веома брзо потискује остале технологије. Комбинација ове технологије са технологијом заваривања даје веома добре резултате и налази веома велику примену у индустрији. Предност се огледа у једноставнијем производном процесу што се одражава кроз економске ефекте. На слици приказани су делови добијени технологијом савијања.



Слика 5.1 Делови добијени технологијом савијања

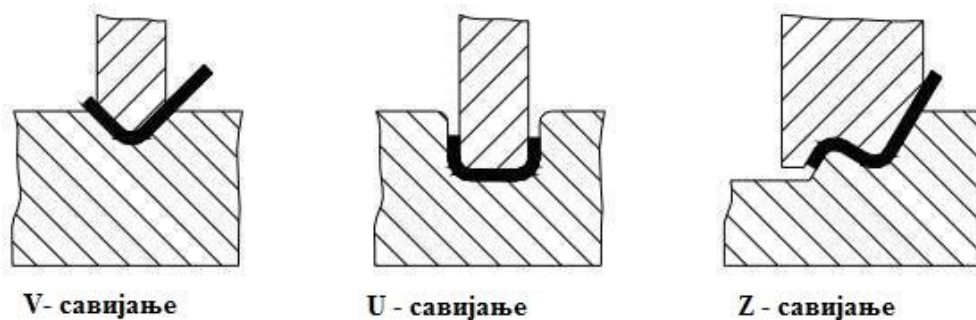
Процес савијања се изводи у зависности од намене производа и у зависности од димензија и облика комада на:

- Алатима монтираним на пресамa (кривајним, коленастим, хидрауличним, ексцентричним, фрикционим и специјалним пресамa),
- Ваљцима на ротационим машинама и
- Посебним уређајима на специјалним машинама.

На пресама се савијају делови мањих радијуса. У ту сврху се користи широк избор преса почевши од најмањих па све до преса са силама и до 60 MN. На ваљцима се савијау комади великог радијуса, најчешће су то котлови, цилиндри, резервоари итд. За савијање посебних облика користе се специјалне машине са посебним уређајима, и у ту групу спада машина за савијање цеви. Комади компликованије геометрије се израђују у неколико радних операција. Технологија може бити таква да се појединачно за сваку операцију користи посебан алат, да се неколико операција савијања врши у истом кораку или поступно користећи комбиноване алате.

5.2 Угаоно савијање

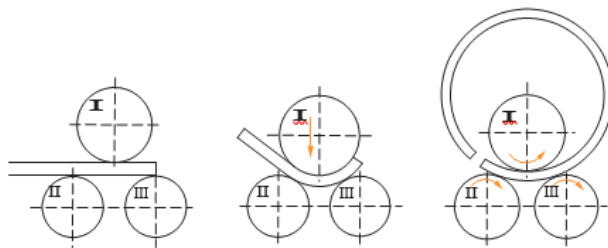
Угаоно савијање је изводи у алатима који се постављају на пресе (кривајне, хидрауличне и др.) или на специјалним пресама. Савијање може бити једноугаоно, двоугаоно и вишеугаоно. Дужина комада који се савија може достићи и до неколико метара. Ова три облика савијања се означавају симболима и то: V – једноугаоно, U – двоугаоно, Z – вишеугаоно.



Слика 5.2 Основни облици угаоног савијања

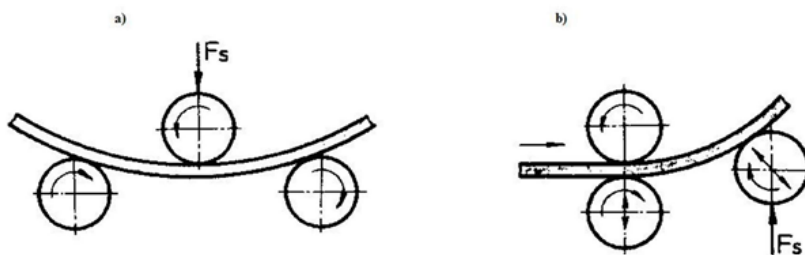
5.3 Кружно савијање

Кружно савијање се изводи на ротационим машинама за савијање, где су основни радни елементи ваљци. Савијање се изводи без алата, те у овом случају улогу алата имају ваљци машине. Процес се изводи помоћу одређеног броја ваљака, распоређених на одређени начин. Погонски ваљци добијају кретање од погонских мотора. Код мањих машина, погон може бити и ручни. Припремак улази међу ваљке и захваљујући трењу бива принуђен да пролази између њих. Ваљци могу бити дужине од пар милиметара до неколико метара. Ова технологија се користи за израду: котлова, цилиндара, резервоара итд.



Слика 5.3 Кружно савијање помоћу ваљака

Постоје два типа кружног савијања на ваљцима (слика 2.4.). Код првог случаја средњи ваљак може мењати положај по висини и он је уједно и притискивач, док друга два ваљка не мењају положај већ се окрећу око својих оса. Ова метода се најчешће користи код дељљих лимова преко 2 mm. Код другог случаја притискивач је трећи ваљак који има ексцентрични положај. Овај начин се примењује за деформисање танких лимова.

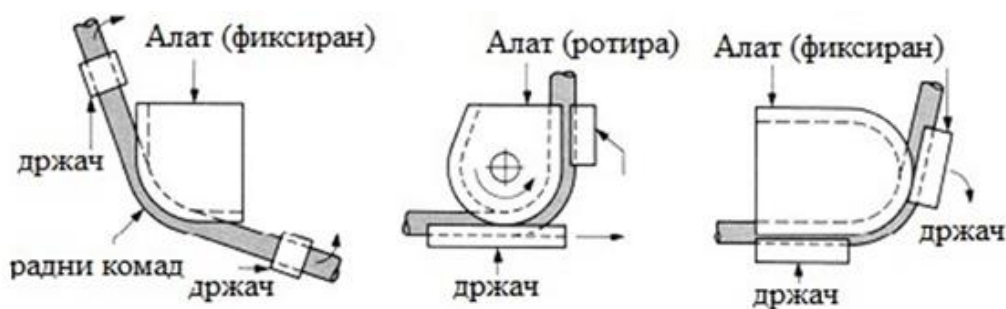


Слика 5.4 Типови кружног савијања

5.4 Остали типови савијања

Поред угаоног и кружног савијања, постоји широк спектар и других операција које припадају групи савијања. Којим поступком ће се приступити при изради комада зависи од низа технолошких, економских и других параметара.

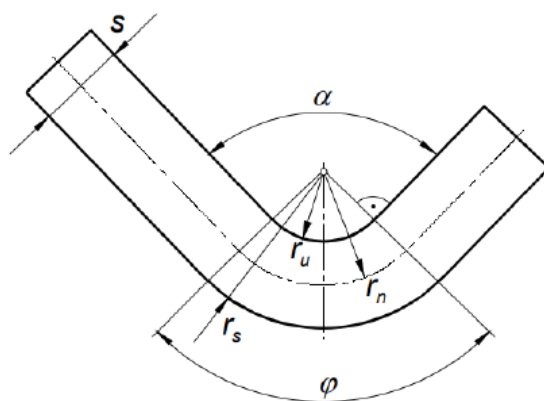
Савијање цеви и других кружних профила захтева примену посебних алата и машина како би се спречила или у прихватљивој мери компезовала појава неконтролисаних деформација у зони савијања у виду набора, нежељеног деформисања попречног пресека профила и лома. Најстарији начин се састоји у пуњењу шупљина деформабилним материјалом. Показало се да је песак најпогоднији за ову намену, али се и поред њега користи гума и слични синтетички материјали.



Слика 5.5 Поступак савијања цеви

5.5 Положај неутралне осе

Под неутралном осом подразумевамо слој материјала између зоне притиска и зоне затезања. То су замишљена влакна чија се дужина не мења иако им се облик мења при савијању. Познавање положаја неутралне осе је од великог значаја због дефинисања почетних димензија комада пре савијања. Положај радијуса неутралне зоне приказан је на слици.



Слика 5.6 Положај радијуса неутралне зоне

На слици су означене следеће димензије:

s – дебљина дела,

r_u – унутрашњи полупречник,

r_s – полупречник спољашње линије,

r_n – полупречник неутралне осе,

α – угао савијања и

ϕ – угао савијене зоне.

Код савијања са великим полупречником неутрална и геометријска осе се поклапају. Радијус r_n се налази на половини дебљине лима, па је:

$$r_n = r_u + \frac{s}{2} \text{ за } \frac{r_u}{s} \geq 10$$

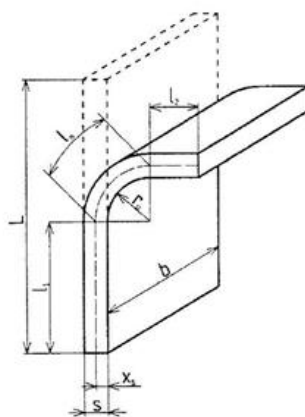
Полупречник r_n се може одредити и преко коефицијента померања неутралног слоја (x):

$$r_n = r_u + x \cdot s$$

Коефицијент x је емпиријска величина и даје се табеларно и зависи од односа r_u/s . Најчешће се користи за угао од 90° .

5.6 Одређивање развијене дужине

Развијена дужина комада одређује се на основу цртежа савијеног комада. Развијена дужина је једнака дужини неутралне осе савијеног комада.



Слика 5.7 Прорачун савијене зоне

Развијена дужина лима једнака је збиру дужина лукова неутралне осе у зонама савијања и дужини несавијених делова. На примеру се види да постоји једна савијена зона која има дужину неутралне осе l_n и две несавијене зоне дужине l_1 и l_2 . На основу овога дужину развијеног стања можемо израчунати као:

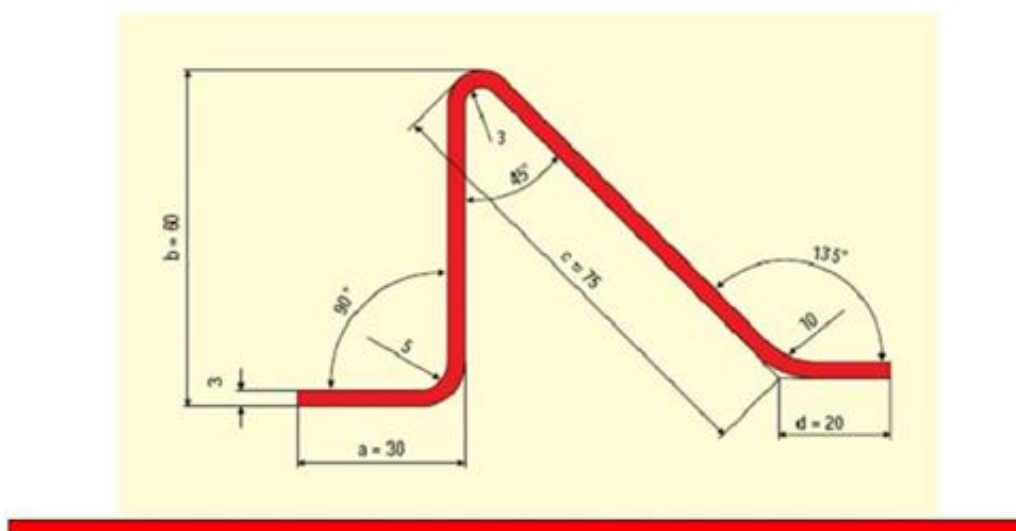
$$L = l_1 + l_2 + l_n$$

Ако је n број равних делова и k број зона савијања, дужина почетног комада одређује се помоћу следећег израза:

$$L = L_{RAV} + L_{SAV} + \sum_{i=1}^n l_i + \frac{\pi}{180} \sum_{i=1}^k \varphi_i (r_{ui} + x_i \cdot s)$$

У овом изразу l_i представља дужину несавијеног дела, $\varphi_i [^\circ]$ - углове савијених зона, r_{ui} - одговарајуће унутрашње радијусе, x_i - одговарајуће факторе померања неутралне осе. Постоје у литератури изрази за израчунавање дужине развијеног стања за карактеристичне облике савијања.

Пример савијеног комада и развијеног стања пре процеса савијања приказан је на слици.



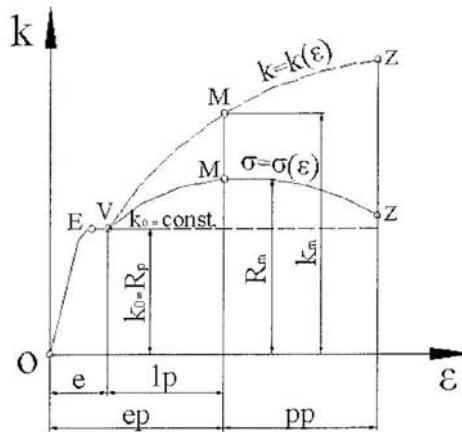
Слика 5.8 Савијено и развијено стање лима

5.7 Деформације при савијању

При савијању се мора остварити пластична деформација, али се она не остварује у почетној фази. Често је и на крају савијања при растерећењу, удео еластичне деформације у укупно оствареној деформацији знатан, па се може са правом може рећи да цео процес савијања карактеришу еластично пластичне деформације. Ове деформације имају различит карактер са сваке стране лима који се савија. Слој материјала са стране савијача изложен је притискивању па се у њему врши скраћивање влакана у подужном правцу, док се са спољне стране затеже те се влакна издужују. Између ова два слоја налази се неутрални слој чија се дужина не мења, односно његове дужинске деформације једнаке су нули.

Величине уздужних деформација расту полазећи од неутралног слоја ка спољним површинама, где достижу максималне вредности, при чему је та промена линеарна. На месту савијања под одређеним условима може са јавити релативно јако деформисање дела, односно може доћи до промене његовог попречног пресека (смањење дебљине у затегнутој зони, односно повећања у притисној и евентуалне промене ширине). Услед тога неутрални слој неће пролазити геометријску средину пресека. Помериће се за одговарајући износ ка притисној зони. Услед тога, максималне уздужне деформације на унутрашњој и спољној површини неће бити исте.

Редуковани полупречник кривине неутралне линије ρ_r представља однос полупречника кривине неутралне линије и дебљине материјала. У зависности од величине напона у материјалу и редукованог полупречника кривине неутралне линије, проблем савијања се третира као еластично-пластично савијања или чисто пластично савијање. На слици је приказан дијаграм подручја савијања.

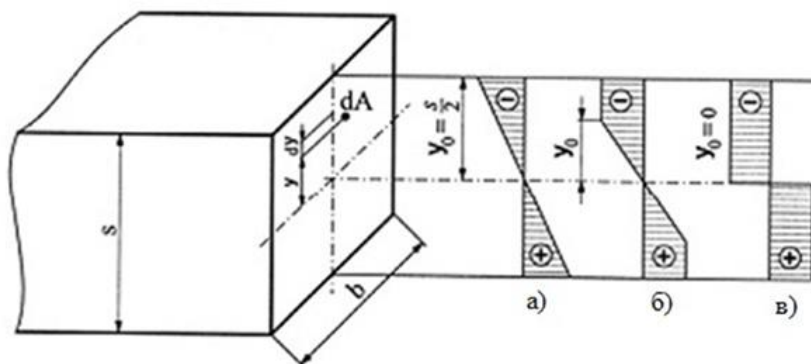


Слика 5.9 Дијаграм подручја савијања

Где су:

- e – еластично подручје савијања,
- l_p – линеарно пластично подручје савијања,
- e_p – еластично - пластично савијање и
- p_p – чисто пластично савијање.

На слици приказане су промене напона у влакнима у зависности од одстојања од неутралне линије.

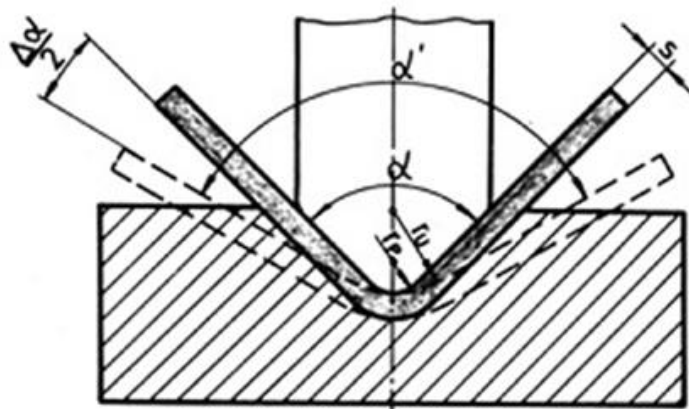


Слика 5.10 Промене напона у зависности од одстојања од неутралне линије

Први случај представља еластичну деформацију. Напон је пропорционалан растојању влакна од неутралне осе тако да максимална вредност не прелази вредност напона на граници развлачења. Други случај еластично пластично савијање. Влакна на одстојању y_0 од неутралне линије подвргнута су еластичним деформацијама, док у осталим влада најмање напон на граници развлачења. Трећи случај представља линеарно пластично савијање. Напон је по целом пресеку константан и једнак напону на граници течења. При чистом пластичном савијању влада запреминско-напонско-деформационо стање.

5.8 Еластична повратност

Укупна деформација која се остварује је збир пластичне и еластичне деформације. У зони око неутралног слоја најчешће постоји еластично деформисање. Ослобађањем савијеног дела из алата ове еластичне деформације већим делом се ослобађају, услед чега се мења угао савијања α , као и полупречник савијања r_u . Ова појава се зове еластично исправљање или повратност.



Слика 5.12 Промена угла услед еластичног исправљања

Да би се добио радни комад савијен под одређеним углом мора се приликом израде алата узети у обзир промена угла услед повратности и умањити за тај однос. Такође би требало и полупречник заобљења алата r_p изградити умањен. Тиме се постиже након исправљања жељени угао и полупречник савијања. Уколико се врши обрада са великим пречницима $\frac{r_u}{s} > 10$ mm, промена полупречника савијања се најчешће занемарује.

Угао повратности најчешће зависи од: еластичности материјала, дебљине материјала, облика дела, степена деформације, угла савијања, врсте савијања и др. Самим тим што постоји велики број фактора који утичу на повратност и то да постоји велики број различитих комада, није могуће формулисати поуздане обрасце. Због немогућности постављања поузданих образаца углови се обично одређују експерименталним путем.

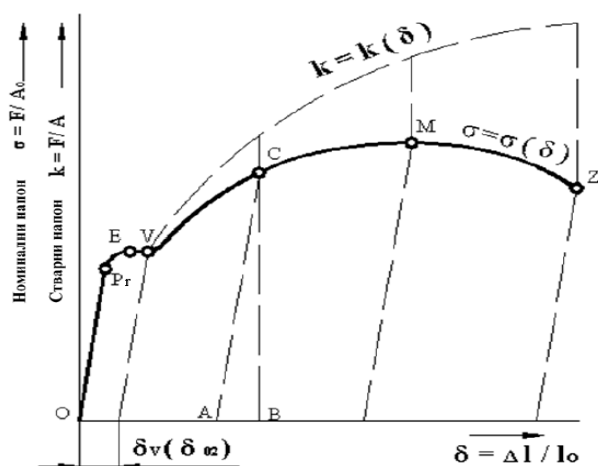
У табели приказани су подаци величине угла еластичног исправљања при савијању са углом $\alpha = 90^\circ$, за одређене врсте материјала у зависности од дебљине.

Табела 5.1 Величине угла исправљања при савијању

Врста материјала	r/s	Дебљина материјала s (mm)		
		до 0,8	0,8	преко 2
Челик $R_m < 350 \text{ N/mm}^2$ Месинг $R_m < 350 \text{ N/mm}^2$ Al,Zn	до 1	4	2	0
	1-5	5	3	1
	преко 5	6	4	2
Челик $R_m = 40-550 \text{ N/mm}^2$ Месинг $R_m = 40-550 \text{ N/mm}^2$	до 1	5	3	1
	1-5	6	4	2
	реко 5	8	5	3
Челик $> 550 \text{ N/mm}^2$	до 1	7	4	3
	1-5	9	5	3
	реко 5	12	7	5

5.9 Минималана вредност радијуса савијања

Минималана вредност радијуса савијања се одређује на основу деформације (ϵ) које неће довести до разарања. Ова деформација претходи тачки М на дијаграму затезања.



Слика 5.13 Дијаграм затезања

Образац за одређивање минималног радијуса савијања је:

$$r_{u \min} = \frac{s}{2} \left(\frac{1}{\epsilon_m} - 1 \right)$$

Кроз праксу се користи образац:

$$r_{u \min} = c \cdot s$$

Одређивање фактора c врши се на основу емпириског образаца:

$$c = 0,85 \frac{R_m}{\delta_{10}} + 0,5$$

где су:

R_m – затезна чврстоћа и

δ_{10} – Вредност јединичног истезања материјала.

Из образаца се закључује да са порастом затезне чврстоће расте и фактор c . Фактор c зависи и од врсте и стања материјала и положај комада у односу на правац ваљања полуфабриката. У табели дате су вредности факста c за одређене врсте материјала.

Табела 5.2 Вредности фактора c за одређене врсте материјала

Материјал	c	Материјал	c
JUS		JUS	
Č.0210	1,5	Cu 60 Zn - месинг	0,4
Č.0300	1,8	Cu 63 Zn - месинг	0,4
Č.0400	2,0	Cu 12 Zn - месинг	0,3
Č.0145	0,6	Cu 90 Zn - месинг	1,0
Č.0146	0,5	Cu Sn 2 - коситрена бронза	1,2
Č.0147	0,5	Cu Sn 2 - коситрена бронза	0,6
Č.0148	0,5	Титан	0,4
Бакар	0,25	Титан	0,5

5.10 Максимална вредност радијуса савијања

Поред одређивања минималног радијуса савијања мора се извршити и одређивање максималног радијуса савијања. Како би се оствариле трајне пластичне деформације, радијус савијања не сме премашити одређену вредност која се означава са $r_{u \max}$.

$$r_{u \max} = \frac{s \cdot E}{2 \cdot R_p}$$

Када се одреде минимални и максимални радијус савијања, може се закључити да радијус савијања r_u мора да задовољи следећи услов да би обрада била успешна:

$$r_{u \min} < r_u < r_{u \max}$$

Уколико овај услов није испуњен, долази до одређених грешака:

- За $r_u < r_{u \min} = c \cdot s$ долази до прскања и
- За $r_u < r_{u \max} = \frac{s \cdot E}{2 \cdot R_p}$ у комаду нема пластичних деформација, а то доводи до

потпуног еластичног исправљања дела након вађења из алата.

Радијус савијања један је од најбитнијих фактора који утичу на квалитет производа. Да би производ био у што бољем квалитету, неопходно је да се радијус савијања креће унутар одређених граница. С једне стране је ограничен минималном вредношћу тако да не дође до лома, односно да напон у спољашњим слојевима не прелази затезну чврстоћу, и са друге стране максималом вредношћу да у материјалу дође до појаве напона изнад границе течења, како би се оствариле пластичне деформације.

6. Хидрауличне пресе

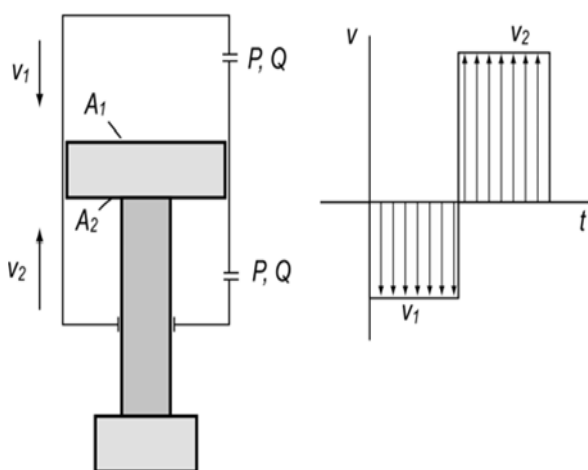
Хидрауличне пресе су машине статичког дејства код којих се потенцијална енергија течности под притиском претвара у механички рад. Њихова главна карактеристика је сила која деформише. Номинална сила машине дефинисана је номиналним притиском радне течности (P) и површином цилиндра (A):

$$F_n = P \cdot A$$

Брзина притискивача код хидрауличних преса зависи од протока течности (Q) и попречног пресека радног цилиндра (A):

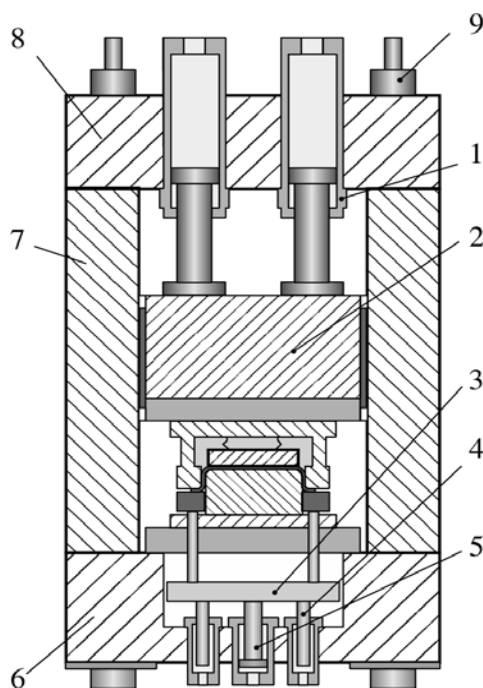
$$v = \frac{Q}{A}$$

Ако се проток не мења тада је брзина притискивача константна у одређеној фази рада машине. Константност брзине притискивача током процеса деформисања је значајна предност у односу на кривајне пресе. Промена брзине притискивача по фазама радног циклуса је могућа и остварује се променом протока и величине попречног пресека цилиндра где је брзина притискивача у повратном ходу знатно већа од брзине у радном ходу пресе захваљујући малом попречном пресеку цилиндра са доње стране клипа.



Слика 6.1 Брзина притискивача код хидрауличне пресе

Брзина притискивача код хидрауличних преса у фази повратног хода је до 500 mm/s а у радном ходу је до 200 mm/s и може се подешавати у складу са захтевима технолошке методе обликовања. Хидрауличне пресе се одликују великим распоном величине хода притискивача и могућношћу функционисања машине уз извођење смањеног хода (ход притискивача је мањи него максимални ход), за разлику од кривајних преса код којих се увек изводе комплетни двојни ходови. Ове особине хидрауличних преса у неким случајевима су од пресудног значаја када је у питању избор машине за задату технолошку операцију обликовања.



Слика 6.2 Шема хидрауличне пресе са позицијама

На слици је приказана хидраулична преса једноструког дејства са јастуком за извлачење и њене позиције су: 1 – радни цилиндар, 2 – притискивач, 3 – плоча јастука, 4, 5 – цилиндри јастука за извлачење, 6 – доња плоча, 7 – стубови, 8 – форња плоча, 9 – завртањ за преднапрезање стубова пресе.

Према броју дејстава хидрауличне пресе могу бити:

- Пресе једноструког дејства и
- Пресе вишеструког дејства.

Код пресе једноструког дејства пожељно је да се у сто машине угради јастук за извлачење који повећава опсег примене такве машине.

Основни системи хидрауличне пресе су:

- Погонски систем,
- Извршни део хидрауличне пресе,
- Систем за управљање,
- Систем за подмазивање и
- Носећа структура.

Погонски систем се састоји из пумпе и радног цилиндра. Снага пумпе (N) одређује се на основу радног притиска (P) и протока радног флуида (Q): $N = \frac{PQ}{\eta}$, где је η – коефицијент корисног дејства. Погонски систем хидрауличних пресе може бити: 1 – директни пумпни погон, 2 – пумпно-акумулаторски, 3 – мултипликаторски, што зависи од захтеваних техничких карактеристика, односно намене пресе. Уграђени цилиндри у пресе могу бити једностраног или двостраног дејства. Пумпе које се користе код хидрауличних пресе могу бити: кривајно клипне и ротационо клипне, крилне и зупчасте.

Извршни део хидрауличне пресе је притискивач на који се поставља покретни део алата. На неким пресама улогу извршног дела има сто пресе који је покретан. Покретање притискивача изводи се са једним или више хидрауличних цилиндара зависно од његових димензија.

Систем управљања хидрауличне пресе обезбеђује остварење свих функција и перформанси пресе. Састоји се из хидрауличних компоненти (вентила) и електронских компоненти (граничника и контролера).

Систем за подмазивање обезбеђује подмазивање вођица притискивача.

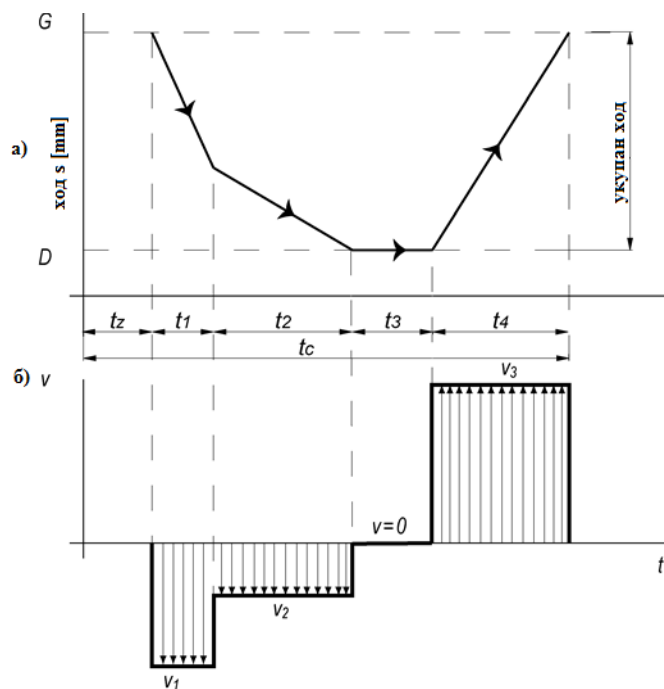
Носећа структура хидрауличне пресе обједињује све делове у јединствену целину, а може бити отворена и затворена.

У погледу намене хидрауличне пресе се деле на:

- Пресе за обликовање лима – које се користе за обраду раздвајањем, савијањем, дубоким извлачењем, развлачењем итд.
- Пресе за запреминско обликовање – које се користе за слободно ковање, ковање у калупу, исправљање и калибрисање, истискивање цеви и профила, истискивање комадних делова, утискивање гравура итд.
- Хидрауличне пресе специјалне намене: пресе за хидростатичку обраду, за изостатичко пресовање праха, пресе за монтажу итд.
- Хидрауличне пресе за неметале, на пример за гуму, пластику, дрво, папир, текстил, кожу и др.

6.1 Радни циклус

Радни циклус хидрауличне пресе приказан је на слици.



Слика 6.3 Радни циклус пресе: а) дијаграм хода притискивача, б) дијаграм брзине притискивача

$$t_c = t_z + t_1 + t_2 + t_3 + t_4$$

t_z – време потребно за вађење дела и убацивање припремка у алат,

t_1 – време приближавања,

t_2 – време обраде,

t_3 – време задржавања алата под оптерећењем и

t_4 – време повратка у почетни положај.

На избор хидрауличне пресе утичу технолошки захтеви и то:

- Номинална сила главног дејства пресе,
- Номинална сила осталих дејстава,
- Брзина притискивача (приближавање, деформисање и повратни ход),
- Брзине извршних елемената помоћних дејстава машине (држачи и избацивачи),
- Ход притискивача,
- Ход помоћних дејстава,
- Димензије притискивача,
- Димензије стола машине,
- Карактеристике пумпе,
- Снага машине,
- Габаритне мере машине и
- Маса пресе.

6.2 Радна течност

Радна течност код хидрауличних преса је компонента која је веома значајна за исправно функционисање ове врсте машина. Радна течност обезбеђује пренос хидрауличне снаге од пумпе до радног цилиндра, подмазује покретне делове пумпе и у радном цилиндру, обезбеђује антикорозиону заштиту површина пумпе, радног цилиндра, управљачких елемената и цевовода и одводи топлоту и нечистоће из хидрауличног система.

Радна течност код хидрауличних преса може бити:

- Вода са додатком емулзије и
- Минерално уље.

Погонски системи модерних хидрауличних преса користе минерално уље чије карактеристике су одређене стандардима појединих земаља, као на пример „*DIN 51524*“ део 2 (у нашој земљи хидраулична уља на минералној бази дефинисана су стандардом „*JUS ISO 6743- 4/1991*“) према којем хидраулично уље мора да испуњава следеће захтеве:

- Константан ниво вискозности у интервалу температуре од 20 до 60°C,
- Отпорност на температурне промене и високу тачку паљења,
- Ниска стишљивост,
- Ниска склоност ка стварању пене при струјању,

- Ниска апсорпција ваздуха,
- Добро филтрирање и
- Ниска цена.

Радни век течности, избор радног притиска и материјала заптивки повезан је са врстом хидрауличног уља. Један од проблема у хидрауличном систему преса је стишљивост радне течности која је нарочито изражена при високим притисцима који се по правилу појављују при раду хидрауличне пресе. Компресибилност радног флуида умањује тачност извршавања радног хода, односно тачност коначних димензија обратка, успорава одзив хидрауличног система и мора се узети у обзир при пројектовању пресе. При раду пресе са хидрауличним уљем може се очекивати смањење запремине од 0,7% до 0,8% за сваких 100 бара притиска. Висока стишљивост хидрауличног уља отежава постизање високог притиска и ствара проблеме код растерећења машине. Избор хидрауличног уља код преса зависи од врсте погонског система, затим од врсте пумпе и нивоа радног притиска чије вредности су стандардизоване (200, 300, 400, 630, 1000...бара).

Вискозитет минералног уља код хидрауличних преса односи се на температуру од 40°C а креће се у границама од ISO VG 22, 32, 46, 68, 100 и 150.

Рафинерија нафте Нови Сад за хидрауличне пресе препоручује хидраулично уље „HIDROL HM“, чија се вискозност на 40°C креће од 22 до 150 mm²/s а тачка паљења је у интервалу 196 до 222°C.

Машине старије конструкције, претежно машине са пумпно-акумулаторским и мултипликаторским погонским системом, као радну течност користе воду са додатком емулзије, како би се умањила корозија елемената погонског система. Примена воде обезбеђује ниску вискозност и смањене губитке због трења, могућност остварења великог протока кроз мале попречне пресеке цевовода, елиминише опасност од паљења, еколошки је чиста и цена је врло ниска.

Минерално уље омогућује градњу компактних погонских система, добро подмазује елементе у контакту те смањује њихово хабање, има добру антикорозиону заштиту и обезбеђује дуготрајност елемената погонског и управљачког система пресе. Потребне особине минералних уља постижу се додавањем адитива. Радни век хидрауличног минералног уља треба да износи око 5000 часова. Приликом замене хидрауличног уља у погонском систему пресе треба поступити према препоруци произвођача машине у погледу врсте уља и филтера за пречишћавање.

Избор хидрауличног уља врши се у фази пројектовања погонског система и зависи од врсте пумпи уграђених у погонски систем. За случај ротационо клипних пумпи препоручује се уље кинематске вискозности од 20 до 45 mm²/s, зупчасте пумпе раде са уљима чија је вискозност у границама од 35 до 50 mm²/s, док се за крилне пумпе препоручује вискозност од 30 до 45 mm²/s.

6.3 Степен корисног дејства хидрауличне пресе

Степен корисног дејства хидрауличне пресе одређује се на основу корисне и укупне енергије једног радног циклуса:

$$\eta = \frac{W_k}{W_1 + W_2} = \eta_p + \eta_{cev} + \eta_{ak} + \eta_{cil}$$

Где су:

W_k - користан рад,

W_1 - уложен рад у радном ходу,

W_2 - уложен рад у повратном ходу,

η_p - степен корисног дејства пумпе,

η_{cev} - степен корисног дејства цевовода,

η_{ak} - степен корисног дејства акумулатора и

η_{cil} - степен корисног дејства цилиндра.

6.4 Врсте хидрауличних преса

Хидрауличне пресе имају широку примену у преради метала и неметала. Због одређених техничких карактеристика, пре свега номиналне силе и хода притискивача, ове машине често преузимају место кривајним пресама. Тако, на пример, истискивање дугачких профила једино је могуће извести на хоризонталној хидрауличној преси.

Поделу хидрауличких преса могуће је извршити према различитим критеријумима и карактеристикама. У погледу броја дејстава исто као и код кривајних преса, хидрауличне пресе могу бити: једноструког и вишеструког (двоструког и троструког) дејства. С обзиром на облик носеће структуре хидрауличне пресе могу бити изграђене са отвореном или затвореном носећом структуром, која може бити још вертикална и хоризонтална. Погон хидрауличних преса може бити горњи и доњи. Број хидроцилиндара код ових машина може бити различит – једноцилиндричне и вишецилиндричне. С обзиром на број радних позиција хидрауличне пресе, такође могу бити једнопозиционе и вишепозиционе.

Основне техничке карактеристике хидрауличних преса проистичу из технолошких захтева појединих метода обраде, те се отуда подела хидрауличних преса може извршити на следећи начин:

- Хидрауличне пресе за обраду лима,
- Хидрауличне пресе за запреминско деформисање,
- Хидрауличне пресе за специјалне намене и
- Хидрауличне пресе за неметале.

У наставку рада извршиће се подела хидрауличних преса за обраду лима са посебним фокусом на абкант пресе.

6.5 Хидрауличне пресе за обраду лима

У групу хидрауличних преса за обраду лима спадају:

- Универзалне хидрауличне пресе,
- Хидрауличне пресе за раздвајање лима,
- Хидрауличне пресе за фино раздвајање,
- Пресе за сецање лима,
- Хидрауличне пресе за савијање,
- Хидрауличне пресе за обликовање вишепозиционим алатом,
- Хидрауличне пресе за дубоко извлачење,
- Вишепозиционе хидрауличне пресе и
- Хидрауличне пробне пресе.

6.6 Хидрауличне пресе за савијање

Хидрауличне пресе се користе за различите поступке савијања почевши од израде комада мањих димензија, израде танкозидних профила велике дужине па до савијања великих делова који поседују већу дебљину.

Код савијања делова мањих димензија употребљавају се специјални алати и универзалне хидрауличне пресе или хидрауличне пресе које осим главног имају и допунско дејство.

За израду профила од танког лима веће дужине (неколико метара) примењују се хидрауличне абкант пресе. Стандардна хидраулична абкант преса примењује се за појединачну и малосеријску производњу различитих профила. Ова машина има круту отворену носећу структуру, а покретање притискивача изводи се помоћу два хидраулична цилиндра који се директно напајају пумпом. Дужина притискивача пресе креће се од 2–6 m, а у специјалним случајевима и до 10 m. Један комплет алата омогућује израду профила различитог попречног пресека.

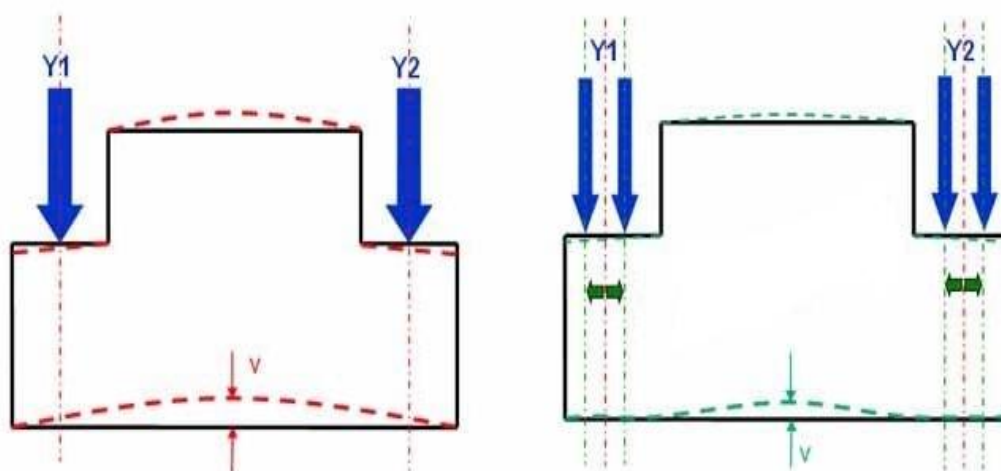
Код савремених хидрауличних апкант преса можемо да имамо пуну контролу појединих оса:

- CNC управљање граничником (x - оса),
- CNC управљање ходом притискивача (y - оса) и
- CNC управљање уздужним граничником (z - оса).



Слика 6.4 Хидраулична апкант преса

Код обраде на апкант пресама услед велике дужине притискивача долази до појаве еластичних деформација. Да би се ове деформације смањиле почела је примена погонског система са четири хидраулична цилиндра.



Слика 6.5 Погон са четири хидраулична цилиндра

Увођењем савремених CNC машина и робота у производњу потреба за радницима је смањена, јер раднике који су радили за машином на постављању развијеног стања лима и на скидању савијеног дела заменили су роботи.



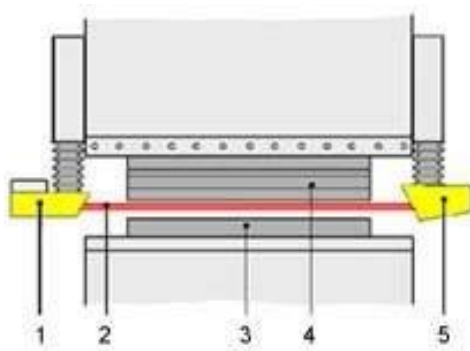
Слика 6.6 Хидраулична абкант преса са роботом за манипулацију обратком

Примена робота који су заменили људе довела је до потпуне аутоматизације процеса а самим тим и повреде на раду које су се дешавале су сведене на минимум (може се рећи да их готово и нема).

Код старијих хидрауличних преса које не поседују роботе за манипулацију обратком примењују се одговарајући заштитни системи како не би дошло до повреда. Заштитни системи могу бити разни а неки од њих су:

- Дворучно укључивање машине,
- Ласерска заштита,
- Светлосна заштита и
- Актуатори за ножно управљање.

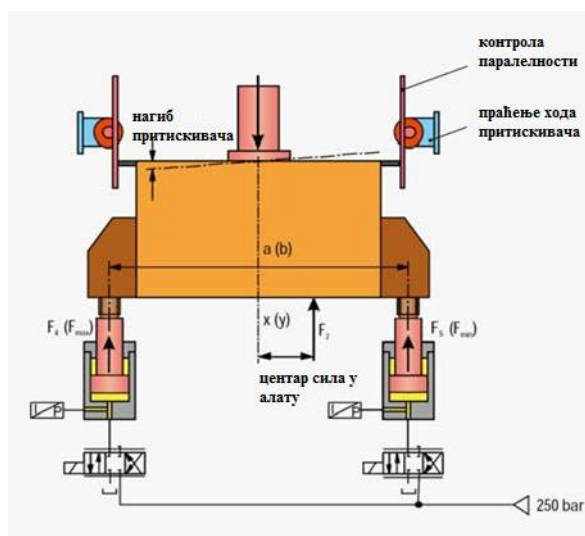
На слици је приказан ласерски систем заштите који је веома примењиван у производњи. Поред ласерског система заштите веома су примењивани и дворучно укључивање машине и ножно управљање.



Слика 6.7 Ласерски заштитни систем: 1 - трансмитер, 2 – ласерски зрак, 3 – доњи алат, 4 – горњи алат, 5 – фоторецептор

Један од проблема при раду хидрауличне абкант пресе је одржавање паралелности кретања притискивача у односу на доњи део алата – матрицу. Ако се од машине захтева већа тачност онда се мора повећати крутост носеће структуре или увести

контролно – регулациони систем. Једно од решења за одржавање паралелности алата приказано је на слици које је засновано на праћењу померања крајева притискивача и активирању додатне количине течности у одговарајући цилиндар.



Слика 6.8 Систем за одржавање паралелности притискивача код хидрауличне апконт пресе

7. Експериментална истраживања

Експериментални део овог рада урађен је у предузећу „Застава Терво“. Експериментални део овог рада се састоји из 4 фазе. Прва фаза поразумева сечење плочица на ласеру. Исечено је укупно 20 плочица, од чега 10 плочица од лима дебљине 2 mm, и 10 плочица од лима 3 mm. Све плочице су димензија 200 x 80 mm. Материјал плочица је S355J2 (Č0563). Машина на којој је извршено сечење је *NUKON NF 2060-3kW*.



Слика 7.1 Ласер у предузећу Застава Терво

Карактеристике ове машине наведене су у табели

Табела 7.1 Карактеристике ласера NUKON NF 2060-3kW

параметри сечења									
резонатор		2kW	3kW	4kW	4kW	6kW	6kW	8kW	8kW
капацитет сечења	нелегирани челици	16mm / .62"	18mm / .709"	20mm / .78"	20mm / .78"	25mm / .98"	25mm / .98"	25mm / .98"	30mm/1.18"
	нерђајући челици	6mm / .23"	10mm / .393"	12mm / .47"	12mm / .47"	20mm / .709"	25mm / .98"	25mm / .98"	30mm/1.18"
	алуминијум	5mm / .19"	8mm / .314"	10mm / .393"	15mm / .59"	20mm / .59"	25mm / .98"	25mm / .98"	30mm/1.18"
	месинг	3mm / .11"	5mm / .19"	6mm / .236"	8mm / .32"	12mm / .393"	15mm/.59"	15mm / .59"	15mm/.59"
	бакар	3mm / .11"	5mm / .19"	6mm / .236"	8mm / .32"	12mm / .393"	15mm/.59"	15mm / .59"	15mm/.59"
		24 kVA	28 kVA	32 kVA		48 kVA		65 kVA	

Други део експеримента се односи на савијање одсечених плочица на апкант преси „Јелџинград PPT 100/3000“



Слика 7.2 Анкант преса упредузећу Застава Терво

Савијање је изведено једним гажењем на половини дужине плочице. Угао савијања је 90° . Димензија призме на којој је вршено савијање је 10 mm, док су ножеви са савијање имали различите радијусе врха. Коришћени радијуси за овај експеримент су $R=1,2,3,4,5,6,7,8,9,10$ mm. Наизменично су савијани лимови од 2 и 3 mm на исти радијус. Трећи део експеримента се односи на мерење висина савијених делова. Мерење је изведено механичким висиномером са постољем. Тачност овог мерног уређаја је 0,1 mm.



Слика 7.3 Висиномер са постољем

Четврти део експеримента обухвата представљање добијених резултата мерења, као и поређење добијених резултата са резултатима добијеним у CAD софтверима CATIA V5R21 и Autodesk Inventor.

У табели су приказане средње вредности висина добијене на основу два мерења са обе стране профила.

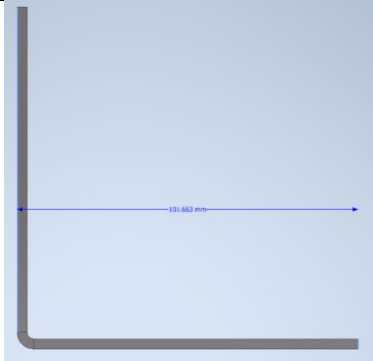
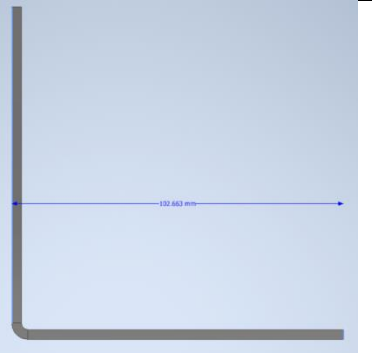
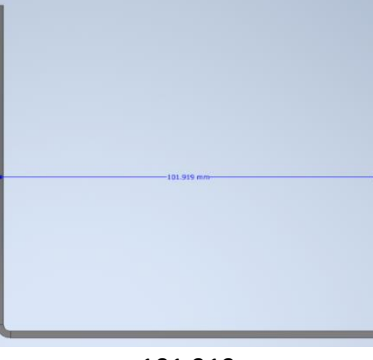
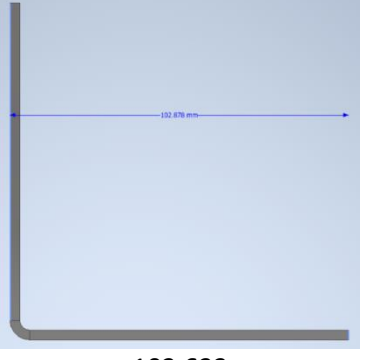
Табела 7.2 Измерене димензије савијених делова

Радијус/Дебљина материјала	2 mm	3 mm
R=1 mm	101,5	102,2
R=2 mm	101,7	102,4
R=3 mm	101,9	102,6
R=4 mm	102,2	102,8
R=5 mm	102,4	103,0
R=6 mm	102,6	103,3
R=7 mm	102,8	103,5
R=8 mm	103,0	103,7
R=9 mm	103,2	103,9
R=10 mm	103,4	104,1

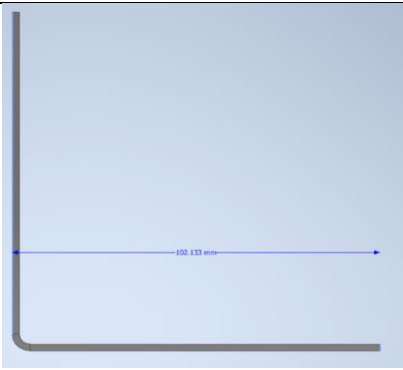
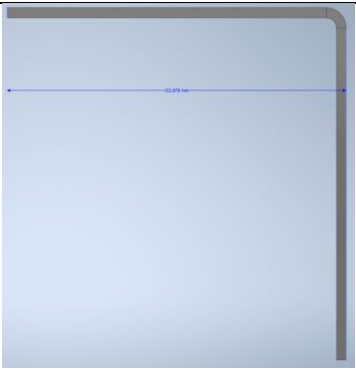
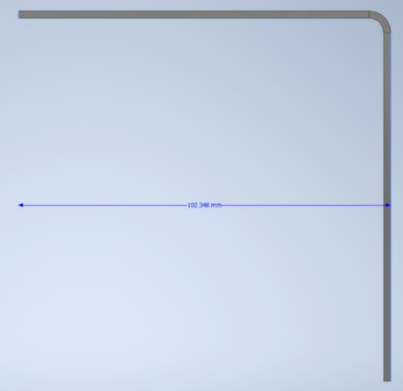
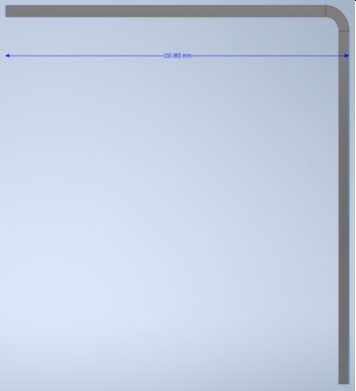
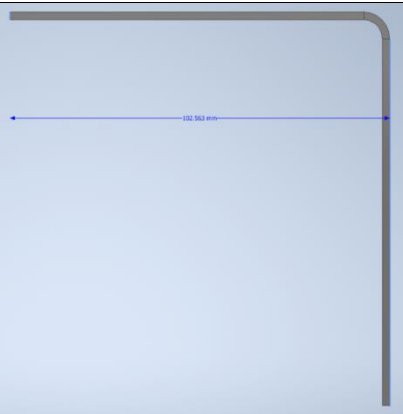
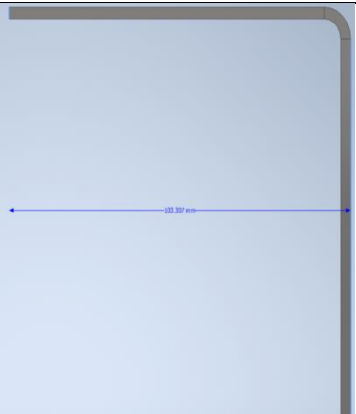
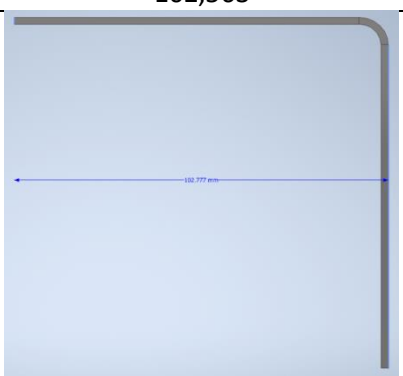
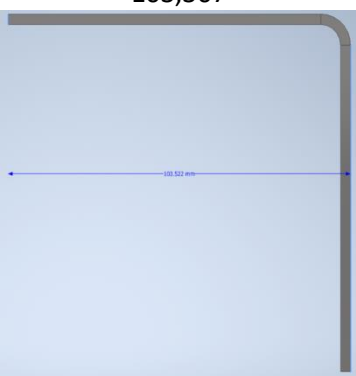
Након мерења савијених плочица од лима одрађено је моделирање истих плочица у CAD софтверу Autodesk Inventor.

У табели су приказани резултати добијени софтверским моделирањем.

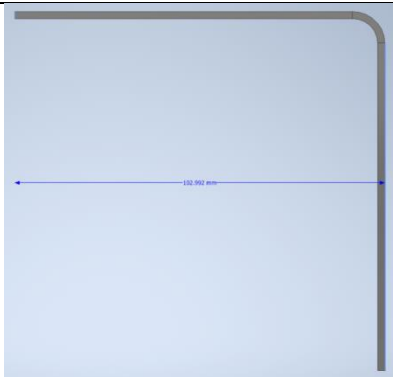
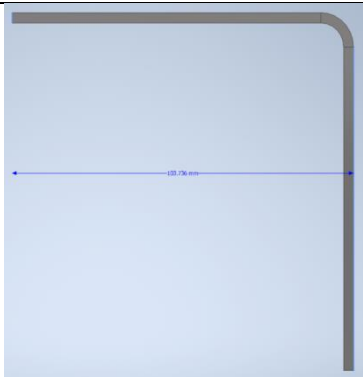
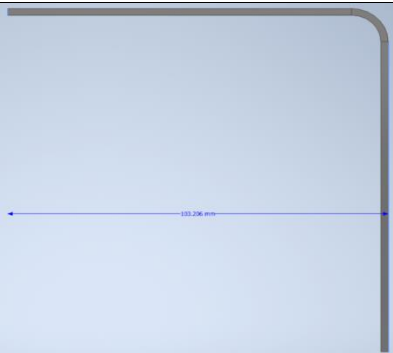
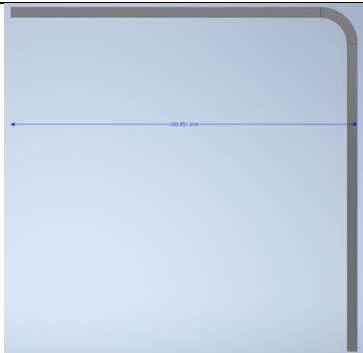
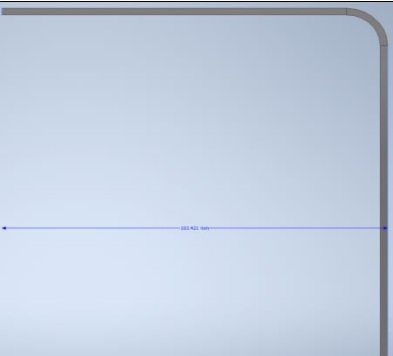
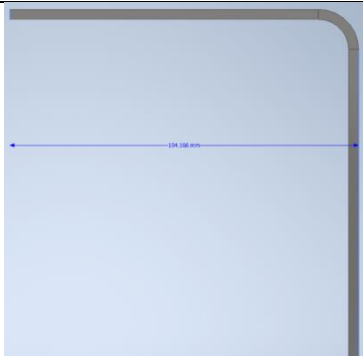
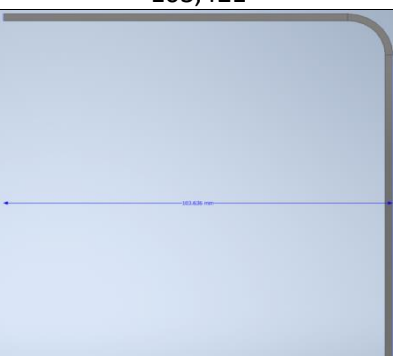
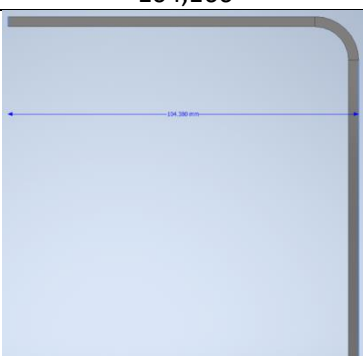
Табела 7.2 Резултати добијени у софтверском пакету Autodesk Inventor

Радијус/Дебљина материјала	2 mm	3 mm
R=1 mm	 101,663	 101,963
R=2 mm	 101,919	 102,633

Табела 7.2 Резултати добијени у софтверском пакету Autodesk Inventor

R=3 mm	 102,133	 102,878
R=4 mm	 102,348	 103,093
R=5 mm	 102,563	 103,307
R=6 mm	 102,777	 103,522

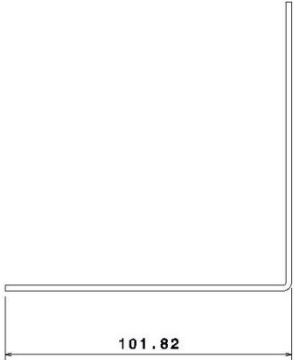
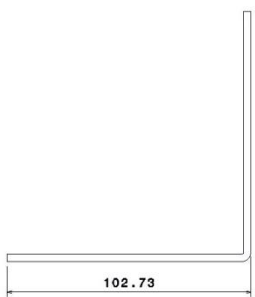
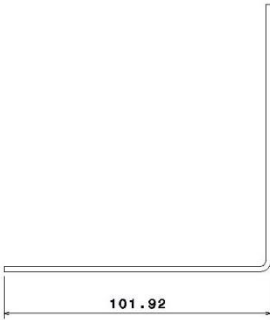
Табела 7.2 Резултати добијени у софтверском пакету Autodesk Inventor

R=7 mm	 102,992	 103,736
R=8 mm	 103,206	 103,951
R=9 mm	 103,421	 104,166
R=10 mm	 103,636	 104,380

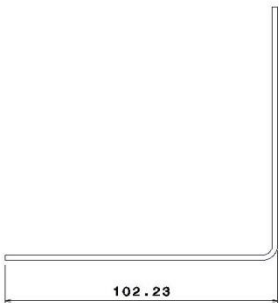
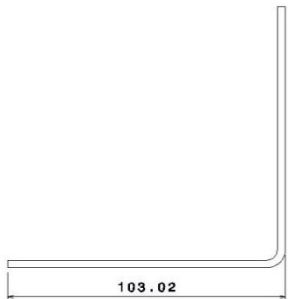
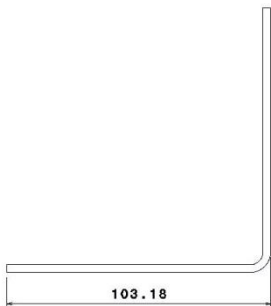
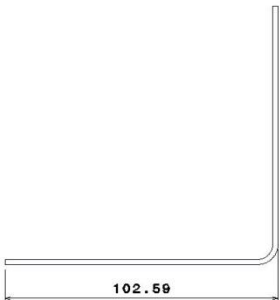
Након моделирања у Autodesk Inventor, исто моделирање извршено је и у софтверском пакету CATIA V5 R21.

У табели су приказани резултати добијени у овом CAD програму.

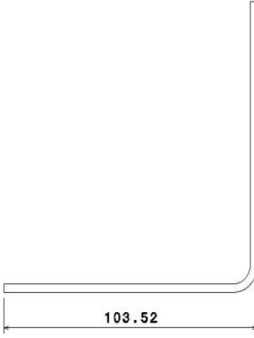
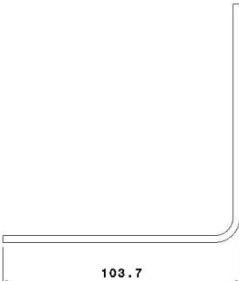
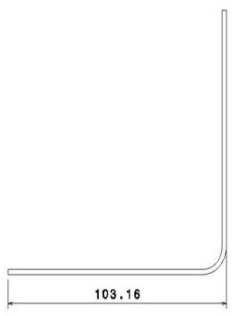
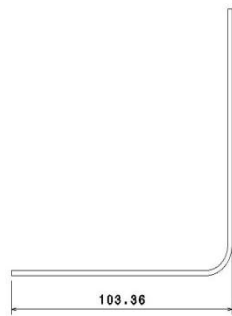
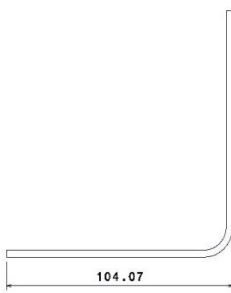
Табела 7.3 Резултати добијени у софтверском пакету CATIA V5 R21

Радијус/Дебљина материјала	2 mm	3 mm
R=1 mm	 101,82	 102,73
R=2 mm	 101,92	 102,77
R=3 mm	 102,06	 102,88

Табела 7.3 Резултати добијени у софтверском пакету CATIA V5 R21

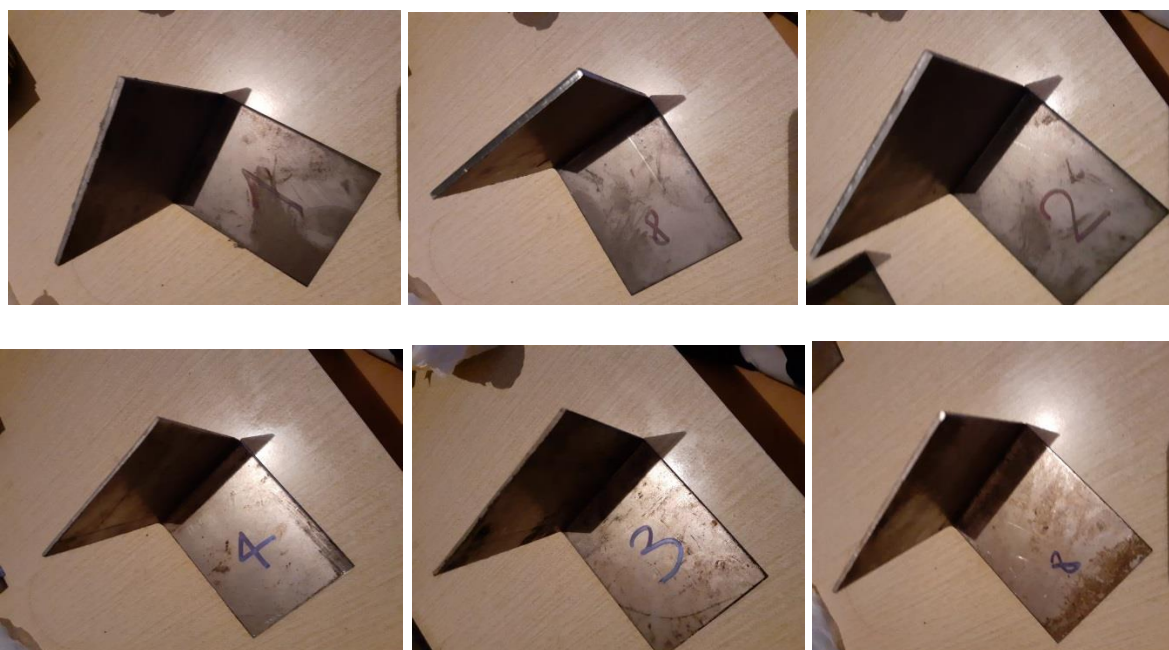
R=4 mm	 102,23	 103,02
R=5 mm	 102,41	 103,18
R=6 mm	 102,59	 103,34

Табела 7.3 Резултати добијени у софтверском пакету CATIA V5 R21

R=7 mm	 102,78	 103,52
R=8 mm	 102,97	 103,7
R=9 mm	 103,16	 103,88
R=10 mm	 103,36	 104,07

Табела 7.4 Упоређивање резултата добијених реалним савијањем са софтверским резултатима

	Лим	Inventor	Catia	Лим	Inventor	Catia
Радијус/Дебљина материјала	2 mm	2 mm	2 mm	3 mm	3 mm	3 mm
R=1 mm	101,5	101,663	101.82	102,2	101,963	102.73
R=2 mm	101,7	101,919	101.92	102,4	102,633	102.77
R=3 mm	101,9	102,133	102.06	102,6	102,878	102.88
R=4 mm	102,2	102,348	102.23	102,8	103,093	103.02
R=5 mm	102,4	102.563	102.41	103,0	103.307	103.18
R=6 mm	102,6	102.777	102.59	103,3	103.522	103.34
R=7 mm	102,8	102.992	102.78	103,5	103.736	103.52
R=8 mm	103,0	103.206	102.97	103,7	103.951	103.7
R=9 mm	103,2	103.421	103.16	103,9	104.11	103.88
R=10 mm	103,4	103.636	103.36	104,1	104.380	104.07



Слика 7.4 Пличице савијене у експерименту

Упоређивање резултата добијених савијањем реалних плочица са резултатима добијеним у CAD софтоверима:

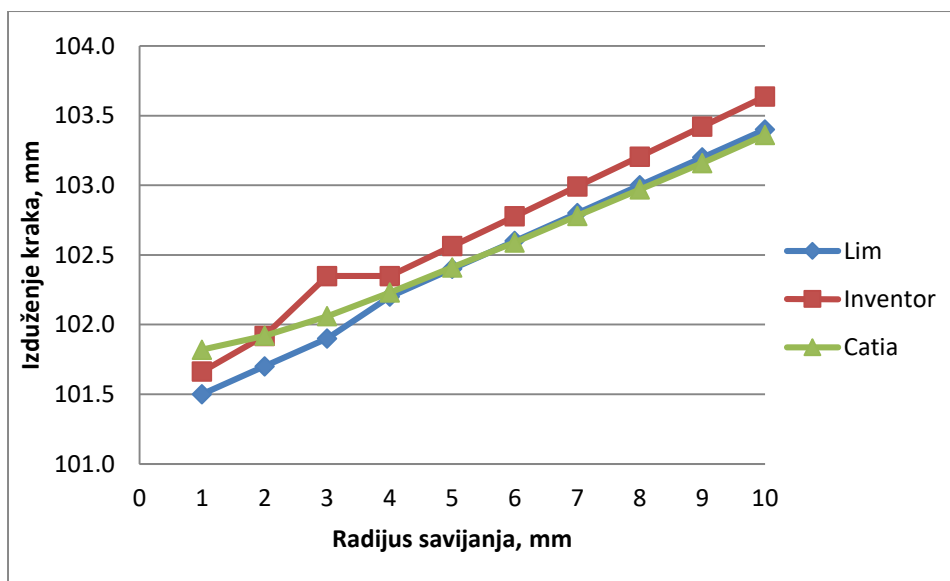


График 7.1 Графички приказ добијених резултата резултата за лим 2 mm

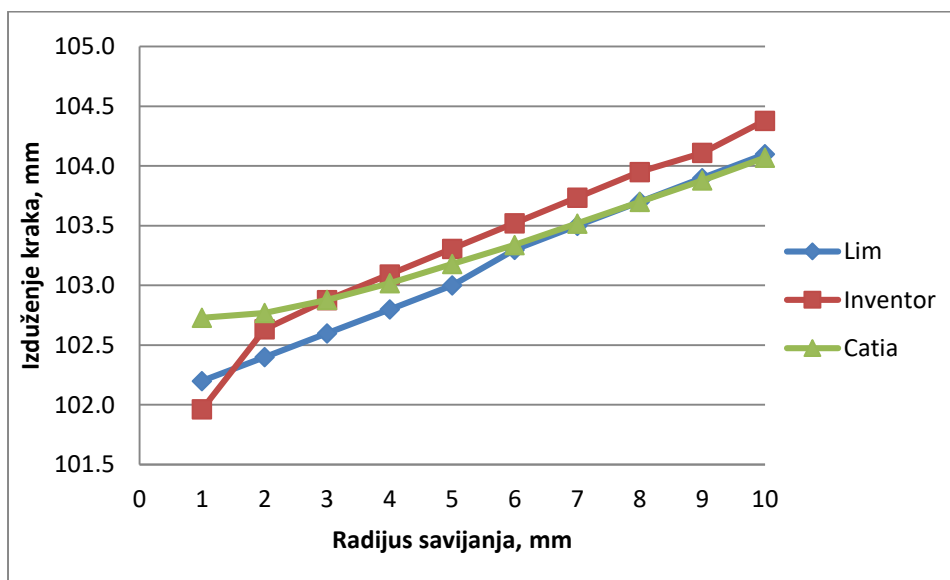


График 7.2 Графички приказ добијених резултата резултата за лим 3 mm

Резултати добијени у софтверском пакету CATIA V5R21 имају мање одступање у односу на реалне делове, разлог за то је фактор савијања K који се у програму Autodesk Inventor дефинише искуствено (као број), док се у програму CATIA V5R21 дефинише на основу материјала.

Са повећањем радијуса савијања повећава се и тачност софтверских димензија савијених делова.

Други разлог одступања од тачности може бити и слој мазива који се наноси на пресерске ножеве у циљу смањења хабања, као и смањења општећења савијених комада. Овај слој мазива повећава радијус савијања.

Трећи могући разлог одступања димензија може бити прецизност мерне опреме. Мерна опрема коришћена у експерименту има тачност 0,1 mm.

8. Закључци:

Јачање конкуренције како на светском тако и на домаћем тржишту условљава све фирме да унапређују своје производне процесе у складу са савременим обрадним системима. Унапређење производних процеса не подразумева само повећање квалитета производа. Поред повећања квалитета једна од најважнијих ствари је и прилагођавање новим радним условима, развој нових производа и смањење трошкова производње. Посебно битна ствар у току развоја нових производа је свакако калкулација трошкова. Тако да се пре почетка производње зна максимална цена коштања тог производа. Ангажовање машина, број радника и утрошак полазних сировина су у овој калкулацији најзначајнији.

За производњу која се базира на деловима од лима за дефинисање трошкова неопходно је прецизно дефинисање развијеног стања делова од лима. Развијено стање дела има двојаки утицај на производњу.

Први утицај је на искоришћење табле од лима јер уколико се користи веће развијено стање непотребно се троши материјал, наравно нема потребе помињати чињеницу да су мање димензије развијеног стања од потребног неупотребљиве.

Други утицај недовољно тачно дефинисаног развијеног стања јесте потреба за накнадном обрадом односно накнадним одсецањем вишка материјала.

Активности накнадног одсецања вишка материјала утичу на повећање трошкова производње као и на смањење квалитета производа. Након деформисања није могуће да се комад врати на ласер где би се вршило поновно сечење већ то мора бити обављено најчешће ручним алатима.

Постоји бројна литература за дефинисање развијеног стања, али поред литературе и образаца могуће је са великом прецизношћу дефинисати потребно развијено стање и помоћу CAD софтвера.

9. Литература:

- [1] **Б. Недић**, *Савремени обрадни системи*, Скрипта, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2019.
- [2] **Недић Богдан**, *Неконвенционални поступци обраде* (поглавље о обради ласером, књига у рукопису), Машински факултет, Крагујевац, 2008.
- [3] **Драгоје Миликић**, *Неконвенционални поступци обраде*, Нови Сад
- [4] **Миодраг Лазић**, *Неконвенционални поступци обраде*, Машински факултет, Крагујевац, 1990
- [5] **Јаковљевић Ј.**, *Квалитет обраде ласером*, дипломски рад, Крагујевац 2013.
- [6] **Бранко Мусафија**, *Обрада метала пластичним деформисањем*, Сарајево, 1979.
- [7] **Србислав Александровић, Милентије Стефабовић**, *Технологија пластичног обликовања метала*, Машински факултет, Крагујевац, 2010.
- [8] **Владо Вујовић**, *Технологија пластичности у машинству*, Нови Сад, 1990.
- [9] <https://www.machinemfg.com/sheet-metal-design/> , приступљено 09. 08. 2019.
- [10] **Бранислав Девецић** , *Обрада метала деформисањем*, Београд, 1981.
- [11] <https://www.machinemfg.com/3-roll-bending-machine-working-principle-rolling-process/>, приступљено 09. 08. 2019.
- [12] **Никола Миљковић**, *Симулација двоугаоног савијања у корачном алату*, завршни рад, Машински факултет, 2009.