

Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Савремени обрадни системи

Број индекса: 401/2017

Милош С. Јанковић

Израда склопова од делова добијених сечењем
ласером
мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф др Недић Богдан

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Крагујевац, 2019.



Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука



Мастер студије: **Машинско инжењерство**

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

Име и презиме: **Милош Јанковић**

Број индекса: **401/2017**

ПРИЈАВА МАСТЕР РАДА

Тема рада: **Израда склопова од делова добијених сечењем ласером**

Задатак: У оквиру мастер рада кандидат треба да изврши прикупљање и систематизацију података о примени ласера код савремених обрадних система за сечење ласером. Потребно је описати суштину процеса сечења ласером. У посебном дели рада описати примену стезних алата за израду сложених просторних форми од лимова са акцентом на монтажне стезне приборе. Извршити пројектовање примера стезних алата применом каталога елемената прибора у електронском облику за део у предузећу ЗАСТАВА ТЕРВО.

Мастер рад треба да садржи следеће целине:

1. Уводна разматрања,
2. Суштина сечења ласером,
3. Савремени обрадни системи за сечење ласером,
4. Класични прибори и монтажни стезни прибори за израду делова од лима,
5. Пример пројектовања једног прибора,
6. Закључци,
7. Литература.

Ментор:

Др Богдан Недић, редовни професор

Крагујевац, 15.05.2019.

Резиме: *Пројектовање и развој монтажних прибора и његова примена за стезање у технологијама спајања електроотпорним и другим врстама заваривања, лемљења, лепљења и вијчане везе је омогућио вишеструко снижење времена и трошкова по јединици производа са аспекта цене коштања прибора и вишеструко смањење времена потребног за стварање услова за почетак производње. У раду је приказан нови приступ пројектовања флексибилних алата заснованих на патентном решењу флексибилних прибора, приказан је развој базе података о деловима ових прибора и начин њиховог коришћења.*

Кључне речи: *ласер, монтажни стезни прибори, спајање, каросеријски делови, заваривање*

Abstract: *Development of assembly accessories and its application for clamping in joint technologies (electricity resistant or forms of welding, brazing, pasting or with bolted connection) enabled multiple cutting down of time and expenses per product unit, due to accessory price, and also significant lowering of time needed for fulfilling conditions for manufacturing start.*

Key works: *laser, flexible tools, welding, clamping, car-body*

Садржај:

1. Уводна разматрања	3
2. Суштина сечења ласером	7
2.1 CO ₂ ласерско сечење	10
2.1.1 Фактори процеса	12
2.1.2 Перформансе процеса CO ₂ ласерског сечења	14
2.2 Карактеристике ласера који користи „Застава ТЕРВО”	16
3. Савремени обрадни системи за сечење ласером	18
3.1 Структура обрадног система за сечење ласером.....	18
3.2 Основне компоненте CNC обрадног система са ласерском главом.....	19
3.3 Ласерска глава	20
3.4 Обрадни сто	21
3.5 Тачност обраде ласером.....	22
3.6 Квалитет обрађене површине.....	22
3.7 Обрадивост материјала	23
4. Класични прибори и монтажни стезни прибори за израду делова од лима	25
4.1 Конструктивни елементи модулних стезних прибора.....	26
4.1.1 Базни елементи	27
4.1.2 Ослони кућишни делови	27
4.1.3 Делови за локацију.....	28
4.1.4 Ручице за стезање.....	28
4.1.5 Делови за стезање.....	29
4.1.6 Остали делови	29
4.1.7 Предности и недостаци модулних стезних прибора	30
4.2 Преглед постојећих модулних стезних прибора	31
5. Пример пројектовања прибора	33
5.1 Примена каталога 3D модела елемената флексибилних прибора	36

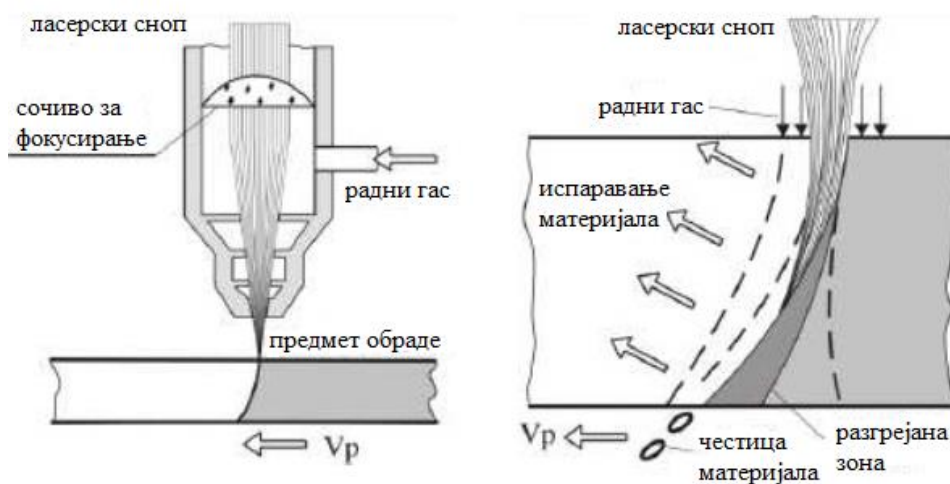
5.1.1	<i>Предности и могућности коришћења каталога</i>	<i>37</i>
5.2	Пример пројектовања флексибилног прибора	39
6.	Закључци	45
7.	Литература	47

1. Уводна разматрања

Реч ласер је настала као скраћеница од израза “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation” што би у преводу значило “Појачање светлости преко стимулисане емисије зрачења”. Он је за извор светлости код којег се за разлику од конвенционалних извора светлости, светлост генерише механизмом стимулисане емисије. Иако на први поглед физика ласера звучи јако компликовано, развојем технологије ласери нас данас у великом броју окружују у нашем свакодневном животу. Још је 1917. године у свом раду “On the Quantum Theory of Radiation”, Albert Einstein дао теоријски концепт и предвидео изум ласера и његове претече масера. Масер је уређај који ради на исти начин као и ласер, али у другом фреквенцијском подручју. Масер је извор микроталаса, док је ласер извор електромагнетских таласа у инфрацрвеном и видљивом делу спектра. Протекавши неколико изврсних експерименталних група, први ласер направио је 1960. године Theodore H. Maiman запослен на Huges Research Laboratorie Malibu, Калифорнија. Његов ласер је емитовао светлост таласне дужине $694\mu\text{m}$ у пулсном режиму, а ласерску емисију постигао је стимулисаном емисијом из рубинског кристала побуђеног светлосном лампом. Након тога, ласери почињу на велико да се производе у експерименталним лабораторијама широм света, а коначно развојем технологије данас имамо праву ласерску револуцију. [3]

Ласер је оптички извор који производи усмерено светлосно зрачење, које се генерише механизмом стимулисане емисије настале као последица интеракције електромагнетног зрачења и активне средине. Ласерско зрачење настаје захваљујући могућности да се код неких материјала оствари инверзна насељеност на вишим енергијским нивоима. [3]

Принцип ласерског сечења (слика 1.) је успостављена процедура за прецизно резање контура, резање цеви и профила . Ласерско сечење има своје предности као што су брзина , прецизност. Лоша страна су само високе инвестиције и оперативни трошкови ,а ласерско сечење не надмашује конкуренцију увек. 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 резање. Сноп ласерских зрака је нови универзални резни алат који може практично да сече готово све познате материјале. Произвођачи прототипова знају да је ласерско резање економична алтернатива другим методама резања. [3]



Слика 1. Принцип ласерског сечења [3]

У односу на поступке гасног сечења, резања тестером и просецања, предности ласерског резања 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. Брзином, флексибилношћу и прецизношћу, које су карактеристике ласерског сечења, трошкови производње се рапидно смањују и брзо враћа инвестиција.

У циљу добијања склопова од делова сечених на ласеру, ласер је нашао широку примену у савременим обрадним системима резања метала. Добијањем делова сечених на ласеру, јавља се потреба за монтажом тих делова како би се добио жељени склоп са освртом на његову функционалност. [5]

Савремене тенденције интензивног развоја технике, услед непрекидног усавршавања конструкција машина, захтевају брзе и ефикасне методе припреме производње. Основни елементи припреме производње су:

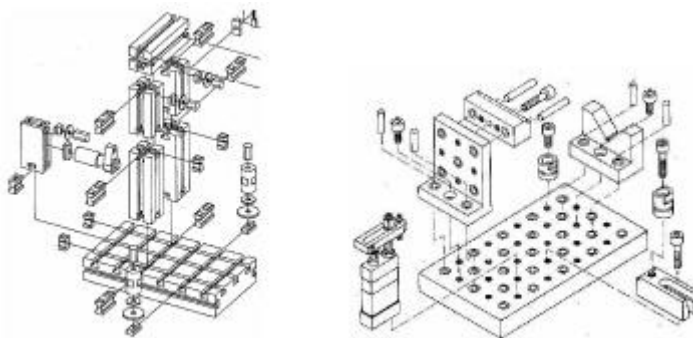
- пројектовање технолошких процеса и
- конструкција технолошке опреме. [1]

У данашње време се тражи таква припрема производње која ће омогућити примену високопродуктивне опреме и усавршавање серијске и масовне производње. Конструктори и технолози морају проналазити све новије методе припреме производње које обезбеђују не само скраћење рада и времена већ и примену напредних метода рада.

Знатно скраћење периода припреме производње а самим тим и радног времена постиже се, поред осталог, конструкцијом и израдом стезних прибора. Зато су се појавили универзални стезни прибори, специјални стезни прибори, флексибилни стезни прибори и

сл. Ови прибори омогућавају конструкторима и технолозима проналажење нових путева ка рационализацији производње. [1]

У новије време дошло се на идеју да се формира систем, који би се састојао из већег броја стандардизованих и типизираних елемената и који би омогућио да се за кратко време, за било који облик предмета обраде и за било који вид обраде, формира прибор за базирање и стезање. Овакав прибор могао би да се користи и у појединачној и у серијској производњи. Након престанка производње, прибор се расклапа и коришћени елементи се могу уврстити у неки други прибор за базирање и стезање неког другог предмета обраде. Монтажни стезни прибори (слика 2.) су системи који могу одговорити на све ове захтеве.



Слика 2. Примери склопова прибора [1]

Стезни прибори су обавезни материјални чинилац обрадног система. Њиховом применом, у односу на рад без њих, долази се до побољшања низа техноекономских ефеката. Ефекти примене стезних прибора огледају се кроз:

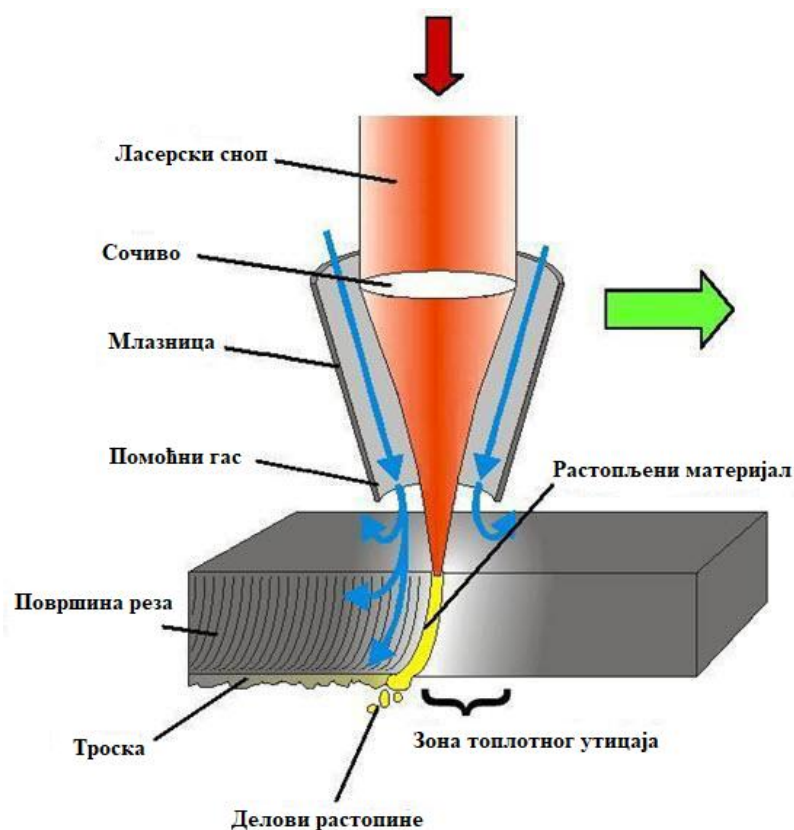
- исправно базирање радног предмета (или алата) на машини у односу на захтеване конструктивне базе, чиме се избегава потреба за појединачним обележавањем предмета обраде, а и знатно скраћује припремно (помоћно) време,
- смањење грешака тачности димензија при постављању предмета обраде у стезни прибор, независно од вештине радника, што је један од предуслова за могућност спровођења принципа заменљивости готових производа,
- највеће могућности искоришћења перформанси постојећег машинског парка,
- повећање продуктивности алатних машина,
- олакшање рада радника и реалније одређивање норматива рада и
- успешније координирање радних времена у функционалној, а посебно у линијски организованој производњи. [1]

Повећање техноекономских ефеката уз примену помоћних прибора може се сагледати кроз:

- скраћење времена и повећање поузданости одређивања радног положаја (локације) предмета обраде или алата,
- скраћење времена за стезање предмета обраде или алата,
- скраћење времена обраде,
- могућност примене радника нижих квалификација уз истовремено обезбеђење потребног квалитета и производности,
- смањење физичког замора радника,
- снижење процента шкарта и
- уштеде у служби контроле и смањење броја потребних мерних прибора. [1]

2. Суштина сечења ласером

Ласерска обрада (laser beam machining - LBM), заснована је на примени ласера, тј. високо концентрисане светлосне енергије добијене стимулираним зрачењем, за обраду материјала загревањем, топљењем или испаравањем. То је процес у коме се фокусирањем ласерског снопа постиже висока густина снаге по јединици површине (преко 10^8 W/cm^2) што доводи до топљења и испаравања материјала у делићу секунде. Релативним кретањем ласерског снопа у односу на обрадак настаје процес ласерског сечења. Коаксијално са ласерским снопом млаз помоћног гаса врши одвођење растопа из зоне реза (слика 3.). [3]



Слика 3. Принцип ласерског сечења [3]

Важна функција помоћног гаса је и заштита сочива од испарења и отклањања плазменог облака који се формира при великом интензитету зрачења. Код ласерског сечења метала углавном се користе две врсте помоћних гасова. За угљеничне челике обично се користи кисеоник, при чему се услед егзотермне реакције обезбеђује додатна енергија која се користи у процесу сечења. У случају сечења нерђајућег челика за постизање реза високог квалитета обично се користи азот. Ово је из разлога што неки оксиди како што је Cr_2O_3 , који се иначе стварају код сечења са кисеоником, имају велику вискозност и тешко се избацују из зоне реза. [3]

Процес ласерског сечења се изводи на ласерским машинама за сечење које представљају производе врхунске технологије. Основне компоненте ласерске машине за сечење су: ласер (оптички квантни генератор који генерише светлосни сноп), оптички систем за пренос ласерског снопа (“покретна оптика”), резна глава у којој се сочивом врши фокусирање ласерског снопа на радни пречник од око 0.3 мм, систем за напајање енергијом, CNC управљачка јединица и координатни радни сто. Савремене конструкције ласерских машина подразумевају различите конфигурације. Посматрајући варијанте реализованих ласерских машина за сечење евидентна је тенденција свеопштег прихватања принципа покретне оптике. Принцип се заснива на просторном, механизованом и аутоматизованом кретању оптичких уређаја система за превођење и скретање ласерског снопа и оптичког уређаја за фокусирање, који су оптички и механички повезани . [3]

У току ласерског сечења одвијају се пиролизички и фотолитички процеси. Пиролизичким механизмом емитовано ласерско зрачење се апсорбује на површини материјала обратка, долази до повећања температуре, топљења и испаравања. Фотолитичким механизмом под дејством ласерског снопа долази до хемијских реакција што може довести до разарања материјала. Разумевање процеса интеракције ласерског снопа и материјала обратка основно је за одређивање могућности и граница коришћења технологије ласерског сечења. Када ласерски сноп падне на обрадак део светлости се рефлектује, а други значајнији део се апсорбује, при чему светлосна енергија прелази у топлотну која служи за обраду. У суштини дејство ласерског снопа на материјал обратка може се поделити на неколико карактеристичних фаза : I- апсорпција светлосне енергије у површинском слоју материјала; II- загревање површинског слоја материјала; III- топљење и испаравање материјала обратка; IV- хлађење материјала обратка по престанку дејства ласерског снопа. [3]

Процес ласерског сечења почиње и одвија се кроз интеракцију ласерског снопа и материјала обратка. На основу интеракције ласерског снопа и материјала обратка и улоге помоћног гаса постоје различите методе ласерског сечења. Код сечења метала доминантне су три методе сечења:

1. Ласерско сечење сублимацијом. Под дејством фокусираног ласерског снопа велике снаге долази до испаравања материјала у зони реза, а испарен материјал се одстрањује млазом помоћног гаса. Уобичајено се користе аргон и азот како би се избегла оксидација површине реза. Пошто нема растопине добија се чиста ивица реза . Овај метод сечења захтева веома високе снаге ласера и обично се користи пулсни

режим рада ласера . Користи се за сечење неметала и веома танких металних лимова (дебљина $< 1 \text{ mm}$) тако да се топлотни губици могу занемарити. Код сечења метала већих дебљина топлотни губици су у сразмери са дебљином материјала. У овом случају неопходна је веома велика снага ласера како би се испарио растоп из зоне реза као и да би се компензовали велики топлотни губици. Предност ове методе сечења је веома висок квалитет обраде, али како је енергија потребна за испаравање (код метала око 50 J/mm^3) вишеструко већа у односу на енергију потребну за топљење (код метала око 2 J/mm^3), не могу се постићи високе брзине сечења. [5]

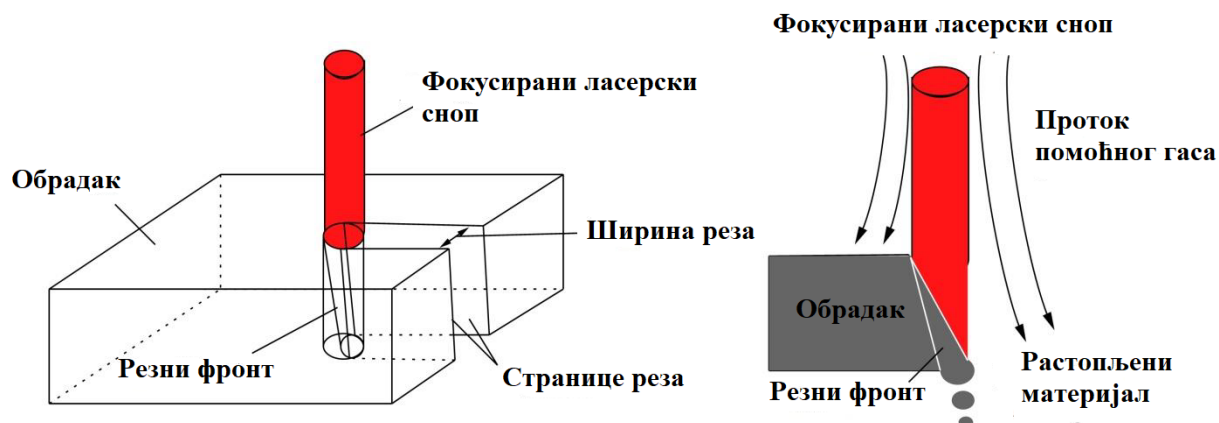
2. Ласерско сечење топљењем уз помоћ инертног гаса. Ласерско сечење топљењем уз помоћ инертног гаса захтева мање снаге ласера у односу на ласерско сечење сублимацијом јер се материјал обратка само топи и одстрањује из зоне реза уз помоћ млаза инертног гаса. Ласерско сечење нерђајућег челика, алуминијума и легура титана се често изводи овом методом користећи азот као помоћни гас како би се добиле чисте неоксидисане ивице реза које не захтевају завршну обраду. Главни проблем који се може јавити код лимова веће дебљине и неких врста материјала су депозити растопљеног материјала дуж доње ивице реза. Овај проблем се решава коришћењем притиска помоћног гаса преко 1 MPa . [5]

3. Ласерско сечење топљењем уз помоћ кисеоника. Уместо инертног гаса користи се кисеоник. Материјал обратка у зони реза загрева се и енергијом ласерског снопа и енергијом насталом услед егзотермне реакције материјала са кисеоником. Растопљени материјал се млазом кисеоника одстрањује из зоне реза . Додатна енергија која се добија из егзотермне реакције омогућује веће брзине сечења при истој снази ласера у односу на ласерско сечење помоћу инертног гаса. Ова метода се углавном користи за сечење угљеничних и ниско-легираних челика. [5]

Поред ове три основне методе ласерског сечења постоји и више специјалних метода ласерског сечења као што су: двожижно ласерско сечење (дуал-фокус ласер цуттинг), технологија сечења ласерским снопом који је вођен воденим млазом (ласер-мицројет), ласерско сечење (ласерско предгревање и сечење кисеоником високог притиска) и др. Избор одговарајуће методе сечења, као и фактора процеса зависи од термо-физичких карактеристика материјала, дебљине материјала и врсте ласера који се користи. [5]

2.1 CO₂ ласерско сечење

Код ласерског сечења азотом, под дејством фокусираног ласерског снопа великог интензитета енергије долази до топљења материјала који се млазом помоћног гаса (азот) високог притиска (и до 2 МПа) одводи из зоне реза. Због тога се овај процес често назива ласерско сечење азотом или ласерско сечење са високим притиском (слика 4.). [5]



Слика 4. Шема ласерског сечења азотом [5]

Резни фронт је у облику танког филма растопљеног материјала на који млаз помоћног гаса велике брзине преноси кинетичку енергију. Ако је кинетичка енергија млаза гаса већа од адхезионе енергије сила површинског напона, долази до одвајања растопљеног материјала и његовог избацивања из зоне реза у облику капљица. У супротном стварају се услови за појаву треске. Како је примарни процес топљење, потребно је мање енергије у односу на ласерско сечење испаравањем. [5]

Када је дејством енергије фокусираног ласерског снопа растопљен материјал у зони реза, онда је могуће довољно јаким млазом помоћног гаса одувати растопљени материјал из зоне реза и да се истовремено охлади материјал. Сечење овом методом захтева приближно упола мање снаге у односу на ласерско сечење испаравањем.

Процес ласерског сечења азотом се може моделирати претпостављајући да се сва апсорбована енергија ласерског снопа користи за топљење материјала при чему се она одводи из зоне реза пре него што дође до значајног преноса топлоте. Ова претпоставка има смисла, имајући у виду да HAZ код резова добијених овом методом ретко прелази неколико микрометара. Биланс енергије по јединици времена (снага) утршене на топљење материјала у зони реза може се представити једначином:

$$\alpha \cdot P_L = w \cdot d \cdot v_f \cdot \rho \cdot (C_p \cdot \Delta T + L_f)$$

где је α коефицијент апсорпције, P_L снага ласера (W), w ширина реза (m), d дебљина материјала (m), v_f брзина сечења ($m \cdot s^{-1}$), ρ густина материјала ($kg \cdot m^{-3}$), C_p

специфична топлота ($J/(kg \cdot K)$), ΔT пораст температуре до топљења (K) и латентна топлота L_f топљења ($J kg^{-1}$). [5]

Познавајући потребну специфичну енергију могуће је успоставити везу између основних фактора процеса. Оно што се заправо дешава у зони реза је прилично сложене природе. У контакту са површином материјала обратка, већи део енергије ласерског снопа се апсорбује, један део се рефлектује, док се један део губи пролазом кроз материјал. При малим брзинама сечења већи део енергије ласерског снопа се губи пролазом кроз материјал. Апсорпција се одвија по резном фронту – косој равни која је нагнута око 14° у односу на вертикалу помоћу два механизма: Фреснел-овом апсорпцијом тј. директном интеракцијом ласерског снопа и материјала и апсорпцијом плазме. Нагомилавање плазме при сечењу није значајно јер се односи млазом помоћног гаса. Густина снаге узрокује топљења, а затим се растоп односи млазом помоћног гаса великог протока и брзине. При дну реза дебљина растопа је већа услед задржавања растопљеног материјала. Из зоне реза млаз помоћног гаса избацује капљице растопа. Продувавањем кроз рез, помоћни гас повлачи за собом и гас у окружењу и ствара област ниског притиска по дубини реза. Ово може имати негативан утицај јер се тиме троска повлачи у рез. У суштини проблем уклањања троске са доње ивице реза се додатно компликује квашењем обратка растопом и правцем струјања помоћног гаса. Тако је сечење танких лимова отежано услед троске која се хвата за ивице реза и лоше усмерене струје помоћног гаса. Млаз помоћног гаса не само да односи растопљени материјал већ и хлади рез. У принципу, при ласерском сечењу долази до преноса енергије са ласерског снопа на материјал обратка и претварања светлосне енергије у топлотну. Ефекат хлађења услед дејства помоћног гаса је занемарљив у поређењу са снагом ласерског снопа. Ово је углавном из разлога што је површина са које се одводи топлота веома мала. [5]

Са повећањем брзине сечења мањи део енергије ласерског снопа се губи кроз рез па се остварује ефикаснија интеракција ласерског снопа и материјала обратка.

Данас се ласерско сечење азотом користи у индустрији за сечење нерђајућих челика дебљине до 25 mm. Међутим, CO_2 ласери велике снаге могу се користити за сечење нерђајућег челика дебљине и до 40 mm. Ова метода сечења се користи за сечење материјала код којих се жели избећи стварање оксидног слоја на површини реза. Примењује се за сечење свих врста метала нарочито нерђајућег и других високо легираних челика, алуминијума, легура титана, термопласта (полиетилен, полипропилен, најлон, ABS) и неких керамичких материјала. [5]

Најшире поље примене је 2D контурно сечење лимова и то углавном CO₂ ласерима. Са друге стране, за 3D контурно сечење користе се првенствено чврсти ласери (YAG и фибер ласер) како би се искористиле предности вођења ласерског снопа помоћу оптичких каблова. Због високог квалитета ласерског снопа све већу примену имају фибер ласери. У новије време брз продор у индустријској примени су остварили фибер ласери који су постали равноправни са CO₂ ласерима. [5]

Посебне предности ласерског сечења азотом укључују следеће: (I) површина реза без оксида и (II) скоро управне странице реза са великом тачношћу. Главни технички захтев који се поставља код примене ове методе је сечење материјала без појаве треске на доњој ивици реза. Оптималним избором фактора процеса и коришћењем високог притиска помоћног гаса (преко 1 MP_a) може се добити рез који не захтева додатну обраду. [5]

2.1.1 Фактори процеса

Брзина сечења и снага ласера

Код ласерског сечења азотом, брзина сечења може бити ограничена недовољним избацивањем растопљеног материјала из зоне реза и снагом ласера.

За практичну примену најчешће се користи ~ 80 % максималне снаге ласера. Резерва снаге служи за компензовање нестабилности процеса, нпр. топлотне флуктуације положаја жиже, растојања млазнице, и сл. При мањим брзинама сечења јавља се вишак снаге, формира се стрми резни фронт и велики део енергије ласерског снопа одлази кроз рез неискоришћено. Са смањењем брзине сечења повећава се температура на површини истопљеног филма и дебљина истопљеног филма. При малој брзини растопа и великој вискозности, уклањање растопа са доње ивице реза је отежано тако да при малим брзинама сечења може доћи до појаве треске. Уколико је неизбежно да се брзина сечења смањи, нпр. код контурног сечења сложених облика, висок квалитет реза без треске се може добити у пулсном режиму рада ласера. [3]

Фокусирање

Да би се подесило фокусирање за дату дебљину материјала и квалитет ласерског снопа, у циљу постизања узаног реза, минималног утрошка енергије и уских толеранција, мора се изабрати одговарајућа комбинација пречника спота и довољно велика Раулеигх дужина. Дужина се најчешће користи у опсегу од пола до двоструке дебљине материјала обратка. Код ласерског сечења азотом, положај жиже се обично налази између горње и доње површине лима. Фокусирањем ласерског снопа на доњу површину побољшава се струјање млаза помоћног гаса у зони реза и спречава се стварање треске. Максимална

брзина сечења, у зависности од положаја жиже, се постиже фокусирањем ласерског снопа од средине дебљине до горње површине лима . [3]

Притисак помоћног гаса

Ласерско сечење азотом је условљено динамиком млаза помоћног гаса. Раније студије су показале да је помоћни гас најутицајнији фактор када је у питању квалитет реза и продуктивност. Помоћни гас односи растопљени материјал и избацује га из зоне реза. Олсен је теоријски показао да ограничавајући фактор који утиче на максималну брзину сечења није снага ласера већ притисак помоћног гаса у зони реза. Главни параметри који утичу на динамику млаза помоћног гаса током сечења су: притисак помоћног гаса , пречник млазнице, растојање млазнице од обратка, релативни положај млаза помоћног гаса и ласерског снопа (коаксијалност), унутрашња геометрија млазнице и чистоћа и врста помоћног гаса. [3]

Параметрима протока помоћног гаса се тежи да се постигне што бољи млаз гаса у зони реза како би се ефективније односио растопљени материјал. Висок притисак, велики отвор млазнице и мало растојање млазнице од обратка имају позитиван утицај, али постоје и негативни утицаји који ограничавају одговарајући радни опсег. [3]

Сувише низак притисак помоћног гаса доводи до неефикасног одношења растопа и до појаве формирања треске, као и смањења брзине сечења. Сувише висок притисак помоћног гаса има незнатно позитиван утицај на брзину сечења и карактеристике квалитета реза, али са друге стране, ствара се већа потрошња гаса, а може и деловати дестабилизујуће доприносећи стварању плазме. Оптимални притисак помоћног гаса, мерен у потисној комори млазнице, се повећава са повећањем дебљине материјала од приближно 0.5 MP_a, за дебљине око 1 mm, до преко 2 MP_a за дебљину од 15 mm.

Најчешће се користе конусне млазнице са једноставним цилиндричним или конусним испустима. Млаз гаса излази суперсоничном брзином, а изнад обратка се формирају вертикални ударни таласи. [5]

Уобичајено је да се користе млазнице пречника од 1 mm до 3 mm, а растојање млазнице од обратка обично износи од 0.5 до 2 mm. У случајевима када се користи висок притисак, а растојање млазнице од обратка је исувише мало, може доћи до формирања плазме . [3]

2.1.2 Перформансе процеса CO₂ ласерског сечења

Фактори CO₂ ласерског сечења

Процес ласерског сечења је тешко контролисати због природе и сложености појава које се дешавају при интеракцији ласерског снопа и материјала обратка (апсорпција зрачења, локално загревање, топљење, испаравање, одвођење растопљеног и испареног материјала итд.). Поред тога, као и већина обрадних процеса, процес ласерског сечења је сложен (велики број различитих утицајних фактора), дифузан (постоје значајне интеракције између фактора), а има и стохастичко понашање. Природа процеса ласерског сечења је вишефакторска, веома сложена и недовољно позната узимајући у обзир корелације и интеракције између фактора. За реализацију процеса ласерског сечења потребно је познавање утицајних фактора. Познавањем суштине процеса ласерског сечења и њене зависности од фактора процеса могуће је побољшати квалитет обраде и ефикасност, али и снижити трошкове обраде. Фактори процеса ласерског сечења се могу поделити на:

а) факторе ласерске машине:

- ласер (врста ласера, таласна дужина зрачења, режим рада, мод, просторна и временска расподела снаге, максимална излазна снага, стабилност снаге),
- ласерски снап (пречник ласерског снопа, квалитет ласерског снопа (M₂), поларизација),
- резна глава (оптички систем за фокусирање, конструкција и пречник отвора млазнице),
- координатни радни сто (тачност позиционирања, тачност кретања, просторна мобилност).

б) факторе обратка:

- материјал (термичке, оптичке карактеристике, механичке, хемијске, електричне, магнетне, стање површине, превлаке,...),
- геометрија (облик контуре, димензије, сложеност, толеранције).

в) факторе процеса:

- променљиви (снага ласерског зрачења, брзина сечења, притисак помоћног гаса),
- константни (положај жиже, врста и чистоћа помоћног гаса, положај и пречник млазнице).

При планирању ласерског сечења фактори процеса се подешавају како би се оптимизовао процес сечења, а све у циљу повећања брзине сечења (односно

продуктивности), квалитета реза, смањења трошкова и/или продужења радног века потрошних делова (нпр. млазнице). Адекватан избор главних фактора ласерског сечења неопходан је услов за постизање једног, али најчешће више циљева, па се процес ласерског сечења може посматрати као вишекритеријумски оптимизациони проблем. Одређивање оптималних вредности фактора ласерског сечења омогућује коришћење високих брзина сечења, ефикасно избацивање растопа из зоне реза тј. спречавање појаве треске и смањење храпавости површине реза. У реалним производним условима, чест је случај да, када се не захтева висок квалитет реза, фактори процеса се тако бирају да се њима утиче на смањење трошкова и повећање продуктивности. [5]

Појединачно, утицај сваког од ових фактора на перформансе процеса ласерског сечења је различит и променљив узимајући у обзир опсеге промена за сваки фактор посебно. Такође, често је потребно утицај одређеног фактора сагледати узимајући у обзир остале факторе и њихове интеракције. Од бројних фактора највећи утицај имају: снага ласера, карактеристике материјала обратка, брзина сечења, врста, чистоћа и притисак помоћног гаса, карактеристике ласерског снопа, временска стабилност снаге ласера и прилагођавање ласерског снопа. Два фактора која се не могу контролисати током ласерског сечења су врста и дебљина материјала обратка. Ови фактори су одређени специфичним потребама корисника и представљају константе у процесу на основу којих треба бирати остале факторе. Наиме, добро је познато да, за исте факторе процеса, са повећањем дебљине материјала опада квалитет обраде. [5]

Перформансе CO₂ ласерског сечења

Код ласерског сечења постоји неколико показатеља перформанси процеса на основу којих се доносе закључци о адекватности изабраних вредности фактора и подесивости процеса ласерског сечења. Перформансе ласерског сечења могу се сагледати као технолошке и техно-економске циљне функције и груписати у четири основне групе:

1. Перформансе процеса (максимална брзина сечења за потпун рез, специфична енергија сечења, специфична снага сечења, хабање млазнице, и др.),
2. Перформансе квалитета (ширина и угао нагиба реза, храпавост површине реза, треска, HAZ),
3. Перформансе продуктивности (површинска и запреминска производност, време обраде,)
4. Перформансе економичности (трошкови обраде). [5]

Данашњи тренд у индустријској примени ласерског сечења је повећање квалитета реза задржавајући високу производност адаптивним управљањем фактора процеса обраде.

2.2 Карактеристике ласера који користи „Застава ТЕРВО”

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 5. Фибер ласер за сечење лимова NUKON NF 2060-3kW

Трансформација ласерског зрака између резонатора и резне главе (слика 6.) 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 6. 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.

3. Савремени обрадни системи за сечење ласером

Основни делови односно системи који чине обрадни систем:

- Радно тело
- Систем за побуђивање
- 100% пропусно огледало
- 90% пропусно огледало
- Систем за хлађење

Радно тело је смештено између два паралелна огледала, (огледала се не могу намештати ручно, нити на случајном растојању, морају се поставити на тачној удаљености због таласне дужине стојећег таласа) тако да зраци светла који пролазе између та два огледала стварају стојећи талас.

Активна средина представљена је активном материјом у којој се постиже инверзна популација атома. У зависности од врсте ласера она може бити у гасном, течном и чврстом стању.

Резонаторски систем представљају два паралелно постављена огледала од којих је једно потпуно рефлектујуће и има улогу да створене фотоне поново врати у активну средину који ће наставити реакцију побуђивања. Када емитовани фотони дођу до другог огледала које је полупропустљиво, они се делимично рефлектују и враћају у активну средину те се процес побуђивања наставља, а делимично пролазе кроз њега и чине ласерски зрак са свим његовим карактеристикама. Систем полупропустљивог и непропустљивог огледала строго усмерава формирање ласерског снопа. [2]

3.1 Структура обрадног система за сечење ласером

Карактеристичне целине већине ласерских обрадних система углавном су исте и чине их следеће јединице:

- оптички резонатор
- извор за напајање електричном енергијом
- систем за хлађење оптичког система
- систем за вођење и обликовање зрака
- радна глава
- радни простор обрадног система
- управљачка јединица
- сигурносни систем [4]

Оптички резонатор - представља централну јединицу LBM постројења, а служи за генерирање ласерског зрака одређених карактеристика. Саставни делови резонатора су квантни резонатор, извор светлосне побуде и систем паралелних огледала.

Извор за напајање електричном енергијом - директно је повезан са основном јединицом, тј. извором светлосне енергије оптичког резонатора.

Јединица за напајање енергетским гасовима, ако се ради о гасном ласеру, служи за дозирање активне средине радним пливовима. [4]

Системом за хлађење оптичког резонатора се повећава коефицијент деловања оптичког система.

Систем за вођење и обликовање зрака, представља важну пратећу јединицу са којом се остварује вођење и обликовање ласерског зрака до радне главе.

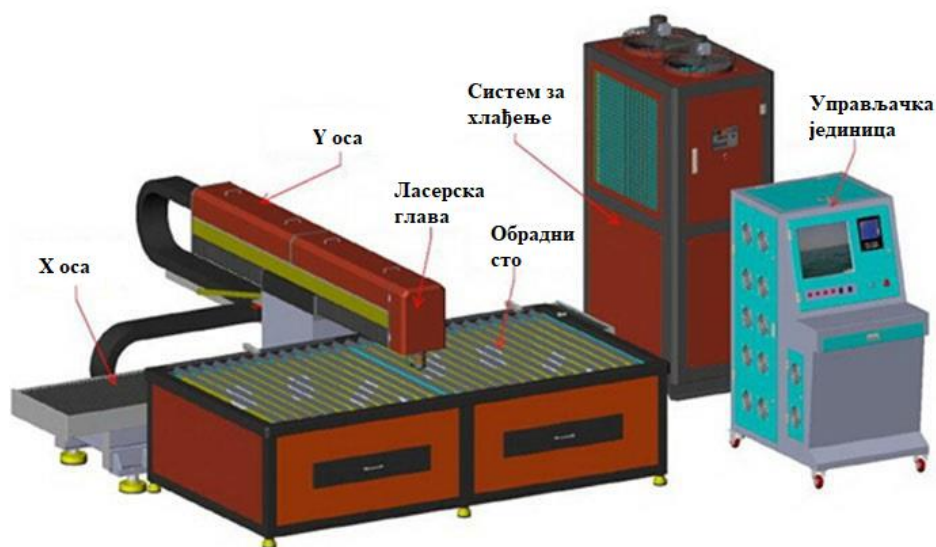
Радна глава, фокусирањем и по потреби закретањем ласерског зрака усмерава зрак на површину обратка у циљу остваривања одређене производне операције.

Радни простор обрадног система, осигурава прихватање и стезање обрадака, као и потребна кретања при обради, слично као и код других алатних обрадних система.

Управљачка јединица има задатак да синхронизује и обједини рад основних и пратећих јединица LBM обрадног система.

Сигурносни систем, с обзиром да неконтролисани излазак ласерског зрака из обрадног система може бити опасан за оператера и околину, осигурава сигуран рад LBM обрадног система. [4]

3.2 Основне компоненте CNC обрадног система са ласерском главом



Слика 7. CNC обрадни систем са ласерском главом [4]

Х-оса, Y-оса, ласерска глава – омогућавају кретање (помицање) алата у више смерова.

Обрадни сто – ако је помичан, омогућава додатно помицање обратка.

Систем за хлађење – одржава процес обраде у топлотној равнотежи, како не би дошло до прегревања система или обратка.

Управљачка јединица – систем путем ког се управља с брзином обраде, избором алата, укључивањем/искључивањем расхладног средства и путањом алата. [4]

3.3 Ласерска глава

Ласерски зраци се од свог извора одводе помоћу оптичког система за вођење до ласерске главе која те зраке фокусира на малу тачку обратка. Ради заштите од дима и прскања, у ласерску главу (слика 8.) се уводи резни гас (обично је то зрак, аргон) који струји испод према отвору. Врста резног гаса и јачина његове струје зависе од места и сврхе примене.

Мали комади обраде се постављају на радни сто игибају се заједно са столом, те се тако може вршити обрада сложених облика обратка. Ако се обрађују већи комади обраде, тада сегиба само ласерска глава и врши обрада док обрадак мирује. [5]



Слика 8. PRETITEC GE-14845 ласерска глава [5]



Слика 9. PRETITEC GE-14845 ласерска глава у обради [5]

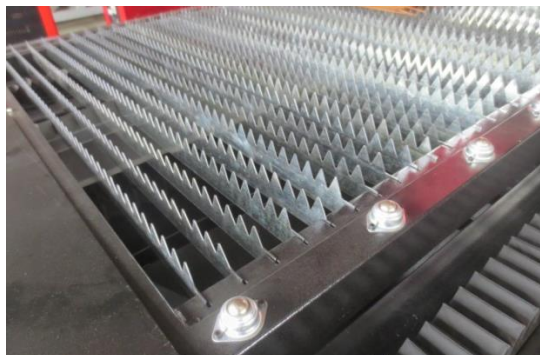
Табела 1. Карактеристике PRETITEC GE-14845 ласерске главе [5]

PRECITEC GE-14845			
Снага	4000 W (4kW)		
Дебљина реза	нерђајући челик и алуминијум до 5mm	меки челик до 10mm	највећа дубина реза 26mm

3.4 Обрадни сто

У ласерској обради обрадни сто углавном је непомичан, но постоје и радни столови који омогућавају додатна кретања.

Оно што је најважније је да су обрадни столови углавном изведени у облику решетки или у облику равне плоче с пуно рупа и шупљина. Разлог томе је што се током ласерске обраде мора омогућити добар проток зрака испод обратка. На тај начин се постиже чешћи и учинковитији рез на обратку, али се и смањује настанак наслага на доњој страни материјала (обратка) које могу настати услед отопљеног материјала насталог због високих температура услед ласерског продирања кроз материјал или услед настајања димних наслага. [5]



Слика 10. Обрадни сто за ласерско сечење [5]

3.5 Тачност обраде ласером

Тачност обраде ласером првенствено зависи од интензитета и стабилности енергетских параметара ласерског зрака и геометријских карактеристика оптичког система. Како се ради о недефинисаној геометрији процеса обраде ласером (конусни облик зрака и топлотни механизам обраде), неизбежне су грешке димензија, облика и положаја. [3]

Одступање мера и профила обраде од прописаних посебно су изражена код грубе обраде робусних радних предмета. Ако се ради о завршној обради радних предмета мањих димензија, постиже се висока тачност $\pm(0,01-0,001)$ mm.

Геометријске карактеристике су пресудне код тачности обраде ласером. Битно је на месту обраде остварити максимално фокусирање ласерског зрака, тј. провести обраду с минималном променом зрака. Такође је битно избећи одступање паралелности линеарног правца простирања ласерске светлости (поларизација) у односу на правац резања или користити радијални вид поларизације.

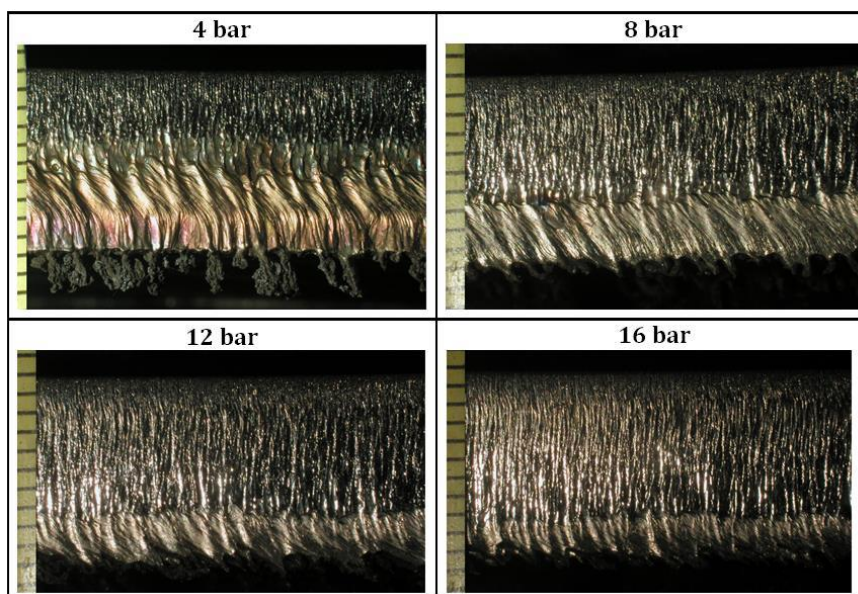
Што је више пулсирајућих зрака, односно што је већа фреквенција пулсирајућих зрака, то је обрада финија, односно грешке димензија су мање. [3]

3.6 Квалитет обрађене површине

При обради ласером, због појаве високе температуре у уској зони обраде, неизбежне су значајније геометријске неравнине, тј. физичко – хемијске промене у површинском слоју материјала обратка. Остварује се обрада средње – грубе класе квалитете обрађене површине (N7-N12), уз дебљину дефектног слоја која може варирати у широким границама од 0,01-0,05 mm, поготово код ласерског сечења континуираним режимом рада. Квалитет обрађене површине зависи од специфичне снаге ласерског зрака, времена деловања импулса, топлотно – физичким карактеристикама материјала обратка, брзини обраде, врсти и притиску помоћног гаса и др. [5]

Табела 2. Спецификације поступка обраде [5]

Снага ласера, P_l	4000W (4kW)
Материјал обратка	Нерђајући челик
Дебљина челика	10mm
Брзина резања, V_0	1.0 m/min (0.0167 m/s)
Млаз	2.5 mm
Помоћни гас	азот



Слика 11. Разлика квалитете реза (обрађене површине), узрокованог због висине притиска помоћног гаса [5]

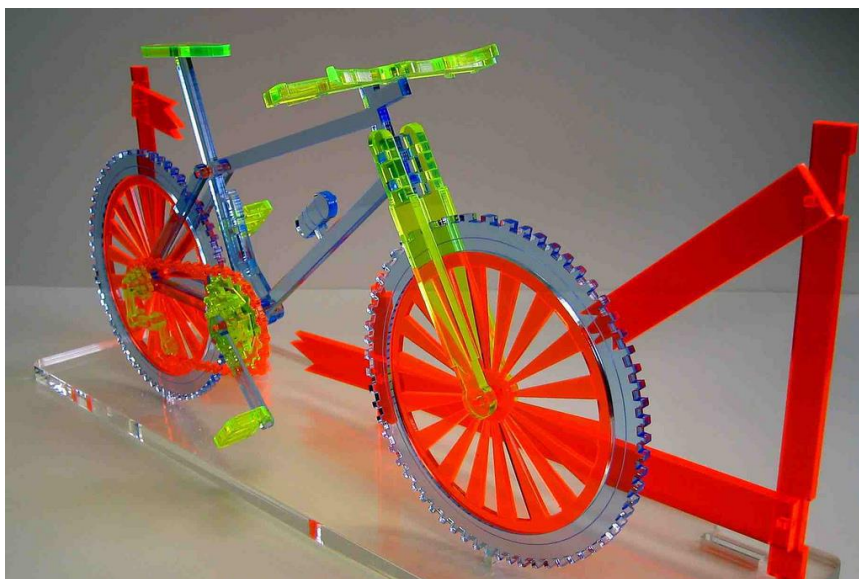
Под микроскопом се јасно може видети да ће обрађена површина бити боље обрађена услед вишег притиска помоћног гаса, односно квалитет реза ће бити бољи, али ће и поступак обраде бити скупљи. [5]

3.7 Обрадивост материјала

Како смо већ раније рекли, LBM може се користити за обраду свих врста металних и неметалних материјала, који поседују минимално својство апсорпције инфрацрвеног зрачења.

Метални материјали – с обзиром да скоро сви метали и њихове легуре, иако на собној температури рефлектују светлост, поседују почетну апсорпцију инфрацрвеног зрачења која се креће у границама 0,5-10%, те се мање или више успешно обрађују помоћу ласера.

Неметални материјали – неметали су по правилу добри апсорбери инфрацрвеног зрачења. Уз то, уопштено, неметални материјали поседују мали коефицијент топлотне проводљивости и имају ниску тачку топљења или паљења. Због тога, неметали представљају веома погодан материјал за обраду ласером. [3]



Слика 12. Модел бицикла израђен ласерском обрадом [3]

4. Класични прибори и монтажни стезни прибори за израду делова од лима

Протеклих неколико деценија захтеви за возилима за транспорт нагло су порасли, као и број компанија које производе возила. Тиме је створено ново тржиште, које представља својеврсно такмичарско поље у коме су главни такмаци произвођачи возила. Развој нових технологија још више је условио убрзавање и онако суровог тржишта, у коме релативно брзо долази до задовољења потрошача и где је потребно ефектно одговорити на нове захтеве, који се постављају. Такво окружење највише утиче на сам развој нових производа, пре њиховог пласмана на тржиште. [4]

Систем за развој новог возила изузетно је комплексан, започиње првим кораком, а то је идеја за новим производом. Након чега се идеја анализира на основу потражње на тржишту и на основу могућег профита који би био остварен. Дакле основни услов је економска исплативост. Када је идеја разрађена и усвојена, приступа се процесу конструкције возила, односно елемената или склопова возила. Током овог процеса потребна је директна комуникација између сектора који су задужени за конструкцију и производњу, како би коначан производ могао да се изради капацитетима фабрике. Наредни корак након израде возила јесте маркетинг, односно промоција производа и његов даљи пласман на тржиште. [4]

У овом раду пажњу ћемо усмерити ка процесу пројектовања возила, односно делу пројектовања процеса производње. Процес пројектовања производње састоји се из пројектовања више сложених поступака који као коначни циљ имају реализацију израде возила, елемената или склопова возила у предходно одређеним границама одступања од задатих мера, са задовољењем критеријума квалитета. [4]

Поступци у производњи могу бити поступци машинирања, спајање, монтаже итд. Монтажа представља један од најзахтевнијих делова производње, проистиче из тога да све елементе које чине возило потребно је укупити и монтирати у простору, у задатим толеранцијским границама, како би крајњи квалитет производа задовољио све задате услове. Услови могу бити различити, од тога да ли је цео процес економски оправдан, преко временског ограничења за који мора бити завршен, па све до цене коју је крајњи корисник спреман да плати. Дакле, како би се процеспроизводње ефикасно и ефектно испројектовао, потребно је све елементе који се у њему састоје прецизно дефинисати и испројектовати. [4]

Оно што је најчешће уско повезано јесу профит и време, односно време за које ће се производ пронаћи на тржишту од усвајања његовог идејног решења. Често време које највише утиче на цео процес јесте време израде прототипова, због често нестандартних делова, односно развоја нових елемената сложених површина. Како естетика код возила значајно утиче на његову продају, израда елемената сложених површина јесте део коме се посвећује велика пажња током израде прототипова.

Ради смањења времена трајања процеса израде развијени су стезни прибори који служе за учвршћивање елемента прототипа у тачно дефинисаним тачкама у простору и обезбеђују њихово мировање у односу на предвиђен координатни систем. У исто време потребно је да стезни прибори буду флексибилни, како би се једноставно прилагодили производњи нових прототипова. [4]

4.1 Конструктивни елементи модулних стезних прибора

Елементи гарнитуре универзалних монтажних прибора израђени су од квалитетног конструкцијског и алатног челика, термички су обрађени а радне належуће површине брушене и глачане, што обезбеђује високу отпорност на хабање и тачност склапања. Тачност израде у погледу виталних димензија елемената је релативно висока: тачност дужинских мера се креће од $\pm 0.01 \text{ mm}$ код прибора у обради резањем до $\pm 1 \text{ mm}$ код израде веома великих каросеријских делова, а управност и паралелност од $0,01 \text{ mm}$ на дужини од 100 mm или већа, што омогућава да се из елемената гарнитуре склапају прибори потребне тачности.

Склапањем из готових елемената могу се компоновати прибори за делове различитог облика и величине, за готово све поступке обраде резањем.

Међусобне везе елемената су раздвојиве, што омогућава да се без оштећења делова прибор расклопи и елементи гарнитуре користе за формирање нових прибора.

Богатство броја, облика и димензија (укупан број елемената у, на пример неким гарнитурама достиже 50000 елемената) омогућава да се у исто време може склапати већи број помоћних прибора (150-200).

У погледу димензија и облика предмета обраде, реч је, према неким информацијама, и до 80% свих делова који се срећу у машиноградњи, при чему се димензије идеалног предмета обраде крећу у доста широким границама.

У већини система комплет стандардних елемената садржи као групе:

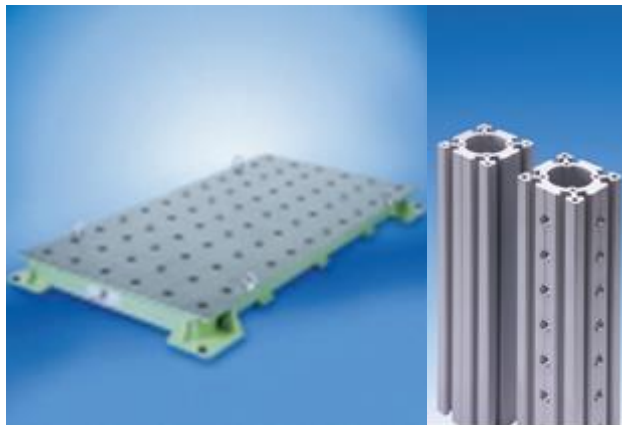
- базне елементе,
- елементе за ослањање,

- елементе за позиционирање,
- шапе за стезање,
- елементе за стезање,
- остали елементи. [4]

4.1.1 Базни елементи

У ову групу спадају различите плоче правоугаоног, квадратног и округлог облика. Базни делови су израђени са Т-жљебовима или отворима који служе за причвршћивање и центрирање осталих делова прибора за базну плочу. Ови делови се најчешће израђују од угљеничних челика са 0.17-0.25% С, цементирају се на дубину 0.8-1.5 mm и кале на тврдоћу 50-56 HRC. Непаралеленост горње и доње површине плоче не прелази 0.02 mm на дужини од 100 mm.

У групу базних елемената такође спадају и челични или алуминијумски профили који могу бити са Т-жљебовима или са посебним групама за везу са другим елементима прибора. Ови елементи се израђују такође у веома уским толеранцијама.

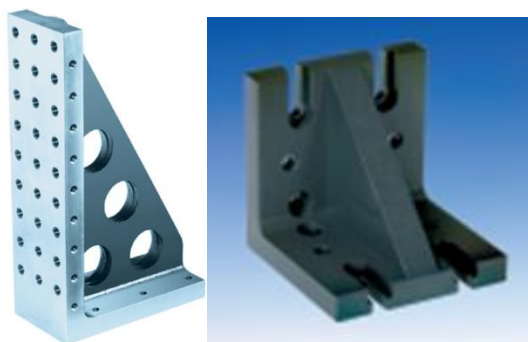


Слика 13. Базни елементи [4]

4.1.2 Ослони кућишни делови

Ова група спада међу важније групе комплекта поменутог система и њена примена много зависи од конструкције прибора. Из тог разлога ова група по броју типова заузима прво место. Ови елементи се израђују од челика за цементацију, цементирају се на дубину 0.8-1.5 mm и кале на тврдоћу 38-45 HRC. Неки произвођачи додатно врше заштиту ових елемената брунирањем.

У оквиру ове групе постоји неколико подгрупа, односно: разни уметци, призме, угаони елементи, ослонци за локацију и слични делови. На слици 14. приказани су примери ослоних кућишних делова прибора. [4]



Слика 14. Пример ослоних делова [4]

4.1.3 Делови за локацију

У ову групу спадају делови за одређивање положаја предмета обраде и резног алата. Ови елементи се, као и предходни, израђују од челика за цементацију, цементирају се на дубину 0.8-1.5 mm и кале на тврдоћу 52-62 HRC.

Ови делови могу бити једнострани и двострани. На слици 15. приказани су примери призми за локацију предмета обраде.

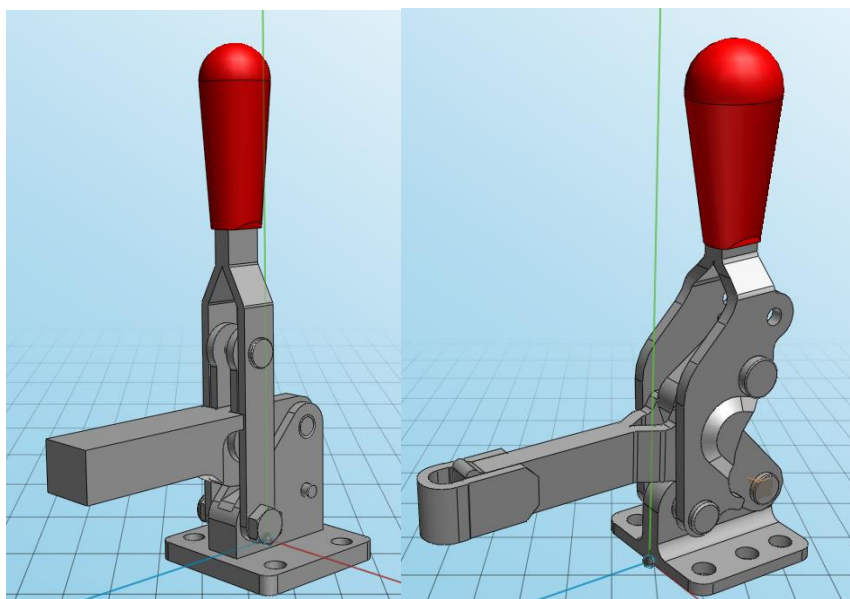


Слика 15. Позиције за локацију предмета обраде [4]

4.1.4 Ручице за стезање

Ручице за стезање су стандардизоване и унифициране. Израђују се од челика за цементацију. Цементирају се на дубину 0.8-1.1 mm и кале на 56-62 HRC. Стезање се врши хидрауличним цилиндром или ручно. Враћање у првобитни положај се изводи помоћу опруге. Висина стезања се може регулисати завртњем уврнутим у клин. Постоје различите варијанте ручица за стезање. Њихова је примена везана за висину предмета обраде.

На слици 16. приказани су примери шапа за стезање предмета обраде. [4]

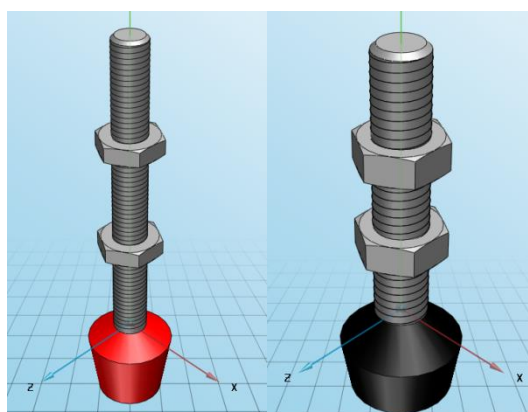


Слика 16. Примери шапа за стезање [4]

4.1.5 Делови за стезање

У комплекту се најчешће налази око 21. различитих типова са 260 величина, завртњева, навртки подметаца и сл. Најчешће је у примени навој M12X1,5 за монтажу и навој M5 за везу клинова. За израду се користи угљенични конструкциони челик (C=0.45%). Кале се на 38-42 HRC. По завршетку механичке обраде делове је потребно заштити фосфатирањем или неким сличним поступком.

На слици 17. приказани су примери завртњева за стезање.

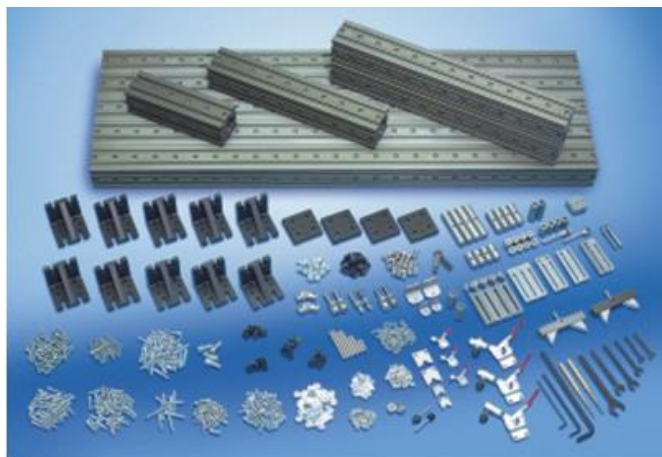


Слика 17. Примери завртњева за стезање [4]

4.1.6 Остали делови

Делови ове групе створени су у току експлоатације система универзалних монтажних прибора и јављају се као допунска група комплекта. Овде се могу убројати ексцентри, опруге, ручице и разни слични елементи. Елементи из ове групе се кале или подвргавају неком другом виду термичке обраде. [4]

На слици 18. приказан је део комплекта модулног стезног прибора.



Слика 18. Део комплекта модулног стезног прибора [4]

На слици 19. приказани су склопови стезних прибора формирани од изменљивих модулних елемената.



Слика 19. Примери склопова прибора [4]

4.1.7 Предности и недостаци модулних стезних прибора

Од низа предности примене флексибилних стезних прибора могу се навести следеће:

- елиминишу се трошкови конструисања прибора или су врло ниски,
- знатно се смањују трошкови израде прибора, пошто је време склапања прибора кратко, а могућност примене елемената гарнитуре вишеструка,
- применом флексибилних стезних прибора састављених из елемената који имају дуг век трајања, знатно се смањује потрошња материјала за израду прибора,
- могуће су брзе измене уколико се покаже да укомпоновани прибор не одговара захтевима,
- у току експлоатације, оштећени елемент прибора се брзо и лако замењује,
- брз је повраћај уложених средстава (2-3 године), уз век трајања већине елемената комплекта до 10 година и више.

Треба, међутим, указати и на неке недостатке флексибилних стезних прибора:

- високи захтеви у погледу тачности и квалитета израде елемената комплета и коришћење квалитетног и скупог челика, условљавају релативно висока почетна улагања,
- због постојања великог броја спојева смањује се крутост укомпонованог прибора,
- мање су могућности за примену елемената за брзо стезање, при чему је овај недостатак један од главних праваца текућег развоја. [4]

4.2 Преглед постојећих модулних стезних прибора

Интензивни развој индустрије, потребе за брзим изменама и освајањем производње нових производа наметнуо је потребу развоја стезних прибора у правцу модулних (флексибилних) стезних прибора. Гарнитуре елемената прибора дизајнирају се у широким спектром димензија и облика и њихово компоновање треба да пружи различита решења склопова прибора, зависно од облика и димензија делова које треба позиционирати и стезати.

Пројектовање склопова модулних стезних прибора, заједно са изменљивим елементима, се врши користећи постојеће базе података и каталоге делова у електронском облику чиме је омогућено брзо и квалитетно добијање већег броја варијантних решења и избор најповољнијег. Каталогизација елемената прибора у електронском облику садржи 3Д моделе елемената и могуће их је користити у готово свих софтверима за графичко моделирање.

У свету постоје многе фирме које производе елементе и гарнитуре модулних стезних прибора различитих намена. Неки од водећих светских произвођача стезних прибора у области обраде метала резањем су:

- *Kipp*, Немачка
- *Halder*, Немачка
- *Leave Industrial*, Кина
- *Carr Lane Manufacturing*, САД
- *Bluco Corporation*, САД

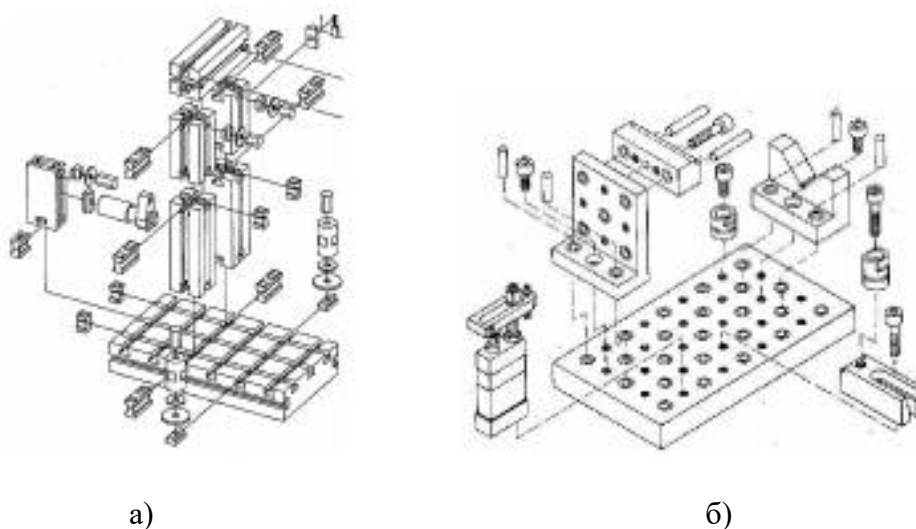
Поред ових стезних прибора и њихових произвођача, велику групу стезних елемената и прибора чине стезни прибори намењени за технологије монтаже, контроле, технологија спајања (заваривањем, лемљењем, лепљењем, вијчаним везама и др.). Ови прибори се састоје из стезних ручица различитих геометрија и одговарајућих носача и платформи. [1]

Једно од водећих предузећа у Европи за производњу стезних прибора намењених за мерења и контролу делова на мерним машинама је JUNKERS-PARTNER из Немачке, а стезних елемената намењених за различите системе стезања у монтажи, технологијама спајања, контроли и мерењу је предузеће DESTACO из Немачке.

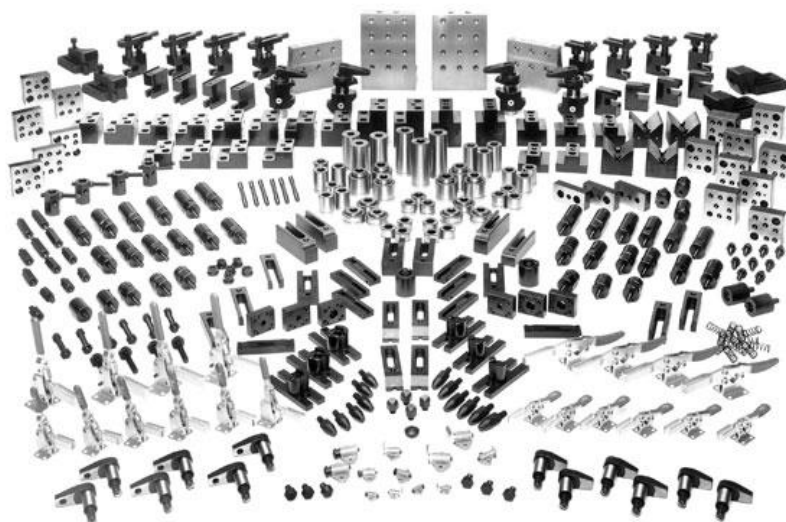
Реализована решења модулних стезних прибора се могу разврстати у две групе:

- системи код којих се носећа структура формира од специјалних профила,
- системи са основном плочом радног стола са отворима или жљебовима,

Радна плоча са отворима има отворе преко којих се врши везивање елемената прибора (слика 20а). Код система са жљебовима, на основним плочама и базним елементима прибора су паралелно и нормално распоређени Т-жљебови (слика 20б). Гарнитура различитих елемената прибора приказана је на слици 21. [1]



Слика 20. Примери склопова прибора: системи са жљебовима и отворима [4]



Слика 21. Гарнитура елемената флексибилног прибора [4]

5. Пример пројектовања прибора

Полазећи од претходно постављеног захтева за израду 3D модела елемената флексибилног прибора за израду каросеријских и других делова технологијама заваривања према доступној конструктивног документацији извршено је пројектовање елемената прибора и радног стола. Модели стезног прибора из каталога који су коришћени за формирање склопа стезног прибора су патент већ постојећег пројекта. То омогућава даљи развој и пројектовање новог, универзалног и флексибилног стезног прибора (који нема узор у постојећим монтажним стезним приборима) за ове намене.

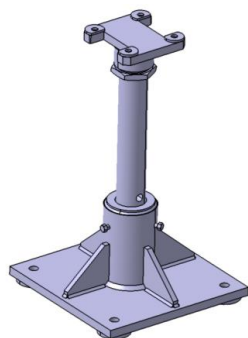
Пројектовање је вршено у неколико фаза:

- пројектовање стопе,
- пројектовање радног стола са жлебовима,
- пројектовање елемената решеткасте носеће платформе,
- пројектовање носећих елемената, елемената за ослањање, позиционирање, елемената за повезивање и др.,
- пројектовање ручица.

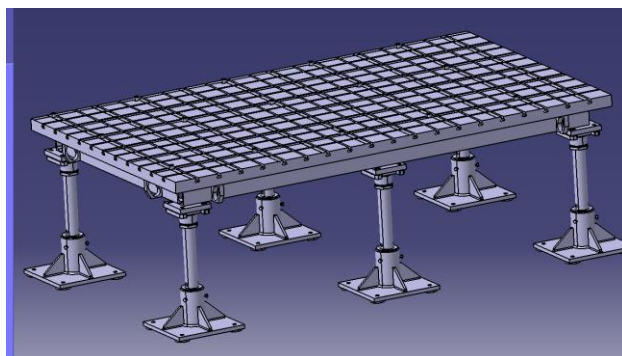
Стопа флексибилних стезних прибора је пројектована тако да је омогућен избор висине ослањања радног стоја или решеткасте платформе, слика 22.

Радни сто флексибилног прибора је челична плоча димензија 2000 x 1250 x 50 mm са Т-жлебовима и конструктивним елементима за везу са стопама са доње стране и елементима који омогућују транспорт. Након пројектовања радног стола, извршено је његово постављање на стопе, слика 23.

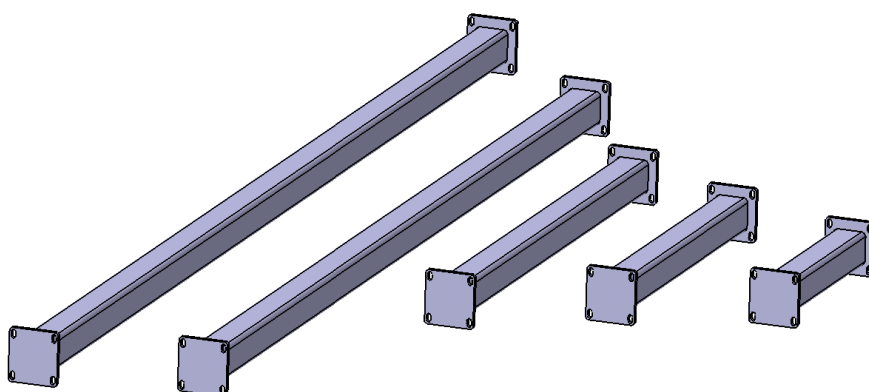
Елементи решеткасте структуре флексибилног прибора за делове великих димензија се састоје од челичних цеви 80 x 80 x 4 mm различитих дужина и плочама за повезивање које су заварене на крајевима. Саставни део ових елемената су плочице са отворима и вијцима намењене за повезивање са бочним елементима решеткасте структуре или носачима елемената за позиционирање и стезање, слика 24. [1]



Слика 22. Стопа [1]

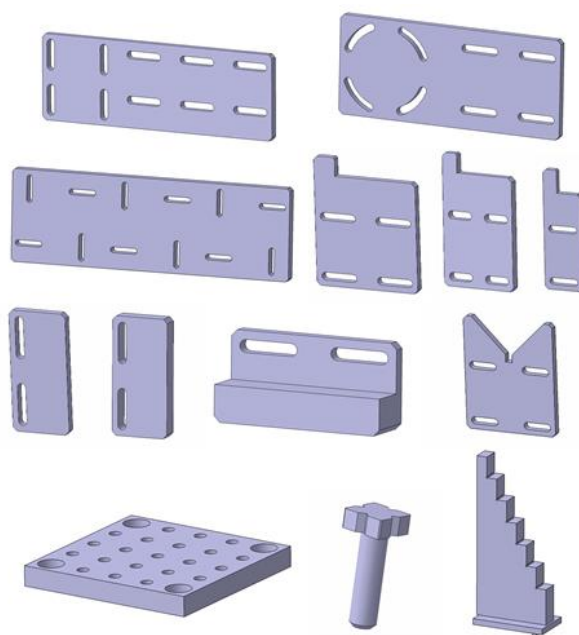


Слика 23. Радни сто прибора са стопама [1]

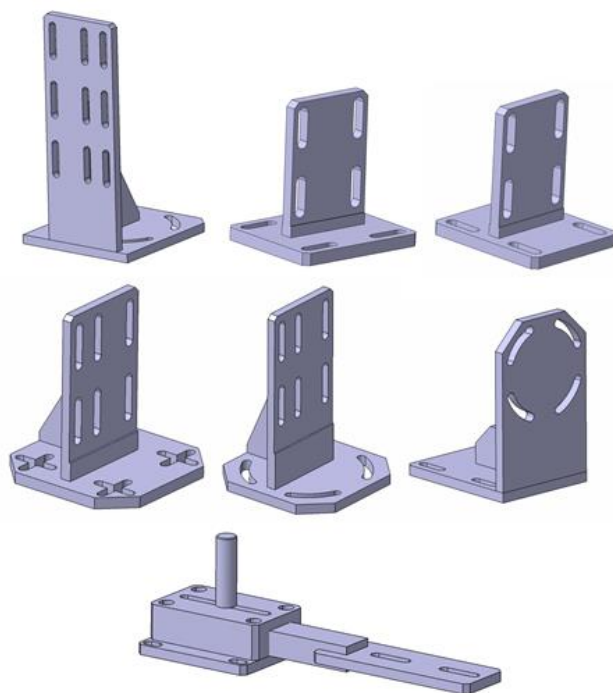


Слика 24. Елементи и решеткасте носеће платформе флексибилног прибора [1]

Носећи елементи, елементи за ослањање, позиционирање, елементи за повезивање и др., флексибилног система садрже велики број различитих елемената који омогућују међусобном комбиновањем покривање целокупног простора на радном столу, слика 25, 26. [1]

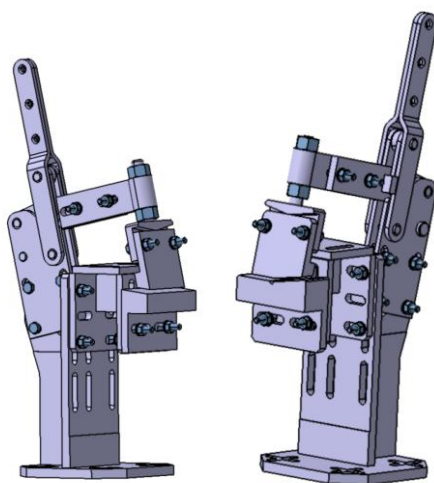


Слика 25. Елементи флексибилног прибора [1]

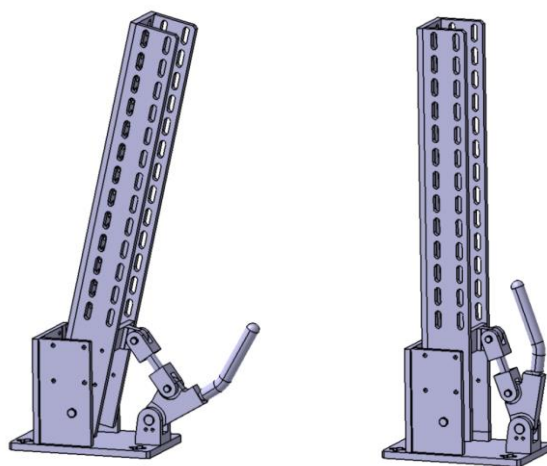


Слика 26. Носећи елементи флексибилног прибора [1]

Групе за стезање флексибилних система су засноване на полужним системима, ручно покретане, омогућују велику силу стезања и немогућност самосталног отварања услед сила стезања. Ручице су тако пројектоване да у зависности од намене могу вршити само стезање или граничење (ослањање и позиционирање) и стезање. На слици 27. су приказане пројектоване групе за стезање.



Слика 27. Ручица и групе за стезање флексибилних система [1]



Слика 28. *Покретни носач у отвореном и затвореном положају [1]*

Покретни носач приказана на слици 28. омогућује постављање и коришћење елемената за позиционирање и ослањање приликом монтаже дела, а након тога њихово померање у циљу вађења готовог дела из прибора.

5.1 Примена каталога 3D модела елемената флексибилних прибора

У оквиру већине софтвера за 3D моделирање постоје и такозвани каталози 2D и 3D модела, као и CAD библиотеке делова, које су настале превођењем штампаног каталога у електронски облик. Каталог CAD модела представљају базу делова, компоненти, готових производа са свим њиховим карактеристикама и важним подацима као и одговарајућим 2D цртежима и 3D моделима. Поменути делови и компоненте готових производа се користе са одговарајућим CAD софтвером.

Каталози 2D и 3D модела су намењени за преглед и избор дела, његову селектовање и коришћење при изради цртежа или модела готовог дела. Каталог 3D модела даје неопходне техничке информације о пројектованом производу.

Израда каталога у електронском облику који садрже 2D и 3D моделе елемената конструкција се најчешће раде у сарадњи са произвођацима CAD софтвера у чијим програмима се и реализује велики број каталога. Највећи приступ каталозима корисник има путем интернета где се осим избора датог елемента може вршити и његова куповина.

Приликом развоја производа често се јавља потреба за формирањем одређених делова који имају мање – више исти облик, али им се димензије и поједине компоненте елемената разликују. Израда модела таквог елемента може представљати заморан посао који пројектанта, на изванредан начин, удаљава од суштине конструкције коју развија. Стога савремени CAD системи предвиђају начине за аутоматизацију креирања таквих елемената.

Један од репрезентативних начина заснован је на креирању такозване табеле фамилије делова. Овакав приступ примењује се и када су у питању стандардни машински елементи, с тим што се пројектовани елементи придружују постојећим библиотекама стандардних елемената. Те библиотеке, поред модела, могу да садрже и табеле за прорачун димензија, оптерећења и других потребних параметара неопходних за правилан избор одговарајућег машинског елемента. У појединим случајевима јавља се потреба за “стандардизацијом” специфичних машинских елемената који се у већем броју јављају у оквиру једне конкретне конструкције. Такви елементи се не могу сврстати у групу стандардних елемената, али у конкретном случају имају карактеристике које их сврставају у локално стандардне елементе. [4]

5.1.1 Предности и могућности коришћења каталога

Примена каталога стандардних делова пружа пројектанту многе предности међу којима се као најважније могу издвојити следеће:

- Креирање и чување великог броја објеката на једноставан и компактан начин,
- Скраћивање времена и рада неопходног за формирање и стандардизацију групе н сличних делова,
- Једноставно генерисање великог броја варијација једног дела без директних интервенција и рада на креирању сваког од њих и
- Креирање делова које одликују мање варијације геометрије у односу на генеричку без примене релационих зависности, итд. [4]

3D модели представљају веома битан продајни и маркетиншки алат за све индустријске купце и продавце. Оног тренутка када се прешло са 2D на 3D CAD системе, који су имали могућност коришћења 3D модела из разних CAD каталога дошло је до великог помака на скоро свим пољима пројектовања. Истраживања показују да преко деведесет процената дизајнера и инжењера користи интернет како би пронашли компоненте (делове) за своје пројекте (моделе и цртеже).

Неке од најпознатијих компанија које у својој понуди имају каталоге из свих индустријских сфера су: *Trace Parts*, *Power Parts*, *Catalog Data Solutions*, *ThomasNet*, *Part Solutions* и др. [4]

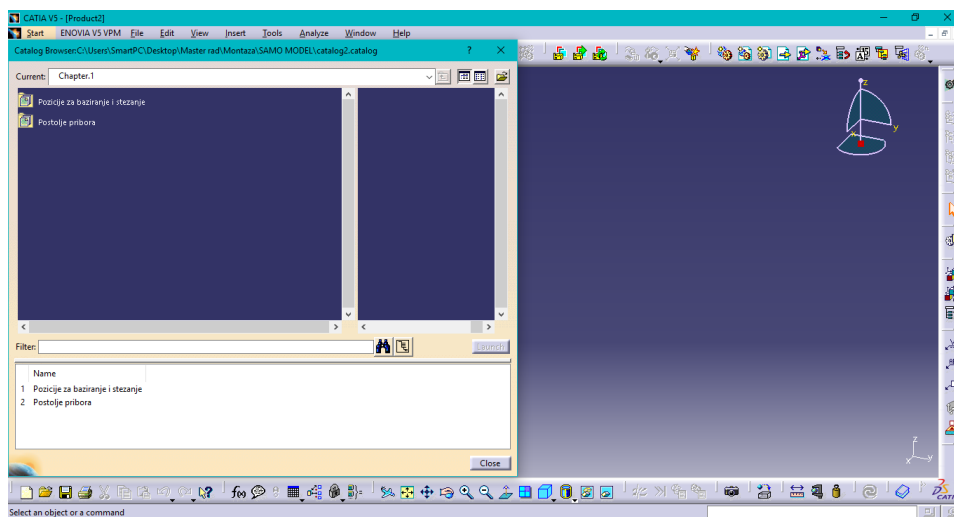
Може се приметити да готово сви каталози садржи следеће елементе:

- Базу у којој се налази велики број различитих елемената (делова) које инжењер изабира у складу од захтева пројекта,

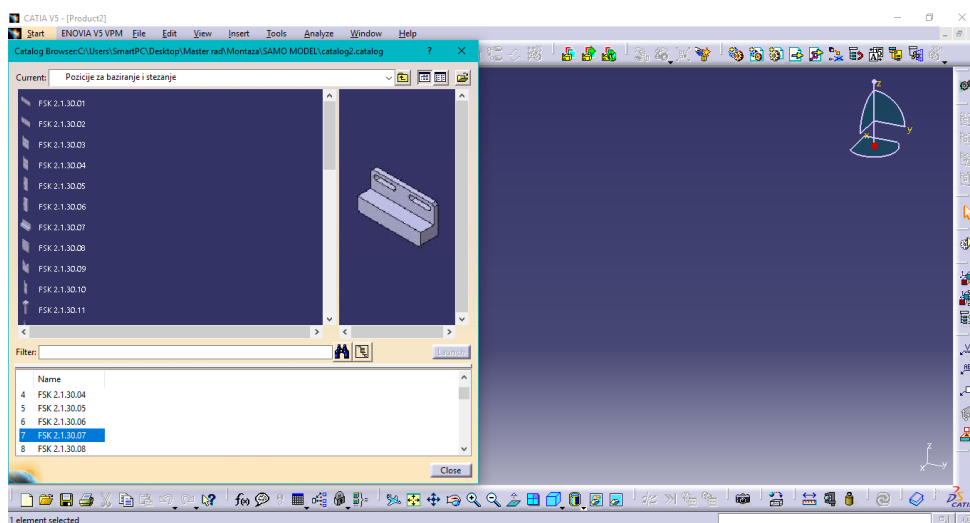
- Када се извршио одабир, добија се листа са димензијама, параметрима, модулима и осталим потребним величинама за дефинисање модела или су сви ови подаци садржани у *Properties* изабраног цртежа (модела),
- Све то прати назив одабраног дела као и стандард коме је део прилагођен,
- Садржи 2D цртеж датог елемента која додатно олакшава кориснику његово проналажење и др. [4]

На бази претходно 3D моделираних елемената флексибилних прибора, у окружења програма САТИА креиран је каталог који садржи две групе елемената (слика 29.):

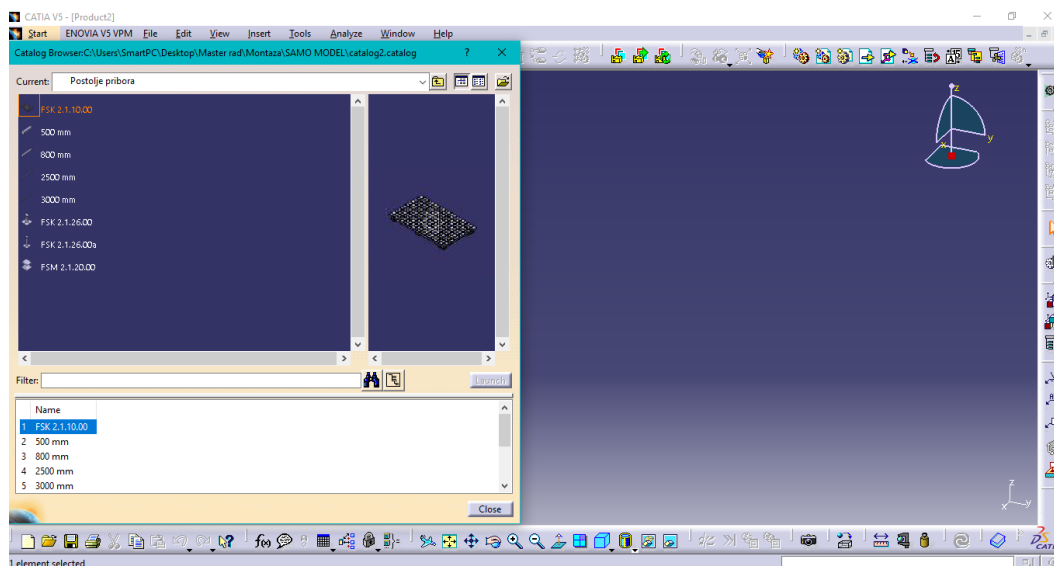
- елементи за позиционирање и стезање, слика 30. и
- базни елементи (радни сто, стопе и елементи решеткасте конструкције великих прибора), слика 31.



Слика 29. Почетна страна каталога



Слика 30. Почетна страна каталога елемената за позиционирање и стезање



Слика 31. Почетна страна каталога базних елемената

Пројектовани каталог садржи понуђене групе делова. Избором једне од група долази се до подгрупе елемената из које се бира потребни део прибора. Селектовање и избор се врши избором слике дела или назива (текстуалне ознаке дела). Селектовани део се аутоматски уводи у већ дефинисано окружење започетог пројектовања прибора у програму CATIA. Избор следећег дела се врши на исти начин.

5.2 Пример пројектовања флексибилног прибора

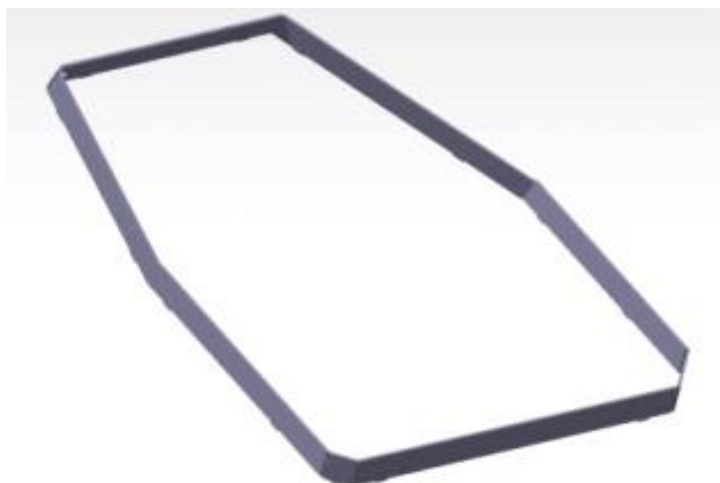
На примеру пројектовања флексибилног прибора за израду једног склопа врата камиона показан је начин коришћења претходно пројектованих елемената прибора. Било је потребно изабрати елементе за позиционирање, ослањање и стезање на основној плочи. Елементи врата које је било потребно поставити у прибор и извршити њихово спајање је показан на сликама 32. до 34.

На самом почетку пројектовања изабрана је базна плоча и стопе прибора, а затим изабран приближан положај елемената врата који се спајају. Једна од равни врата је постављена у хоризонтални положај, односно паралелни положај у односу на базну плочу. Положај елемената који се спајају је изабран тако да омогући довољно простора за постављање ослоних плоча стезних ручица. Полазећи од најмање потребне висине од базне плоче која омогућује постављање и стезање делова и њихово спајање заваривањем изабране су стезне групе са одговарајућим елементима, формирање ручице и постављене на одговарајућа места. Након тога извршено је подешавање носећих елемената ручића по висини и углу нагиба, подешавање положаја и угла нагиба елемената за позиционирање,

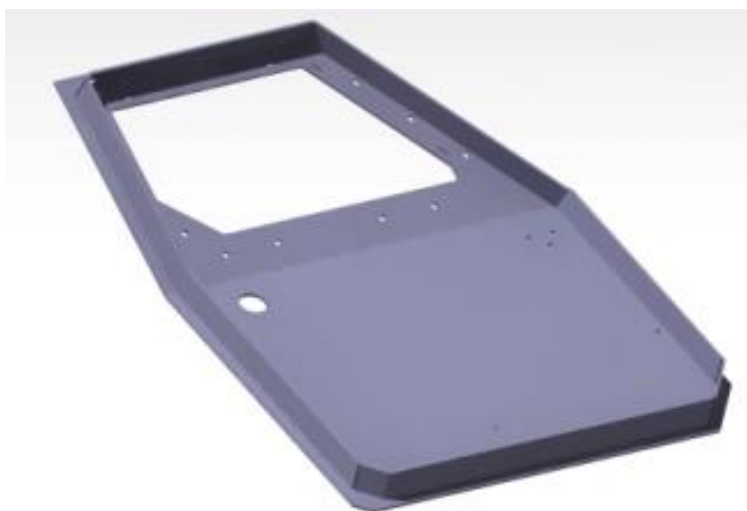
ослањање и стезање. На крају је извршена симулација померања стезних елемената ручица у циљу провере хода стезних елемената и одређивања коначног места стезне шапе. [4]



Слика 32. Спољашњи лим врата

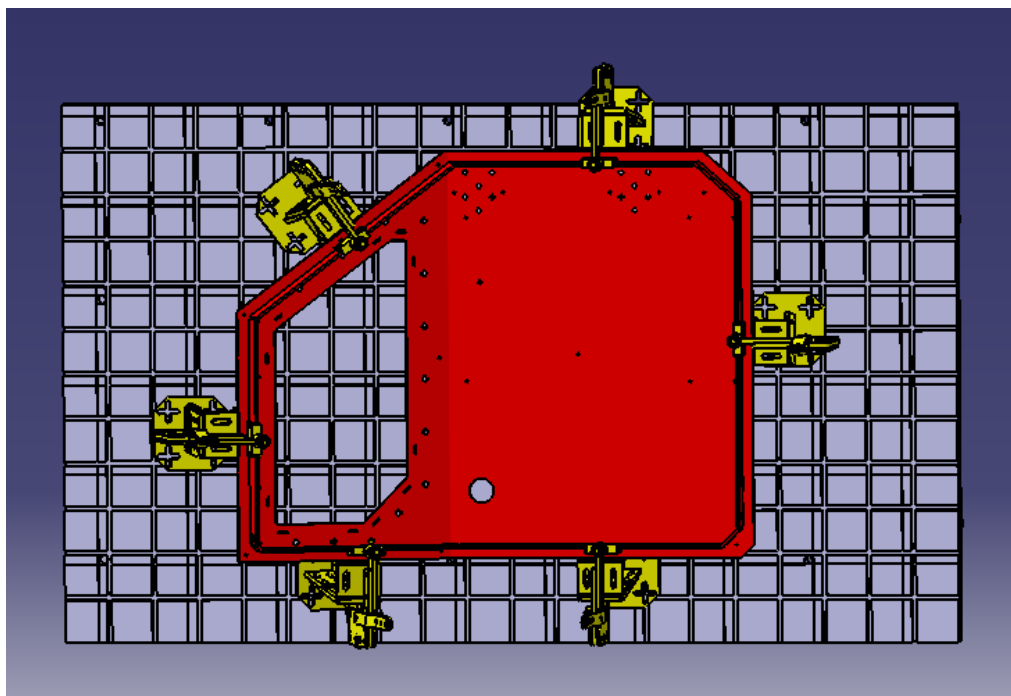


Слика 33. Унутрашње ојачање врата од лима

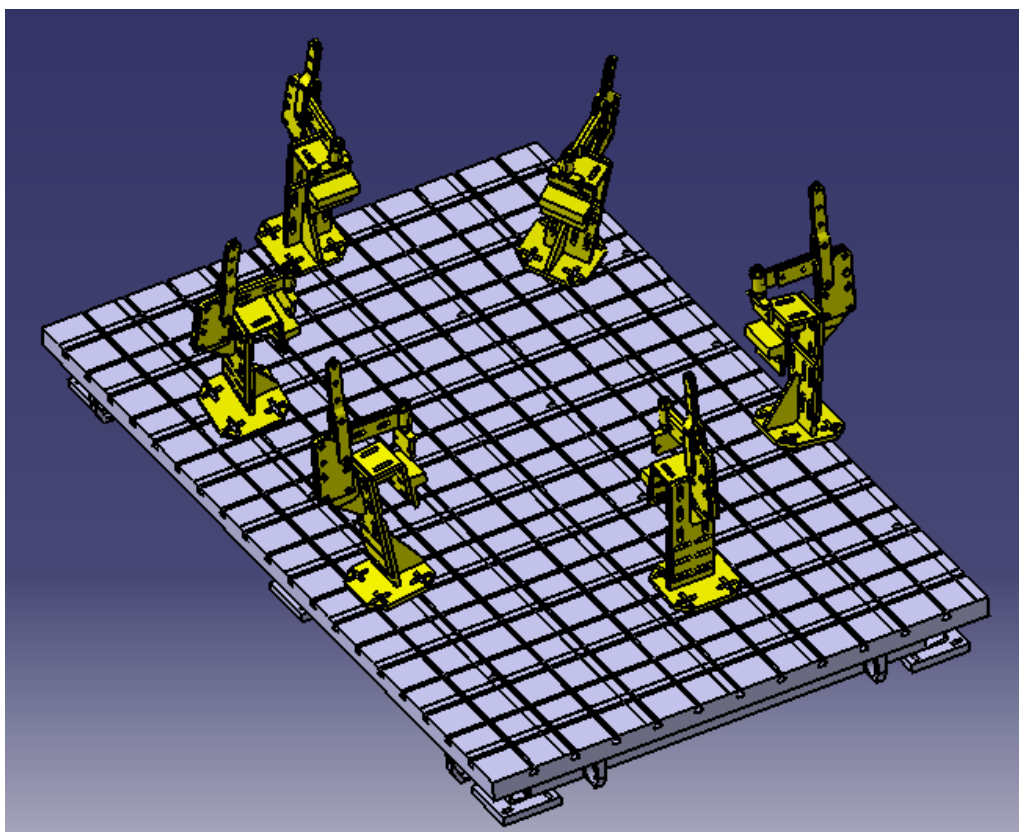


Слика 34. Коначан изглед врата након спајања

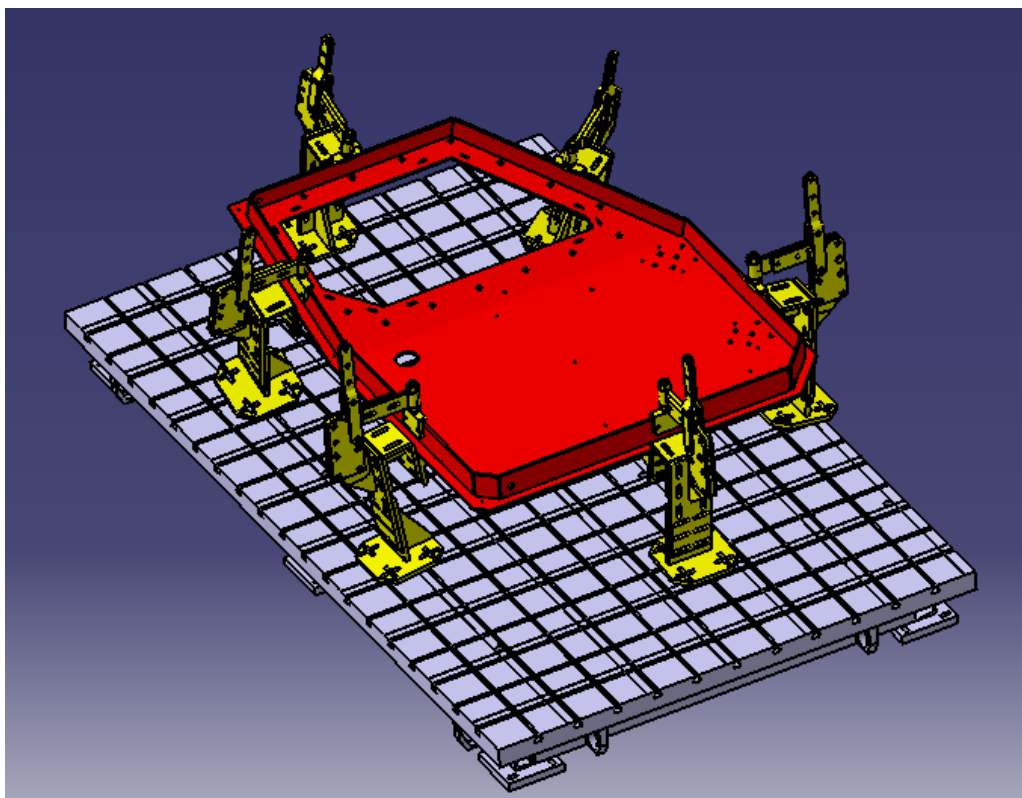
На сликама 35. до 36. приказан је изглед пројектованог флексибилног прибора.



Слика 35. Положај стезних ручица и делова врата на базној плочи

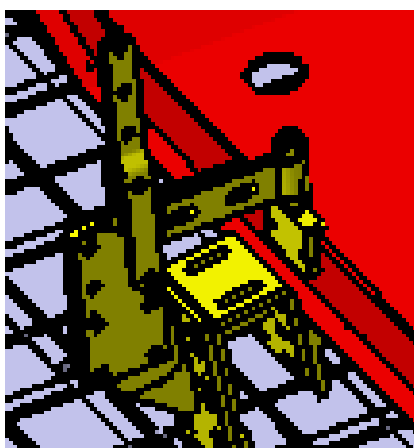


Слика 36. Флексибилни прибор



Слика 37. Флексибилни прибор након пројектовања

Пројектовани флексибилни стезни прибор (слика 37.) омогућава потпуно задовољавање захтева које каросеријски прибор треба да испуни, кроз употребу стандардних елемената система и могућност пројектовања и израду специфичних елемената (ослонаца, притискивача и слично) који би се користили при специјалним захтевима конфигурације готовог дела.



Слика 38. Флексибилни прибор са ручицама у положају стезања

Једна од основних карактеристика пројектованог флексибилног прибора је да се користећи расположиве носеће елементе могу, елементи за позиционирање, ослањање и стезање довести у било који положај у односу на базну плочу. На слици 38. види се положај стезне шапе модуларног стезног прибора у односу на ојачање врата.

Подешавање положаја елемената за позиционирање и ослањање је извршено пре постављање горњег обода врата. На слици 38. се такође може видети положај ових елемената као и стезних елемената пре подешавања по висини.

Пројектовани флексибилни стезни прибор омогућава потпуно задовољавање захтева које каросеријски прибор треба да испуни, кроз употребу стандардних елемената система и могућност пројектовања и израду специфичних елемената (ослонаца, притискивача и слично) који би се користили при специјалним захтевима конфигурације готовог дела.

Пројектовање прибора је извршено на основу претходно пројектованог готовог дела. Поред оваквог начина пројектовања, које је најчешће брже, једноставније и веома поуздано, пројектовање се може вршити и на бази 2D конструктивне документације при чему се врши мерење у одговарајућим координатним системима и постављање елемената за позиционирање, ослањање и стезање на дефинисана места.

Коришћењем 3D модела елемената за приборе великих димензија претходно се врши формирање одговарајуће модуларне решеткасте платформе на коју се постављају елементи за ослањање и позиционирање и постављају се делови модела каросеријског или другог склопа код којих је потребно одговарајућим операцијама вршити спајање. Након тога, врши се постављање елемената прибора за остала ослањања и стезања и специјалне ручице за стезање.

На сликама 39. , 40. дат је приказ стезног прибора који се већ користи у производњи.



Слика 39. Пример стезног прибора



Слика 40. *Стезни прибор који се користи у производњи*

Разлика у појединачној производњи стезног прибора и серијској производњи је велика. Пре свега је битно тачно позиционирати алат па након тога утврдити да ли је могуће тај алат производити у серијској производњи. Уколико је алат добро постављен, под одговарајућим угловима и одговара свим условима стезања одређеног комада, онда се тај алат може правити у серијској производњи.

Када се формира скуп одговарајућих алата за стезање одређеног комада, онда се може рећи да је тај алат спреман за серијску производњу. Разлика у таквом начину производње и појединачној производњи ја велика у смислу производности, лакшег и већег броја готових завршних комада.

6. Закључци

Откриће и сама примена ласера убрзава развој технологије. Примена ласера на различитим пољима омогућава нам лакше, брже и ефикасније обављање различитих послова. Сама заступљеност у медицини, астрономији и у војне сврхе говори о прецизности ласера и перфекцији обављеног посла. Ласерска употреба при резању, заваривању, гравирању, бушењу и осталим обрадама метала нам омогућава ефективнији учинак жељене обраде. Развој ласера је унапредио и развој РС технологије, не само израду рачунара већ и њихове меморије која временом добија све веће капацитете.

Технологија ласерског сечења је данас широко прихваћена метода контурног сечења у индустрији. Међутим, са развојем ласерске технологије и појавом ласера већих снага и бољих карактеристика снопа, као и развојем и применом нових материјала, отворена су нова поља истраживања и примене технологије ласерског сечења. Области истраживања су веома разноврсне, усмерене у више праваца и уско су повезане са најновијим трендовима примене ласерског сечења. Предлози за даља истраживања би могли да буду усмерени у више праваца:

- Истраживања ласерског сечења у области примене нових материјала,
- Истраживање примене нових метода ласерског сечења,
- Истраживање граничних могућности ласерског сечења.

Интензивни развој производа и производне опреме пратио је развој система пројектовања стезних прибора као веома битних чиниоца у процесу производње. Пројектовање и примена специјалних стезних прибора одговарају постављеним захтевима у условима масовне производње. Међутим, све чешћа потреба за променом карактеристика производа и потреба за све већом флексибилношћу производне опреме се одражава и на процес пројектовања и пословања са стезним приборима.

У складу са све израженијим потребама за истраживањима, израдом узорака и прототипова, као и израдом производа различитог асортимана у малим серијама, сворен је систем модулног стезног прибора. Предности овог система огледају се у веома високом квалитету и тачности израде елемената прибора, дугом веку трајања и употребом у практично неограниченом броју комбинација. Управо у тим чињеницама лежи економичност експлоатације модулних стезних прибора.

Висока цена једног комплета модулног стезног прибора настаје због коришћења скувих материјала, сложеног процеса израде елемената и наравно, због великог броја елемената који садржи један комплет. Велики број елемената је потребан из разлога што

се тиме постиже и велика флексибилност. Један модулни стезни прибор са комплетном гарнитуром елемената задовољава све постављене захтеве са конструктивног и техноекономског аспекта и омогућава задовољење основног циља без кога не би ни постојао, односно смањење јединичних трошкова производне операција, производа и производње уопште.

Флексибилни модулни стезни прибори имају велику примену у свим видовима производње у индустријски развијеним земљама. У домаћој металопрерађивачкој индустрији, због недостатка финансијских средстава и делом због недовољно обучених кадрова њихова примена је веома мала. Значајнија примена модулних стезних прибора се може остварити првенствено едукацијом током студија нових инжењера, едукацијом кадрова у предузећима металопрерађивачке индустрије путем семинара, курсева, конференција и сл., и оснивањем и постојањем самосталних предузећа која би се за потребе региона или шире бавило трговином, сервисирањем, производњом, изнајмљивањем, монтажом и осталим потребним пословима.

Полазећи од карактеристика процеса производње у Застава камионима, РЈ Каросерија, за израду великог броја варијанти возила у малим серијама, при чему се појављује значајан број склопова веома сложеног облика, за које је потребно имати приборе да би се постигао жељени квалитет и дугогодишњег рада на пројектовању сложених прибора за израду каросеријских склопова, дошло је до развоја и реализације прототипа флексибилног система за стезање делова при спајању елемената склопова.

Реализовани системи, засновани су на гарнитурџ одговарајућих елемената за позиционирање и стезање и основној плочи за њихово постављање и повезивање склопова мањих димензија и специјалних носећих везних елемената великих флексибилних прибора. То је омогућио добијање универзалних стезних прибора чиме су вишеструко снижени трошкови по јединици производа са аспекта цене коштања прибора, вишеструко скраћено време потребно за конструисање и израду прибора и вишеструко скраћено време за започињање производње.

Коришћењем флексибилних система остварена је и вишеструка помоћ при технолошким анализама израде склопова сложених просторних форми за серијску производњу.

7. Литература

- [1] Недић Б., Капларевић М., Флексибилни монтажни прибори за израду делова сложених просторних форми технологијама спајања, књига, Нови Сад 2008.
- [2] Вукелја, Д., Конструкција и прорачун помоћних прибора, Машински факултет, Крагујевац, 1978.
- [3] Јаковљевић Ј., Квалитет обраде ласером, дипломски рад, Крагујевац 2013.
- [4] Недић Б., Капларевић М., Flexible tool for positionoing and clamping the assemblz the car-body and other complex three dimensional forms, The Fifth International Conference Heavy Machinery НМ 2005, Краљево 2005.
- [5] Милановић И., Сечење ласером, семинарски рад, Висока школа техничких струковних студија, Чачак 2018.