

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Никола З. Јанковић

**Анализа израде делова од лима
технологијом савијања на апкант
пресама
мастер рад**

Крагујевац, 2019.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: CAD/CAM/CAE II

Број индекса: 404/2017

Никола З. Јанковић

Анализа израде делова од лима технологијом савијања на апкант пресама мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. Др Весна Мандић

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру мастер рада потребно је укратко описати хидрауличне пресе, са посебним фокусом на апкант пресе. У теоријском делу рада потребно је изложити основе технологије савијања лима и проблема који постоје у пројектовању технологије и алата а посебно у производном процесу. Анализу процеса савијања на апкант преси реализовати применом методе коначних елемената и софтверског пакета „Simufact.forming“. У ту сврху изабран је производ од лима компаније „Elvod“ који се производи на апкант преси.

Препоручена литература:

1. **Драгиша Вилотић**, *Машине за обраду деформисањем II део – хидрауличне пресе и чекићи*, помоћни материјал, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2010.
2. **Владимир Шолаја**, *Алати за обраду лима*, књига, Машински факултет, Београд, 1967.
3. **Миленко Јовичић, Љиљана Димитријевић – Марковић**, *Приручник за конструисање алата за обраду деформацијом*, књига, Београд, 1980.
4. **Весна Мандић**, *Физичко и нумеричко моделирање процеса обраде деформисањем*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2012.
5. **Весна Мандић**, *Моделирање и симулација у обради деформисањем*, Машински факултет, Крагујевац, 2005.
6. **Бранислав Девецић**, *Обрада метала деформисањем*, Београд, 1981.
7. **Србислав Александровић, Милентије Стефановић**, *Технологија пластичног обликовања метала*, Крагујевац, 2010.

Крагујевац, 2019.

Ментор:

Проф. Др Весна Мандић

Резиме: У оквиру овог рада описане су главне карактеристике процеса савијања лима. Описане су карактеристике и рад на хидрауличним пресама, са посебним акцентом на апкант пресе, с обзиром да се предметни обрадак за који је урађена анализа савијања обрађује на апкант преси. За анализу процеса савијања коришћен је програмски пакет „*Simufact.forming*“ и прорачунски модул базиран на методи коначних елемената. На крају су приказани резултати симулације процеса и дата анализа добијених резултата.

Кључне речи: савијање, апкант преса, „*Simufact.forming*“, анализа методом коначних елемената

Abstract: The main features of the sheet metal bending process are described in this paper. The characteristics and operation of the hydraulic presses are described, with particular emphasis on the abcant press, since the workpiece for which the bending analysis was made is processed on the abcant press. „*Simufact.forming*“ software and a finite element based calculation module were used to analyze the bending process. Finally, the results of the process simulation and the analysis of the obtained results are presented.

Key words: bending, abcant press, „*Simufact.forming*“, finite element analysis.

Садржај

1. УВОД.....	7
2. ОБРАДА МЕТАЛА ДЕФОРМИСАЊЕМ.....	8
2.1 САВИЈАЊЕ ЛИМА	9
2.1.1 Угаоно савијање	10
2.1.2 Кружно савијање	10
2.1.3 Остали типови савијања	11
2.2 ПОЛОЖАЈ НЕУТРАЛНЕ ОСЕ	12
2.3 ОДРЕЂИВАЊЕ РАЗВИЈЕНЕ ДУЖИНЕ	13
2.4 ДЕФОРМАЦИЈЕ ПРИ САВИЈАЊУ	14
2.5 ЕЛАСТИЧНА ПОВРАТНОСТ	16
2.5.1 Минималана вредност радијуса савијања.....	17
2.5.2 Максимална вредност радијуса савијања	18
3. ХИДРАУЛИЧНЕ ПРЕСЕ.....	20
3.1 РАДНИ ЦИКЛУС	22
3.2 РАДНА ТЕЧНОСТ	23
3.3 СТЕПЕН КОРИСНОГ ДЕЈСТВА ХИДРАУЛИЧНЕ ПРЕСЕ.....	25
3.4 ВРСТЕ ХИДРАУЛИЧНИХ ПРЕСА.....	25
3.5 ХИДРАУЛИЧНЕ ПРЕСЕ ЗА ОБРАДУ ЛИМА	26
3.5.1 Хидрауличне пресе за савијање.....	26
3.6 ХИДРАУЛИЧНА АПКАНТ ПРЕСА „ НАРА 80/30”	30
3.6.2 Пуштање пресе у погон и основне препоруке за подешавање и успешан рад пресе.....	37
Истовар и постављање пресе	37
Електрично прикључивање и пуњење уљем.....	37
Начин рада пресе	37
Поступак рада при положају ↓↑	37
Поступак рада при положају U	37
Регулисање паралелности.....	37
Контрола вођица	38
Рад изван средине стола	38
Измена алата, монтажа и подешавање.....	38
Подешавање потребног притиска.....	39
Зазор између алата.....	41
Одступања која се јављају приликом савијања профила од лима	41
4. ЕКСПРИМЕНТАЛНА ИСПИТИВАЊА МАТЕРИЈАЛА ЛИМА	43
4.1 ИСПИТИВАЊЕ ЗАТЕЗАЊЕМ.....	43

5. НУМЕРИЧКИ ЕКСПЕРИМЕНТИ	54
5.1 SIMUFAST.FORMING.....	54
5.2 МЕТОДА КОНАЧНИХ ЕЛЕМЕНАТА	54
5.3 МОДЕЛИРАЊЕ И СИМУЛАЦИЈА ПРОЦЕСА САВИЈАЊА.....	56
5.3.1 <i>Моделирање атата и припремка</i>	<i>57</i>
5.3.2 <i>Дефинисање улазних параметара симулације за све операције савијања.....</i>	<i>60</i>
5.3.3 <i>Резултати пробне симулације савијања.....</i>	<i>65</i>
5.3.4 <i>Резултати симулација савијања</i>	<i>68</i>
6. АНАЛИЗА ДОБИЈЕНИХ РЕЗУЛТАТА И ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА.....	73
ЛИТЕРАТУРА	76

1. Увод

Технологија пластичног обликовања лима подразумева његово трајно обликовање под дејством довољно великог спољашњег оптерећења. У индустрији и технологији пластичног обликовања лима у савременом свету, током задњих неколико деценија дошло је до значајнијих промена. Подигнут је ниво аутоматизације у фабрикама делова од лима.

У процесима пластичног обликовања није дозвољено прекорачење вредности граничних износа напона и деформација, јер се у противном разара структура материјала или појављују други неприхватљиви дефекти.

Савијање представља једну од најзаступљенијих метода обраде метала деформисањем. Да би компаније које се баве обрадом деформисањем лима биле успешне, неопходно је да прате савремене трендове у производњи и пројектовању и користе софтверске алате за симулацију и анализу процеса. Један од софтверских алата који је доступан за овакав тип моделирања је „*Simufact.forming*“, водећи програмски пакет у области компјутерског подржаног инжењерства. Користи се за компјутерску симулацију индустријских процес обликовања.

Циљ мастер рада је да се изврши анализа процеса савијања дела од лима на апкант преси кроз нумеричку симулацију процеса у програмском пакету „*Simufact.forming*“, уз претходно пројектовање дела и алата, које је реализовано у сарадњи са компанијом „*Elvod*“ из Крагујевца.

У другом поглављу дат је опис обраде метала деформисањем, дата је основна подела, описано подручје примене и представљене су предности обраде. Следи опис савијања где је дата подела савијања и основне фазе процеса. Описан је поступак одређивања неутралне осе савијања, развијеног стања, еластичне повратности као и минималног и максималног радијуса савијања.

У трећем поглављу описане су хидрауличне пресе са одговарајућом поделом. Детаљно је описана хидраулична апкант преса „*НАРА 80/30*“ која се користи у производном погону компаније „*Elvod*“.

У четвртом поглављу приказана су поступак и резултати експерименталног испитивања материјала лима, односно одређивања криве ојачања тестом затезања..

У петом поглављу дат је кратак приказ програмског пакета, приказани су улазни подаци за спроведене нумеричке експерименте као и резултати симулација четири операције савијања лима, до добијања коначног облика обратка.

На крају завршног рада дата је упоредна анализа добијених резултата, закључна разматрања. као и преглед коришћене литературе.

2. 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 [1].

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[1].

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 [2]:

- 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 [2]:

- 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 растеређења. 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 [2].

2.1 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 2.1. приказани су делови добијени технологијом савијања.



Слика 2.1. Делови добијени технологијом савијања [15]

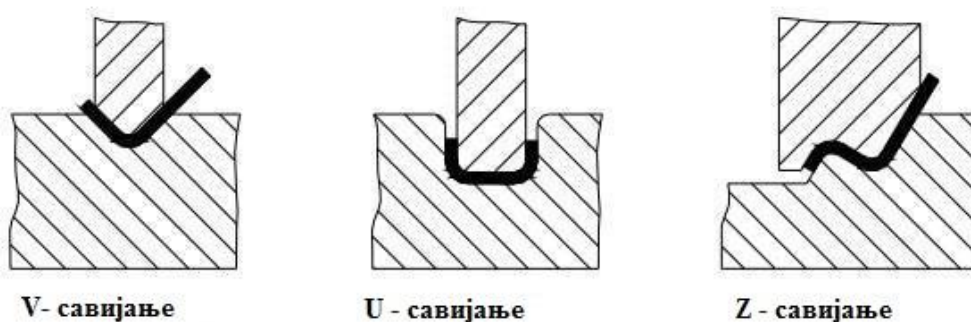
Процес савијања се изводи у зависности од намене производа и у зависности од димензија и облика комада на [1]:

- Алатима монтираним на пресама (кривајним, коленастим, хидрауличним, ексцентричним, фриксионим и специјалним пресама),
- Ваљцима на ротационим машинама и
- Посебним уређајима на специјалим 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 [1].

2.1.1 Угаоно савијање

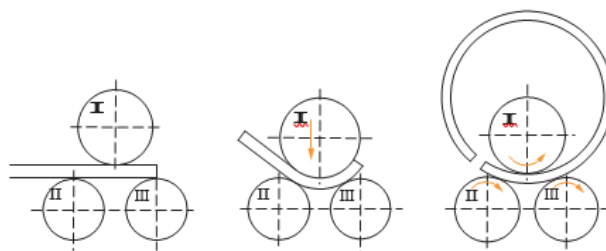
Угаоно савијање је изводи у алатима који се постављају на пресе (кривајне, хидрауличне и др.) или на специјалним пресама. Савијање може бити једноугаоно, двоугаоно и вишеугаоно (слика 2.2.). Дужина комада који се савија може достићи и до неколико метара. Ова три облика савијања се означавају симболима и то: V – једноугаоно, U – двоугаоно, Z – вишеугаоно [3].



Слика 2.2. Основни облици угаоног савијања [4]

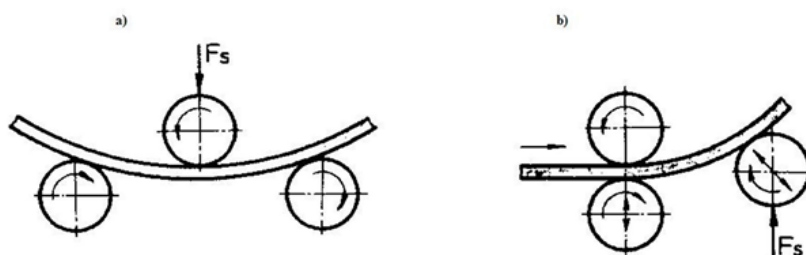
2.1.2 Кружно савијање

Кружно савијање се изводи на ротационим машинама за савијање, где су основни радни елементи ваљци (слика 2.3.). Савијање се изводи без алата, те у овом случају улогу алата имају ваљци машине. Процес се иводи 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 [5].



Слика 2.3. Кружно савијање помоћу ваљака [6]

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 дебљих лимова преко 2 mm. Код другог случаја притискивач је трећи ваљак који има ексцентрични положај. Овај начин се примењује за деформисање танких лимова [5].

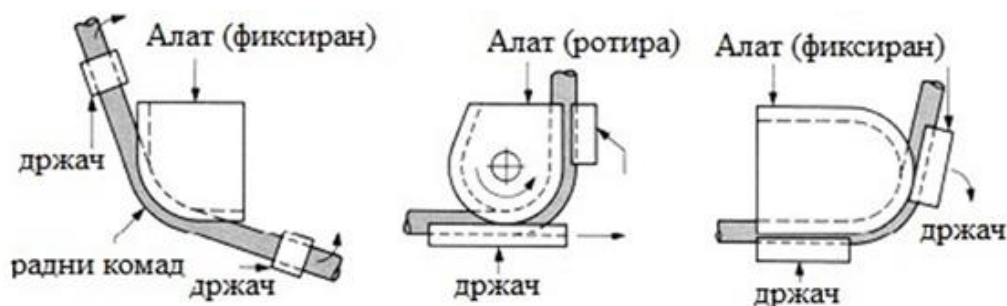


Слика 2.4. Типови кружног савијања [5]

2.1.3 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.

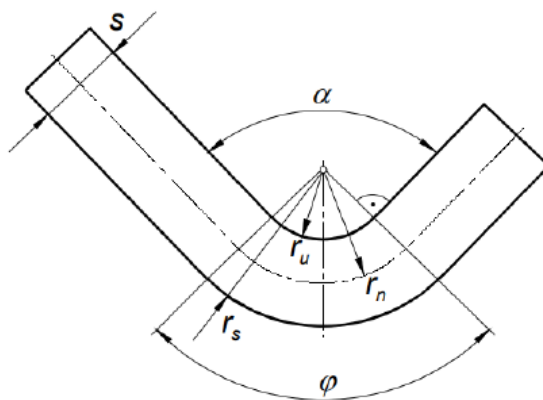
Савијање цеви и других кружних профила захтева примену посебних алата (слика 2.5.) и машина како би се спречила или у прихватљивој мери компезовала појава неконтролисаних деформација у зони савијања у виду набора, нежељеног деформисања попречног пресека профила и лома. Најстарији начин се састоји у пуњењу шупљина деформабилним материјалом. Показало се да је песак најпогоднији за ову намену, али се и поред њега користи гума и слични синтетички материјали [5].



Слика 2.5. Поступак савијања цеви [5]

2.2 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 [2]. Положај радијуса неутралне зоне приказан је на слици 2.6.



Слика 2.6. Положај радијуса неутралне зоне [2]

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 [2]:

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

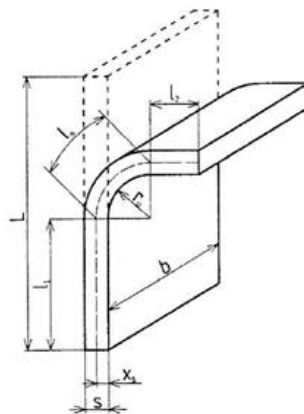
Полупречник r_n се може одредити и преко коефицијента померања неутралног слоја (x) [2]:

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

Коефицијент x је емпиријска величина и даје се табеларно и зависи од односа r_u/s . Најчешће се користи за угао од 90° [2].

2.3 Одређивање развијене дужине

Развијена дужина комада одређује се на основу цртежа савијеног комада. Развијена дужина је једнака дужини неутралне осе савијеног комада [1].



Слика 2.7. Прорачун савијене зоне [7]

Развијена дужина лима једнака је збиру дужина лукова неутралне осе у зонама савијања и дужини несавијених делова (слика 2.7.). 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:

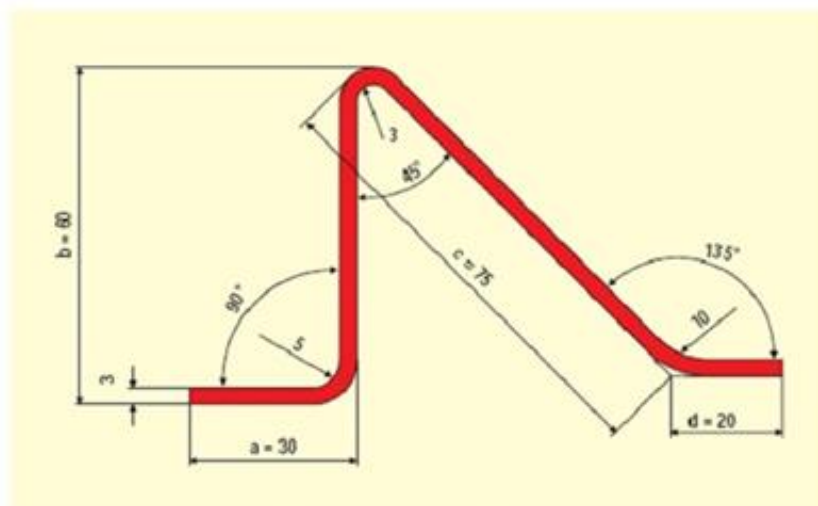
$$L = l_1 + l_2 + l_n$$

Ако је n број равних делова и k број зона савијања, дужина почетног комада одређује се помоћу следећег израза [1]:

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

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 2.8.



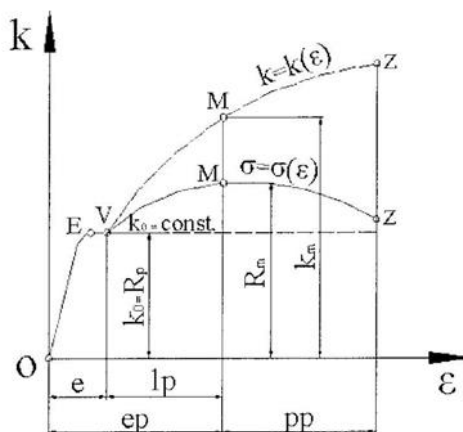
Слика 2.8. Савијено и развијено стање лима [7]

2.4 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 [3].

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 [3].

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 2.9. приказан је дијаграм подручја савијања [3].

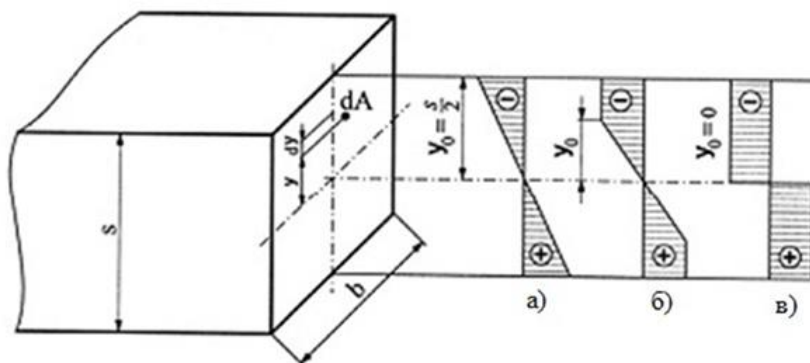


Слика 2.9. Дијаграм подручја савијања [3]

Где су:

- e – еластично подручје савијања,
- lp – линерно пластично подручје савијања,
- ep – еластично - пластично савијање и
- pp – чисто пластично савијање.

На слици 2.10. приказане су промене напона у влакнима у зависности од одстојања од неутралне линије.

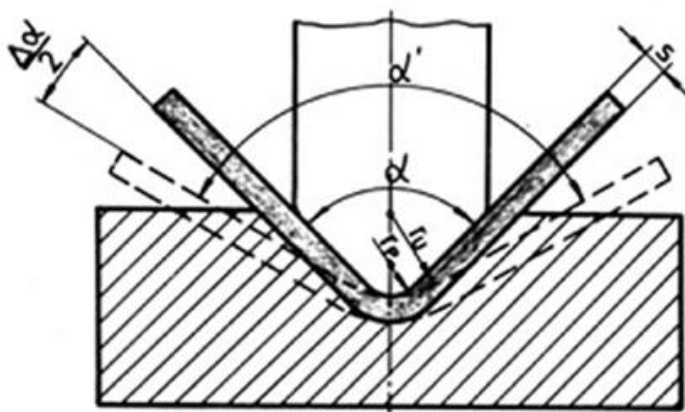


Слика 2.10. Промене напона у зависности од одстојања од неутралне линије [3]

Први случај (слика 2.10.а) представља еластичну деформацију. Напон је пропорционалан растојању влакна од неутралне осе тако да максимална вредност не прелази вредност напона на граници развлачења. Други случај (слика 2.10.б) 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 (слика 2.10.в) 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 [3].

2.5 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 (слика 2.11.). Ова појава се зове еластично исправљање или повратност [2].



Слика 2.11. Промена угла услед еластичног исправљања [2]

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 [2].

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 [3].

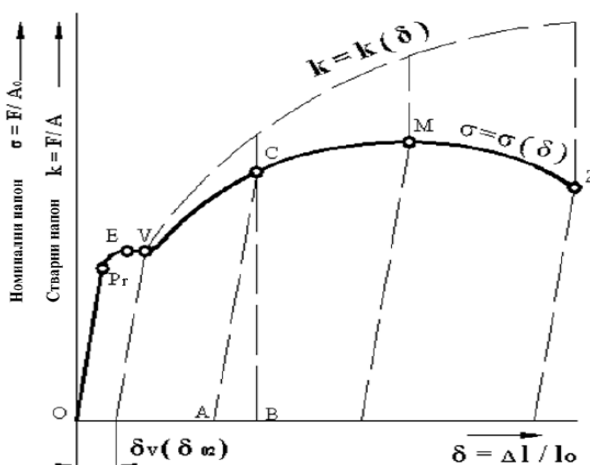
У табели 2.1. приказани су подаци величине угла еластичног исправљања при савијању са углом $\alpha = 90^\circ$, за одређене врсте материјала у зависности од дебљине [3].

Табела 2.1. Величине угла исправљања при савијању [3]

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

2.5.1 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 2.12.) [1].

**Слика 2.12.** Дијаграм затезања [1]

Образац за одређивање минималног радијуса савијања је [1]:

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

Кроз праксу се користи образац:

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

Одређивање фактора c врши се на основу емпириског образаца [1]:

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

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 2.2. дате су вредности факста c за одређене врсте материјала [8].

Табела 2.2. Вредности фактора c за одређене врсте материјала [8]

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

2.5.2 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 $r_{u \max}$ [1].

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

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 [1]:

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

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 [1].

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.

3. Хидрауличне пресе

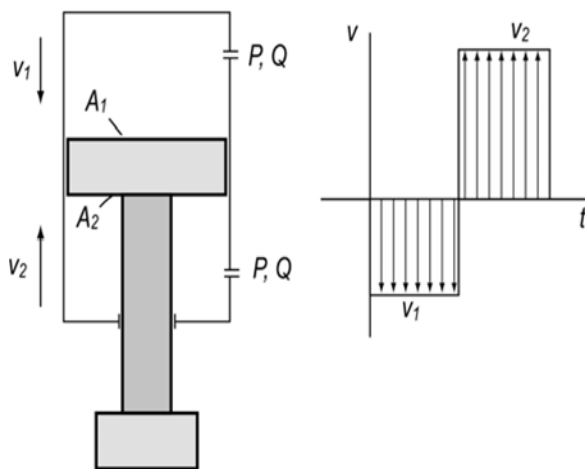
Хидрауличне пресе су машине статичког дејства код којих се потенцијална енергија течности под притиском претвара у механички рад. Њихова главна карактеристика је сила која деформише. Номинална сила машине дефинисана је номиналним притиском радне течности (P) и површином цилиндра (A) [9]:

$$F_n = P \cdot A$$

Брзина притискивача код хидрауличних преса зависи од протока течности (Q) и попречног пресека радног цилиндра (A) [9]:

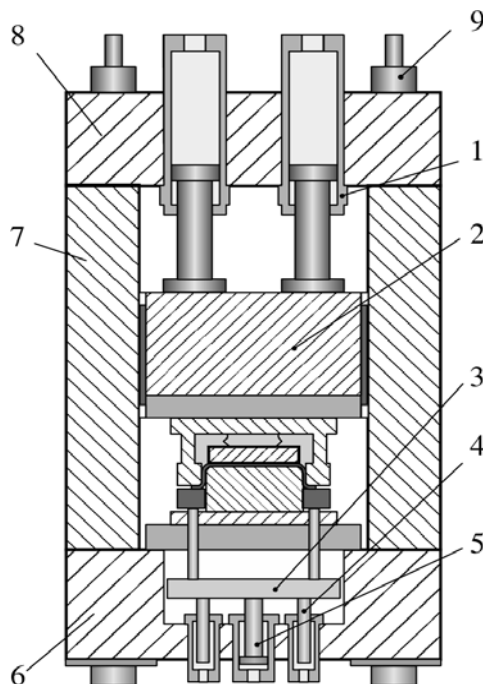
$$v = \frac{Q}{A}$$

Ако се проток не мења тада је брзина притискивача константна у одређеној фази рада машине (слика 3.1.). 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 [9].



Слика 3.1. Брзина притискивача код хидрауличне пресе [9]

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 [9].



Слика 3.2. Шема хидрауличне пресе са позицијама [9]

На слици 3.2. приказана је 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 [9]:

- Пресе једноструког дејства и
- Пресе вишеструког дејства.

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

Основни системи хидрауличне пресе су [9]:

- 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 преса 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 преса 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 [9].

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.

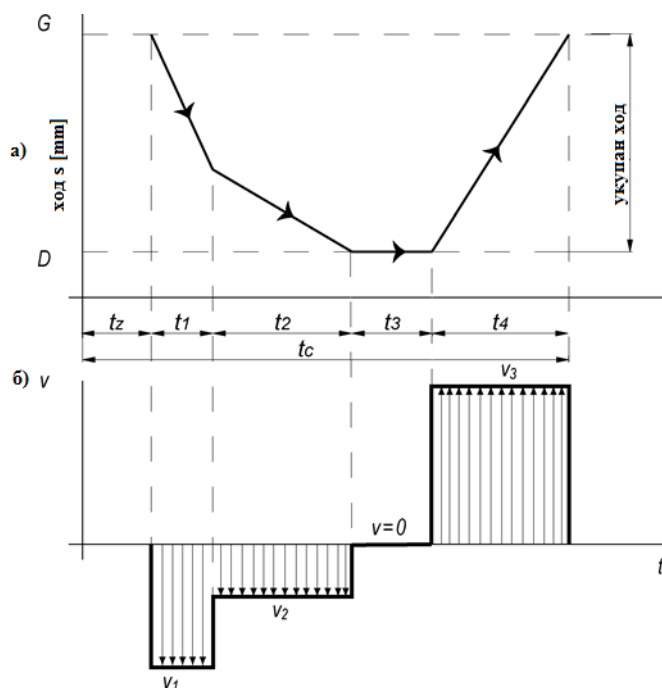
Носећа структура хидрауличне пресе обједињује све делове у јединствену целину, а може бити отворена и затворена [9].

У погледу намене хидрауличне пресе се деле на [9]:

- 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.

3.1 Радни циклус

Радни циклус хидрауличне пресе приказан је на слици 3.3.



Слика 3.3. Радни циклус пресе: а) дијаграм хода притискивача, б) дијаграм брзине притискивача [9]

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

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 [9]:

- 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.

3.2 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 [9].

Радна течност код хидрауличних преса може бити [9]:

- 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 [9]:

- 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) [9].

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 [9].

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 [9].

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 [9].

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 [9].

3.3 Степен корисног дејства хидрауличне пресе

Степен корисног дејства хидрауличне пресе одређује се на основу корисне и укупне енергије једног радног циклуса [9]:

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

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.

3.4 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 пресима. 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 [9].

Основне техничке карактеристике хидрауличних преса проистичу из технолошких захтева појединих метода обраде, те се отуда подела хидрауличних преса може извршити на следећи начин [9]:

- 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.

3.5 Хидрауличне пресе за обраду лима

У групу хидрауличних преса за обраду лима спадају [9]:

- 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.

3.5.1 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 [9].

За израду профила од танког лима веће дужине (неколико метара) примењују се хидрауличне абкант пресе (слика 3.4.). 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 [9].

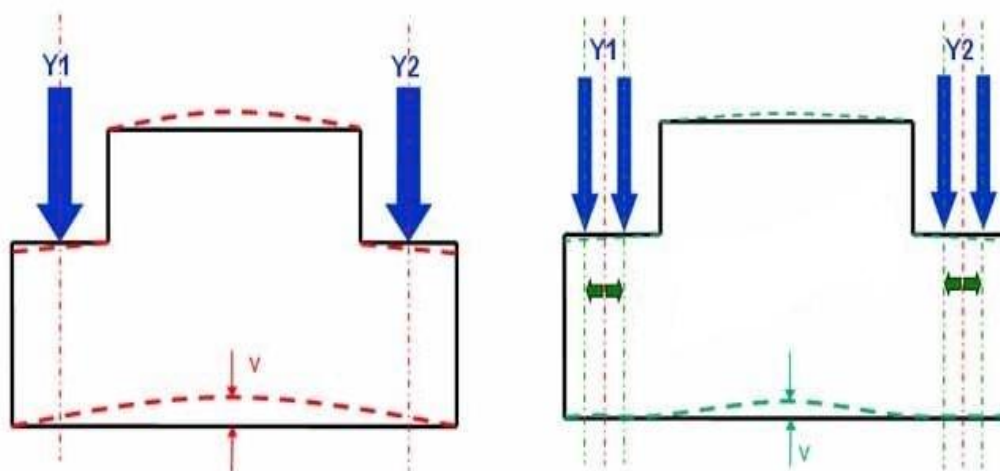
Код савремених хидрауличних апкант преса можемо да имамо пуну контролу појединих оса [9]:

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



Слика 3.4. Хидраулична апкант преса [10]

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 3.5.) [9].



Слика 3.5. Погон са четири хидраулична цилиндра [9]

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 3.6.) [9].



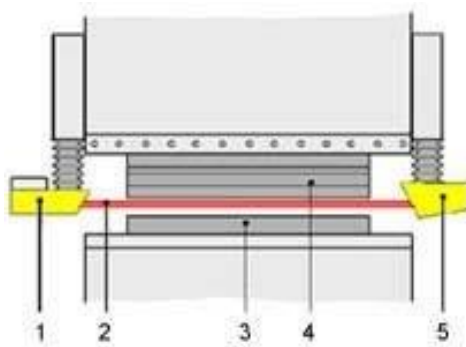
Слика 3.6. Хидраулична апкант преса са роботом за манипулацију обратком [9]

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 [9]:

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

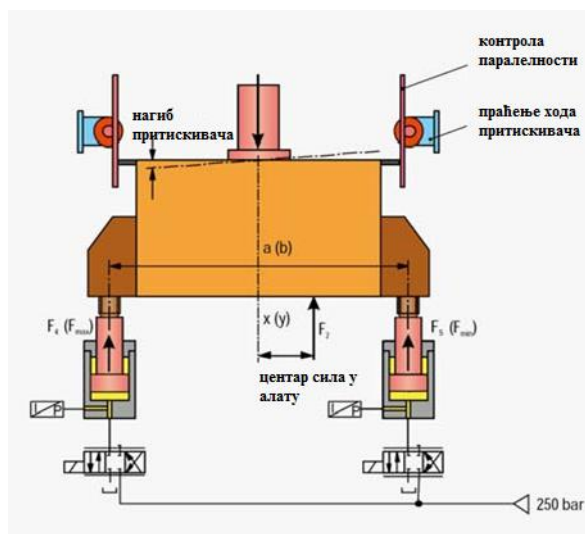
На слици 3.7. приказан је ласерски систем заштите који је веома примењиван у производњи. Поред ласерског система заштите веома су примењивани и дворучно укључивање машине и ножно управљање [9].



Слика 3.7. Ласерски заштитни систем: 1 - трансмитер, 2 – ласерски зрак, 3 – доњи алат, 4 – горњи алат, 5 – фоторецептор [9]

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 3.8., које је засновано на праћењу померања крајева притискивача и активирању додатне количине течности у одговарајући цилиндар [9].



Слика 3.8. Систем за одржавање паралелности притискивача код хидрауличне апкант пресе [9]

3.6 Хидраулична апкант преса „НАРА 80/30”

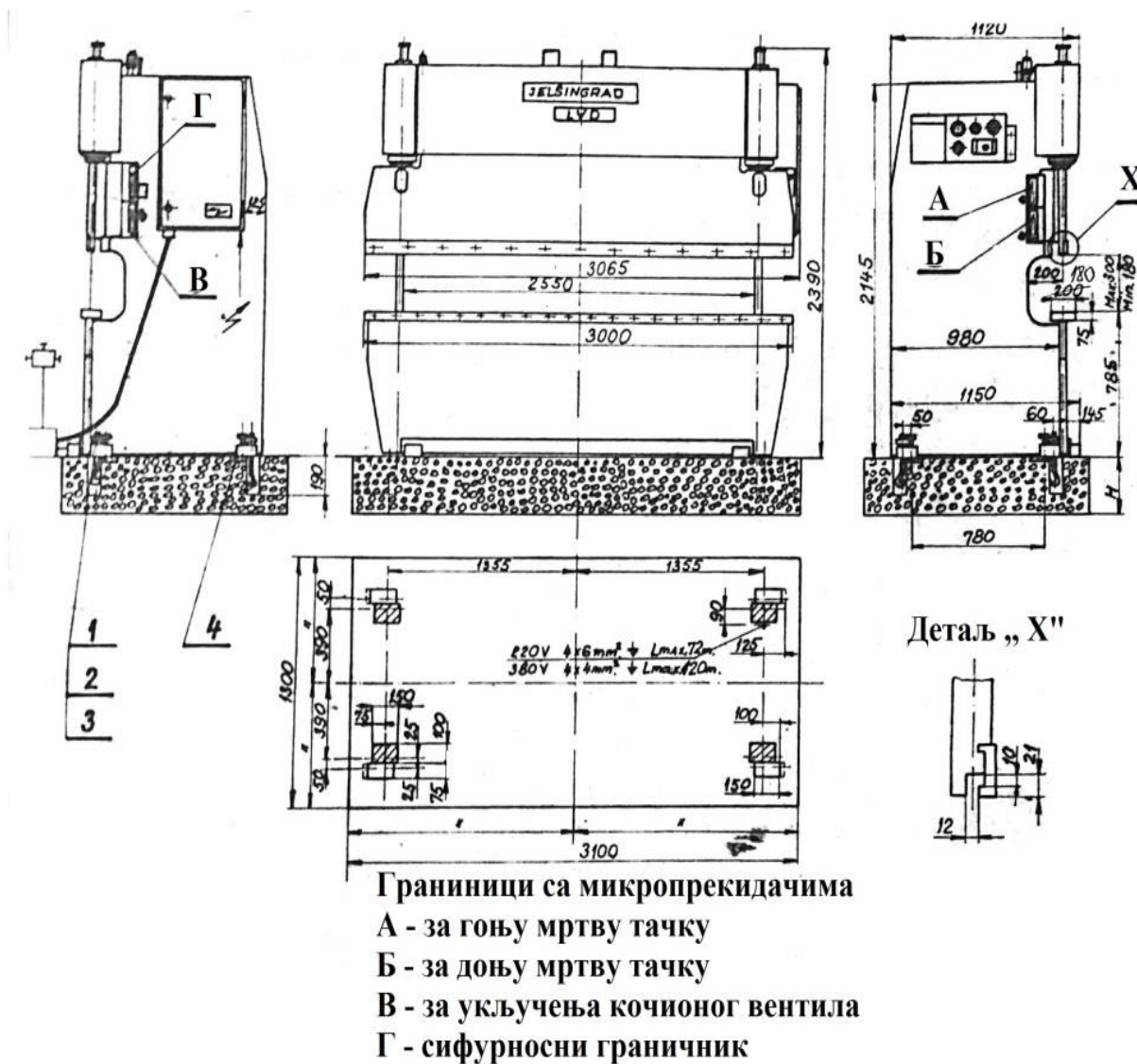
Хидраулична апкант преса „НАРА 80/30” је преса коју производи предузеће „*Jelšingrad*”. Ова преса се користи у компанији „*Elvod*” у технологији савијања лима која је предмет овога рада.

Предузеће „*Jelšingrad*” основано је 1937. године и специјализовало се за производњу алатних машина за обраду метала деформисањем и до данашњег дана препознатљиво је управо у том домену, а посебно у производњи хидрауличних преса за савијање лима, хидрауличних маказа и ексцентар преса. Предузеће данас послује под именом „*Novi Jelšingrad*” и запошљава стручњаке из различитих области који обезбеђују врхунски квалитет производа поштујући еколошке и друштвене карактеристике [11].

Технички подаци хидрауличне апкант пресе „НАРА 80/30” [12]:

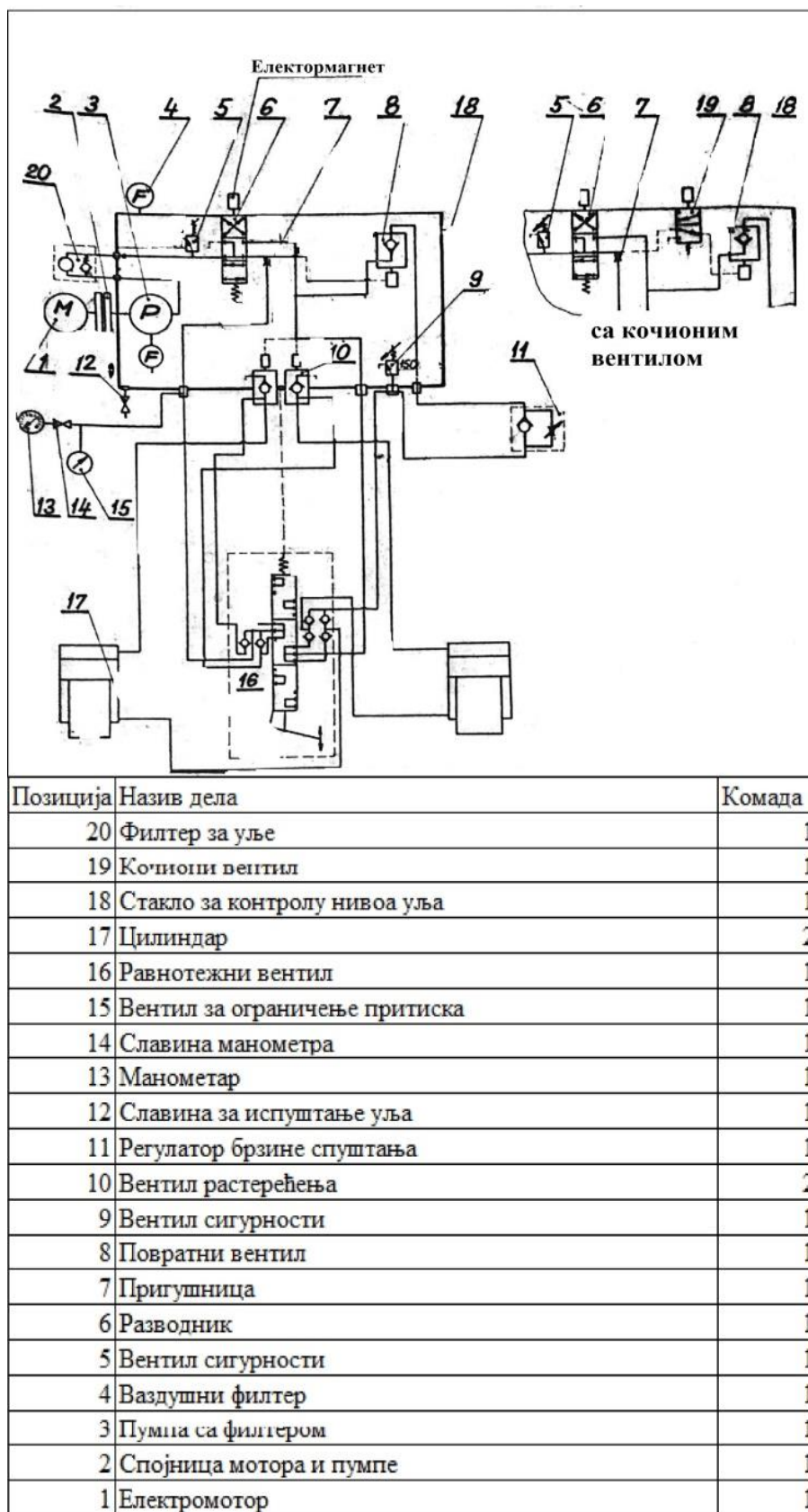
- Максимална сила – 800 kN,
- Максимални притисак – 290 bar,
- Радна дужина – 3000 mm,
- Размак између страница – 2550 mm,
- Максимални ход притискивача – 120 mm,
- Максимални ход механичког граничника – 100 mm,
- Максимални размак између стола и притискивача – 300 mm,
- Упуст у страницама – 200 mm,
- Ширина стола – 200 mm,
- Максимална брзина спуштања – 100 mm/s,
- Радна брзина – 9 mm/s,
- Повратна брзина – 55 mm/s и
- Снага мотора – 5,5 kW.

На слици 3.9. је дат приказ пресе и означене неке од техничких карактеристика које су повише наведене, а на слици 3.10. дата је шема хидрауличне пресе.



Слика 3.9. Техничке карактеристике пресе [12]

Према шеми хидрауличне пресе (слика 3.10.) видимо да електромотор (1), преко електричне спојнице (2), предаје снагу на вратило пумпе (3). Пумпа, преко филтера на усисном воду усисава уље и шаље га кроз додатни филтер (20), преко усисног вентила (5) у разводник (6). Ако је разводник у средњем положају, уље улази у резервоар. Притиском на једну од папуча ножног двоструког прекидача долази до активирања електромагнета у разводнику, који помера клип из средњег положаја и то притиском на папучу за знаком ↓ (радни ход машине), или притиском на папучу са знаком ↑ (повратни ход машине) [12].



Слика 3.10. Шема апкант пресе [12]

Притиском на папучу за знаком ↓ (радни ход машине), клип разводника помера се према горе у односу на средњи положај. На овај начин остварује се веза са горњом

страном цилиндра. Ту долази до тога да уље под притиском се грана на два вода, један долази до повратног вентила (8) и отвара га подизањем куглице. Други вод иде преко пригушнице (7) и равнотежног вентила (16) до горње стране цилиндра (17). На овај вод је прикључен манометар (13), славина манометра (14) и вентил за ограничавање притиска (15).

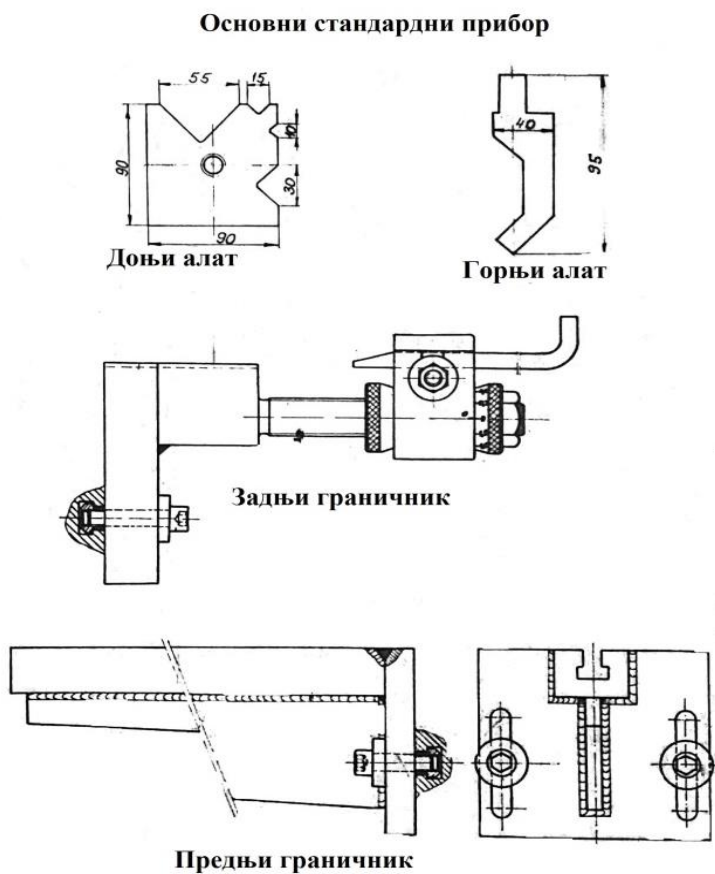
Пошто је повратни вентил (8) отворен, услед тежине притискивача и клипова, долази до истискивања уља из доње стране цилиндра, који у повратном воду преко равнотежног вентила (16), сигурносног вентила (9), регулатора брзине спуштања (11) и повратног вентила (8), преко разводника (6) долази у резервоар. Брзина спуштања притискивача пресе зависи од тога колико је отворен вентил (11). Максимално отварање овог вентила обезбеђује брзину спуштања од 100 mm/s. Вентил сигурности (9) служи за осигурање вода доње стране цилиндра [12].

Притиском на папучу са знаком $\uparrow$ (повратни ход машине) клип разводника помера се према доле у односу на средњи положај. Тако је остварена веза са доњом страном цилиндра. Уље под притиском (1) долази до разводника (6), затим од разводника преко равнотежног вентила (16), до доње стране цилиндра (17). На путу од разводника до равнотежног вентила (16) имамо два гранања вода. Прво је скретање уља преко повратног вентила (8), регулатора брзине спуштања (11) и вентила сигурности (9) до равнотежног вентила (16), који је затворен. Друго гранање доводи уље до два вентила растерећења (10) и отвара их. Пошто је уље извршило притисак на доње стране цилиндра, уље из њихових горњих страна истиче преко вентила растерећења (10) у резервоар. Овај повратни вод од вентила растерећења (10), везан је такође са резервоаром преко равнотежног вентила (16), пригушнице (7) и разводника (6), уз једно гранање вода до слаvine манометра (14) и манометра (13).

Употребом кочионог вентила омогућено је успоравање кретања притискивача на жељеној удаљености до доњег алата. На овај начин можемо искористити максималну брзину спуштања притискивача све до мале удаљености од доњег алата, а затим након успорења можемо оптеретити пресу [12].

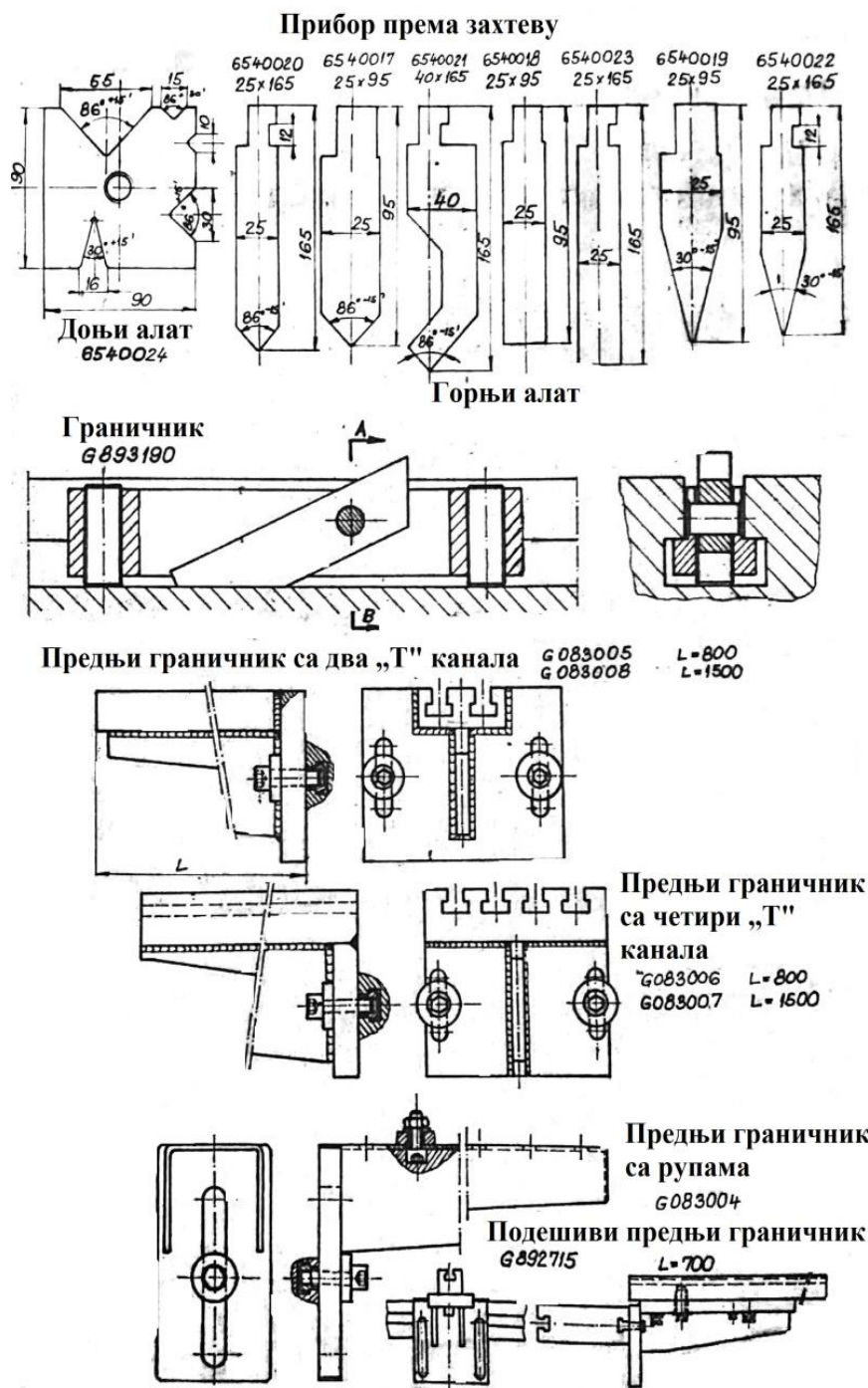
3.6.1 Оновни стандардни прибор, прибори према захтеву и примери савијања

Основни стандардни прибор као и задњи и предњи граничник приказани су на слици 3.11.



Слика 3.11. Стандардни прибор са задњим и предњим граничником [12]

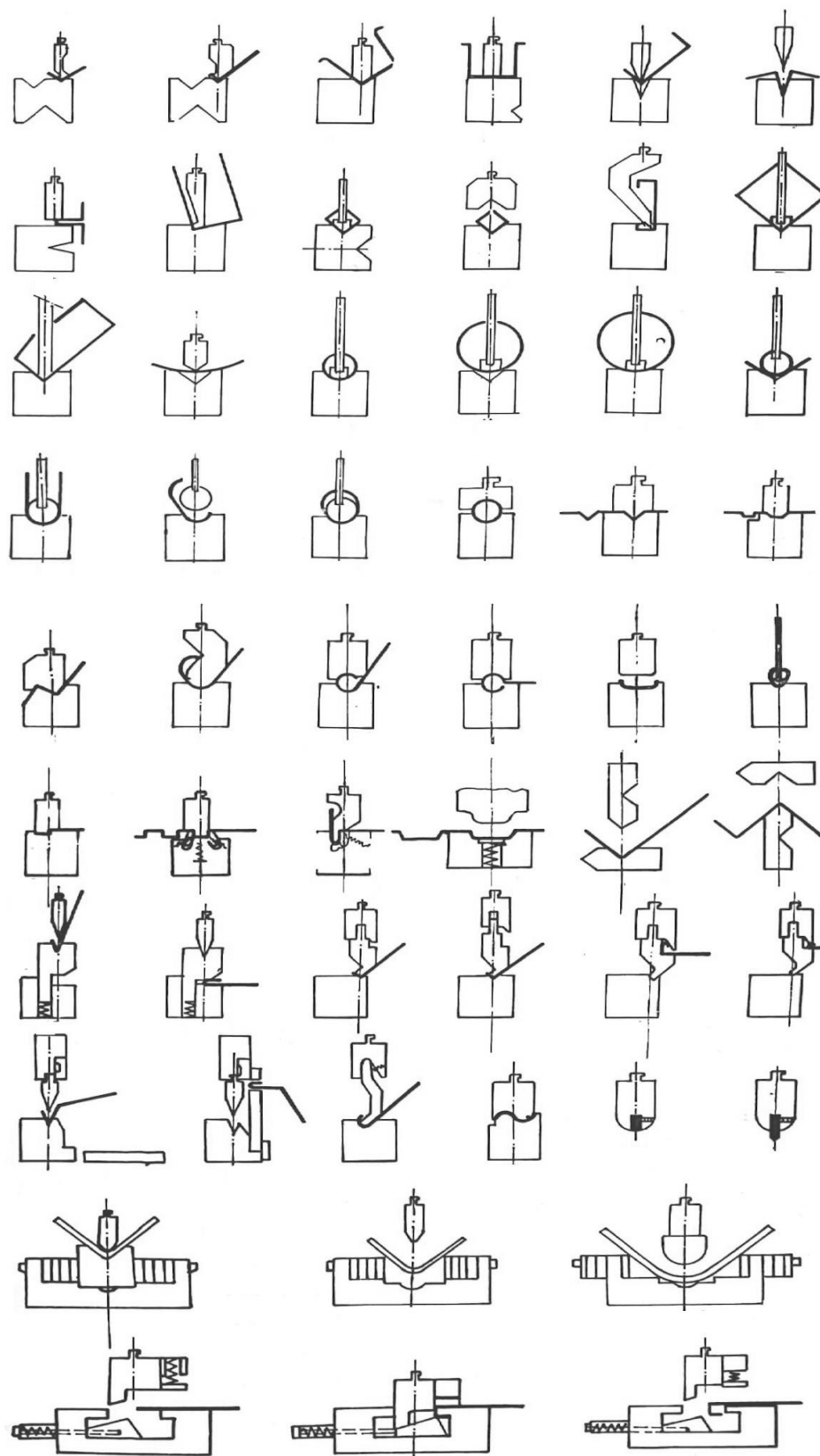
Поред стандардног прибора за пресе некада захтевану обраду није могуће одрадiti стандардним прибором па се користе прибори према захтеву (слика 3.12.).



Слика 3.12. Прибор према захтеву [12]

У зависности од прибора који користимо можемо извршити различита савијања и она су приказана на слици 3.13.

Примери савијања на стандардним и специјалним алатима



Слика 3.13. Различити поступци савијања на апкант преси [12]

3.6.2 Пуштање пресе у погон и основне препоруке за подешавање и успешан рад пресе

Истовар и постављање пресе

На горњем делу пресе постоје две заварене плоче са отворима. Помоћу ових отвора преса се може закачити за дизалицу и преместити на жељено место. Маса машине је 5700 kg. У постољу пресе налазе се 4 вијка помоћу којих се врши подешавање. Сто пресе треба изравнати при постављању пресе [12].

Електрично прикључивање и пуњење уљем

Прикључивање на електро мрежу врши се помоћу стезалки R, S, T, које се налазе у електро ормару. Резервоар за уље налази се у средини горњег дела пресе. Пре пуњења резервоара треба детаљно очистити све како не би дошло до уласка нечистоћа у уље. Садржај резервоара за уље је 150 l. Пожељно је користити уља која препоручује произвођач пресе [12].

Начин рада пресе

Са леве стране смештен је хидраулични ормарић у коме се налазе: вентил за ограничавање притиска, регулатор брзине спуштања, славина манометра, манометар, бројач окретаја, таблица за одређивање силе савијања. Електрични ормар се налази са десне стране. У овом ормару налази се главна склопка са положајима 1 – укључено и 0 – искључено, два тастера за укључивање и искључивање мотора пумпе. На овом ормарићу се налази прекидач врсте рада са два положаја $\downarrow\uparrow$ и U [12].

Поступак рада при положају $\downarrow\uparrow$

Притиском на папучу ножног двоструког прекидача са ознаком $\downarrow$ (доле), притискивач се креће ка доњем алату. Притиском на папучу са знаком $\uparrow$ (горе) притискивач се одмиче од доњег алата. Тиме положај $\downarrow\uparrow$ служи за примицање и одмицање горњег алата према доњем алату. Коришћењем овог положаја треба обратити пажњу да притискивач остане у доњој мртвој тачки док се не притисне папуча са онаком $\uparrow$ (горе) [12].

Поступак рада при положају U

Притиском на папучу са ознаком $\downarrow$ (доле) притискивач иде до доње мртве тачке. Тада притисак расте до подешене вредности и тада вентил за ограничавање притиска укључује повратни ход. Подешавање жељеног притиска врши се окретањем точића на вентилу за ограничавање притиска [12].

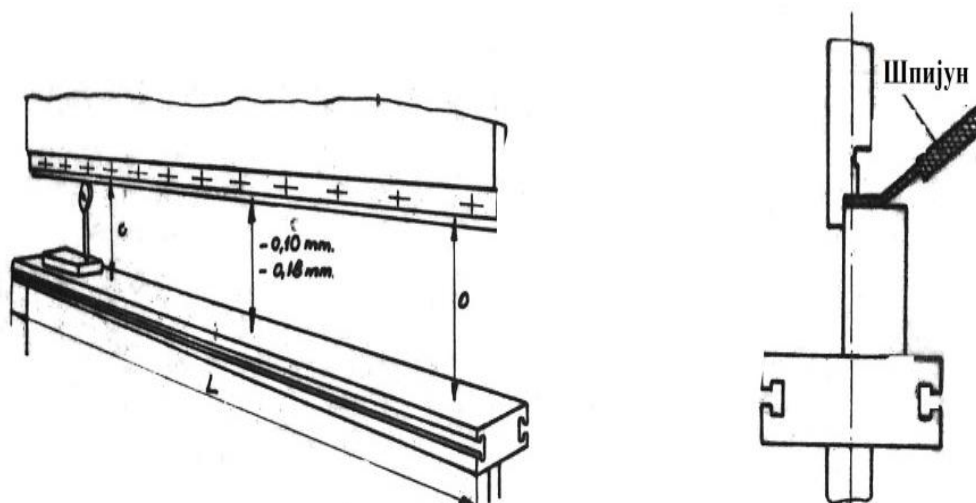
Регулисање паралелности

За добар рад пресе најважнија регулисања су [12]:

- Паралелност између притискивача и стола и
- Подешавање клипа у равнотежном вентилу.

Ручицу преклопника врсте рада на електричном ормарићу треба поставити у положај $\downarrow\uparrow$. Притискивач онда треба довести на граничнике у цилиндру брзином 40 mm/s.

Растојање на оба краја мора бити исто. Одступање не сме бити веће од 0,1 до 0,18 mm (слика 3.14.).



Слика 3.14. Одступање паралелности код апкант пресе [12]

Уколико не поседујемо компаратер, паралелност се може проверити помоћу два једнака подметача и „шпијуна“ (слика 3.14.). Вредност од 0,1 до 0,18 односи се на апкант пресу „НАРА 80/30“ и такође зависи од дужине стола [12].

Контрола вођица

Пре саме контроле неопходно је подмазати вођице. Притискивач треба подићи и пустити да пада брзином од 100 mm/s. Уколико се ова брзина не постигне неопходно је регулисање вођица према правилима произвођача пресе. Максимална брзина од 100 mm/s се постиже потпуним отварањем регулатора брзине спуштања [12].

Рад изван средине стола

Код рада изван средине стола потребно је извршити корекцију равнотежног вентила због тога што долази до одступања услед рада изван средине стола. На слици 3.15. приказана је ситуација код рада изван средине стола [12].



Слика 3.15. Рад изван средине стола [12]

Измена алата, монтажа и подешавање

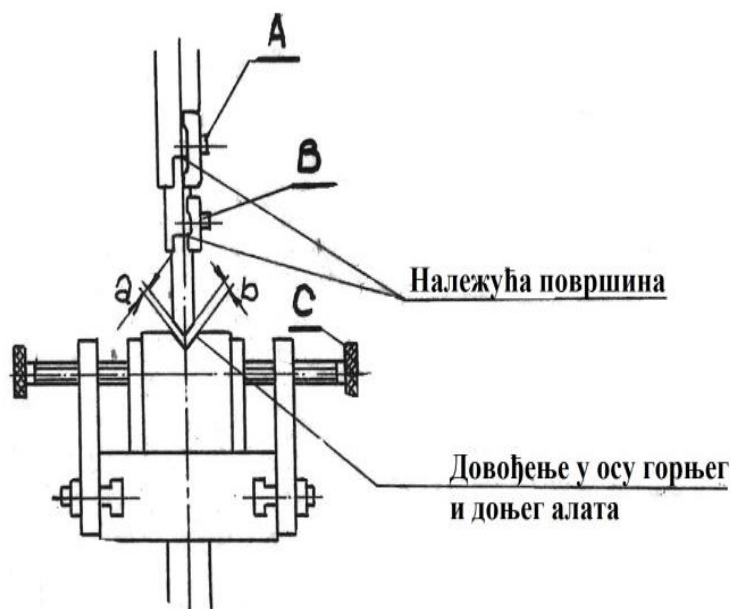
Тачност и паралелност савијених делова највише зависи од [12]:

- Тачности алата и
- Тачности дебљине лима.

Након сваке промене алата неопходно је проверити паралелност иако је машина претходно регулисана. Уколико постоји било каква грешка прво се морају отклонити грешке пре него што се машина пусти у рад.

За успешно функционисање при раду потребно је испунити следеће услове приликом монтирања и подешавања горњег алата, доњег алата и међуалата. Неопходно је [12]:

- Остварити налегање између притискивача, међуалата и горњег алата,
- Горњи и доњи алат довести у осу,
- Горњим алатом извршити притисак од 30 бара на доњи алат, и док је алат под притиском извршити стезање вијка А и В приказаних на слици 3.16.



Слика 3.16. Монтажа и подешавање алата [12]

- Подићи горњи алат на одређену висину па извршити подешавање доњег алата помоћу контролних листића, тако да $a = b$ као на слици 3.16. Након подешавања извршити стезање вијка „с”.

Подешавање потребног притиска

За савијање лима на хидрауличним апкант пресема потребно је поставити одређену силу савијања, зависно од врсте материјала, отвора у доњем делу, радијуса савијања и дебљине лима који се савија. На машини, као и у каталогу, постоји табела са силама савијања коју препоручује произвођач [12].

Регулисање хидрауличног притиска у инсталацији вршимо помоћу вентила за ограничење притиска, а вредност се читава на манометру.

Величина притиска дата је односом [12]:

$$p' = \frac{p \cdot P}{P_n}$$

p' – потребан притисак (bar),

p – максималан притисак у инсталацији (bar),

P – потребна сила (kN) и

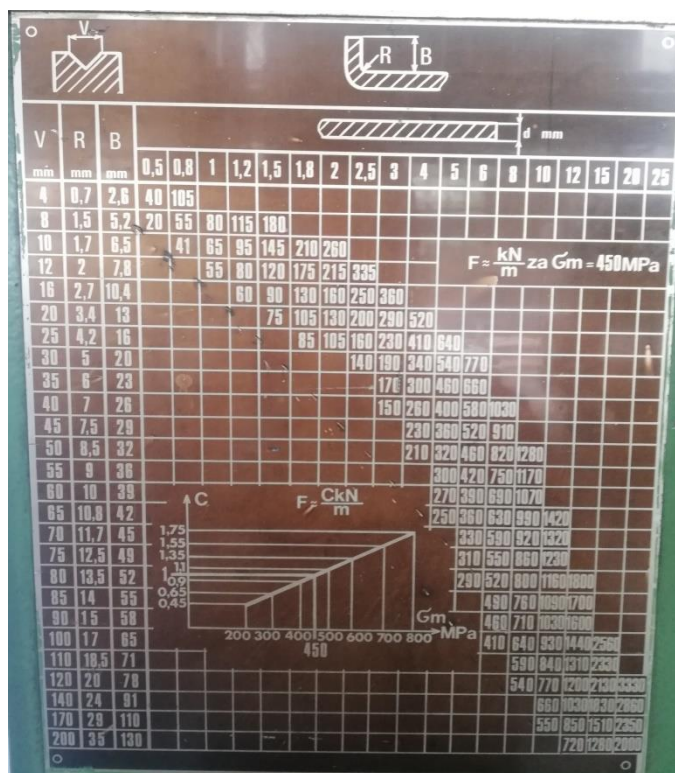
P_n – називна сила машине (kN).

Пример:

Потребно је одредити хидраулични притисак за савијање челичног лима дебљине 3 mm, под 90° , затезне чврстоће 450 N/mm^2 , $V = 16 \text{ mm}$, дужине 300 mm. Из табеле која се може наћи у каталогу произвођача машине или на самој машини (слика 3.17.) одредимо специфичну силу 360 kN/m и $p = 290 \text{ bar}$ па је:

$$P = 360 \cdot 0,3 = 108 \text{ kN},$$

$$p' = \frac{p \cdot P}{P_n} = 0,362 \cdot 108 = 39,1 \text{ bar}$$



Слика 3.17. Табела на апкант преси коју издаје произвођач

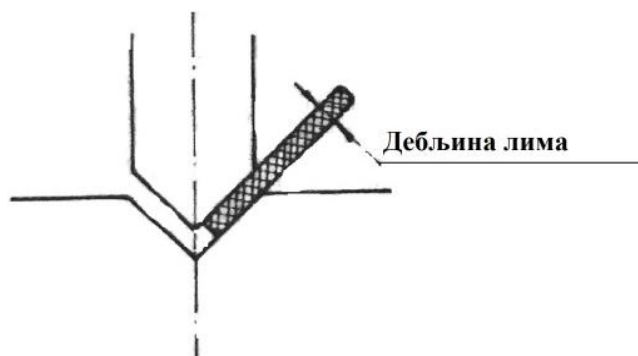
У пракси добијене вредности за p' треба увећати за 30 бара ради компензације разлике у тврдоћи лима. Па према томе добијамо коначан облик:

$$p' + 30 = 39,1 + 30 = 69,1 \text{ bar}$$

Овај поступак у пракси се не рачуна, већ га читавамо директно са манометра. Уз окретање ручице на вентилу за ограничење притиска, на црвеној скали читава се сила која се одређује на основу табличних вредности. Паралелно са силом читавамо и притисак и увећавамо за 30. Ово подешавање се врши када је притискивач у доњој мртвој тачки. После сваке регулације манометар треба закључати како не би дошло да његовог оштећења.

Зазор између алата

Зазор између горњег и доњег алата треба да одговара дебљини лима (слика 3.18.) [12].

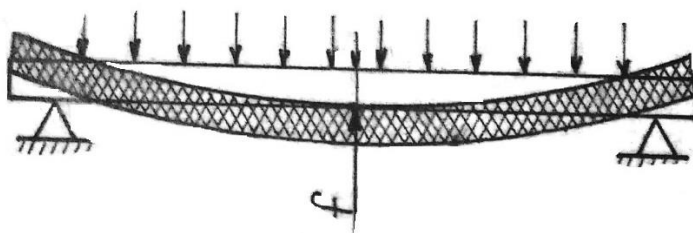


Слика 3.18. Зазор између алата [12]

Подешавање зазора између горњег и доњег алата практично се изводи са мањим брзинама спуштања уз притисак од 150 до 350 бара. Са коришћењем овог релативно малог притиска горњи алат неће до краја притиснути лим, тако да ће он бити одвојен неколико милиметара од доњег алата. Након тога извршити премеравање угаоника и на основу тога подесити граничнике у цилиндрима и поново извршити притискивање лима. Ово подешавање се врши све док се не добије жељени угао савијања [12].

Одступања која се јављају приликом савијања профила од лима

Притискивач и сто пресе у статичком смислу представљају две греде које међусобно притискају једна другу. При томе услед силе савијања долази до угибања средине стола јер је на том месту највећи момент силе (слика 3.19.) [12].

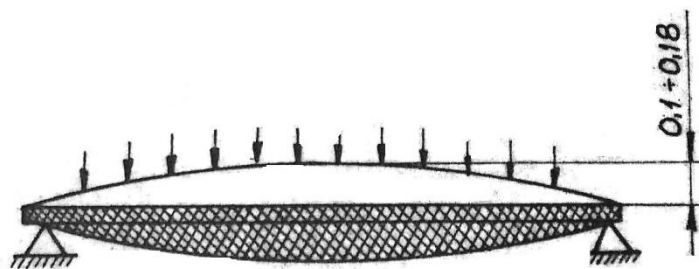


Слика 3.19. Угибање средине стола пресе [12]

Што је већа сила савијања то је већи и угиб. Код савијања угиб негативно утиче на паралелност доњег алата у односу на горњи алат. Поред тога што имамо одступање паралелности јавља се одступање и угла профила лима који се савија.

Да би се одступања услед угиба стола свела на минимум врши се такозвана „бомбажа” стола.

Бомбажа је израда стола пресе са испупчењем у средини које износи $0,1 \div 0,18 \text{ mm}$ и односи се на апкант пресу „НАРА 80/30” и такође зависи од дужине стола (слика 3.20.) [12].



Слика 3.20. Бомбажа стола пресе [12]

Бомбажом се постиже компензација угибања стола, а као последица тога тачнија израда делова који се савијају.

4. Експриментална испитивања материјала лима

Циљ мастер рада је анализа процеса савијања дела од лима применом нумеричке симулације у софтверском пакету „*Simufact.forming*“ и упоређење резултата са индустријским тестом у производњи у компанији „*Elvod*“.

Како би се извршила симулација савијања у програму „*Simufact.forming*“ потребно је прикупити одговарајуће податке о самом материјалу и операцијама савијања које се врше. Како би се утврдиле карактеристике материјала лима који се савија непходно је спровести одговарајућа експериментална испитивања материјала како би се дефинисало пластично течење материјала приликом обраде, односно одредиле криве ојачања. За испитивање материјала коришћен је тест затезања.

4.1 Испитивање затезањем

Експериментална испитивања која се односе на испитивање затезањем обављена су у Лабораторији за обраду деформисањем и машинске материјале на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу. Машина за испитивање материјала која је коришћена је кидалица „*Zwick/Roel Z100*“ и представља један од најсавременијих лабораториских уређаја за испитивање материјала (слика 4.1.).

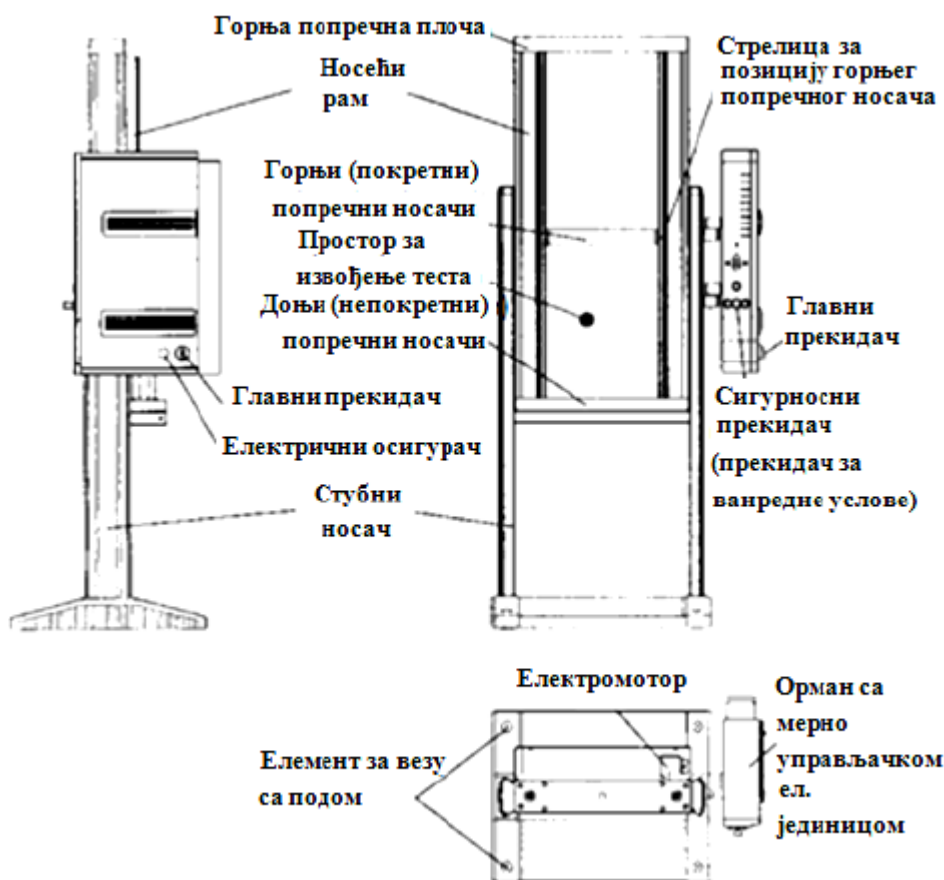


Слика 4.1. Кидалица *Zwick/Roel Z100*

Основна особина овог система је потпуно компјутеризован рад. Ово подразумева постојање свих потребних сензора, давача, конвертора, контролера и др. Софтвер који се

користи за обраду података код ове машине је „*TestXpert*“. Комплетан мерни систем са свим деловима произведен је по највећим стандардима што се тиче, тачности, безбедности, квалитета. Уређај има универзалну намену, па се могу испитивати материјали на собним или повишеним температурама.

Централни део представља двоструки рам (слика 4.2.) од А1 профила који на себи носи погонску групу чији је главни део електромотор (слика 4.3.) снаге 4.41 KW и максималним бројем обртаја 3000 о/min. Од мотора се кретање на покретни носач који носи горњу стезну чељуст прноси преко два завојна вретена (слика 4.4.) са рециркулационим кугличним наврткама високе класе тачности [13].



Слика 4.2. Приказ основних елемената кидалице Zwick/Roel Z100[13]

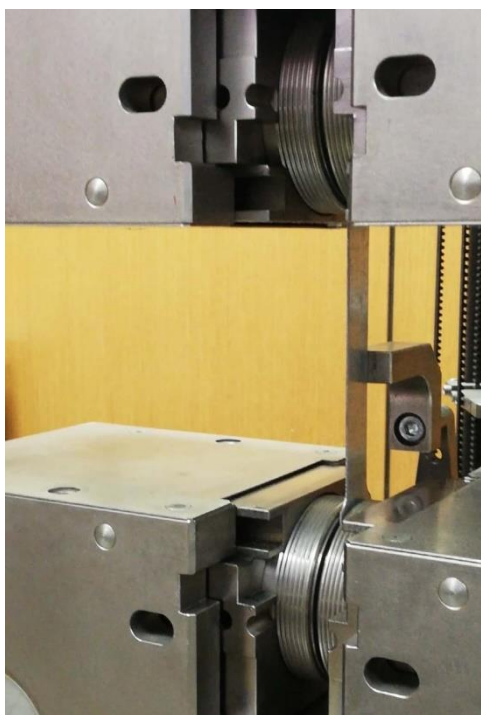


Слика 1.3. *Електромотор* [13]



Слика 4.4. *Завојно вретено* [13]

Код овог мерног система имамо пнеуматске стезне чељусти које захтевају напајање компримованим ваздухом притиска до 10 бара. Пошто не постоји централно снабдевање ваздухом користи се засебан компресор и специјални уређај за припрему ваздуха. Најчешће уз стезни уређај се користе помоћни уређаји за подешавање вертикалности и саосности епрувете. Приказ стезних чељусти дат је на слици 4.5.



Слика 4.5. *Стезне чељусти*

Активирање стезних чељусти се одвија помоћу два прекидача који се налазе на командном блоку машине.

На десном стубу главног рама постављен је милиметарски лењир, а поред њега су граничници, који осигуравају ситем од прекорачења хода (слика 4.6.)



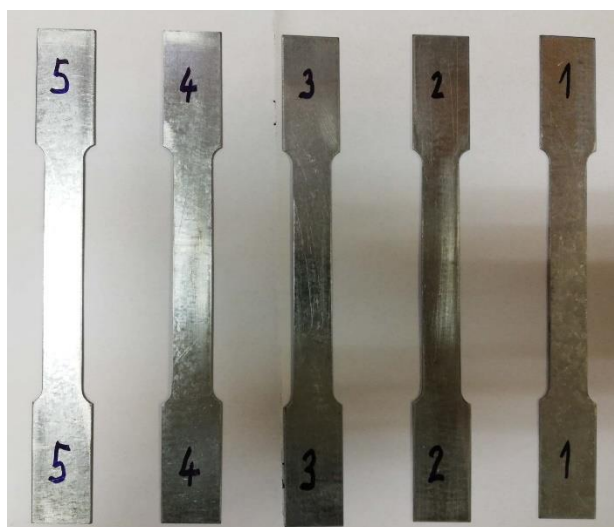
Слика 4.6. Милиметарски лењир

Основне карактеристике мерног система „Zwick/Roel Z100“ [13]:

- Брзина кретања покретне чељусти 0,0005 до 200 mm/min са номиналном тачношћу од 0,003%,
- Тачност подешавања хода горње покретне плоче је 0,02 mm,
- Тачност позиционирања испод 1 mm,
- Максимална сила 100 kN, номинална тачност силе је од 0,16% до 0,4%, док је тачност читавања силе 1 N и
- Фреквенција AD конверзије при аквизицији података 500Hz.

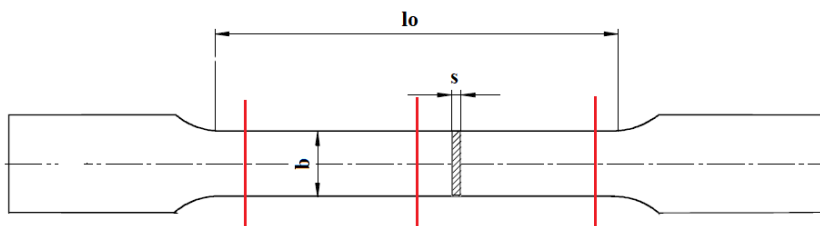
Ток експеримента и добијање резултата

За експеримент испитивања коришћен је материјал „DX51D Z200“. Припремљено је пет епрувета које су означене бројевима (слика 4.7.).



Слика 4.7. Епрувете за испитивање означене бројевима

Мере које је неопходно измерити за експеримент су приказане на слици 4.8. Димензија b се мери на три места на епрувети и представља средњу вредност сва три мерења. На слици 4.8. су приказане три црвене линије на местима где се мери b .



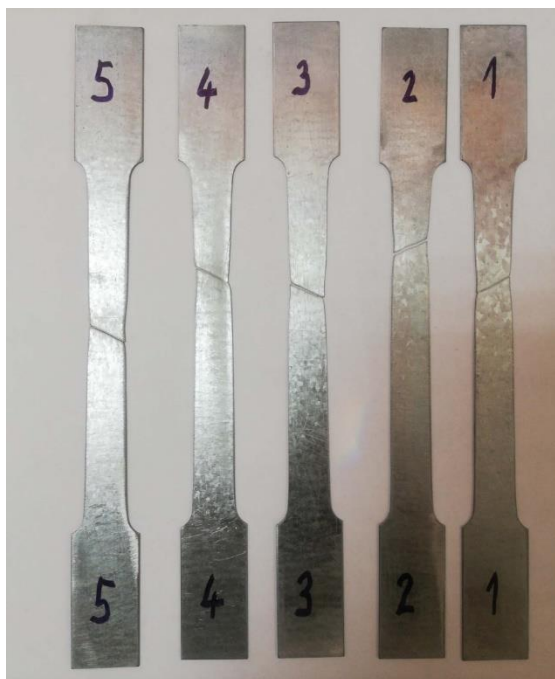
Слика 4.8. Карактеристичне мере епрувете за тест затезања

У табели 4.1. приказане су почетне мере свих коришћених епрувета за испитивање.

Табела 4.1. Почетне мере епрувета од лима

	s [mm]	l_0 [mm]	b [mm ²]	b [mm ²] средња вредност
Епрувета 1	1	116	19,53 19,66 19,87	19,69
Епрувета 2	1	116	19,19 19,36 19,62	19,39
Епрувета 3	1	116	19,52 19,66 19,83	19,67
Епрувета 4	1	116	19,32 19,52 19,72	19,53
Епрувета 5	1	116	19,55 19,60 19,60	19,58

Епрувете се монтирају на машину и након уношења потребних података у програм „TestXpert“, покреће се тест затезања епрувета до тренутка кидања. На слици 4.9. приказане су епрувете након кидања. Програм „TestXpert“ омогућава креирање извештаја у којем се налазе табеле и дијаграми са резултатима испитивања. У табели 4.2. приказани су резултати испитивања.

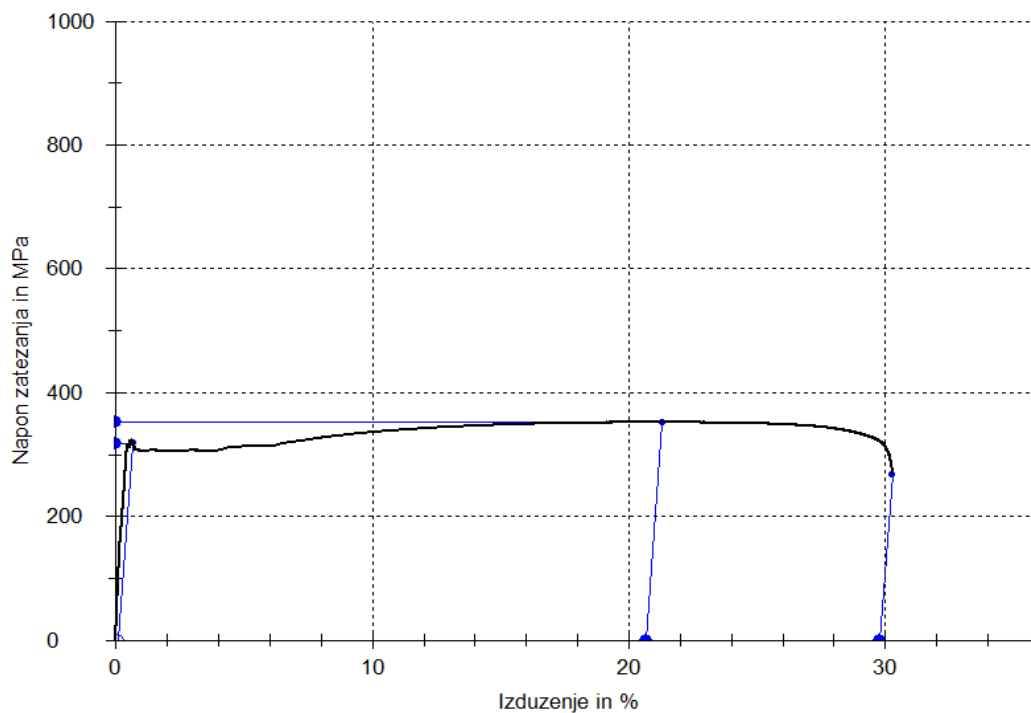


Слика 4.9. Епрувете након теста затезања

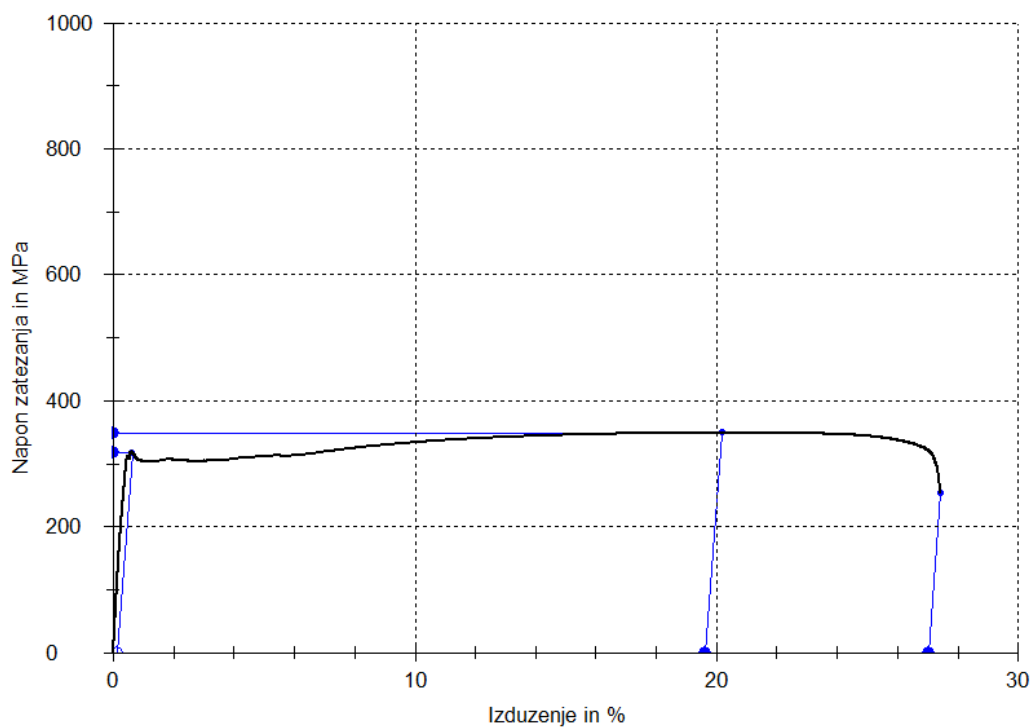
Табела 4.2. Резултати добијени у извештају из програма „TestXpert“

Легенда	Епрувета	l ₀ [mm]	b [mm ²]	R _p 0,2 [MPa]	R _m [MPa]	A _g [%]	A [%]
	1	116,00	19,69	318,34	351,30	20,75	29,90
	2	116,00	19,39	317,28	348,55	19,70	27,10
	3	116,00	19,67	316,13	346,20	20,58	29,46
	4	116,00	19,53	315,03	348,80	19,73	28,62
	5	116,00	19,58	315,55	148,70	21,15	30,98

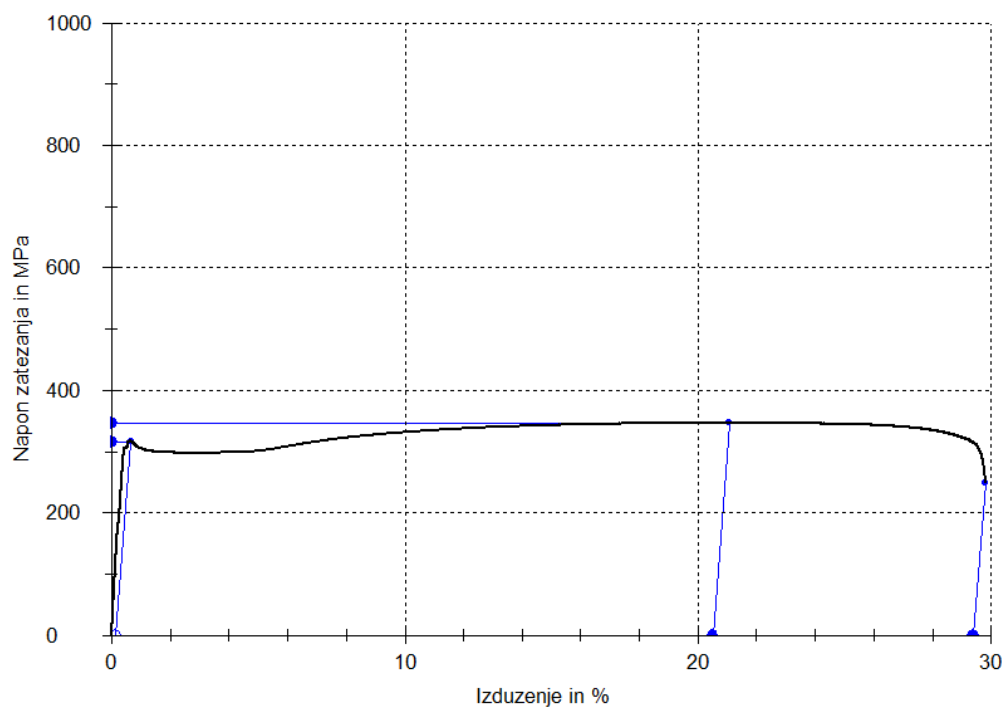
Дијаграми кривих ојачања за сваку епрувету посебно, генерисани у софтверу „TestXpert“ приказани су у наставку, на сликама 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 и 4.14.



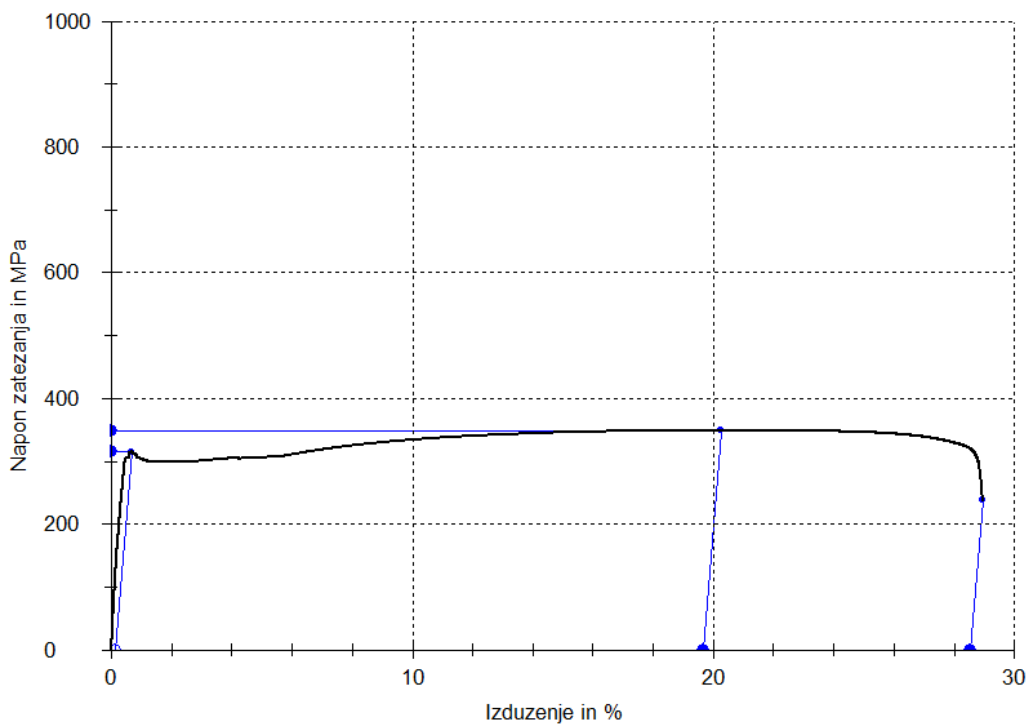
Слика 4.10. Графички приказ зависности напона затезања и издужења за прву епрувету



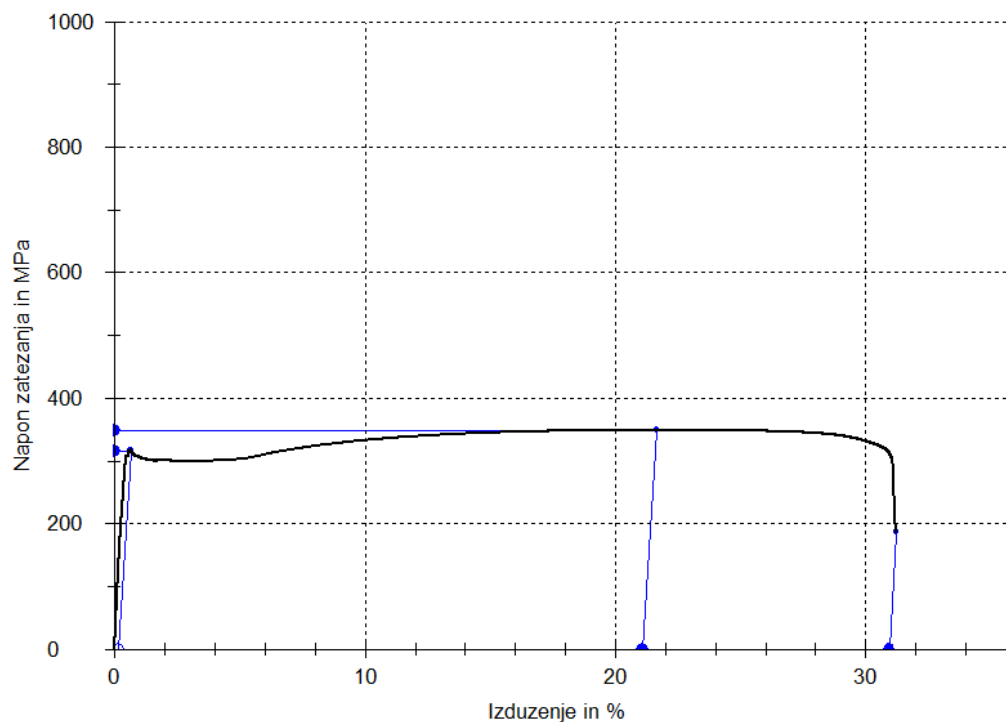
Слика 4.11. Графички приказ зависности напона затезања и издужења за другу епрувету



Слика 4.12. Графички приказ зависности напона затезања и издужења за трећу епрувету

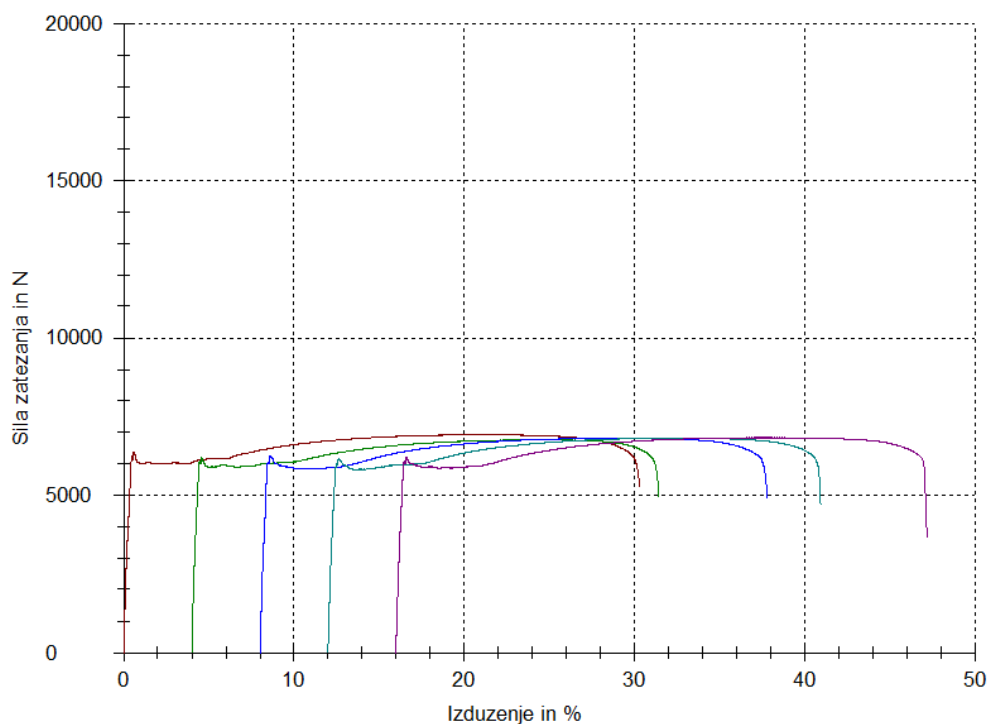


Слика 4.13. Графички приказ зависности напона затезања и издужења за четврту епрувету



Слика 4.14. Графички приказ зависности напона затезања и издужења за пету епрувету

Са дијаграма можемо закључити да су нам криве ојачања за све тестиране епрувете скоро идентичне, што се додатно види на упоредном дијаграму где су приказане криве за све епрувете (слика 4.15.). Ради лакшег приказа и читања дијаграма почетак сваке наредне криве је померен за одговарајућу вредност на оси где се приказује процентуално издужење.



Слика 4.15. Приказ дијаграма за све епрувете

Извештај садржи и основне статистичке показатеље, као што је то приказано у табели 4.3.

Табела 4.3. Статистички показатељи за реализована експериментална испитивања и добијене вредности у извештају из програма „TestXpert“

Серија [n = 5]	b [mm ²]	lo [mm]	Rp 0,2 [MPa]	Rm [Mpa]	Ag [%]	A [%]
min.	19,39	116,00	315,03	346,20	19,70	27,10
x	19,57	116,00	316,46	348,71	20,38	29,21
s	0,12	0,00	1,34	1,81	0,64	1,45
v	0,62	0,00	0,42	0,52	3,14	4,97

Поред тога што програм генерише извештај чији су основни елементи дати у претходним табелама и дијаграмима, из програма „TestXpert“ могу се извести као excel фајл парови вредности мерене силе (N) и издужења (mm) на основу којих се применом једначина могу добити парови вредности стварног напона (деформациони отпор) и природне деформације. Унос података о материјалу у програму „Simufact.forming“ се може извршити на два начина и то: увозом excel табеле са паровима вредности деформационог отпора и деформације, или уносом коефицијената за различите аналитичке облике кривих течења.

Апроксимација криве течења може се изразити у аналитичком облику аналитичким помоћу образаца:

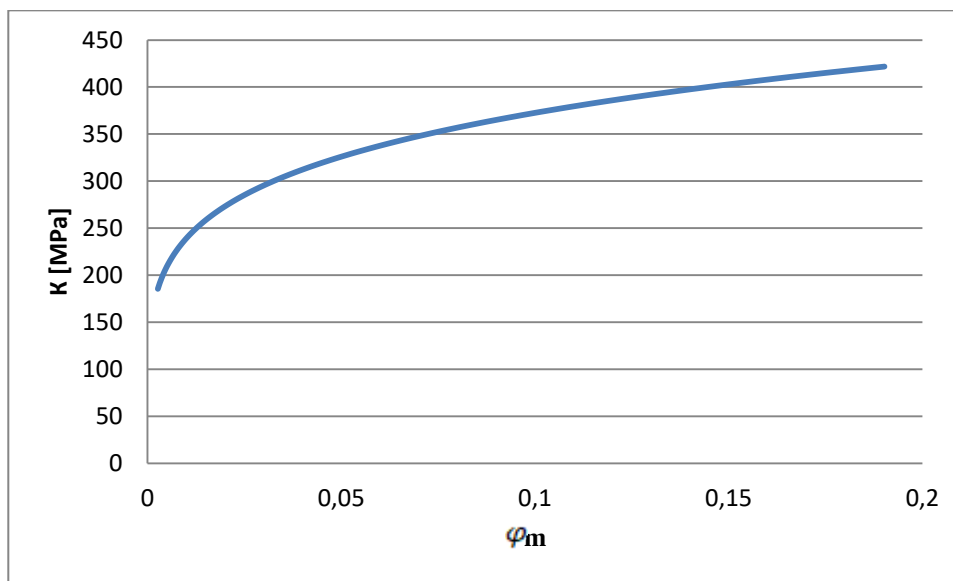
$$K = C \cdot \varphi^n$$

У случају спроведеног експерименталног испитивања једначина криве течења има облик:

$$K = 580.9 \cdot \varphi^{0,192}$$

где су C и n константе које зависе од врсте материјала. Константа C одређује се из услова да апроксимативна крива мора да прође кроз тачку M, дефинисану стварним напоном. Док се за константу n узима да је идентична максималној логаритамској деформацији при једноосном истезању епрувете.

За потребе нумеричке симулације процеса унети су подаци о материјалу у облику табеле. Програм „Simufact.forming“ дозвољава унос 99 парова вредности, док се у извештају са машине добија и преко 5000 парова вредности. Због смањеног броја уноса парова вредности неопходно је одабрати 99 парова који ће се увести у програм. Крива течења која се добија на основу унетих изабраних парова вредности дата је на слици 4.16.



Слика 4.16. Крива течења за материјал лима „DX51D Z200“ добијена тестом затезања

5. Нумерички експерименти

Савремена индустрија има потребу да врши сталне развојне и истраживачке активности које се одвијају ван текуће производње. Ове активности се реализују у бројним лабораторијала како у самој фабрици тако и у лабораторијама при универзитетима и институтима. Ове активности су везане за моделирање и симулацију производног процеса. За разлику од веома често примењиваног „покушај и проба“ процеса које се базира на искуству инжењера, примена овог процеса доноси значајне уштеде у трошковима и у смањењу времена за развој новог производа. Основна предност овог начина пројектовања је веома брза измена геометрије алата и улазних параметара процеса.

Смањење времена пројектовања и израде производа може се постићи применом нумеричких симулација, у раној фази пројектовања, пре саме израде алата за производњу, јер се на овај начин сви проблеми могу придвидети и отклонити на време. Нумеричке симулације користе се за предвиђање течења материјала, одређивање деформација, напона, темпетратура, напрезања у алатима, предвиђање дефеката и превенција ломова, за процену микроструктуре производа као и еластичног исправљања и заосталих напона.

5.1 Simufact.forming

Једао од програмских пакета који омогућава лакшу производњу кроз моделирање и симулацију је „*Simufact.forming*“. Овај софтверски пакет омогућава виртуалан приказ производног процеса на рачунару, тако да корисник може имати увид у реалне технолошке процесе без саме производње. „*Simufact.forming*“ је пакет који може да врши симулацију готово свих поступака обликовања материјала. Програм дозвољава дефинисање великог броја улазних података на интерактивни начин, као што: температура процеса, машина која се користи, материјал обратка, врста технолошког процеса, услови трења и трансфера топлоте и слично. Програм такође омогућава приказ течења материјала, праћење напона, деформација, температуре, расподеле притиска. Може се такође предвидети хабање алата и проценити век трајања.

5.2 Метода коначних елемената

Метода коначних елемената спада у методе дискретне анализе. За разлику од осталих нумеричких метода, које се заснивају на математичкој дискретизацији једначина граничних проблема, метода коначних елемената се заснива на физичкој дискретизацији разматраног подручја. Са становишта физичке интерпретације, то значи да се разматрано подручје, као континуум са бесконачно много степени слободе, замењује дискретним моделом међусобно повезаних коначних елемената, са коначним бројем степени слободе. С обзиром на то да је број дискретних модела за један гранични проблем неограничено велики, основни задатак је да се изабере онај модел који најбоље апроксимира одговарајући гранични проблем [14].

Анализа и решавање проблема механике континуума по методи коначних елемената увек се своди на процес корак по корак., У том процесу издваја се следећих шест најважнијих корака [14]:

- Дискретизација континуума,
- Избор интерполационих функција,
- Рачунање карактеристика елемената,
- Формирање једначина за мрежу коначних елемената,
- Решавање система једначина и
- Прорачун потребних утицаја.

Од наведених шест корака, прва три су нарочито важна. Начин дискретизације, избор облика елемената, као и укупног броја елемената, зависе од природе проблема који се решава и потребне тачности траженог решења. Поред броја и облика елемената важан је и избор броја чворова, основних непознатих у њима и интерполационих функција. Помоћу интерполационих функција се дефинише поље променљивих у сваком елементу. Од њиховог избора непосредно зависи и континуитет на границама између појединих елемената, а самим тим и тачност апроксимације. Променљиве у елементу могу бити скаларне, векторске или тензорске величине.

Карактеристике појединих елемената одређују се независно од мреже елемената као целине. Матрица крутости се формира аутономно за поједине елементе, а потом на основу њих, формира се матрица за систем у целини.

Последња три корака, иако су за практичне прорачуне од великог значаја, данас спадају у оквиру рутинског посла, који је прилагођен аутоматском раду на рачунару којим управља специјализовани софтвер развијен на бази методе коначних елемената.

Постоје четири основна вида методе коначних елемената [8]:

- Директна метода,
- Варијациона метода,
- Метода резидуума и
- Метода баланса енергије.

Избор типа коначног елемента је један од најважнијих корака у примени метода коначних елемената. Правилан избор је веома важан за добијање тачних резултата. Основне особине коначних елемената су [8]:

- Облик,
- Број и врста чворова,
- Број и врста степени слободе у појединим чворовима и
- Брста интерполационих функција.

С обзиром на облик коначни елементи могу бити са праволинијским и криволинијским контурама (изопараметарски). Још је битна подела на [8]:

- Линијске,
- Раванске и
- Просторне.

За успешну анализу различитих процеса обраде деформисањем у софтверском пакету „*Simufact.forming*“ се користи нелинеарна метода коначних елемената. Овом методом се

долази до најпрецизнијих резултата, а такође је омогућено транспарентно приказивање резултата и тока симулације процеса. Метода коначних елемената као улазне податке користи 3D CAD моделе алата и обратка у STL или IGS формату. Програм аутоматски на захтев корисника креира 3D мрежу модела радног комада.. Код обрадака од лимова алгоритам за креирање мреже ће аутоматски детектовати правац дебљине лима, створити, оптимизовати и мрежу превести у 3D елементе. Коришћење оваквих 3D коначних елемената се посебно ефикасно показало код предвиђања варијација дебљина, еластичне повратности и заосталих напона.

5.3 Моделирање и симулација процеса савијања

У овом раду је анализиран конкретан пример процеса савијања за „перфорирани носач кабла ПНК – 100“ (слика 5.1.) који се производи у компанији „Elvod“ Крагујевац.

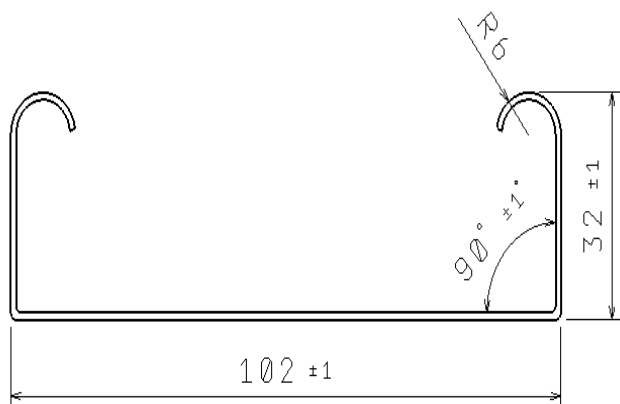


Слика 5.1. Перфорирани носач кабла ПНК – 100

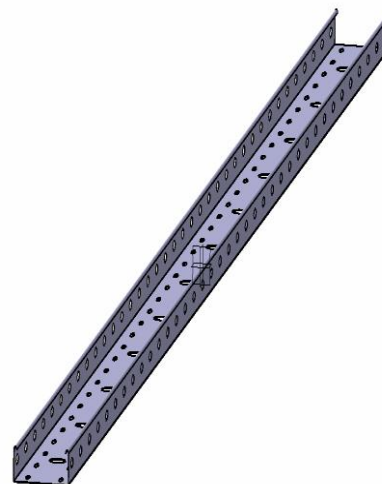
Као полазни материјал за потребни носач користи се поцинковани лим „DX51DZ200“ произвођача „Atenic commerce“ који се испоручује са 200g/m^2 цинка. Димензије развијеног лима који се користи према прорачуну су: ширина 182 mm, дужина 2000 mm, дебљина лима 1 mm.

Пре самог процеса савијања неопходно је изградити отворе према унапред задатим мерама и позицијама. За добијање готовог дела користе се четири операције савијања и то: операције у којима се изводи савијање прве и друге зоне које се односе на радијусно савијање и операције савијања треће и четврте зоне које се односе на савијање угла од 90° . Код израде поменутог носача неопходно је строго водити рачуна о редоследу операција савијања. Због саме конструкције горњег алата за савијање под углом од 90° , неопходно је обавити прво операције савијања прве и друге зоне. Уколико се не испоштује редослед операција може доћи до оштећења дела приликом савијања. 3D модел готовог производа је припремљен у програму „Catia“ и приказан је на слици 5.3. Димензије савијеног профила перфорираног носача кабла ПНК – 100 приказане су на слици 5.2. Након спроведених немеричких симулација операција

савијања профила приказане диманзије ће се упоредити са диманзијама добијеног виртуелног обратка из резултата симулације.



Слика 5.2. Димензије савијеног профила перфорираног носача кабла ПНК – 100



Слика 5.3. 3D приказ готовог модела перфорираног носача кабла ПНК – 100

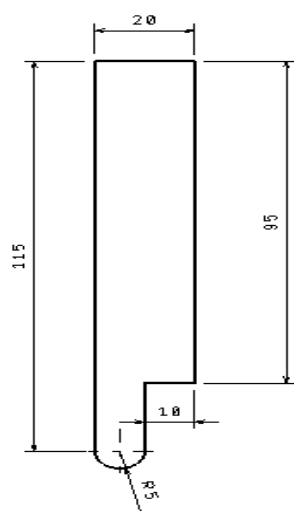
За симулацију процеса савијања коришћен је софтверски пакет „Simufact.forming“ верзија 12. Како би се реализовала симулација процеса савијања било је потребно припремити 3D моделе алата и модела развијеног стања лима.

5.3.1 Моделирање алата и припремка

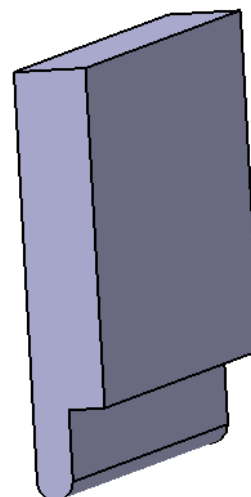
Моделирање је реализовано у програмском пакету „Catia“ коришћењем 2D техничке документације доступне у компанији „Elvod“ Крагујевац. 3D модели алата и припремка су сачувани у IGES формату и као такви су увезени у „Simufact.forming“. Склоп алата за прву и другу операцију (савијање прве и друге зоне) састоји се из: горњег алата и доњег алата. Алат је дужине 3500 mm. Димензије алата и модели приказани су на сликама 5.4., 5.5., 5.6., 5.7.

Склоп алата за трећу и четврту операцију (савијање треће зоне и четврте зоне) састоји се из: горњег алата и доњег алата. Алат је дужине 3500 mm. Димензије алата и модели приказани су на сликама 5.8., 5.9., 5.10., 5.11.

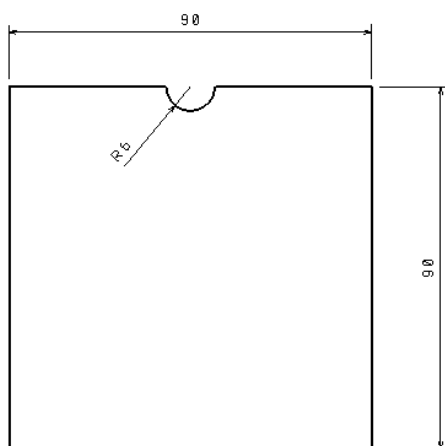
У реалном индустријском процесу се пре савијања израђују отвори на припремку. Међутим, с обзиром да је примењена 2D симулација процеса савијања (раванска) изабрани пресек обратка не обухвата поменуте отворе, и њихов утицај на процес савијања није разматран у раду. Због тога је за потребе симулације моделиран лим без отвора (слика 5.12.).



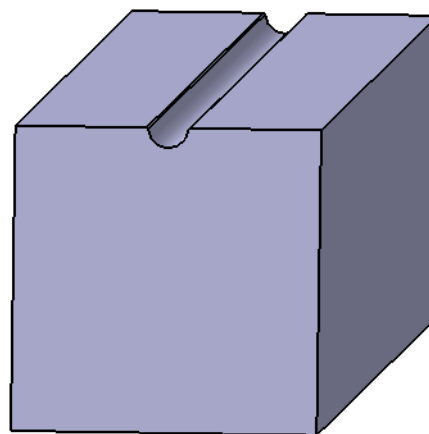
Слика 5.4. Димензије горњег алата.



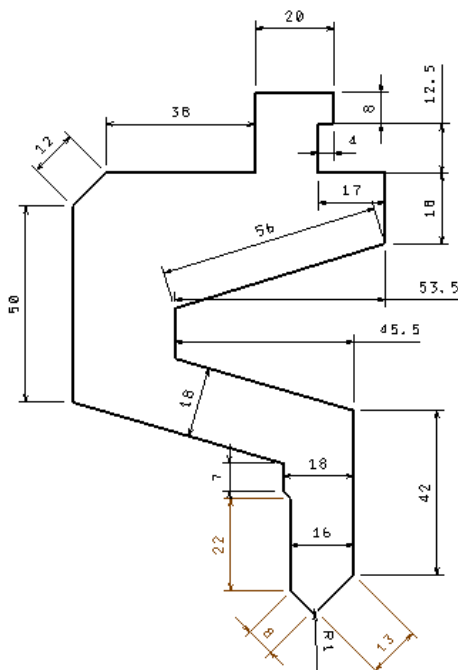
Слика 5.5. 3D модел горњег алата



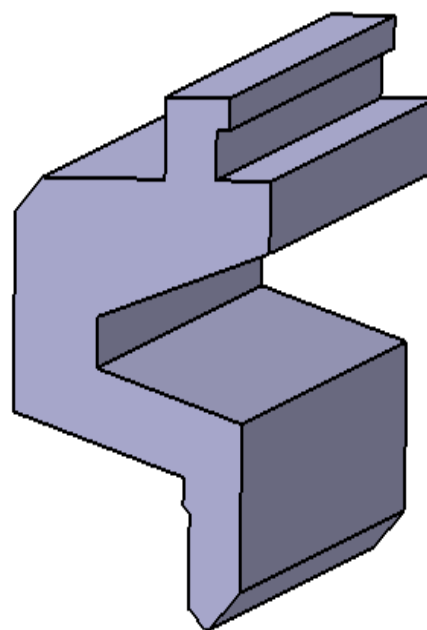
Слика 5.6. Димензије доњег алата



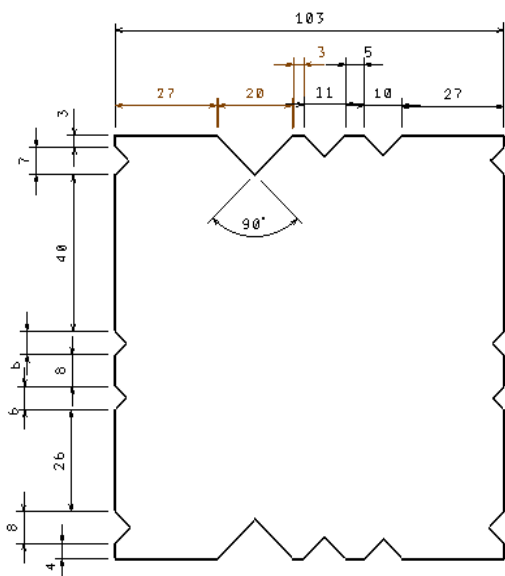
Слика 5.7. 3D модел доњег алата



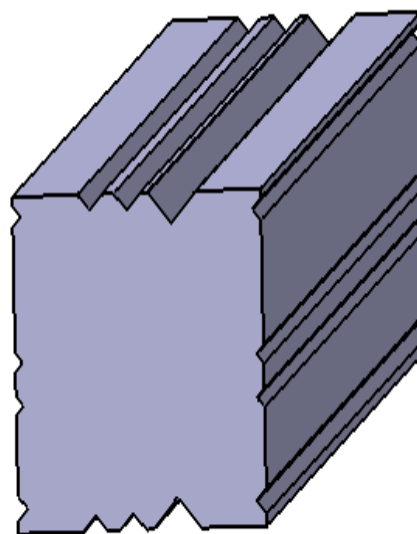
Слика 4.8. *Димензије горњег алата.*



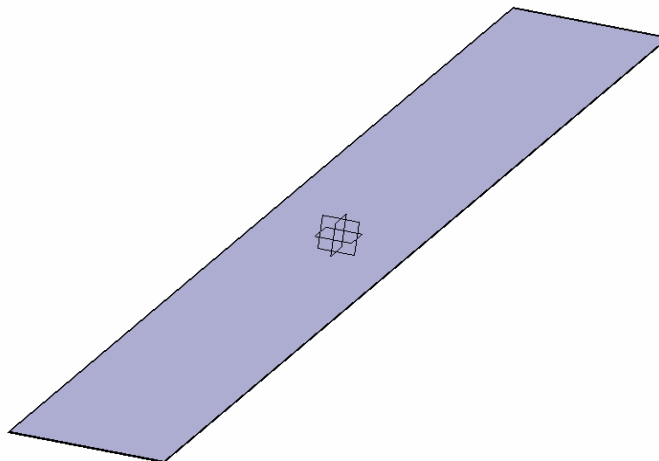
Слика 4.9. 3D модел горњег алата



Слика 4.10. *Димензије доњег алата*



Слика 4.11. 3D модел доњег алата

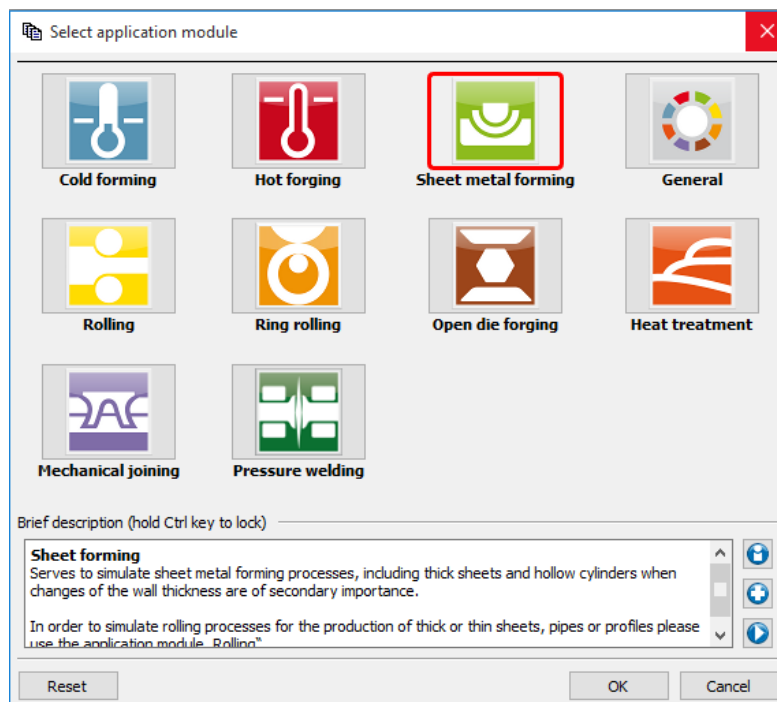


Слика 5.12. 3D модел развијеног стање лима

5.3.2 Дефинисање улазних параметара симулације за све операције савијања

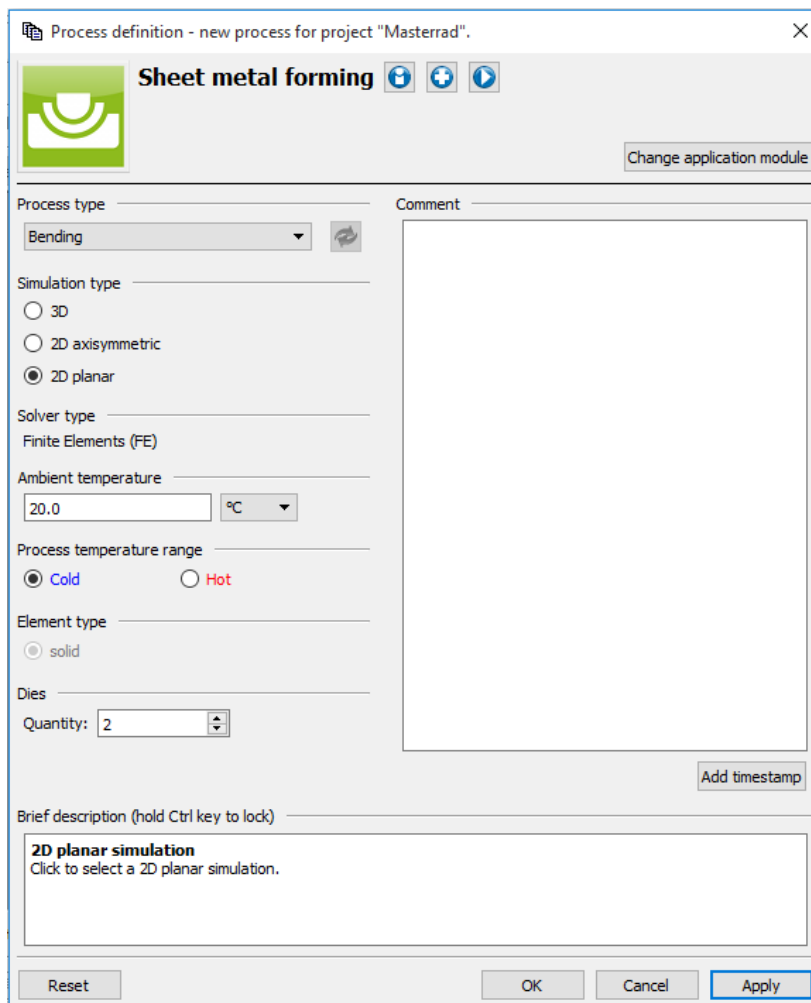
Пошто кроз све четири операције фигуришу готово исти улазни параметри за симулацију процеса савијања, у наставку рада биће приказано дефинисање улазних параметара који се односе на све четири операције савијања.

Први и основни корак који се мора дефинисати у програму „*Simufact.forming*“ је врста симулације. Бира се опција *Sheet metal forming* као што је приказано на слици 5.13.



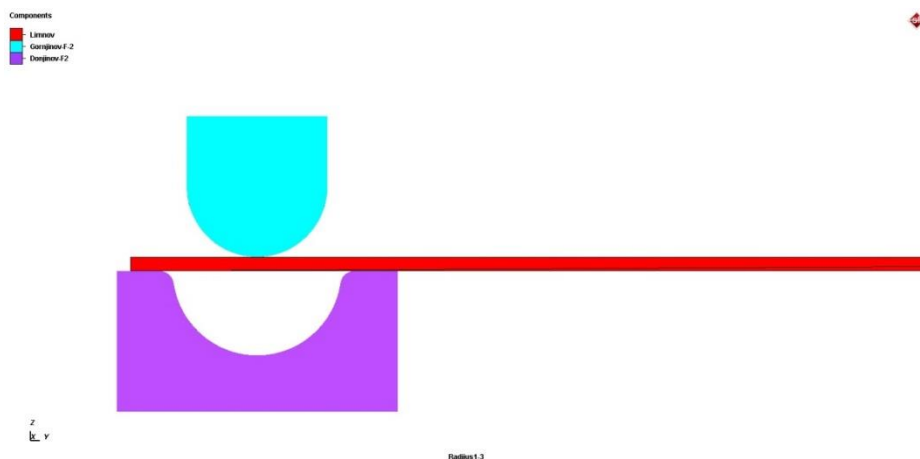
Слика 5.13. Одабир врсте симулације

Пошто смо изабрали *Sheet metal forming* у наставку нам се отвара прозор *Process definition* који је приказан на слици 5.14. Конкретно у нашем случају за тип процеса изабран је *Bending* (савијање). Процес савијања на апкант преси се може анализирати као равански проблем, па се бира 2D симулација, односно бира се *2D planar*. Процес се одвија у хладном стању, а број алата је два и то: горњи алат и доњи алат.



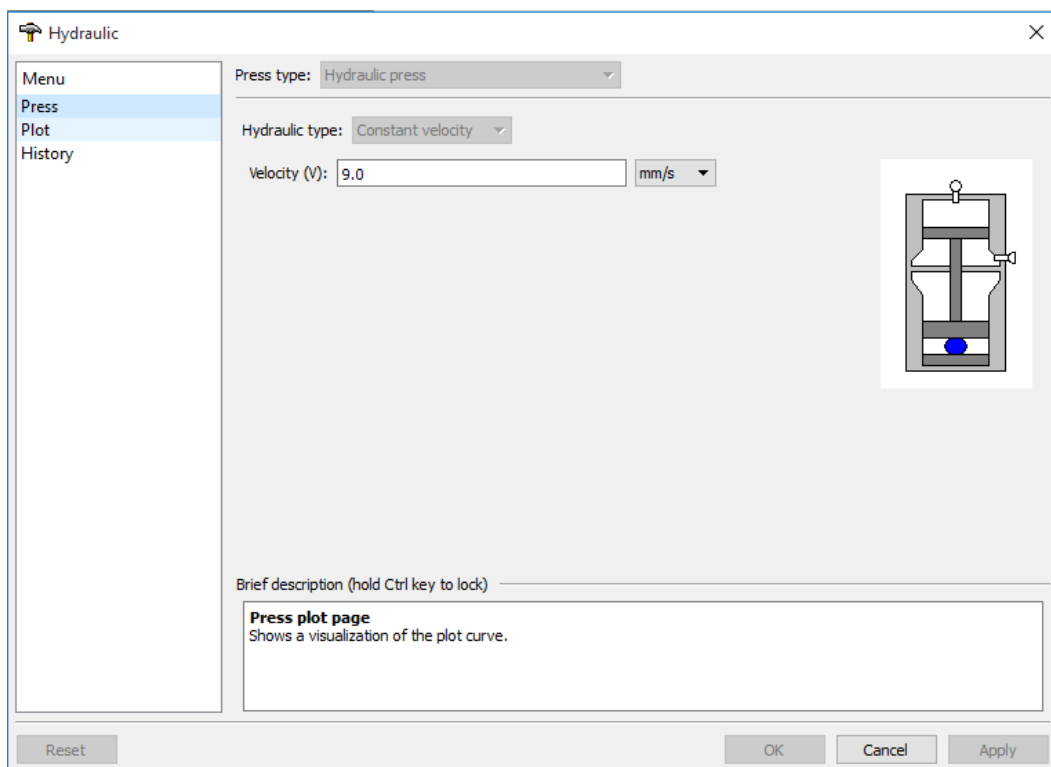
Слика 5.14. Дефинисање типа процеса и основних поставки симулације

После самог дефинисања процеса прелази се на увоз алата. Пошто су алати претходно измоделирани и сачувани у IGES формату, као такви се увозе у програм. У програм се прво увозе неопходни алати, па се потом увози и припремак. Алате и припремак је потребно прецизно позиционирати како би се успешно симулирао процес. Због једноставне конструкције алата позиционирање алата и припремка се може јасно видети у ZY оси што је приказано на слици 5.15.



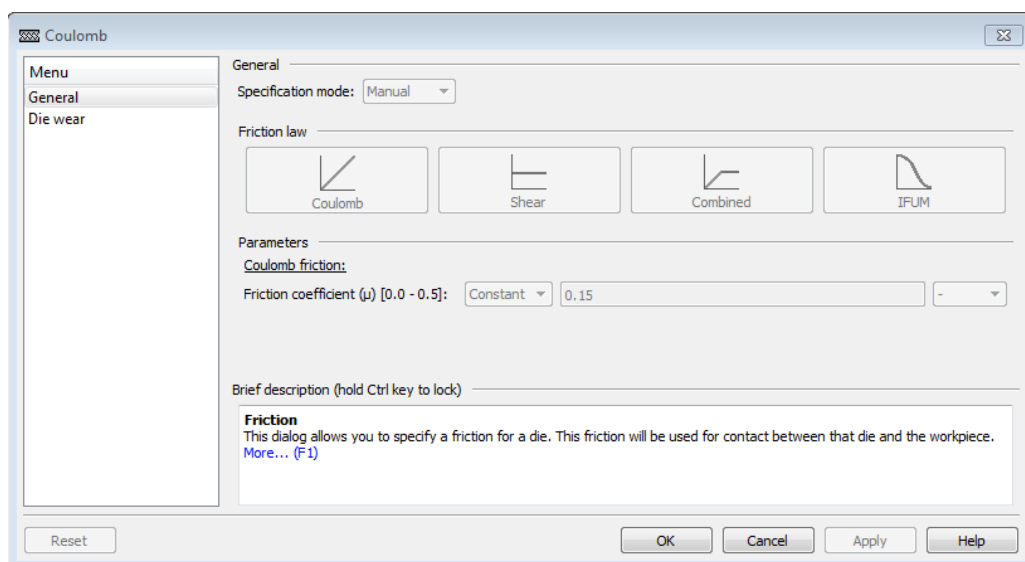
Слика 5.15. Позиционирање алата и припремка од лима за прву зону савијања

Приликом избора пресе одабрана је хидраулична преса чија је брзина 9mm/s. Прозор за дефинисање пресе приказан је на слици 5.16. Кроз симулацију горњи алат је монтиран на пресу, тако да горњи алат врши праволинијско кретање.



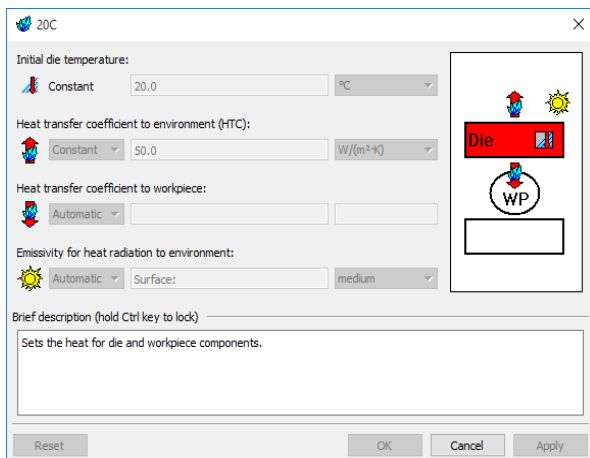
Слика 5.16. Дефинисање пресе

Дефинисање трења врши се у прозору *Friction* који је приказан на слици 5.17. Задати коефицијент трења је 0,15.

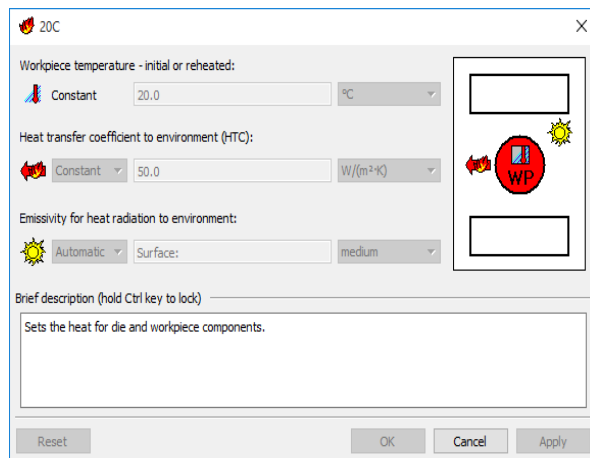


Слика 5.17. Дефинисање трења

Начин дефинисања температуре алата и температуре припремка приказан је на слици 5.18. и слици 5.19.

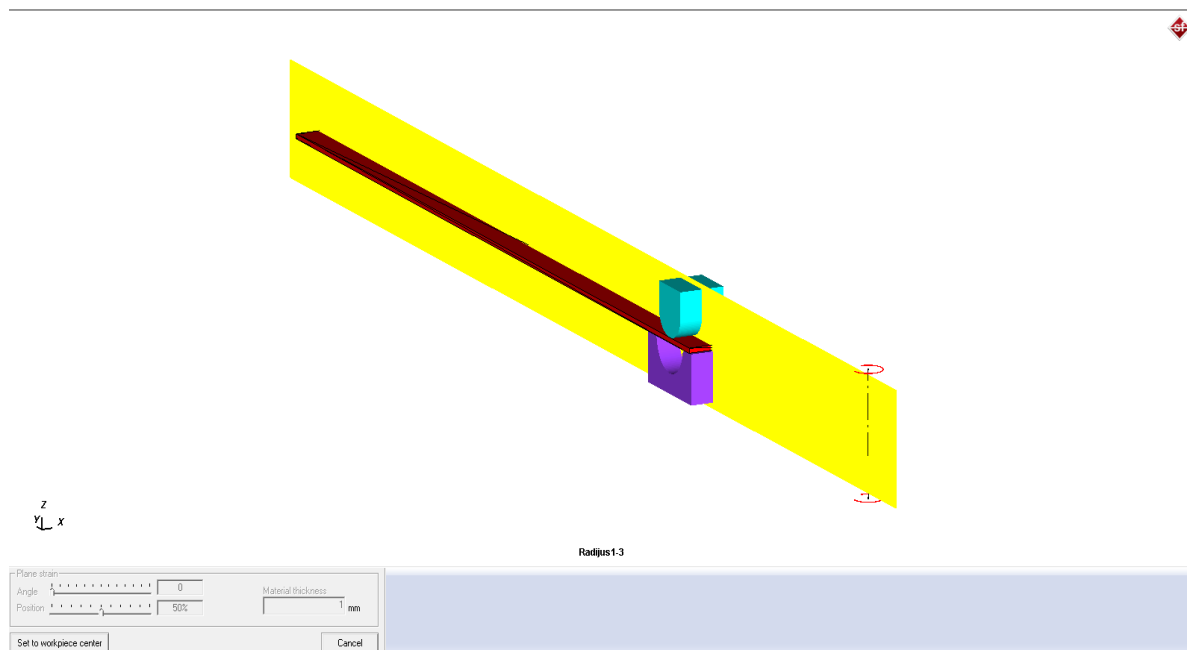


Слика 5.18. Температура алата



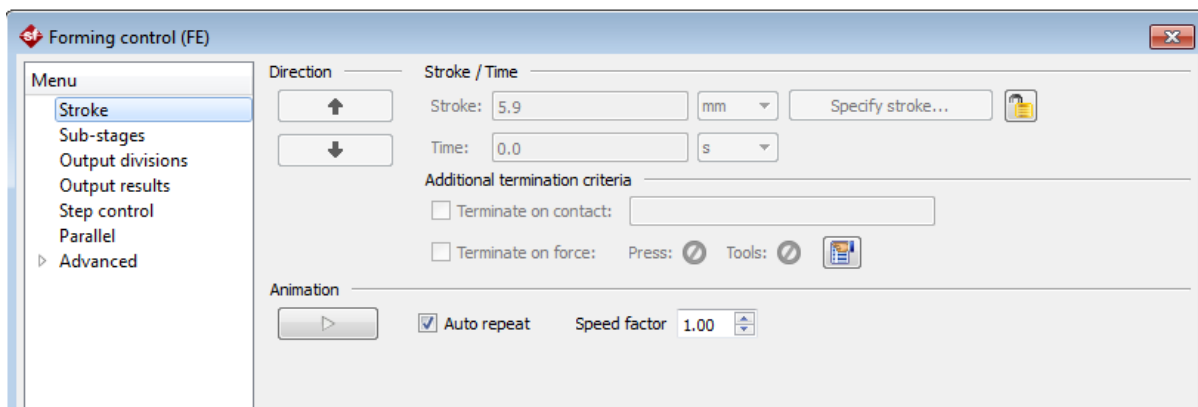
Слика 5.19. Температура припремка

Како би се 2D симулација успешно реализовала неопходно је дефинисати референтну раван за 2D симулацију. Изабрана раван за 2D раванску анализу процеса савијања је приказана на слици 5.20.



Слика 5.20. Дефинисање референтне равни за 2D симулацију прве зоне савијања

Контролни параметри процеса дефинишу се у прозору *Forming control*. На слици 5.21. приказано је дефинисање хода горњег алата за прву и другу зону савијања. Горњи алат се у овом случају креће у правцу Z осе и његов ход износи: 5,9 mm за прву и другу зону, док за трећу и четврту зону ход алата је износио 9,1 mm. Фазе процеса које се симулирају обухватају позиционирање елемената алата и припремка, симулацију процеса савијања, враћање горњег алата у GMT и вађење обратка из алата.



Слика 5.21. Подешавање хода алата

Начин дефинисања услова за аутоматско генерисање мреже коначних елемената радног комада приказан је на слици 5.22. Креирање се врши помоћу опције *Mesh*, и одвија се аутоматски уз подешавање типа модула за аутоматско генерисање мреже (АГМ), величине мреже и типа коначног елемента. У овом случају тип АГМ модула је *Quadtree* док је тип коначног елемента *Quads, plane strain (11)*. Величина елемената износи 0,1 mm.

На слици 5.22. приказано је генерисање мреже за прву зону. За остале зоне генерисање мреже се вршило на исти начин.

List of components
 Limnov (Output)



Information



Слика 5.22. Дефинисање мреже припремка за прву зону

Приказ алата и дискретизованог припремка у YZ равни пре почетка симулације савијања прве зоне дат је на слици 5.23.



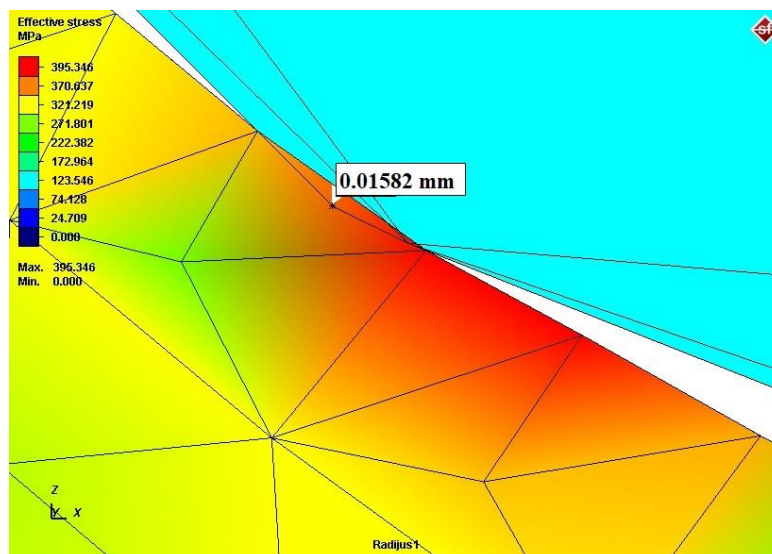
Слика 5.23. Приказ алата и дискретизованог припремка у YZ равни пре почетка симулације процеса савијања прве зоне

5.3.3 Резултати пробне симулације савијања

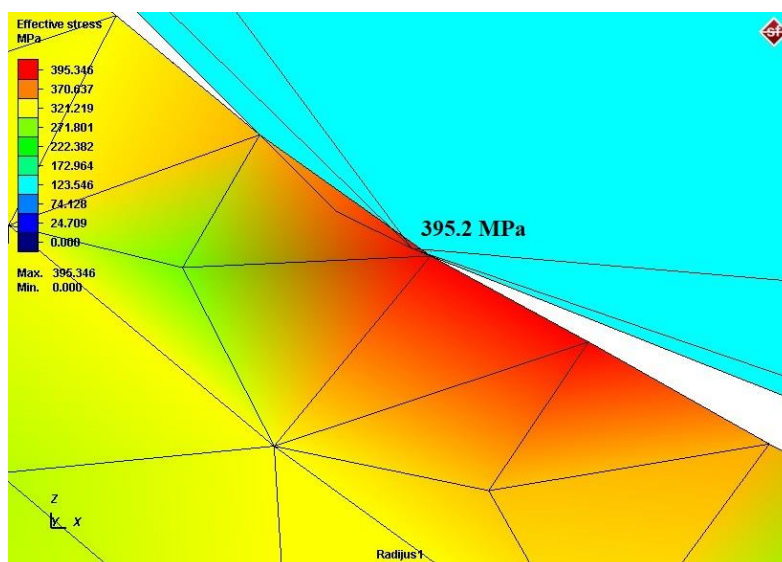
После завршених пробних симулација процеса савијања могуће је приказати велики број резултата које програм нуди. Резултати који су посматрани у овом раду су: расподела ефективног напона (*Effective stress*), расподела ефективне пластичне деформације (*Effective plastic strain*) као и ефекти еластичног исправљања.

Након симулације прве операције савијања утврђено је да резултати савијања нису задовољавајући. На слици 5.24. приказани су резултати за ефективни напон где се могу видети зоне прекомерног конткатног притиска у неким чворовима/елементима мреже припремка услед евидентног продора алата (пенетрације) у припремак (0,0158 мм). Такве ситуације су могуће када је мрежа припремка већа него што је неопходно и када није побољшан увезени CAD модел алата. Радијус на горњем алату у овом случају има грубу репрезентацију преко крупних „facet”, тако да долази до пенетрације дела facet -а у коначни елемент припремка. Због крупноће „facet -а“ на месту контакта алата и лима имамо продирање алата у лим, што доводи до локалних појава напона који су изузетно велики, а самим тим добијамо слику која није релевантна обради. На слици 5.25. приказан је критични напон на месту виртуелног продора алата у припремак.

Како би обрада била успешнија, а самим тим добили адекватне резултате неопходно је одрадити смањење „facet -а“. Због веома великих габарита алата процес смањивања „facet -а“ би доста дуго трајао. Али пошто се ради о 2D симулацији процеса савијања, дужина алата као и димензије делова који не учествују у самом контакту са припремком у овом случају немају значајну улогу. На основу тога извршена је корекција свих алата како би се успешно и брзо одрадило смањење „facet -а“ на алатима. На слици 5.26. приказано је смањење „facet -а“ на новом горњем алату за операцију прве зоне савијања. Вредност која се уноси за величину елемената износи 0,05 mm. Неопходно је урадити смањење „facet -а“ за све операције савијања на исти начин.



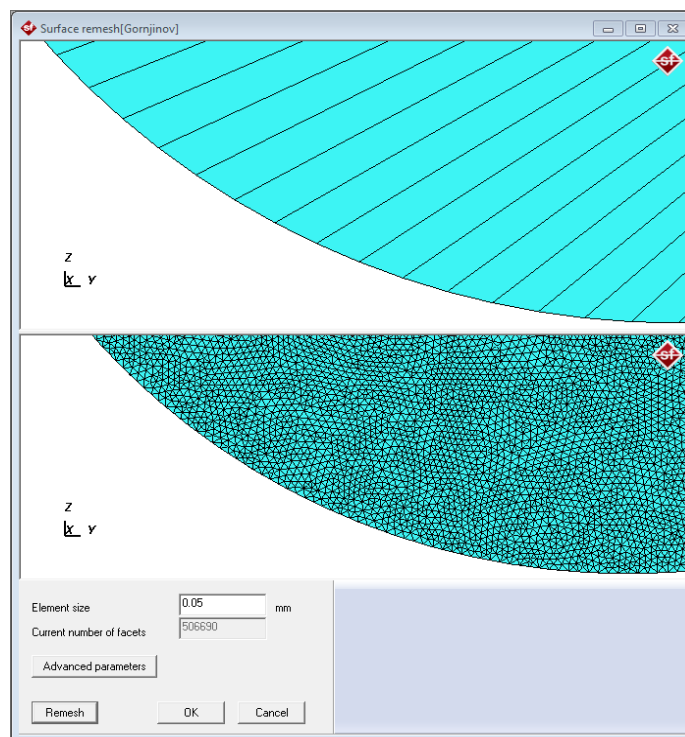
Слика 5.24. Резултати ефективног напона и димензија продирања алата у припремак



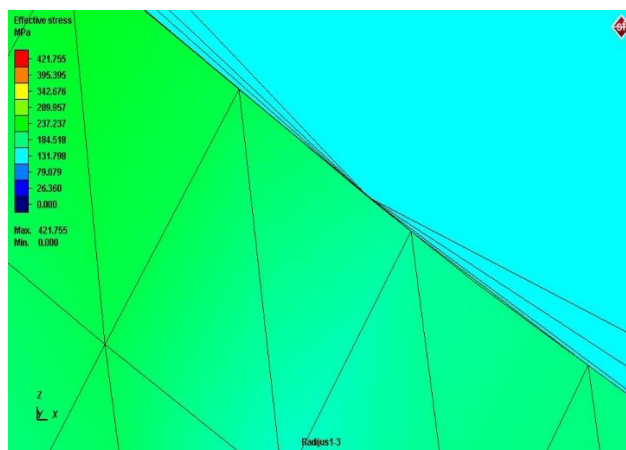
Слика 5.25. Резултати ефективног напона са напаноом на месту продирања алата у припремак

Резултат смањења „facet –a“ на алатима приказан је на сликама 5.27 и 5.28.

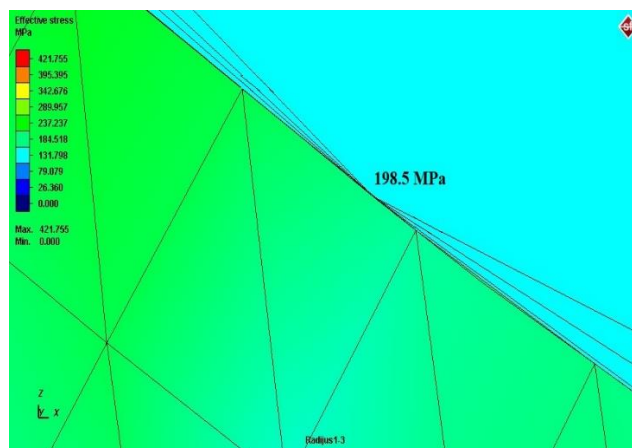
На слици 5.27. приказани су резултати за ефективни напон где се може видети да алат није продрео у припремак. Док на слици 5.28. приказан је напон на месту контакта алата и припремка.



Слика 5.26. Смањење „facet –а“ на горњем алату за операцију савијања прве зоне



Слика 5.27. Резултати ефективног напона и димензија продирања алата у припремак

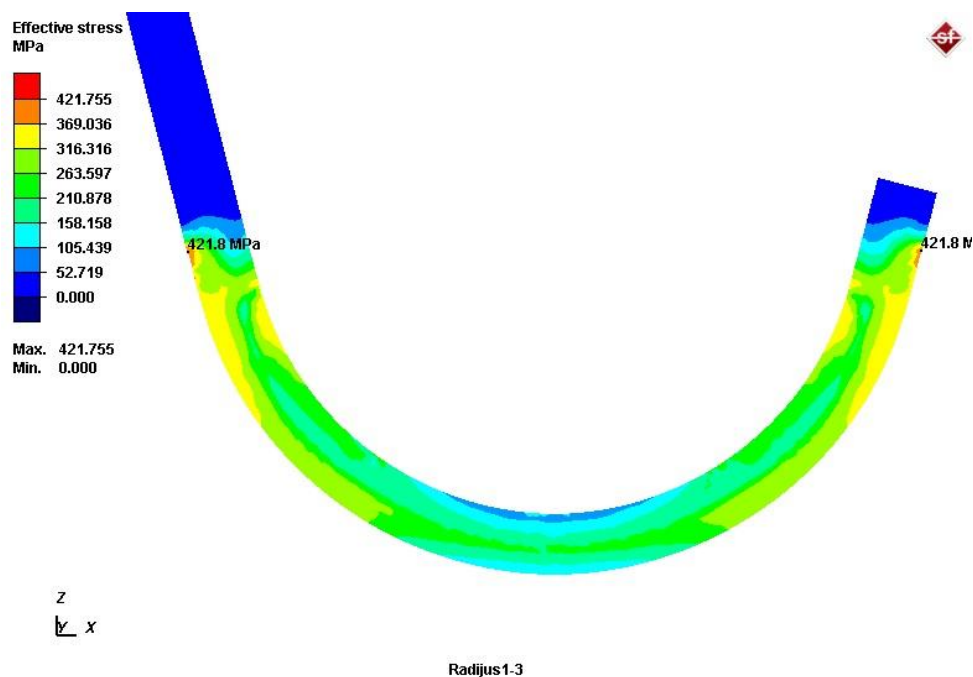


Слика 5.28. Резултати ефективног напона са напонаом на месту продирања алата у припремак

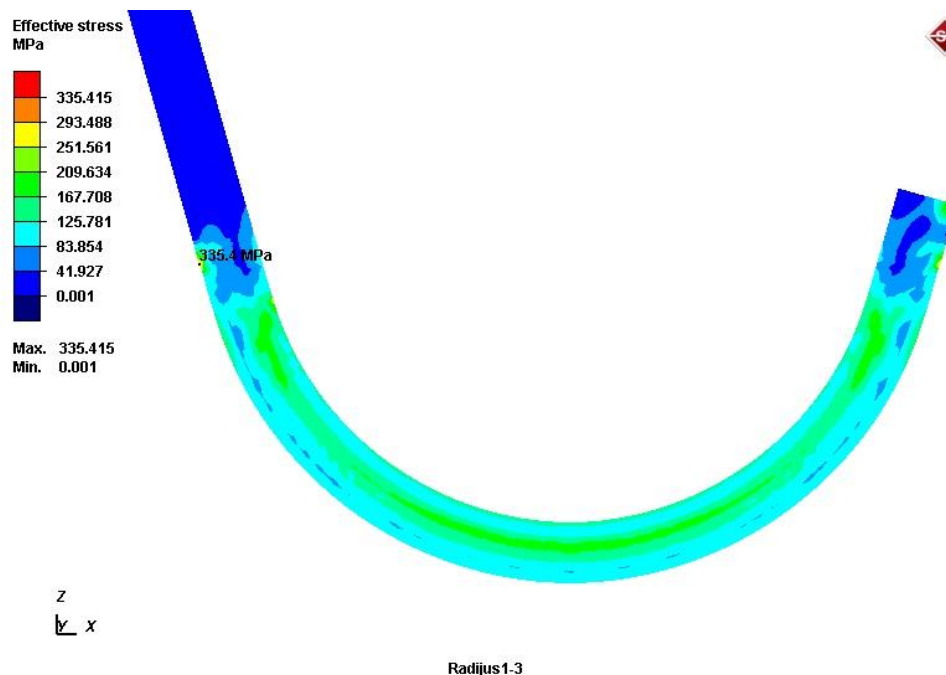
5.3.4 Резултати симулација савијања

Прва и друга зона савијања

Расподела ефективног напона за операције савијања прве и друге зоне пре и након растерећења дата је сликама 5.29. и 5.30, и оне су идентичне јер су зоне симетричне у односу на осу готовог дела, као слика у огледалу.

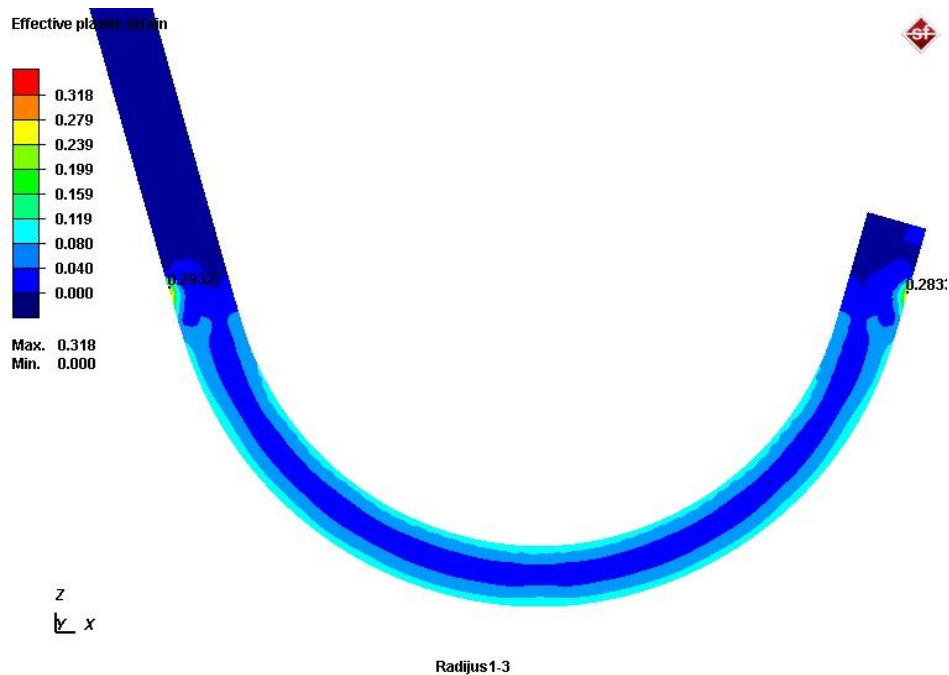


Слика 5.29. Расподела ефективног напона за операције савијања прве и друге зоне пре растерећења



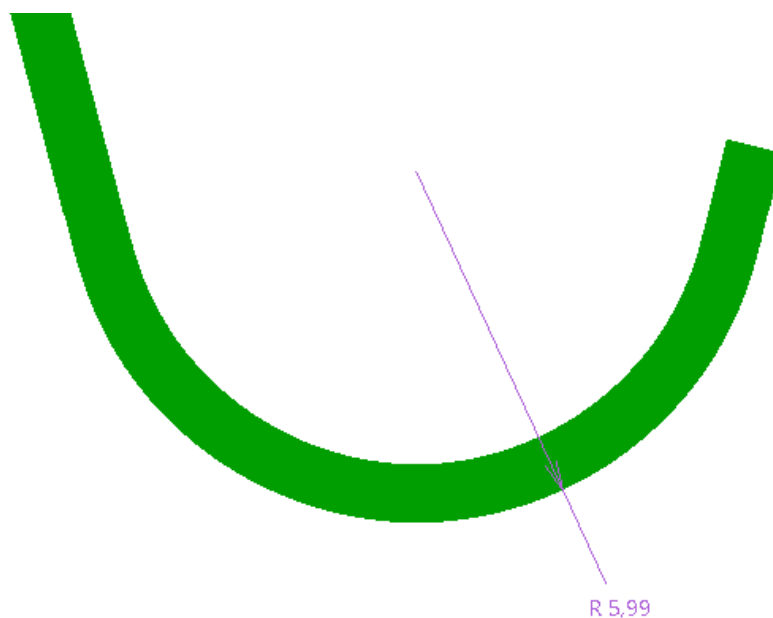
Слика 5.30. Расподела ефективног напона за операције савијања прве и друге зоне након растерећења

Расподела ефективне пластичне деформације за операције савијања прве и друге зоне дата је на слици 5.31.

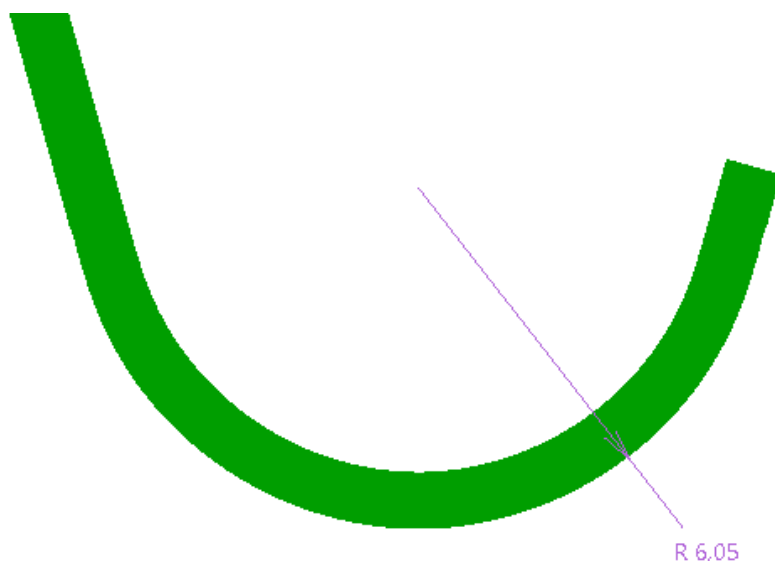


Слика 5.31. Расподела ефективне пластичне деформације за операције савијања прве и друге зоне

На слици 5.32. приказан је радијус добијен у операцији савијања прве и друге зоне пре растеређења, док је на слици 5.33. приказан радијус након растеређења.



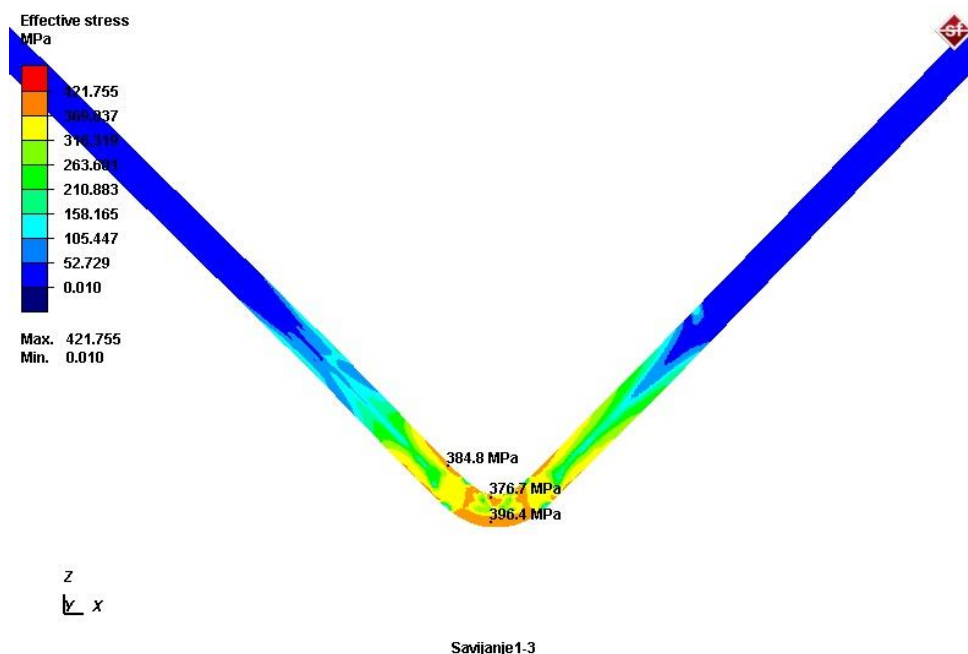
Слика 5.32. Радијус савијања добијен у операцијама савијања прве и друге зоне пре растеређења



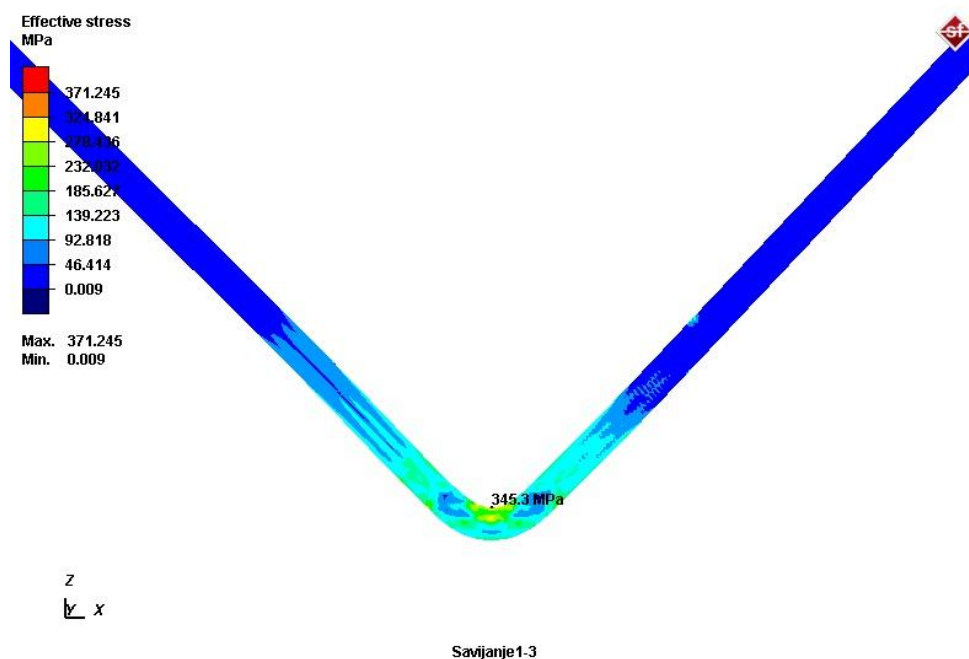
Слика 5.33. Радијус савијања добијен у операцијама савијања прве и друге зоне након растерећења

Трећа и четврта зона савијања

Расподеле ефективног напона за операције савијања треће и четврте зоне пре и након растерећења дате су сликама 5.39. и 5.40.

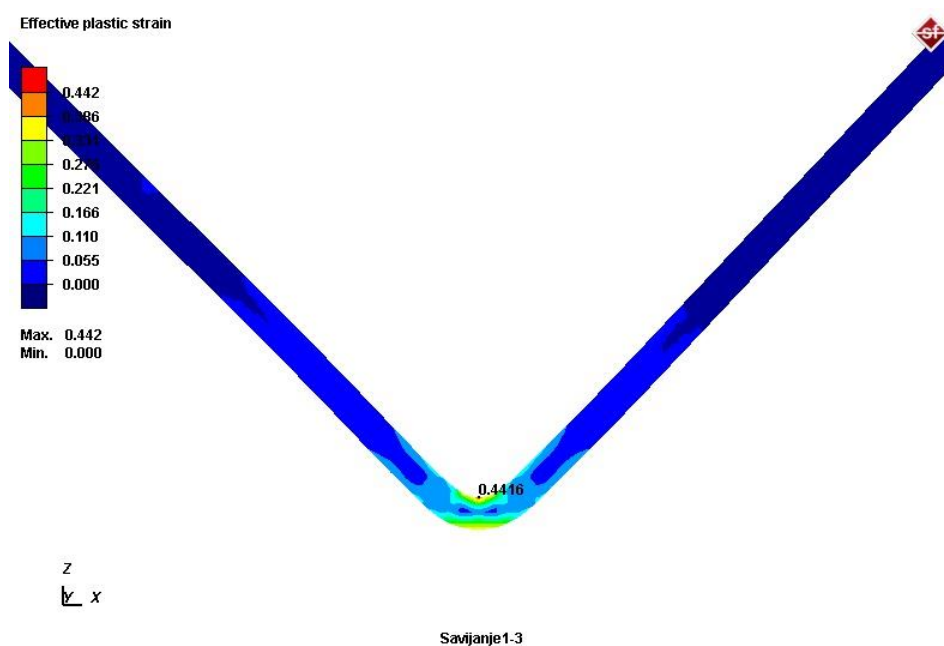


Слика 5.39. Расподела ефективног напона за операције савијања треће и четврте зоне пре растерећења



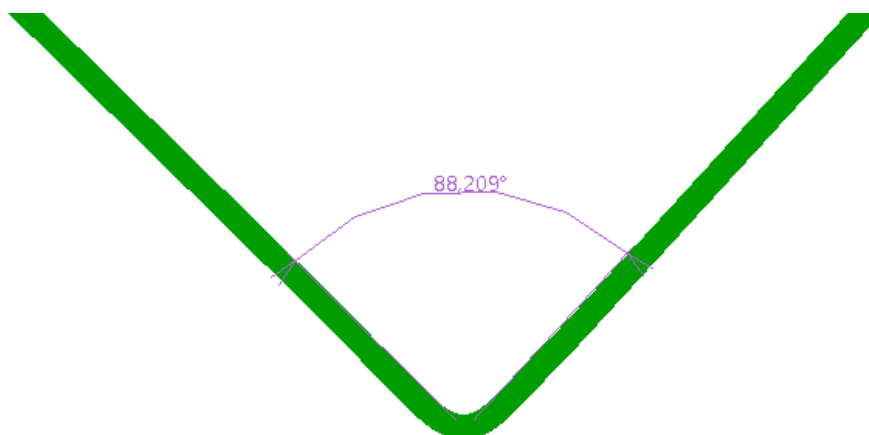
Слика 5.40. *Расподела ефективног напона за операције савијања треће и четврте зоне након растерећења*

Расподела ефективне пластичне деформације за операције савијања треће и четврте зоне дата је на слици 5.41.

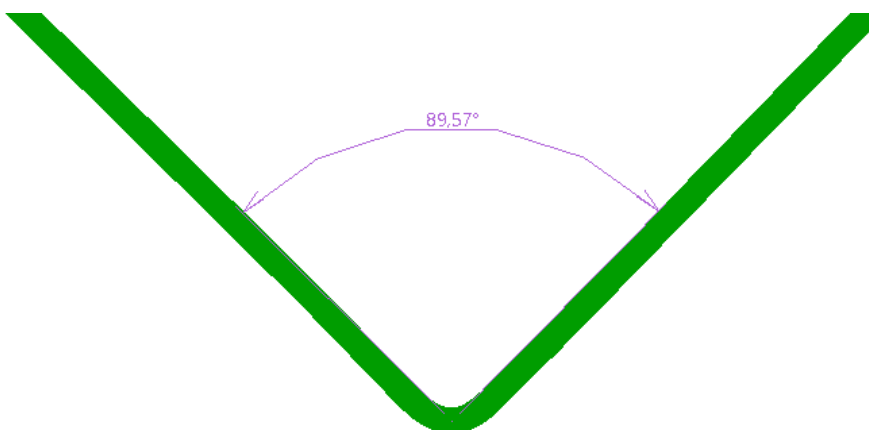


Слика 5.41. *Расподела ефективне пластичне деформације за операције савијања треће и четврте зоне*

На слици 5.42. приказан је угао савијања добијен у операцијама савијања треће и четврте зоне пре растерећења. Док је на слици 5.43. приказан угао добијен у операцијама савијања треће и четврте зоне након растерећења.

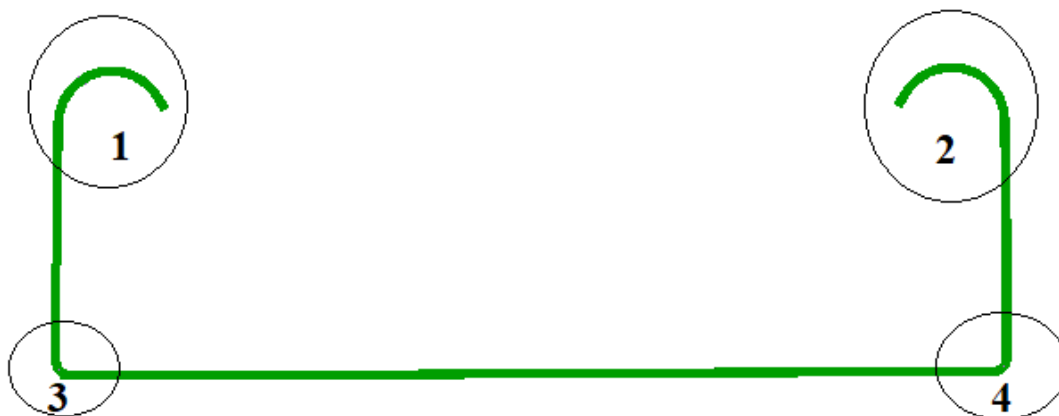


Слика 5.42. Угао савијања добијен у операцијама савијања треће и четврте зоне пре растеређења



Слика 5.43. Угао савијања добијен у операцијама савијања треће и четврте зоне након растеређења

На слици 5.44. приказан је виртуелни модела комплетно обликованог носача са све четири зоне савијања. На слици је бројем означена свака зона.



Слика 5.44. Виртуелни модел носача од лима добијен нумеричким симулацијама процеса савијања све четири зоне савијања

6. Анализа добијених резултата и закључна разматрања

У овом поглављу алализирани су резултати свих нумеричких симулација процеса савијања. Поред расподеле ефективног напона и расподеле ефективне пластичне деформације приказана је и еластична повратност.

После реализоване пробне симулације савијања установљено је да се јављају повишени напони на местима контакта алата и припремка. Поред тога што виртуелни продор (пенетрација) алата у припремак није изузетно велики већ износи 0,01582 mm, програм препознаје проблем и на месту продора прорачунава повећане локалне напоне у коначним елементима у тој зони контката. Утврђено је да се напони јављају због велике крупноће „facet -а“ на алатима. После смјења „facet -а“ на алатима утврђено је да се не јављају повећани локални напони на местима контакта алата и припремка.

У првој и другој операцији савијања (савијање прве и друге зоне) на основу резултата нумеричних симулација за ефективни напон пре растерећења установљено је да се јављају повишени локални напони на месту контатка припремка и доњег алата, конкретно на месту мањег радијуса доњег алата. С обзиром да се максимални напон јавља у контакту припремка са малим радијусом на доњем алату, и да је у питању вредност у граничном коначном елементу припремка који је само тренутно у конткату са радијусом на доњем алату, не може довести до нежељених ефеката пуцања лима у спољашњим влакнима. На основу тога може се ова мала зона изузети из опште анализе процеса савијања, јер у осталим деловима зоне савијања су вредности напона у дозвољеним границама. Резултати нумеричких симулација за вредности ефективних напона након растерећења показују задовољавајуће вредности. Вредности деформација се креће у распону од 0 – 0,36. Вредност 0,36 представља локалну вредност која је тренутно у контакту обратка са радијусом доњег алата. На основу тога ова мала зона се може изузети из општег закључног разматрања с обзиром да су вредности деформација у осталим деловима обратка у дозвољеним границама (мање од 0,19).

У првој и другој операцији савијања вредност радијуса пре растерећења износи 5.99 mm, док након растерећења износи 6,05 mm што је у границама толеранције за дефинисани носач од лима.

У трећој и четвртој операцији савијања (савијање треће и четврте зоне) на основу резултата нумеричних симулација за ефективни напон пре растерећења установљено је да се јављају незнатно повишени локални напони у зони савијања. Резултати нумеричких симулација за ефективни напон након растерећења показују задовољавајуће вредности. Вредности ефективних деформација се креће у распону од 0 – 0,45. Вредност 0,45 представља локалну вредност која је тренутно у контакту са малим радијусом на горњем алату. Ова зона може потенцијално бити критична и потребно је размотрити редизајн готовог дела и алата уколико то не ремети функционалност дела за даље коришћење у склопу готовог производа. У трећој и четвртој операцији савијања вредност угла пре растерећења износи $88,209^\circ$, док након растерећења износи $89,57^\circ$ што представља задовољавајуће резултате у дефинисаним толеранцијама.

Радијус савијања r_u мора да задовољи неједначину да би обрада била успешна:

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

Вредност минималног и максималног радијуса савијања за материјал припремка износи:

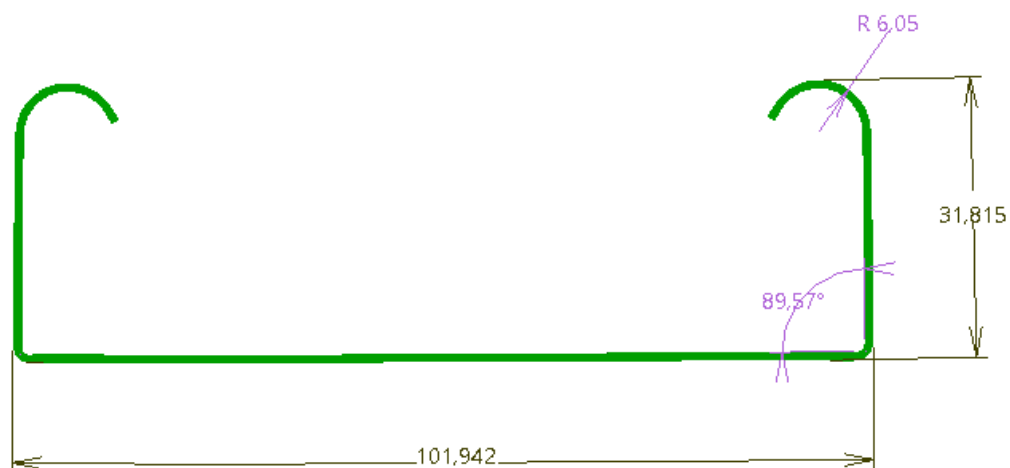
$$r_{u \min} = c \cdot s = 0,6 \cdot 1 = 0,6 \text{ mm},$$

$$r_{u \max} = \frac{s \cdot E}{2 \cdot R_p} = \frac{1 \cdot 21000}{2 \cdot 315,55} = \frac{210000}{631,1} = 332,75 \text{ mm}.$$

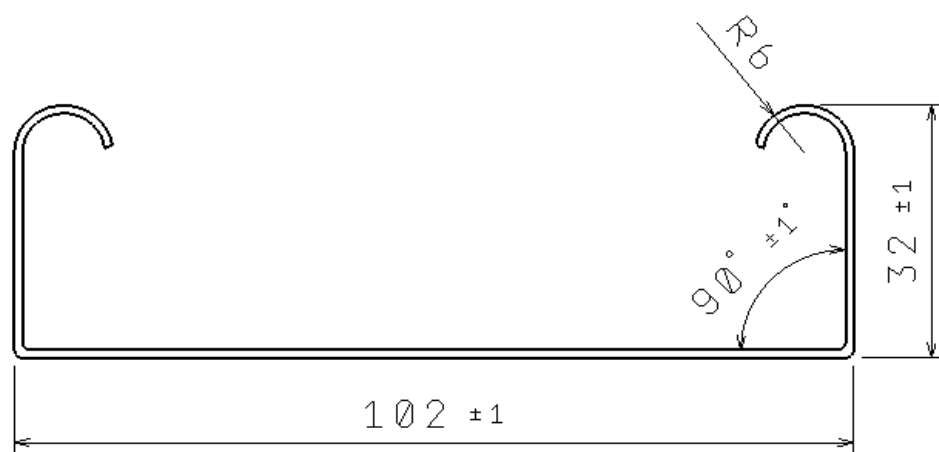
За прву и другу зону савијања вредност $r_u = 6 \text{ mm}$ што значи да је неједначина задовољена и обрада у првој и другој зони није критична.

За трећу и четврту зону савијања вредност $r_u = 1 \text{ mm}$ је врло блиска критичној, па су стога и добијене велике вредности конткатног напона и остварених локалних деформација, коментарисане претходно.

На крају анализе извршено је поређење димензија виртуелног обратка добијеног нумеричким симулацијама са димензијама готовог дела од лима дефинисаног радионичким цртежом. На слици 6.1. приказане су димензије виртуелног обратка, док су на слици 6.2. приказане димензије готовог носача од лима.



Слика 6.1. Димензије виртуелног обратка носача добијеног нумеричким симулацијама



Слика 6.2. Димензије профила носача од лима

Поређењем димензија дошло се до закључка да се димензије виртуелног обратка добијене путем симулација налазе у границама толерација које су прописане техничким цртежом готовог носача од лима.

Литература

- [1] Бранко Мусафија, *Обрада метала пластичним деформисањем*, Сарајево, 1979.
- [2] Србислав Александровић, Милентије Стефатовић, *Технологија пластичног обликовања метала*, Машински факултет, Крагујевац, 2010.
- [3] Владо Вујовић, *Технологија пластичности у машинству*, Нови Сад, 1990.
- [4] <https://www.machinemfg.com/sheet-metal-design/> , приступљено 09. 08. 2019.
- [5] Бранислав Девеџић , *Обрада метала деформисањем*, Београд, 1981.
- [6] <https://www.machinemfg.com/3-roll-bending-machine-working-principle-rolling-process/> , приступљено 09. 08. 2019.
- [7] Никола Миљковић, *Симулација двоугаоног савијања у корачном алату*, завршни рад, Машински факултет, 2009.
- [8] Весна Мандић, *Машине и алати у обради деформисањем*, материјал са предавања.
- [9] Драгиша Вилотић, *Хидрауличне пресе и чекићи*, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2014.
- [10] <http://www.vendo.hu/sr/raktarkeszlet> , приступљено 03. 09. 2019.
- [11] <https://novijelsingrad.com/index.php/sadrzaj/jedna/9> , приступљено 16. 09. 2019.
- [12] Jelšingrad, *Хидраулична апкант преса „НАРА 80/30”*, технички опис и упуство за рад, Бањалука, 1987.
- [13] Андријана Јовановић, *Хомогеност деформисања при обликовању танких лимова*, завршни рад, Факултет инжењерских наука, 2015.
- [14] https://www.academia.edu/31334775/Metoda_konacnih_elementa_Uvod , приступљено 03. 10. 2019.
- [15] <https://sy-electric.en.made-in-china.com/> , приступљено 16. 09. 2019.