

Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство
Ниво студија: Мастер академске студије
Модул: Производно машинство
Предмет: Технологија прераде пластичних маса
Број индекса: 385/2016

Лазар М. Славковић

Реконструкција лабораторијске пресе у циљу израде делова вулканизацијом гуме

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Богдан Недић - ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____
Оцена: _____

Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука
Модул: Производно машинство
Предмет: Технологија прераде пластичних маса

Мастер рад

на тему:

Реконструкција лабораторијске пресе у циљу израде делова вулканизацијом гуме

За кандидата: Лазар Славковић 385/2016

У оквиру мастер рада кандидат треба да детаљно опише технологије прераде гуме (процесе екструдирања, спајања метала са гумом и пресовања гуме), као и процесе вулканизације у аутоклавима. На крају рада је потребно урадити реконструкцију лабораторијске пресе са циљем добијања машине за израду делова пресовањем.

Дипломски рад треба да садржи:

1. Уводна разматрања,
2. Основне појмове о гуми
3. Процес обликовања полупроизвода пре вулканизације
4. Процес вулканизације
5. Реконструкцију пресе
6. Пројектовање алата за израду делова од гуме
7. Закључак
8. Литературу

Ментор:
Проф. др Богдан Недић

Крагујевац, Јул 2018.

Резиме

Предмет изучавања мастер рада је материјал који због својих еластичних изолационих и заптивних особина налази велику примену у свим индустријским гранама – **гума**. Рад објашњава сва њена својства и поступке прераде гуме пре вулканизације, као што су екструдирање, спајање гуме са металом и пресовање. Описан је процес вулканизације, како различитих типова континуалне, тако и различитих типова вулканизације у аутоклавима. Поред тога, дат је опис реконструкције лабораторијске пресе у циљу добијања производа вулканизацијом гуме.

Додатно, у софтверском програму CATIA V5 израђен је модел машине са свим елементима који су потребни за реконструкцију као и модел алата који се састоји од више гравура.

Кључне речи: реконструкција, екструзија, пресовање, вулканизација, аутоклав.

Abstract

The subject of master thesis is material with its all elastic, insulating and sealing characteristics which finds widely usage in all industrial's branches – **rubber**. Besides, the rubber characteristics and methods of processing rubber such as: extrusion, rubber-metal bonding and molding rubber are explained in presented master work. Furthermore, vulcanization process were described, both different types of continuous vulcanizations and different types of vulcanizations in autoclave. This work provides a description of reconstruction of laboratory press, in order to obtain vulcanizing rubber products.

Additionally, the model of machine, within all elements which are needed for reconstruction and the model of tool, which contain more than one engraving are made in the software program CATIA V5.

Key words: reconstruction, extrusion, pressing, vulcanization, autoclave.

Садржај

Уводна разматрања

1. Основни појмови о гуми.....	10
2. Сировине за производњу гуме	14
2.1. Природни каучук	14
2.1.1. Производња природног каучука димљењем	14
2.1.2. Производња природног каучука сушењем	15
2.1.3. Производња природног каучука деловањем киселина.....	15
2.1.4. Припремање и прерада природног каучука.....	16
2.2. Синтетички каучук.....	17
2.2.1. Универзални синтетички каучуци	17
2.2.2. Специјални синтетички каучуци	18
3. Основна својства каучука и гуме	20
3.1. Физичка стања каучука	20
3.2. Еластичност и чврстоћа гуме	20
3.3. Тврдоћа гуме	24
3.4. Фрикциона својства гуме	24
3.5. Специфична својства гуме	25
4. Додаци у процесу производње гуме	29
4.1. Основни појмови о додацима.....	29
4.2. Средства за вулканизацију	30
4.3. Убрзивачи вулканизације	30
4.4. Успоривачи вулканизације	31
4.5. Средства против старења, замарања и деловања озона.....	31
4.6. Омекшивачи (пластификатори)	32
4.7. Пунила	34
4.8. Боје	35
4.9. Додаци специјалне намене	35
5. Израда каучукове смесе	37
5.1. Састављање рецептуре	37
5.2. Формирање (мешање) смесе	38
5.2.1. Двоваљци за мешање.....	39
5.2.2. Континуални миксери за умешавање	40
6. Обликовање полупроизвода пре вулканизације.....	42
6.1. Екструдирање	42
6.1.1. Прерадљивост при екструдирању	42

6.1.2.	Процес екструдирања	42
6.1.3.	Вулканизација у соној купки	44
6.1.4.	Вулканизација помочу флуидизованих лежишта	45
6.1.5.	Вулканизација у микроталасним пећима	45
6.1.6.	Вулканизација са инфрацрвеним зрачењем	46
6.1.7.	Екструдирање жица и каблова	47
6.1.8.	Екструзиони уметци за екструдирање гуме	47
6.1.9.	Материјали за екструдирање производе	48
6.1.10.	Облици екструдираних профила	50
6.1.11.	Грешке у екструдираним производима	50
6.1.12.	Предности и недостаци процеса екструзије	52
6.2.	Облагање метала гумом	52
6.2.1.	Материјали	53
6.3.	Добијање гумених и гумено-металних производа пресовањем	55
6.3.1.	Компресионо обликовање – СМ	55
6.3.2.	Трансферно обликовање – ТМ	56
6.3.3.	Инекционо бризгање – ИМ	58
6.3.4.	Вулканизација у процесима пресовања	59
7.	Вулканизација	61
7.1.	Методе вулканизације	62
7.2.	Вулканизација у котловима (аутоклавима)	63
7.3.	Грешке при вулканизацији	68
8.	Старење, испитивање и складиштење гумених производа	70
8.1.	Старење гумених производа	70
8.1.1.	Узроци старења	70
8.2.	Испитивање гумених производа	71
8.3.	Складиштење гумених производа	72
9.	Врста и квалитет гуме	74
9.1.	Природна гума	74
9.2.	Синтетичка гума	75
10.	Реконструкција лабораторијске пресе	77
10.1.	Опис лабораторијске пресе	77
10.2.	Измене на лабораторијској преси	78
10.3.	Пример пројектовања алата за израду делова од гуме	81

Закључак

Литература

Уводна разматрања

Једна од области која посебно напредује и која се развија је и област полимерних материјала, која је довела до читавог низа нових производа и масовне производње материјала специфичних механичких, физичких и других карактеристика. Посебан развој у тој области припада еластомерима у чију групу спада гума.

За протеклих стопедесет година од како је пронађен поступак вулканизације, гума је заузела изузетно место међу материјалима који карактеришу савремену цивилизацију. Иако није основни конструкциони материјал, употреба гуме, због њених еластичних, изолационих и заптивних својстава, толико се проширила у производњи саобраћајних средстава, машина, наоружања, разних уређаја и инсталација, као и робе широке потрошње, другим речима од индустрије и грађевинарства све до медицине и космичке технике, да се од ње израђују: пнеуматици за аутомобиле, тракторе, бицикле, бесконачне гумене траке, гумена црева, делови отпорни на киселине, базе, корозију и абразију, прикључци, обућа, одећа, делови за електроизолацију, заптивни материјали (посебно у хидраулици и пнеуматици) итд.

Као полазна сировина за добијање гуме користи се каучук. Открићем Америке 1492. године Европљани су упознали смоласто-еластичну смесу, названу каучук. Тамошња племена, правила су од каучука обућу, посуде за воду, лопте итд. Биљка која се највише користи за добијање гуме зове се хевеја (*Hevea Brasiliensis*). На хевеји се праве зарези, из којих цури млечни сок – латекс. Лепљиви, млечни сок се скупља, а његовим згрушавањем настаје каучук. Реч каучук потиче од речи „*cahuchu*“ што значи „дрво које плаче“.

Иако има преко 500 врста биљака са каучуковим млеком, које се међу собом разликују према квалитету и количини каучука – латекса ипак се могу издвојити најважније врсте дрвета, а то су [3]:

- *Hevea brasiliensis*, пореклом из Бразила која се гаји у плантажама многих земаља света;
- *Castilloa elastic*, која успева у сливу Амазона;
- *Kickxia elastic*, која успева у Јужној Америци;
- *Ficus*, који успева у Источној Азији.

У европи дуго нису знали да искористе каучук, јер нису познавали начин његове прераде. Предмети израђени од еластичног каучука током времена или услед повишених температура постајали су лепљиви док су на хладноћи били крти. Тек 1820. године је Енглеz Хенкок (Thomas Hencock) открио да прерадом на ваљцима каучук постаје пластичан и може се лако обликовати. Тај поступак се и данас користи под називом мастификација. Године 1839. Американац Чарлс Гудјир (Charles Goodyear) запазио је да мешавина каучука и сумпора под утицајем топлоте потпуно губи своју лепљивост и пластичност и постаје еластична и отпорна маса према промени температуре. Овај поступак је назван вулканизација. Тако су мастификација и вулканизација постали два стуба индустрије гуме [2].

Почетком XX века, у неколико центара у Европи добијен је синтетички каучук на лабораторијском нивоу. У току рата 1914 – 1918. у Немачкој, индустријски је произведен тзв. метиленски каучук (био је то полимер 2,3 диметилбутадиена, откриће Кондакова), а у после ратном периоду каучук добијен полимеризацијом бутадиена под дејством натријума (отуда назив „Буна“).

Због недоступности плантажа биљака од којих се добија каучук, у току Првог и Другог светског рата појачано је интересовање за добијање материјала синтетичким путем, што је знатно допринело развоју индустрије полимера уопште и науке о полимерима.

Тежња за поправљањем својстава каучука довела је до комбиновања каучука са другим материјалима, најпре текстилом (појава првих индустријских полимерних композита), и разним хемикалијама, уз дејство топлоте и притиска, што је и довело до открића гуме. Тако је каучук престао да буде материјал који се обликује у производе (као други полимери) и постао сировина за нов материјал – гуму.

Највећи потрошач каучука у двадесетом веку је индустрија друмских возила. У неким резвијеним земљама и до 70% потрошње каучука одлази на гуме за точкове, и још 15% за другу гумену робу уграђену у возила.

Захваљујући изузетном напретку хемијске индустрије, производња синтетичког каучука као стратешког материјала учинила је да се производи од гуме јављају у веома широком асортиману. Гума као конструктивни материјал има веома значајну примену због својих изузетних својстава која се огледају у [3]:

- ниској вредности модула еластичности у почетној фази деформације;
- високој вредности модула еластичности у деформисаном стању;
- великој вредности издужења при кидању (и преко 1000%);
- брзом и потпуном скупљању на првобитне димензије после престанка дејства оптерећења;
- добрим амортизујућим својствима;
- добрим механичким својствима;
- великој отпорности на хабање;
- непропустивости за воду и гасове и
- отпорности према агресивним срединама.

Примена гуме као конструктивног материјала је знатна, тако да се сматра да број производа од гуме достиже и 40.000 производа.

У **првом делу** рада биће описане основне сировине потребне за производњу гуме као и њихова основна својства, а такође ће се говорити и о додатним средствима која гумену смесу чине комплетном.

Други део се односи на израду каучукове смесе, добијање полупроизвода пре вулканизације путем различитих поступака прераде, као што су екструдирање гуме и спајање метала са гумом, као и добијање производа пресовањем.

У **трећем делу** се говори о вулканизацији каучукове смесе, са детањним описом основних фаза вулканизације као и процесима вулканизације у аутоклавима. Такође, биће речи и о старењу испитивању, складиштењу као и о врсти и квалитету гуме.

Четврти део је посвећен реконструкцији лабораторијске пресе за испитивање грађевинског материјала и добијању машине за компресионо пресовање гуме. Такође, дат је приказ пројектовања алата за израду делова пресовањем гуме.

На самом крају рада дат је закључак и списак литературе која је коришћена при изради мастер рада.

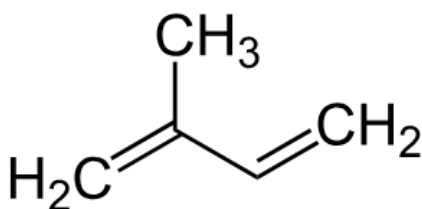
1. Основни појмови о гуми

Полимери су органска или неорганска једињења изграђена од молекула великих молекулских маса (макромолекула) у којима су атомске групе, тзв. „структурне јединице“, повезане хемијским везама чинећи тако полимерни (макромолекулски) ланац. Атомска група која се понавља у полимерном ланцу назива се структурна или понављајућа јединица. Полазна супстранца од које настаје структурна јединица је мономер чијим хемијским повезивањем настају макромолекули [10].

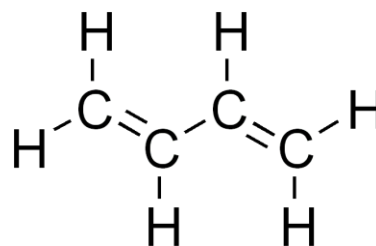
Основна подела полимерних материјала према механичком, техничком и хемијском понашању се може извршити на:

- термопластичне (термопласти) – на повишеним температурама се топе и лако прерађују, након хлађења задржавају облик, могу се поново прерађивати без значајних промена својстава;
- термореактивне (дуропласти) – са повећањем температуре долази до хемијске реакције (умрежавања) што доводи до трајног очвршћавања полимера и
- еластомере – на собној температури су еластични и истежу се најмање на двоструку дућину без заосталих деформација.

Еластомери обухватају велики број полимерних материјала који имају велике еластичне деформације при дејству малих напона, а по престанку њиховог дејства брзо се враћају у првобитан облик. Еластомери се могу поделити на: гуму и термопластичне еластомере. Као мономер, код ове групе материјала, за продукцију природне гуме користи се изопрен (слика 1.), а за продукцију синтетичке гуме користи се бутадиен (слика 2.).



Слика 1. Изопрен.



Слика 2. 1,3 – Бутадиен.

Гуму је могуће дефинисати на различите начине: према саставу, својству, структури, примени итд.

Према саставу гума је сложени материјал добијен од каучука и разних додатака који се користе ради процеса побољшања својстава каучука. Највећи успех је представљао додатак сумпора, уз дејство топлоте и притиска, што указује да гума није само смеша каучука и додатака већ да су за њено добијање потребне неке хемијске промене (вулканизација). Ипак, данас се зна за материјале са својствима добре гуме добијене без додавања сумпора или неког другог хемијски активног агенса. Додаци се могу поделити у следеће групе:

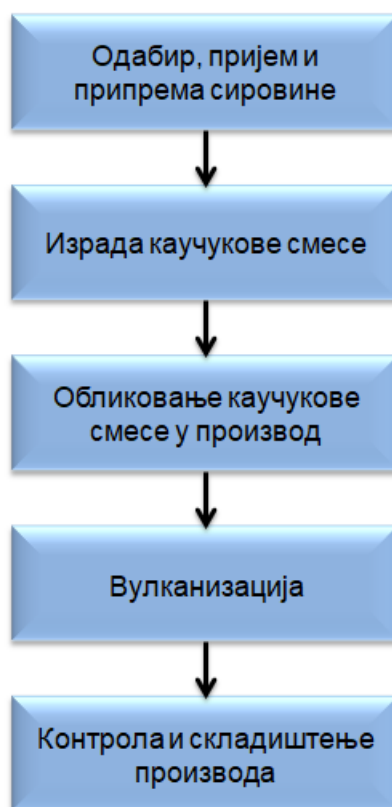
1. Средства за вулканизацију (умрежавање) – као ова средства користе се сумпор, селен, пероксид и др;
2. Убрзивачи, активатори, успоривачи вулканизације – заједно са средствима за вулканизацију чине систем за вулканизацију који омогућава добијање бољих физичко-механичких и других особина гуме;
3. Пунила – у које спадају чађ, креда, каолин, калцијумкарбонат, глина и др. доводе до промене особина гуме и добијања на маси и запремини производа са истом количином каучука, чиме се смањује цена. Такође се могу мењати тврдоћа, модул, прекидна чврстоћа (код појачавајућих пунила она расте са количином до неког максимума, а затим опада), топлотна стабилност и отпорност на хемикалије;
4. Пластификатори и омекшивачи – олакшавају прераду смеша и смањују тврдоћу производа. Неки повећавају отпорност материјала на ниским температурама. То су обично уља, минералног или биљног порекла, али могу бити и синтетски производи, па и полимери;
5. Средства против старења – су додаци који успоравају процес деградације гуме а тиме и погоршање њених физичко-механичких карактеристика, стварање пукотина и разарање. У ову сврху се користе хемијске реактивне органске супстанце које спречавају дејство агенаса који разарају гуму;
6. Специјални додаци – који служе у различите сврхе: као заштита против горења, за стварање пенастог материјала, промену електромагнетних својстава итд [1].

Према својству гума је материјал који се лако под дејством мале силе деформише, нпр. истезањем на више од 100% своје дужине, и враћају при собној температури и престанку дејства силе, готово потпуно, у првобитан облик. За разлику од челика који губи своје еластичне карактеристике при деформацији испод 1%, гума може издржати, без значајних заосталих деформација, вишеструко истезање од 500% па и 1000%. При деформисању притискањем, гума је практично нестишљив материјал, при чему је слична течностима. Важно својство гуме јесте мала тврдоћа (у поређењу са другим чврстим телима) која је комбинована са еластичним својствима, непропустљивошћу и инертношћу за многе флуиде. То даје гуми добре заптивне особине, као и широку примену. У погледу хабања, може да варира од јако отпорне до врло потрошне. У основи је електроизолациони материјал, што знатно варира зависно од састава. Има неенергетски карактер, на шта указује употреба мале енергије за њено деформисање.

У структурном смислу, савремена наука дефинише гуму као просторно умрежен систем молекула каучука, тј. систем полимерних ланаца са дугим сегментима између чворова мреже, у термичком кретању. Приликом макродеформације материјала долази и до микродеформације сегмената и померања чворова мреже под дејством спољашњег поља, чиме се унутрашња уређеност система мења, посебно при великим деформацијама, што резултује специфично понашање гуме при деформисању. Просторна мрежа онемогућава кретање молекула каучука, уграђених у њу, по запремини материјала и прелазак у раствор без кидања мреже. Тиме се објашњава нерастворљивост вулканизата (бубри у разним растварачима), нестишљивости гуме и др [1].

Дефинисање појма гума са аспекта примене није једноставно. Развојем савремене технологије полимера, упоредо са богатством разноврсних материјала, почеле су да се преплићу особине појединих група и грубе чврсте границе између њих. Примера ради, полинорборнен се сматра каучуком јер се примењује у производњи гуме, мада је то прашкаст материјал нимало сличан каучуку, који тек додатком пластификатора и адекватним умрежењем ипак даје гуму жељених својстава. У новије време појавила се читава класа материјала, нпр. блок – кополимери какав је полимер стирен-бутадиен-стирен. Крајеви оваквих ланаца формирају стакласту фазу у материјалу која фиксира просторну структуру, док бутадиенски блокови дају еластичност. Тако се добија материјал који одговара гуми на собној температури, али који се може загревањем превести у растоп и обликовати као термопласт или растварати. Он је умрежен физичким реверзибилним мостовима а не хемијским везама. Ови материјали се називају термоеластомери [2].

Савремено инжењерство полимерних материјала пружа могућност да се неки типични нееластомерни полимери, тј. полимери различити од каучука преведу у материјале са својствима гуме. Са ширењем броја материјала који се могу употребљавати као гума расте врста и количина гумених производа. Без обзира на разноврсност и различиту заступљеност појединих производа, производња гуме уопште може се приказати једноставном шемом (слика 3.).



Слика 3. Шема производње гуме [2].

Сировине за гуму данас су многобројне и разноврсне, како по саставу и намени тако и по уделу. Познавање основних сировина и њихове употребе у гумарству предуслов су сваког даљег рада.

Каучукова смеша је основни полупроизвод гумарске индустрије. То је композиција каучука и додатака одређеног хемијског састава у одређеном односу, умешаних прописаним редоследом за дате услове. Другим речима, каучукова смеша („смеса за гуму“ или „смеса за вулканизацију, енг. compound) није просто смеша компонената. Ланци каучука ступају у сложене физичко-хемијске и хемијске интеракције како међусобно тако и са додацима. Долази до структурних трансформација полимера под дејством механичких напрезања и температуре при мешању, интеракције међу додацима, могућ почетак умрежавања, трансформације фаза, дејство агенаса из спољне средине и сл. Стога се поред састава, строго мора прописати режим припремања смесе (време, температура, притисак), у зависности од машине за мешање.

Из каучукове смесе могу се добити разни профили поступком екструзије, затим глатки или профилисани листови методом каландровања, сложени облици методом пресовања и др. Смеса се може наносити на тканине, металне и друге површине. Овако добијени сирови производи у већини случајева се вулканизују, при чему се под дејством температуре и притиска у смеси одигравају сложене реакције које имају за последицу стварање просторне мреже полимерних ланаца у материјалу и скоковите промене особина производа (стварање гуме).

Често је поступак обликовања (нпр. у калупу) истовремен са вулканизацијом која наступа услед загревања калупа. У неким случајевима су све фазе приказане шеме обједињене у јединствен поступак, што не умањује значај познавања принципа операција и процеса који теку континуално.

Гумарска индустрија као и производња свих сложених материјала, тражи знатно учешће људског рада, различитих степена квалификације: од мануелног рада, незаменљивог при састављању сложених производа, па до лабораторијске контроле и истраживачког рада развоја рецептуре постојећих и пројектовања нових материјала.

Током производње каучукових смеша и прераде у гуму, обично се јавља и отпад у виду смеша које нису задовољиле, вишкови из калупа и извесне дозе шкарта готових производа, који уз већ искоришћену – стару гуму ствара знатне проблеме. Она се може делимично рециклирати, уз хемијску обраду у виду такозваних регенерата, користи се делимично као гориво али генералних решења још нема [2].

2. Сировине за производњу гуме

Као полазна сировина за добијање гуме користи се каучук, који по пореклу може бити:

- природни и
- синтетички.

Под каучуком се подразумева неумрежени макромолекулски материјал природног или синтетичког порекла, од кога се производи гума. Каучуци имају способност да се на собној температури, због своје макромолекулске структуре, враћају у првобитан облик, из кога су изведени због дејства слабих напона. Већина каучука одликује непропустљивост за течности и гасове као и добре електроизолационе карактеристике.

2.1. Природни каучук

Природни каучук је по хемијском саставу угљоводоник – полиизопрен. Основна сировина за добијање природног каучука је латекс (каучуково млеко) који се добија од тропских биљака путем деловања на њих хемијским средствима или механичким путем. У почетку се латекс искључиво добијао из тропске биљке хевеје (*Hevea brasiliensis*) а касније и из других биљака. Добијање латекса изводи се путем зарезивања дрвета и подесног начина прикупљања сока који цури из дрвета.

Латекс садржи већу или мању количину каучука, у зависности од које биљке се узима. Тако нпр. хевеја садржи 37-41% каучука и доста велики садржај воде (52-57%), која се ради смањења трошкова транспорта истискује путем коагулације латекса. Та коагулација (згрушавање) изводи се на три начина, и то су:

- димљењем;
- сушењем и
- у киселинама

Поред тога и беланчевине (2,2-2,7%), смоле (2-3,4%), пепела (0,2-0,4%) и шећера (0,2-0,4%).

Ако латекс дуже време стоји, каучук почиње да коагулира услед деловања бактерија којих има у латексу и које стварају киселу средину за коагулацију [2].

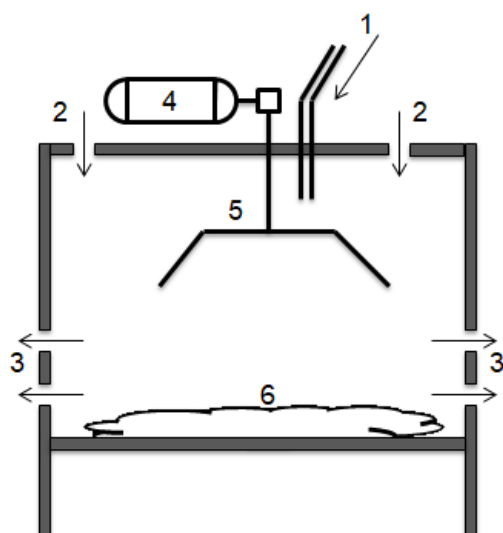
2.1.1. Производња природног каучука димљењем

Овај начин је најстарији начин за добијање каучука. По овој методи окреће се вретено на ватри са много дима који садржи доста фенола. Вретено се окреће на диму и повремено се залива латексом све док се не добије бала од 10 – 30 kg тежине. Затим се она расече по дужини, скине са вретена, просуши још пар дана на ваздуху и пакује за даљи транспорт. Производња оваквог каучука је

нагло пропала због спорог процеса производње и сада износи само 2% од светске производње природног каучука [2].

2.1.2. Производња природног каучука сушењем

Сушење каучуковог млека изводи се у уређају чија шема је дата на слици 4. Латекс капље кроз цеб (1) на хоризонталну обртну плочу (5) коју покреће електромотор (4) великом брзином око вертикалне осовине и услед деловања центрифугалне силе латекс се распршава и коагулише на зидовима коморе, под дејством топлог ваздуха који кроз отвор (2) улази у комору и излази на отвор (3) и при томе изазива пад сунђерасте масе на дно коморе. Издвојена сунђераста маса се затим пресује у плоче или блокове [3].



1. довод латекса
2. довод ваздуха
3. одвод ваздуха
4. електромотор
5. распоређивач каучука
6. готови и осушени каучук

Слика 4. Уређај за сушење латекса [3].

2.1.3. Производња природног каучука деловањем киселина

Каучук се производи тако што се латекс претходно разређи водом на 10-20% каучука у латексу, филтрира и ставља у преграде за коагулацију. Овако припремљен латекс много лакше излучује честице каучука, а и лакше се меша са хемикалијама које се додају латексу. Латекс се затим ставља у преграде за коагулацију (слика 5.), додају му се средства против оксидације каучука (NaHSO_3) и мравља или сирћетна киселина за изазивање коагулације. Након 24 часа у преградама каучук се издвојио од серума и испливао на површину. Овако сирови каучук се даље сече на комаде, гњечи, а затим испира водом на дво-ваљцима, који су приказани на слици 6., да би се одстранио серум и вишак киселине. Листови се обично ваљају на дебљину од 2 – 5 mm [2].



Слика 5. Коагулација у преградама [2].



Слика 6. Дво-ваљци за испирање гуме [20].

2.1.4. Припремање и прерада природног каучука

Из разлога што каучук добије из дивљих бијака садржи 20% нечистоћа, врши се испорање на ваљцима, а најчешће цаљање каучука на широким ваљцима на којима се истовремено извршава и сушење и мастифицирање.

Мастицирање је поступак гњечења каучука између ваљака после чека он губи своју еластичност и постаје пластичан и мек, те је као такав припремљен за даље операције прераде. Успех овог процеса зависи од много фактора, а највише од: температуре каучука у току мастицирања, услова хлађења, трајања мастицирања, брзине и односа брзина обртаја ваљака, дебљине слоја каучука, времена опоравка итд.

Мастицирање траје од 20-40 минута и обично се врши у више наврата – после делимично хлађеног каучука. Поступак се изводи без загревања каучука или на температури од 40 – 50°C, што зависи од сировине, односно од захвата финалног производа. У току мастифицирања контролише се пластичност и способност враћања каучука у првобитни положај, тј. поседовање још неке еластичности у току одређеног времена. Данас се за убрзавање мастифицирања додају разне хемикалије (пластификатори или пептизатори) [2].

Предности мастицирања уз додатак пластификатора су следеће:

- време мастицирања се смањује за 50%;
- капацитет производних машина на којима се врши мастицирање се удвостручује;
- утрошак енергије се смањује за 40 – 50%;
- пластификатори не врше никакав утицај на физичко-механичка својства, старење и промену боје.

Мастицирање нема само физички карактер омекшавања, већ истовремено настају и хемијске промене у смислу оксидације, измене структуре каучука и др. Физичко-механичке промене су очите и оне су углавном следеће: чврстоћа,

тврдоћа и еластичност опадају, а пластичност и топлјивост расту. Поред тога бубрење опада а боја каучука постаје тамнија [2].

2.2. Синтетички каучук

Синтетички каучук обухвата групу високо полимерних материјала, чији је полимер способан да реакцијом умрежавања (вулканизацијом) пређе из вишег пластичног у више еластично стање.

Производња синтетичког каучука се састоји из два узастопна процеса, и то производња мономера као први процес и његова полимеризација или кондензација као други процес.

Својства синтетичког каучука обично се упоређују са особинама природног каучука. Природни каучук се одликује великом еластичношћу, јачином на истезање и увијање, као и непропустивошћу за гасове и течности. те осовине се захтевају и од синтетичког каучука али се често постављају и такви захтеви које поседује само синтетички каучуци, а то су: отпорност прена нафти и нафтним дериватима, органски растворима, морској води, алкалијама, киселинама и другим материјалима [2].

Синтетички каучуци према својствима које поседују деле се на:

- универзалне синтетичке каучуке;
- специјалне синтетичке каучуке.

2.2.1. Универзални синтетички каучуци

У ову групу спадају чисти бутадијен и бутадијен-стиролни каучук, а употребљава се за израду следећих производа: пнеуматика, гумене обуће и друге техничке робе. код ове врсте производа настоји се да његове особине буду што ближе природном каучуку.

Бутадијенов синтетички каучук (SKB) – је жуто-сиве боје али временом на површини поцрвени. Има нешто мању еластичност у односу на природни каучук. Може се вулканизовати са додатком сумпора, али и без њега. Није најбољег квалитета.

Буна (S) – је кополимер бутадијена и стирола. Производи се у облику жуто-смеђих листова намотаних у калем од 100 kg. Има иј више врста. Буна (S3) се користи као замена за природни каучук, док се буна (SS) највише користи за облагање каблова.

GR-S – се производи као кополимер бутадијена и стирола. Употребљава се као универзални каучук за израду разне техничке робе.

SX-S – сличан је по хемијском саставу и особинама као Буна (S) и GR-S-у [2].

2.2.2. Специјални синтетички каучуци

Намењени су за специфичне услове рада. Има их више врста од којих треба навести само оне који се највише користе.

Бутадијен-нитрилни синтетички каучуци – су кополимери бутадијена и нитрила акрилне киселине. Ове каучуци се одликују великом отпорношћу на све нафтне деривате, биљна и животињска уља и масти, због чега спадају у специјалне врсте каучука. Сви они показују еластичне особине у температурном интервалу од -30 до $+180^{\circ}\text{C}$. Садржај нитрила акрилне киселине, код појединих типова креће се од 26 – 40%, а остало је бутадијен. Повећањем нитрила отпорност на нафтне деривате расте, али јачина добијених вулканизата опада. Због мањих садржаја двоструких веза ови кополимери су отпорни на каучукове отрове, тј. једињења мангана, двовалентног гвожђа и бакра. Такође су отпорни према пари, различитим хемикалијама и киселинама. Од њих се производе: транспортне траке, штампарски ваљци, хидрауличне заптивке, црева, бродски каблови, заштитна обућа и одећа и друга техничка роба од гуме.

Хлоропренски каучуци (неопрен) – имају добра својства, а користе се нарочито за предмете отпорне према морској води, сунчевој светлости, мастима, уљима а могу бити и замена за природни каучук. При загревању тзв. алфа-полимер се претвара у вулканизирани полимер, тј. неопрен се умрежава без додатка сумпора. Ово умрежавање се убрзава помоћу цинк-оксида, сумпора, олова и других материја. Од неопрена се производе савитљива црева или цеви, заптивке, заштитна обућа и одећа и користи се тамо где се ради са уљима и киселинама.

Полибутилен – спадају у групу врло еластичних и непропустивих каучука за гасове. познате су две врсте: вистанекс и бутил-каучук [2].

- Вистанекс – је засићени угљоводоник полиизобутилена без двоструких веза па зато не вулканизира. киселине и алкалије га не нагризају. Отпоран је према сунчевој светлости, озону и не стари. Овај еластомер има добру еластичну отпорност и мало апсорбује воду. Највећи недостатак му је што га растварају бензин, минерална уља, угљоводоници и хлоровани растварачи;
- Бутил-каучук – је кополимер изобутилена и бутадијена, у односу 98% и 2%. Главна примена бутил-каучука јесте за унутрашње и спољашње аутомобилске гуме или за непропустива гумирана платна. Не пропушта гасове и теже стари него природни каучук. Вулканизовани бутил-каучук може се издужити за 1000% а да се не прекине, док природни каучук може само 710%. Јачина на кидање бутил-каучука је далеко виша у односу на кидање вистанекса.

Полисулфидни каучуци – истичу се по томе што не бубре и не распадају се у органским растварачима, нафти и нафтним дериватима, минералима, биљним и животињским уљима и мастима. Полисулфид каучуци најмање пропуштају гасове у порежењу са осталим синтетичким каучуцима, а чак 11 пута мање од природног каучука. Највећи недостатак им је, што под сталним притиском имају

тенденцију да теку или да губе облик. Њихова отпорност на кидање је знатно нижа од отпорности на кидање природног каучука. Употребљавају се за израду гумираног платна, савитљивих црева, заптивача и других предмета који долазе у додир са органским растварачима.

Винил-каучук – је пластификовани винил са 13 – 15% винил-ацетата који има многе особине каучука. Он је савитљив и еластичан, постојан према хабању и мало апсорбује воду. Неке врсте се могу истегнути и до 300%. Користи се као замена за природни каучук. Од њих се производе фолије за облагање дна акумулационих базена, непромочива одећа, заштитна платна и др.

Силастик (Силиконски каучук) – поседује велику постојаност на високим температурама и има термичку стабилност тако да задржава еластичност на температури од -50°C . Поједине врсте силиконских каучука задржавају еластичност у границама од -90 до 315°C . Силастик је термички постојан уколико није у директном контакту са отвореним пламеном. Добро проводи топлоту, мало упија воду и има добре диелектричне особине. Чврстоћа на кидање им је нижа у односу на природни каучук и износи само 610 N/cm^2 . Већина типова силиконских каучука бубри у органским растварачима. Силиконски каучуци се употребљавају за израду затварача, вентила и хидрауличких заптивки, свуда где владају екстремно високе и ниске температуре и где друге врсте каучука или пластичне масе не могу да задовоље. Они се могу користити и у авијацији и топлотној техници (заптивање на вратима код пећи за домаћинство). У електроници се највише користе за облагање каблова, мерне и регулационе опреме, нпр. компезационих водова, термо-регулатора и слочно [2].

3. Основна својства каучука и гуме

3.1. Физичка стања каучука

Каучуци су углавном аморфни макромолекули који се у зависности од температуре могу налазити у три различита физичка стања: стаклом, вискоеластичног и стању вискозног течења. При загревању, аморфни каучук из стаклог стања постепено прелази у вискоеластично стање, а затим у стање вискозног течења. Тај прелаз одиграва се постепено, у неком интервалу температуре, и условљен је променом и покретљивошћу мономерних сегмената и молекуларних ланаца.

За каучуке је посебно значајно вискоеластично стање, тј. физичко стање каучука које при собној температури, карактерише висока вискозност и у исто време велика покретљивост појединих сегмената макромолекуларног ланца. У том стању каучуци поседују још једно од важних физичких својстава, велику еластичност, тј. способност да се повратно деформишу под дејством релативно малих оптерећења.

Каучуци се разликују од других макромолекулских једињења по температури стаклог прелаза и температури прелаза у стање вискозног течења. Код каучука је температура стаклог прелаза знатно испод собне температуре, за природни каучук она износи око -72°C , док је истовремено температура прелаза у стање вискозног течења природног каучука од 180 до 200°C . На тај начин вискоеластична својства каучука егзистирају у веома широком интервалу температуре [2].

Вискозност је отпорност флуида, као што је гума, да тече под притиском. Математички гледано, вискозност (η) представља однос трења настало при струјању флуида и брзине смицања његових слојева [5].

$$\eta = \frac{\text{трење}}{\text{брзина смицања}}$$

Вискозност претежно зависи од температуре. Са повећањем температуре вискозност опада. Постоје четири методе мерења вискозности гуме [5]:

- ротациони вискометар;
- капиларни реометар;
- осцилујући реометар;
- компресиони пластометар.

3.2. Еластичност и чврстоћа гуме

Еластична својства, као и пластична, испољавају се при деформацији каучука или гуме. Пластичност, у извесној мери, карактерише технолошке особине каучука и каучукових смеса, док се еластичност јавља као основно својство

гуме и готових производа и у знатној мери одређује њихова експлоатациона својства.

Одређивање механичких својстава гуме представља тешкоћу, јер карактер и величина деформације зависи од амплитуде и фреквенције деформације, времена деловања оптерећења и температуре средине.

Еластичност се карактерише низом својстава: способношћу задржавања димензија и облика, максималним степеном деформације гуме, брзином повратне еластичне деформације и способношћу да повратно апсорбује енергију.

Параметри помоћу којих се у пракси оцењује еластична и деформациона својства гуме су:

- релативно прекидно издужење;
- модул еластичности;
- модул при заданом издужењу;
- хистерезисни губици;
- еластичност при удару.

Ниво вискоеластичних деформација карактерише се истезањем или сабијањем при заданом оптерећењу или кидању. Лакоћа деформације оцењује се на основу модула, односно напона при заданом издужењу.

Способност ка повратној еластичној деформацији карактерише се величином заосталог издужења или сабијања, после уклањања оптерећења.

Способност гуме да повратно апсорбује енергију и брзина повратне еластичне деформације одређују се на основу вредности еластичности при удару. Тај параметар се посебно често користи за карактерисање еластичности гуме. Својства чврстоће гуме се најчешће односе на чврстоћу при истезању и структурну чврстоћу.

При испитивању гуме истезањем до кидања, поред прекидне чврстоће, могу се одредити и параметри који, у већој или мањој мери одређују еластична и деформациона својства гуме. Ту се могу убројити: релативно прекидно издужење и модул при заданом издужењу. Испитивање гуме истезањем до кидања изводи се на динамометрима.

Прекидна чврстоћа (f_p) [МПа], представља критичну вредност напона која се јавља у испитиваном узорку у тренутку кидања [2].

$$f_p = P_p / S_0$$

где је:
 P_p – сила која изазива кидање испитиваног узорка
 S_0 – површина попречног пресека узорка при испитивању

Вредност прекидне чврстоће гуме креће се у опсегу од 5 до 30 МПа.

Релативно прекидно издужење (l_p) [%], одређује се на основу апсолутне вредности издужења у тренутку кидања, и израчунава се на основу израза [2]:

$$I_p = (l_p - l_0) \cdot 100 / l_0$$

где је:
 l_p – дужина мерног дела узорка у моменту кидања
 l_0 – првобитна дужина мерног дела узорка
 Разлика $l_p - l_0$ представља издужење узорка.

Релативно прекидно издужење гуме креће се у опсегу од 100 до 1000%. Карактерише га максимални степен деформације који гума може имати при истезању. Релативно прекидно издужење укључује и део неповратних деформација. Што је већа способност гуме да се повратно деформише (при чему је мањи удео неповратних деформација), утолико је већа еластичност. Величину неповратне деформације карактерише вредност заосталог издужења после кидања. Израчунава се на основу дужине узорка после кидања, а изражава у процентима у односу на првобитну дужину узорка. Заостало издужење после кидања рачуна се:

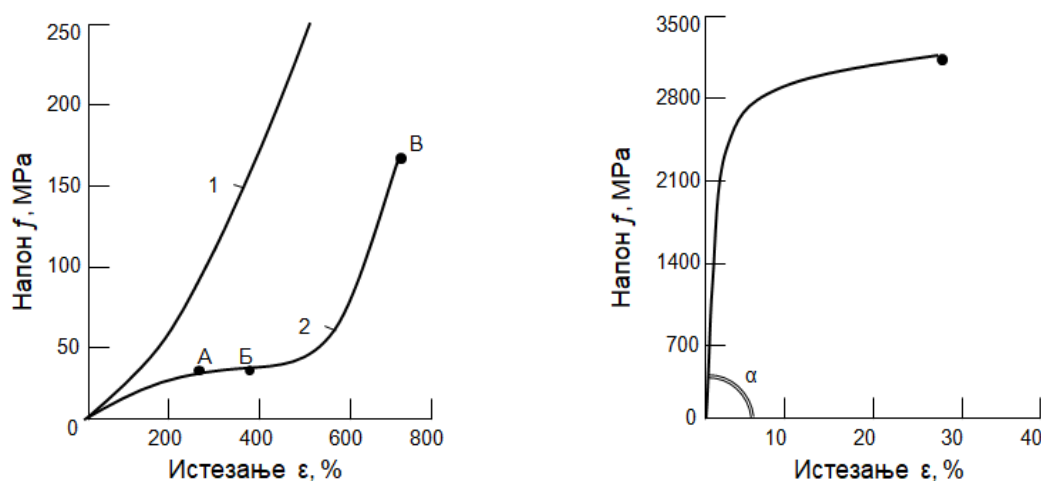
$$\theta_p = (l_2 - l_0) \cdot 100 / l_0$$

где је:
 l_2 – дужина мерног дела узорка после кидања, [mm]
 (мерена 1 минут после кидања)
 l_0 – првобитна дужина узорка

Вредност заосталог издужења после кидања износи од неколико процената до 50%. Са повећањем релативног прекидног издужења, обично се повећава и заостало издужење после кидања [2].

Релативно равнотежни модул гуме

При деформацији гуме, релативни напон при заданој деформацији није пропорционалан релативном издужењу гуме. Зависност између тих величина представља се односом напона и деформације (σ/ϵ), (слика 7.), који није стална величина и зависи од степена истезања [2].



Слика 7. Дијаграм истезања [2].

Разлог оваквом понашању је тај што при деформацији гуме напон не зависи само од величине него и од брзине и времена трајања деформације. Вредности f_p и ϵ_p представљају координате крајње тачке на кривој (тачка В). На кривој истезања се могу уочити два дела, први део до тачке Б, који одговара Хуковом закону а други део је у вези са карактеристичном структуром каучука.

Хистерезисни губици

При деформацији гуме постоји и део неповратно апсорбоване механичке енергије која је утрoшена на деформацију. Део утрoшеног механичког рада претвара се у топлоту, што при вишекратним деформацијама условљава знатно загревање гуме.

То се објашњава постојањем хистерезисних губитака при деформацији гуме, пластичним деформацијама и унутрашњим трењем.



Слика 8. Хистерезисна петља гуме [2].

На слици 8., приказана је хистерезисна петља, која се састоји од криве истезања (1) и криве отпуштања (2). Крива отпуштања налази се испод криве истезања и пресеца осу издужења у некој тачки, чије растојање од координатног почетка карактерише заостало издужење које се јавља при испитивању. Површина ограничена кривом истезања и осом издужења (S_2) пропорционална је раду утрoшеном на истезање, док је површина ограничена кривом отпуштања и осом издужења (S_1) пропорционална раду враћеном при отпуштању растерећеног узорка [2].

Неподударање кривих истезања и отпуштања објашњава се постојањем неповратних губитака механичке енергије, утрoшене на савлађивање унутрашњег трења и на пластично деформације, а и временским заостајањем промене деформације под дејством оптерећења, као последице недовољног времена за успостављање равнотеже између њих. Површина хистерезисне петље пропорционална је величини хистерезисних губитака. При поновљеним циклусима деформације, величина хистерезисних губитака се смањује. На тај начин, еластична својства гуме се мењају у процесу вишеструких деформација.

Еластичност при удару – одбојна еластичност

За карактерисање еластичних својстава гуме при брзим једнократним деформацијама, често се користе испитивања на удар. Параметар еластичности при удару дефинише се односом рада који се враћа после деформације ударом и рада унтрошеног на ту деформацију, што је бројно једнако односу висине одскока клатна, које слободно пада на испитивани узорак гуме, и висине његовог падања. На параметар еластичности при удару утиче низ фактора:

- повећањем дебљине узорка и температуре, параметар еластичности се повећава;
- повећањем пунила у гуми, параметар еластичности при удару се смањује.

Структурна чврстоћа (јачина на кидање)

Структурна чврстоћа је параметар отпорности према разарању (кидању) гуме при истезању, у условима концентрације напона, тј. на узорцима гуме са једним зарезом. Параметар структурне чврстоће одређује се као однос силе P_k , [kN] при којој долази до цепања на месту зареза, и првобитне дебљине узорка h_0 , [m] [2]:

$$\sigma_z = P_k/h_0 \text{ [kN/m]}.$$

3.3. Тврдоћа гуме

Тврдоћа гуме карактерише се отпорношћу према утискивању металних игли или кулица у гуму, под деловањем силе сабијања опруге или под дејством тега.

За одређивање тврдоће гуме, примењују се различити уређаји. Често се користи Шоров (Shore) уређај за мерење тврдоће, који има затупљену иглу, повезану са опругом. тврдоћа се одређује дубином утискивања игле у испитивани узорак. Утискивање игле показује промену на скали уређаја.

Максимална тврдоћа која одговара тврдоћи стакла или метала, износи 100 јединица. гума, у зависности од састава и степена умрежавања, има тврдоћу у опсегу од 40 до 90 јединица. Са повећањем садржаја пунила и времена трајања умрежавања, тврдоћа се повећава. Омекшивачи смањују тврдоћу гуме [2].

3.4. Фрикциона својства гуме

Основни параметар који дефинише отпорност према трошењу је отпорност према хабању. Хабање или отпорност према хабању дефинише се као губитак у запремини настао брушењем узорка баждареним брусним папиром.

3.5. Специфична својства гуме

Отпорност на топлоту

Постојаност механичких својстава гуме при излагању повишеним температурама, говори о топлотној постојаности гуме. Топлотна постојаност испитује се при повишеним температурама (изнад 70°C). Добијене вредности механичких својстава после излагања повишеним температурама упоређују се са резултатима испитивања при нормалним условима (23°C - 25°C). Карактеристика топлотне отпорности гуме је коефицијент топлотне постојаности, који је једнак односу вредности прекидне чврсточе, релативног прекидног издужења или других величина, дефинисаних при повишеним температурама и одговарајућих вредности дефинисаних при нормалним условима. Уколико је вредност параметара при повишеним температурама нижи од вредности истих параметара при нормалним условима, утолико су нижи коефицијенти топлотне постојаности [2].

Постојаност на ниским температурама

Отпорност на ниске температуре јесте способност гуме да задржи своја вискоеластична својства при сниженим температурама. Својства гуме на сниженим температурама су одређена:

- коефицијентом постојаности при истезању на сниженим температурама;
- температуром кртости и
- температуром стакластог прелаза.

Коефицијент постојаности при истезању на ниским температурама дефинише се односом релативног издужења испитиваног узорка на сниженим температурама, и његовог издужења при нормалним условима (23°C - 25°C), при деловању једнаког оптерећења. Гума се сматра отпорном на ниским температурама уколико њен коефицијент постојаности, на датој температури износи више од 0,1.

Температура кртости је максимална негативна температура, при којој се испитивани узорак гуме разара или формира прскотину, при савијању под дејством удара. температура кртости зависи од поларности и еластичности макромолекула. Са повећањем гипкости молекуларних ланаца, она се смањује.

Температура стакластог прелаза је температура при којој каучук или гума губе способност да се вискоеластично деформишу [2].

Отпорност према старењу и деловању агресивних материјала

Старење се дефинише неповратна промена својстава каучука или гуме, под деловањем топлоте, светлости, кисеоника, ваздуха, озона или агресивних материјала. Старење се увећава уколико је гума, истовремено, изложена и деловању механичких оптерећења. Испитивање постојаности гуме према старењу изводи се излагањем гуме у различитим условима (на отвореном

ваздуху, у кисеонику, при повишеној температури, озону или при заједничком деловању светла и озона).

При атмосферском старењу на отвореном ваздуху или при старењу у струји врућег ваздуха, резултати испитивања изражавају се коефицијентом старења, који представља однос промене, најчешће, прекидне чврстоће и релативног прекидног издужења, пре и после старења. Што је мања промена својстава при старењу и коефицијент старења је мањи, па је тиме гума постојанија на старење.

Отпорност према дејству агресивних материја, одређује се на основу промене прекидне чврстоће и издужења у тим срединама (масти, алкалије, киселине). Она се карактерише коефицијентом који изражава однос вредности параметара после дејства агресивних материјала и одговарајућих параметара пре њеног дејства [2].

Изддржљивост гуме на замор

Параметар издржљивости назамор, изражава број циклуса поновљених деформација, које узорак гуме може издржати до разарања. Најчешће се испитивање изводи при вишекратном истезању, фреквенцијом од 250 до 500 циклуса у минути.

Образовање топлоте при вишекратном сабијању

Опразовање топлоте при вишекратном сабијању цилиндричних узорака гуме карактерише се температуром која се развија у узорку, услед унутрашњег трења.

Својство релаксације каучука при деформацији

Карактеристичности деформације каучука и гуме састоји се у томе што величине напона и деформације зависе од брзине деформације и времена деловања сила које изазивају деформацију. То је последица спорог успостављања равнотеже између деформације и силе деформације. Временски процеси у којима долази до успостављања поменуте равнотеже називају се процеси релаксације. Својство релаксације каучика карактеришу:

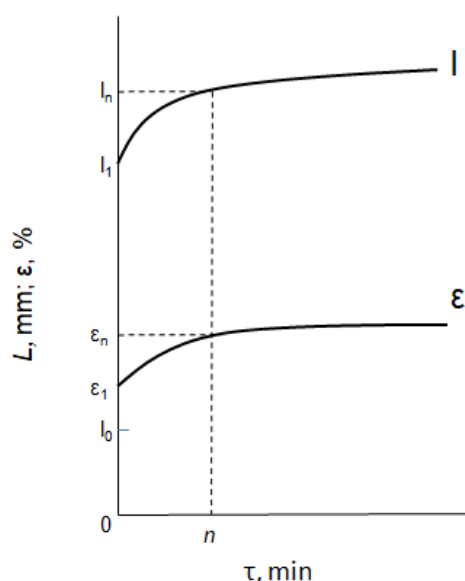
- релаксација напона и
- пузање

Релаксација напона представља слабљење напона у деформисаном узорку у току времена.

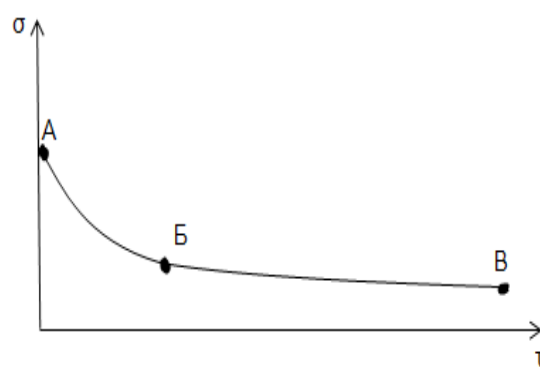
Пузање се састоји у постепеном увећању деформације гуме под деловањем сталног оптерећења. Уколико се узорак који има првобитну дужину l_0 истеже под дејством силе P_0 , његова дужина, која је у почетном моменту истезања једнака l_1 кроз одређено време n [min], повећава се до l_n , при чему је, на почетку највећи прираштај дужине испитиваног узорка, а затим све мањи. На

крају се, на датој температури, успоставља равнотежно стање, када се дужина испитиваног узорка више не мења или се мења веома мало. На слици 9., приказана је зависност дужине испитиваног узорка и релативног издужења од времена трајања деформације. У оба случаја се добијају аналогне криве, тако да је Δl пропорционално ϵ .

Уколико се деформација гуме изводи при $\Delta l = \text{const.}$ и $\epsilon = \text{const.}$, тада временом долази до постепеног смањења силе и напона, потребних за одржавање задане сталне деформације. Та појава се назива релаксација напона. Крива промене напона у зависности од времена, при $\epsilon = \text{const.}$, назива се крива релаксације напона (слика 10.) [2].



Слика 9. Зависност дужине узорка гуме и релативног издужења од трајања деформације при сталном оптерећењу [2].



Слика 10. Крива релаксације напона при $\epsilon = \text{const.}$ и температури од 70°C [2].

Време које одговара тачки В на кривој дефинише достизање равнотежног стања, и назива се време релаксације. Време релаксације напона гуме која садржи пунила већа је него код непуњених гума. При загревању, покретљивост молекуларних ланаца расте и релаксација напона се знатно убрзава, тј. скраћује се време релаксације.

Релаксација напона и пузање не јављају се само у условима статичких испитивања, при једнократном истезању, већ и при динамичком режиму рада у условима вишекратних деформација.

Заостала деформација гуме, такође зависи од времена трајања деформације. продужавање времена повећавају се деформација и заостала деформација, понекад и 10 пута.

Релаксациони карактер вискоеластичних деформација каучука и гуме јавља се само при довољном спорим пролазним деформацијама, јер је за настанак процеса релаксације потребно одређено време. према томе, деформације које

се одигравају великом брзином а исто тако, виšekратне деформације, које имају велику фреквенцију и малу амплитуду, у основи су деформације, код којих се тренутно успоставља равнотежа, и исто тако ишчезава после уклањања оптерећења. Сви процеси релаксације убрзавају се пружању порасту температуре, и обрнуто, јако се успоравају при њеном снижењу.

Зависност деформације, напона и заостале деформације или сабијања од брзине и времена трајања деформације мора се увек узимати у обзир при одржевању физичко-механичких параметара гуме.

Утицај температуре на деформацију

Промена температуре има веома велики утицај на процесе релаксације и физичко-механичких својстава гуме. Код свих гума, са порастом температуре, долази до смањења чврстоће. То смањење зависи од типа каучука на бази којег је израђеба гума.

Релативно прекидно издужење, при температурама вишим од собне температуре, нагло се смањује. Изузетак чине гуме на бази природног каучука, код којих се релативно прекидно издужење може повећати при повећању температуре.

Топлотни ефекат при истезању каучука

При знатном истезању природног каучука, долази до издвајања топлоте, пропорционално истезању. Међутим, при опуштању истегнутог узорка долази до апсорпције топлоте. Топлотни ефекат није еквивалентан раду утрошеном на истезање. Он знатно превазилази рад истезања, изражен у јединицама топлоте. Топлотни ефекат при истезању условљен је кристализацијом каучука.

4. Додаци у процесу производње гуме

4.1. Основни појмови о додацима

Каучуци, како природни тако и синтетички, имају малу практичну примену, јер сам каучук не може да одговори техничким захтевима многих производа. Да би се побољшала својства чистих (сирових) каучука и да би се добили производи одговарајућих својстава, каучук се преводи у гуму, тако што се меша са разним додацима (органским и неорганским материјалима) и вулканизује се. Сви материјали који улазе у састав каучукове смесе називају се ингредијенти. Реч ингредијент значи додаток, "онај који улази у састав". Они се обично називају састојци смесе за вулканизовање. У зависности од специфичности деловања на својства каучукових смеса и вулканизата, додаци се деле на следеће групе

- средства за вулканизацију;
- убрзивачи вулканизације;
- успоривачи вулканизације;
- средства против старења, замарања и деловања озона;
- омекшивачи;
- пунила ;
- боје;
- додаци специјалне намене.

Већина ингредијената утиче на својства не само готових вулканизата већ и сирове каучукове смесе у процесу производње. Поделу ингредијената на групе не треба сматрати апсолутном јер низ ингредијената може имати различите улоге у каучуковој смеси, зависно од количине у којој се дозирају, од врсте каучука коме се додају и од удела и састава осталих ингредијената. Додаци каучукове смесе треба да имају:

- приближно исти степен дисперзије у каучуку;
- минималан садржај влаге и испарљивих материјала;
- да буду што чистији и без механичких нечистоћа;
- да не садрже слободне минералне киселине и минералне соли растворене у води;
- да буду што једнороднији по саставу;
- да буду стабилни у условима чувања и вулканизације.

Прашкasti ингредијенти треба да буду дисперзивни, односно да се добро распоређују, како би се добила каучукова смеша хомогеног састава. Да би вулканизати имали добра физичко-механичка својства, у току израде каучукове смесе, површина додира ингредијената са каучуком треба да буде што већа. Повећан садржај влаге и испарљивих материјала у ингредијентима, при вулканизацији каучукове смесе, доводи до стварања пора и мехурова. Слободне минералне соли и киселине у води смањују активност органских убрзивача и неповољно утичу на отпорност вулканизата на старење. Због тога се морају добро познавати општа својства ингредијената, а нарочито њихов утицај на карактеристике вулканизата [2].

4.2. Средства за вулканизацију

Сумпор је основно средство за извођење вулканизације природног и највећег броја синтетичког каучука. Сумпор се може наћи у различитим алотропским модификацијама, као: ромбичан, моноцикличан и аморфан. Ромбична модификација је најстабилнија. Карактеришу је кристали јако жуте боје, температура топљења 112.8°C , густине $2,07 \text{ g/cm}^3$. Растворљивост таквог сумпора у каучуку је добра. Моноциклични сумпор карактерише знатно мања растворљивост у каучуку, док је аморфни сумпор, који настаје наглим хлађењем прегрејаног сумпора, нерастворљив у каучуку.

Растворљивост сумпора у каучуку зависи, како од алотропских модификација, тако од температуре, врсте каучука и количине додатих убрзивача. Са повећањем температуре, растворљивост сумпора у каучуку знатно расте. У току израде смеса на бази природног каучука, растворљивост сумпора је 3% до 4% на 55 до 65°C . На температури вулканизације растворљивост достиже вредност од 10%. При хлађењу каучукове смесе могу настати презасићени раствори сумпора у каучуку из којих сумпор дифундира на површину и кристалише. Појаву кристализације сумпора на површини каучукове смесе називамо "исцветавање". Искристалисани сумпор код сирових смеса смањује лепљивост, што изазива тешкоће при конфекцији гумених делова. Исцветавање сумпора може се смањити на неколико начина:

- увођење омекшивача који омогућавају бољу расподелу сумпора (боров катран, стеаринска киселина);
- увођењем регенерата и гасне чађи, смањење исцветавања се постиже великом растворљивошћу сумпора у регенерату и апсорпцијом сумпора на гасној чађи;
- извођење процеса мешања каучукове смеше на што нижим температурама, при чему један део сумпора остаје нерастворен;
- коришћење малих количина сумпора, нераствореног сумпора или смесе сумпор-селен.

Појава исцветавања сумпора код вулканизата знак је непотпуне вулканизације. Осим сумпора способност умрежавања каучука имају: селен и телур, оксиди цинка, магнезијум, кадмијум и олово, органска једињења тринитробензена, фенолне смоле, нека полисулфидна једињења, изоцијанати пероксиди итд. [2].

4.3. Убрзивачи вулканизације

У почетку се процес вулканизације изводио искључиво помоћу сумпора. Међутим, временски дуге вулканизације, употреба велике количине сумпора и одвијање процеса на релативно високим температурама довели су до потребе за коришћењем хемијских супстанци познатих под именом убрзивачи вулканизације.

Увођењем убрзивача омогућена је израда вулканизата са знатно мањим количинама сумпора, а самим тим и могућност исцветавања сумпора на

површину вулканизата, снижење температуре вулканизације каучукових смеша и скраћење времена за извођење вулканизације. Смањена је, такође, опасност од реверзије, тј. опадања физичко-механичких својстава после оптимума. Омогућена је и примена органских боја уместо неорганских, коришћењем већих количина чађи као пунила и умрежавање неких специфичних каучука, који се не могу вулканизовати само помоћу сумпора.

Снижење температуре и временски краћа вулканизација омогућили су постизање знатно бољих механичких својстава, нарочито отпорности на старење, уштеде у времену, електричној енергији, материјалу и цени готових гумених производа.

Према интензитету активности, убрзивачи се деле на:

- ултрабрзе (имају јако убрзавајуће дејство), делују на температури од око 100°C;
- брзе, са температуром вулканизације од 100 до 140°C;
- умерено брзе, са температуром вулканизације од око 140°C;
- споре убрзиваче, са температуром вулканизације преко 142°C.

4.4. Успоривачи вулканизације

Да би се обезбедила сигурност у раду при умешавању смесе на повишеној температури или при преради каучукове смесе екструдирањем или каландровањем, потребно је у таквим случајевима успорити почетак вулканизације смесе. Овим успоравањем обезбеђује се тзв. “период течења”, који омогућава добро разливање каучукових смеша које се вулканизују у калупу. У пракси се најчешће примењују следеће групе успоривача: органске киселине које не испаравају лако, нитрозо-једињења и анхидрид фиталне киселине.

4.5. Средства против старења, замарања и деловања озона

Постојаност вулканизата зависи најпре од хемијске структуре каучука на бази којег је добијен сам вулканизат. Процеси деградације могу се мање или више успорити додавањем одређених хемијских једињења каучуковој смеси. Таква једињења називају се средства против старења односно замарања и деловања озона. Средства против старења позната су још и под именом антиоксиданти. Овај назив дат је оним хемијским једињењима која се употребљавају у каучуковим смешама да спрече привремено погоршавање вулканизата изазваног оксидацијом односно главни утицај при старењу вулканизата који долази од стране кисеоника. Међутим, данас када је употреба антиоксиданата знатно проширена, сматра се да они имају инхибирајуће дејство не само против кисеоника, већ и против утицаја топлоте, светлости, поливалентних метала и др.

Сваки примењени антиоксидант није у могућности да у подједнакој мери штити вулканизат против свих погоршавајућих утицаја, баш зато што их има читав низ, што у зависности од интензитета погоршавања, наступају различита

дејства од којих се вулканизати не могу заштитити употребом само једног антиоксиданта. То значи да сваки антиоксидант сам за себе има већу или мању заштиту претежно само против једног утицаја, добијајући отуда и ближи назив у зависности од заштите коју пружа. Средства која показују значајну заштиту против замарања гуме при разним напрезањима називају се заштитна средства против замарања. Они који гуму штите од климатских утицаја тј. од утицаја топлоте, светлости, озона итд. носе назив заштитна средства против атмосферског утицаја [2].

Када је реч о антиоксидантима, потребно је указати на особине које они морају да имају да би се практично могли употребити. Оне су углавном следеће:

- да се лако и добро диспергују (разложе) у каучук;
- да за време вулканизације буду постојани и инертни, тј. да немају успоравајуће нити убрзавајуће дејство на ток вулканизације;
- да за време вулканизације не прљају производ, односно да су без утицаја на боју вулканизата;
- да су без мириса, укуса и да нису отровни.

Када је реч о подели средстава против старења они се деле на групу хемијских и групу физичких средстава против старења, у зависности од начина на који се остварује заштита вулканизата.

У хемијску групу долазе она средства која се претежно појављују као инхибитори оксидације. Хемијска средства против старења се, полазећи од њиховог технолошког дејства деле у три подгрупе:

- средства која пружају заштиту против замарања;
- групу оних која немају заштитну моћ;
- средства која вулканизате штите од последница изазваног атмосферским утицајем, тј. топлоте, светлости, озона итд.

Физичку групу чине она средства чије је заштитно дејство заступљено углавном на површини гуме, штитећи је од погоршавајућих утицаја из околине. Овде се ради о заштити која се базира управо на чисто физичком обезбеђењу површине вулканизата. Ова група се даље дели на две подгрупе тј. на:

- средства која пружају заштиту само од утицаја светлости и
- средства која пружају заштиту од утицаја и светлости и озона [2].

4.6. Омекшивачи (пластификатори)

Омекшивачи су органска једињења која повећавају пластичност каучукових смеша и смањују унутрашње трење, чиме омогућавају израду и прераду каучукових смеша. Користе се у течном и чврстом стању. Дејство омекшивача огледа се у следећем:

- обезбеђују равномернију расподелу ингредијената у каучуковој смеси;
- смањују загревање при мешању, чиме се смањује опасност од превремене вулканизације;
- смањују утрошак електричне енергије при изради и преради смесе;
- снижавају температуру омекшавања каучукове смесе на почетку вулканизације;
- побољшавају отпорност на ниским температурама;
- побољшавају обликовање смеса при преради и вулканизацији;
- умањују скупљање вулканизата и
- утичу на ток вулканизације, физичко-механичка својства и старења вулканизата.

Правилно одабрани омекшивачи и дозирани у оптималним количинама побољшавају еластичност, снижавају хистерезисне губитке и развијање топлоте при учесталим деформацијама вулканизата. Неправилан избор врсте и количине омекшивача може да доведе до погоршања низа физичко-механичких карактеристика вулканизата: знатно се смањује прекидна чврстоћа, снижава се модул и смањује тврдоћа.

Избор омекшивача зависи од намене и услова експлоатације вулканизата. Количина омекшивача која се додаје каучуковој смеси зависи од врсте употребљених ингредијената и врсте каучука. За природни каучук та количина износи 5 до 8% у односу на каучук. Синтетички каучуци, нарочито они који се тешко мешају са додацима, изискују знатно већу количину омекшивача, чак и до 30% у односу на каучук.

Омекшивачи треба да:

- су компатибилни са каучуком;
- су хемијски и термички постојани за време вулканизације;
- им се вискозитет мало мења са променом температуре;
- је садржај испарљивих материја мали на радној температури;
- нису токсични.

Сви омекшивачи нису подједнако компатибилни са каучуком. Подношљивост омекшивача и каучука одређује се на основу бубрења каучука у омекшивачу. Уколико је веће бубрење, већа је и подношљивост. При ограниченој или недовољној подношљивости омекшивача са каучуком, долази до миграције омекшивача на површину готовог производа или полупроизвода. Омекшивачи који имају ограничену подношљивост са каучуком су: вишемасне киселине, парафин, вазелин, парафинско уље и др. До њихове делимичне миграције на површину полупроизвода долази у току израде и на тај начин се смањује лепљење смесе за радне површине, што олакшава каландрирање, екструдирање и друге процесе, а површине каландрираних и екструдираних производа су глатке. Омекшивачи изазивају бубрење каучука, раздвајају његове молекуле и смањују међумолекулска дејства. Тиме се олакшава покретање делова молекула каучука (смањује се унутрашње трење) [2].

Према пореклу омекшивачи се класификују на:

- омекшиваче добијене прерадом нафте (парафин, битумен, озокерит и сл.);
- омекшиваче добијене прерадом дрвета и угља (калофонијум);
- омекшиваче биљног порекла (боров катран и фактис);
- вишемасне киселине (стеарин и олеин) и
- синтетичке омекшиваче (естри, хлорирани угљоводоници и сл.).

4.7. Пунила

Пунила су ингредијенти који се додају каучуцима и термопластима са циљем да побољшају њихова физичко-механичка својства и сниже цену коштања смесе по јединици масе и запремине.

Према утицају на каучукову смесу, пунила се деле на: активна и неактивна. Активна пунила утичу на побољшање физичко-механичких својстава, док неактивна пунила снижавају производну цену каучукове смесе. Понашање пунила зависи од врсте каучука којем се додаје. У кристалишућим каучуцима (природни каучук, бутил-каучук и полихлоропренски каучик), пунила показују слабо појачавајуће дејство, док у каучуцима који не кристалишу (бутадиенстиренски каучук, бутадијен акрилонитрилни каучук и бутадиенски каучук) пунила показују знатно појачавајуће дејство.

Технолошки параметри који условљавају поделу пунила на активна и неактивна су: величина и облик честица, специфична површина, склоност честица ка агрегацији, која је непожељна јер доводи до смањења специфичне површине контакта, што се неповољно одражава на појачавајуће дејство пунила, и степен адхезије пунила и каучука. Смањење честица појачава се дејством пунила. Величина честица је у непосредној вези са дисперзивношћу (што је величина честице мања, дисперзивност је већа). По облику, честице пунила могу бити: сферичне, пласнате, равне и игличасте. Сферични облик је карактеристичан за индустријске чађи, док су други облици карактеристични за минерална пунила. Облик честице утиче на квалитет и физичко-механичка својства смесе [2].

Пунила са каучуком формирају адхезионе везе. Јачина тих веза зависи од вредности адхезионих сила између каучука и пунила. Суштина појаве је да каучук кваси пунила тј. честицу пунила обавија танак филм каучука. На вредност квашења може се утицати обрадом пунила масним киселинама и другим материјама које повећавају хидрофобност површине честица пунила. Овај поступак се зове активација пунила. Активацијом се побољшава расподела пунила у каучуковој смеси и физичко-механички параметри. Масне киселине са својим поларним групама апсорбују се на површини хидрофилних честица пунила. Тако се смањује хидрофилност и повећава хидрофобност. Отпорност вулканизата зависи од чврстоће самог вулканизата, пошто до кидања може доћи не само на површини додира пунила и каучука већ и у самом каучуку. Пошто је чврстоћа вулканизата већине синтетичких каучука

мала, употребом пунила долази до промене структуре самог каучука и побољшања његових механичких карактеристика.

Такође треба водити рачуна о рН вредности пунила, садржају влаге и испарљивих материја. Вредност рН утиче на избор количине средства за вулканизацију. Пунила која имају кисели карактер успоравају процес вулканизације и изискују повећану количину средстава за вулканизацију. Повећан садржај влаге и испарљивих материја има последицу добијања порозних вулканизата.

У активна пунила спадају: активне чађи, пунила на бази SiO_2 , специјални тврди каолини, базни MgCO_3 , MgO , ZnO , силикати калцијума, цинка, магнезијума и још нека синтетизована пунила. Величина честица је 0,05 микрометара. У неактивна пунила спадају: креда, барит, талк, графит, обичан каолин. Величина честица ових пунила је око 1,5 микрометара [2].

4.8. Боје

Боје за полимере укључују широк опсег неорганских и органских материјала. Велики број артикала широке потрошње су обојени. Неке боје су способне да упијају краткоталасну светлост сунчевог спектра, повећавајући способност гумених делова на светлосно старење. Ту способност имају бела, жута и зелена. Бели пигменти имају највећу способност заштите гуме од старења, пошто одбијају највећи део светлости сунчевог спектра. Да би се добио гумени производ јасне боје, обавезна је примена белог пигмента јер он помаже да се додата боја истакне. Материје које се користе за бојење гуме морају да испуне следеће захтеве:

- да буду отпорне на сунчеву светлост;
- да буду постојане у условима вулканизације;
- да буду дисперзивне (да се добро распоређују у гуми);
- буду нерастворене у води и да не показују склоности ка мигрирању и кристализацији на површини гуме.

Са повећањем дисперзивности расте способност бојења. Главни представници боја су: титандиоксид, баријумсулфат (бела), фиталоцијанин (плава и зелена), ултрамарин (плава), хром (зелена), молибдат (наранџаста), кадмијум (црвена и жута), гвожђеоксид и хром (жута), чађ и љуспице алуминијума (за сребраст метални ефекат). Каучуци се боје додавањем боја на двоваљку или у миксеру, док се пластичне масе боје додавањем боја на врућим ваљцима или у екструдеру [2].

4.9. Додаци специјалне намене

Остали додаци су материјали за специјалне намене. Овакви материјали дозирају се са циљем да се постигну специјални ефекти у погледу својстава вулканизата: У средства специјалне намене спадају:

- средства за побољшање отпорности на хабање (абразиви);
- средства за добијање порозне гуме;
- средства за заштиту од микроорганизама и бактерија;
- средства за регулисање мириса;
- средства против горења и
- средства за подмазивање

Средства за побољшање отпорности на хабање (абразиви) су материјали који побољшавају отпорност на хабање код производа који се при експлоатацији хабају. Минералне супстанце, као што су силицијум-диоксид и чађ, су додаци који се додају са циљем да побољшају отпорност на хабање вулканизата.

Средства за добијање порозне гуме су такви типови ингредијената који на повишеним температурама ослобађају гасове и на тај начин образују сунђерасту и микропорозну гуму. Оваква средства морају да омогуће ослобађање гаса током вулканизације. Једињења са азотом и карбонати су погодне материје за ову сврху. Ослобађањем гасова у току вулканизације (N_2 , CO_2 и др.), у вулканизату се стварају поре (отворене или затворене) и тако настаје порозност гуме, која се користи за израду седишта и у грађевинарству.

Средства за заштиту од микроорганизама и бактерија су супстанце које имају антимикробиолошко дејство и које спречавају развој микроорганизама, гљивица, бактерија у гуменим производима. У зависности да ли је активна супстанца ефективна против дејства бактерија или гљивица, ове супстанце се деле на бактерициде и антимикротике. Ове супстанце уништавају бактерије, гљивице и др. или служе као инхибитори који спречавају њихов даљи развој, кад гумени производи дођу у контакт са њима.

Средства за регулисање мириса су ароматична једињења способна за прикривање и маскирање мириса који потиче од каучука и гуме. Нека од ових једињења користе се за обезбеђење пријатног мириса вулканизата.

Средства против горења – највише коришћен материјал за побољшање отпорности полимера према горењу је антимонооксиоксид. Доста се користи и антимонооксихлорид, који ослобађа хлор отпоран на горење. Фосфатни естри се широко користе да смање запаљивост полимера, нарочито винилних смола. Такође се користе и хлорирани угљоводоници и борати.

Као средства за подмазивање се користе неки амини, амиди и воскови који су додати полимеру и који делују као унутрашњи подмазивачи и омогућавају лако вађење производа из алата. Такође, за лакше вађење гумених производа из алата често се користе сапуница и силиконска емулзија [2].

5. Израда каучукове смесе

5.1. Састављање рецептуре

Избором и употребом разних количина хемикалија постижемо врло различите квалитете гуме. Тако, на пример, могу се производити гуме које су врло еластичне и мекане, тврде и круте, отпорне на хабање итд. Састављач рецептуре мора добро познавати општа својства хемикалија и њихова деловања у гуми како би остварио жељени квалитет гуме.

Рецепт је попис количина одређених хемикалија које су потребне за добијање гуме жељеног квалитета уз одређене услове вулканизације (температуре, времена, притиска)

Рецепти се могу класификовати на различите начине: према врсти производа, према базичном каучуку и слично. Међутим, као примарна подела сматра се подела према концепцији рецептуре, па имамо:

- стандардне рецептуре;
- базичне рецептуре;
- оптимизоване рецептуре.

Стандардне каучукове смесе карактеришу строго одређени (договорени и прецизно прописани) састав и начин прављења. Оне су тако конципиране да дају гуму са изузетним комплексом својстава типичним за каучук коме су намењене, тачније, њихов састав уз дати режим припреме даје оптималне вредности тих својстава. На тај начин стандардне смесе деле се према каучуцима који чине њихову основу.

Базна рецептура подразумева пројектовање састава еластомерног материјала на основу принципа науке о полимерима и до сад поознатог искуства у технологији полимера у циљу постизања жељених особина при преради и/или експлоатацији гуменог производа. базична рецептура примењује се у производњи а број оваквих рецептура практично је неограничен.

Базна рецептура представља најбоље решење у погледу састава, али не мора да пружи и најбоље решење по квантитету за пројектовање материјала са жељеним својствима. У том циљу предузима се оптимизовање базних рецептура у циљу добијања таквог односа појединих компонената за које параметри вулканизата достижу оптималне вредности. Тако се добија „**оптимизована рецептура**“.

Сви ингредијенти приказани су у рецептури у количинама на сто делова масе каучука. Обично се овај начин састављања рецептуре користи због тачнијег и прецизнијег уношења, умешавања и мерења ингредијената који у смесу улазе у малим количинама [2].

У индустријским рецептурама не означава се функција појединог ингредијента, па ни хемијски састав, већ само комерцијални назив.

У већим рецептурама материјали су приказани по редоследу по коме се уносе у смесу за време мешања, што има велики значај у пракси.

При састављању рецептур мора се обратити пажња на следеће ставке:

- где ће се производ употребљавати;
- која физичко-механичка својства морају бити примарна;
- начин прераде тј. обликовања и вулканизације;
- да цена смесе буде што нижа;
- са којим ингредијентима се располаже.

Свака врста смесе одређена је за израду једног производа или једног дела. Одређивањем за коју ће сврху служити производ разликујемо и која својства мора имати добијена гума, као на пример: од ауто гуме захтева се велика отпорност на хабање и цепање. При изради техничке робе наручилац најчешће поставља захтев одређујући специфичну тежину, тврдоћу, еластичност или нека друга својства тј. даје оне потребне податке којима производ мора располагати да би га са успехом могао употребљавати.

Поред груписања према својствима производа да би се одабрали најпогоднији ингредијенти, могуће је и обрнут поступак, полазећи од одређених својстава смесе, траже се ингредијенти чијим се учешћем у смеси или начином деловања на смесу постижу жељена својства производа.

Начин прераде и начин вулканизације такође морају бити познати јер примера ради смесе које се обликују бризгањем не смеју садржати убрзиваче који би могли изазвати предвулканизацију [2].

5.2. Формирање (мешање) смесе

Под смесама подразумевамо све материјале које је потребно додати каучуку да се дође до материјала погодног за даље обликовање и вулканизацију. Основни циљ мешања смесе је да се сви додаци каучука, припремљени у складу са рецептуром, што је могуће равномерније распореде, како би смеша по свим елементима била хомогена.

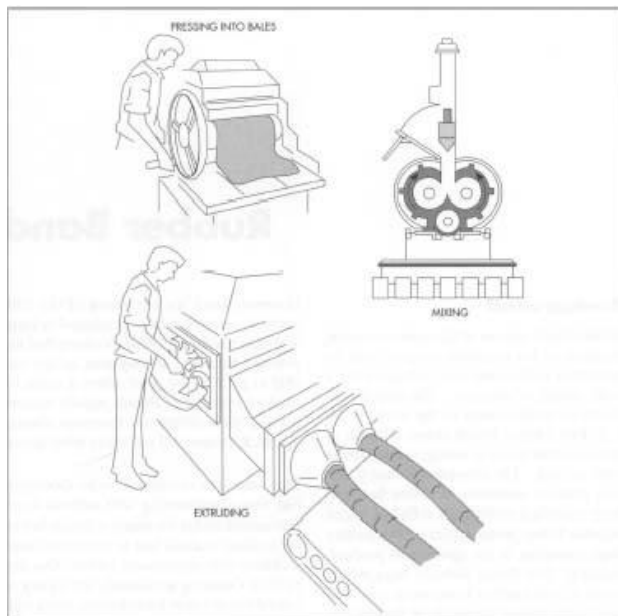
При мешању смеса, не сме доћи до повећања пластичности каучука нити до делимичне вулканизације. Мешање смесе се врши на температури од 40 до 85°C, у зависности од врсте смесе, што одговара температури потребној да каучук достигне потребну пластичност ради лакшег умешавања додатака.

Процес формирања каучукових смеса може се поделити на следеће фазе:

- припрема каучука за умешавање;
- увођење ингредијената;
- завршна хомогенизација смесе и скидање са уређаја за мешање [2].

За формирање каучукове смесе најчешће се користе следећи уређаји (слика 11.):

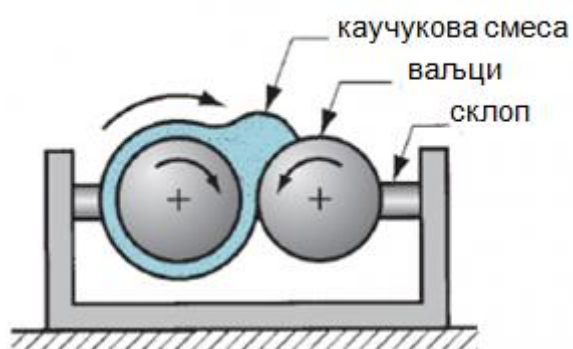
- двоваљци и
- континуални миксери



Слика 11. Уређаји за формирање каучукове смесе [12].

5.2.1. Двоваљци за мешање

Двоваљак за мешање смеса не разликује се од двоваљака за мастицирање па најчешће они представљају један исти уређај. Шематски приказ доваљака дат је на слици 12.



Слика 12. Двоваљак [16].

Ваљци се окрећу различитим брзинама у супротним смеровима и омогућавају предгревање, мешање и хомогенизацију. Број обртаја ваљака креће се у односу 1:1.1 или 1:1.25 а брзина окретања ваљка је 25 до 35 m/min, при чему предњи увек има мању брзину од задњег.

Повећањем брзине скраћује се време мешања али је тиме отежано хлађење ваљака па је мешање смесе теже и осетљивије.

Каучукова смеса се мора увек налазити на оном ваљку који се спорије окреће. Проласком материјала кроз зазор између ваљака услед трења се ослобађа велика количина топлоте која може изазвати превремену вулканизацију па се због тога мора извршити хлађење ваљака.

У процесу прераде каучук се постепено распоређује по целој радној површини предњег ваљка, образујући танак слој дебљине зазора. При том неки каучуци знатно омекшавају. Пошто се каучук равномерно распореди по површини ваљка, додају се остали ингредијенти. Како се укупна маса каучукове смесе повећава у току рада, зазор између ваљака се постепено повећава. Редослед увођења ингредијената зависи од врсте каучука, састава смесе и својстава појединих компонената.

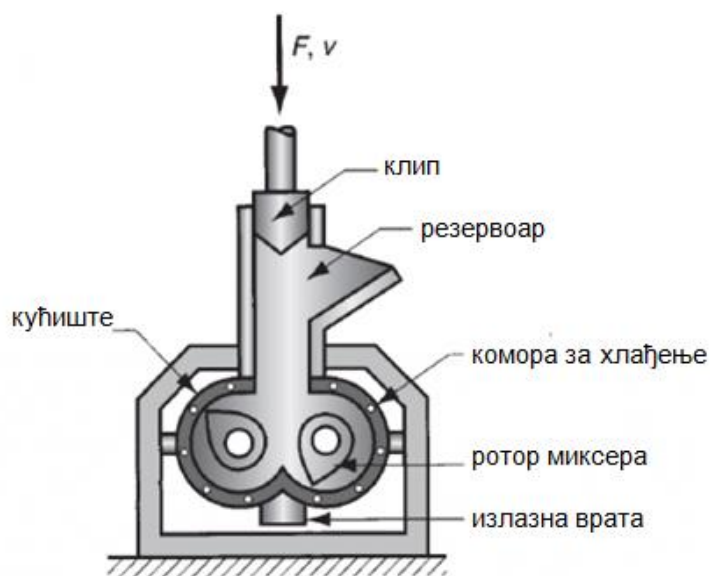
При ваљању пластифицираног каучука чађ треба уводити у првом периоду да би се добили оптимални услови дисперзије. Затим се у смесу додају убрзивачи вулканизације, јер од њихове равномерне расподеле зависе физичко-механичка својства вулканизата. Увођењем убрзивача у почетној фази умешавања омогућује се максимална хомогенизација. Сумпор се додаје на крају умешавања да би се избегла подвулканизација (осим код смеса за израду ебонита код којих се убрзивачи додају на крају а сумпор на почетку). Заједно са убрзивачима обично се додају и средства против старења, активатори вулканизације и диспергатори. Понекад се, ради бољег распоређивања чађи и других компонената, диспергатори уводе непосредно после обраде каучука. После чађи и других прашкастих ингредијената, у каучук се уводе и пластификатори.

Температура умешавања условљена је температуром површине ваљака и количином ослобођене количине топлоте услед трења. За већину каучука температура се одржава на 60 до 65⁰С, хлоропренски каучук 40⁰С, а бутилкаучук 75 до 85⁰С. Да би се спречило прелажење смесе на задњи ваљак, потребно је да температура задњег ваљка буде за 5 до 10⁰С нижа од температуре на предњем ваљку [2].

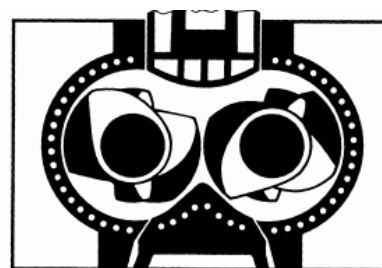
5.2.2. Континуални миксери за умешавање

За мешање великих количина смеса користе се миксери за умешавање. У пракси се најчешће налазе миксери у комбинацији са двоваљцима (слика 13.).

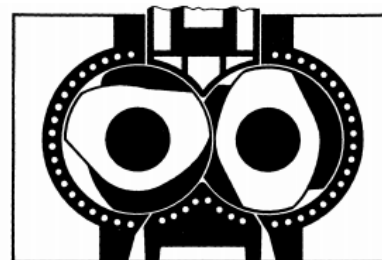
Миксере за умешавање први је развио Фрнли Банбури (Fernley Banbury) 1916 године. Данас се ови миксери чешће користе од двоваљака за мешање, јер су много продуктивнији. Они се састоје од два ротора или сечива која се окрећу у супротним смеровима и који се налазе у затвореној металној комори. Ротори миксера се могу кретати симетрично или по неком међусобном договору (један па други) као што је приказано на слици 14. Комора има отвор кроз који се доводи каучук, пунила и остали ингредијенти. По завршетку циклуса мешања, добијена смеса се избацује кроз излазна врата у постоље миксера [5].



Слика 13. Миксер за умешавање [16].



симетрични

по међусобном договору
Слика 14. Ротори миксера [5].

Време мешања је одређено обликом и величином ротора миксера, брзине ротора и снаге мотора који их покреће. Неки миксери могу да поднесу количине смесе вичу од 455 kg и у неким случајевима могу да потпуно измешају смесу за мање од два минута. Прилико мешања смеса апсорбује велику количину енергије при чему долази до повећања температуре у смеси изнад 120°C , пре него што се смеса избаци и охлади. Пораст температуре, као резултат загревања гумене смесе често значи да смеса мора проћи кроз миксер више него једном што је услов за дисперзију пунила и осталих ингредијената. Смеса се углавном избацује из миксера на двоваљке где се даље прерађује док не буде охлађена. Понекад се у овој фази додају додатни ингредијенти као што је, на пример, сумпор [5].

6. Обликовање полупроизвода пре вулканизације

6.1. Екструдирање

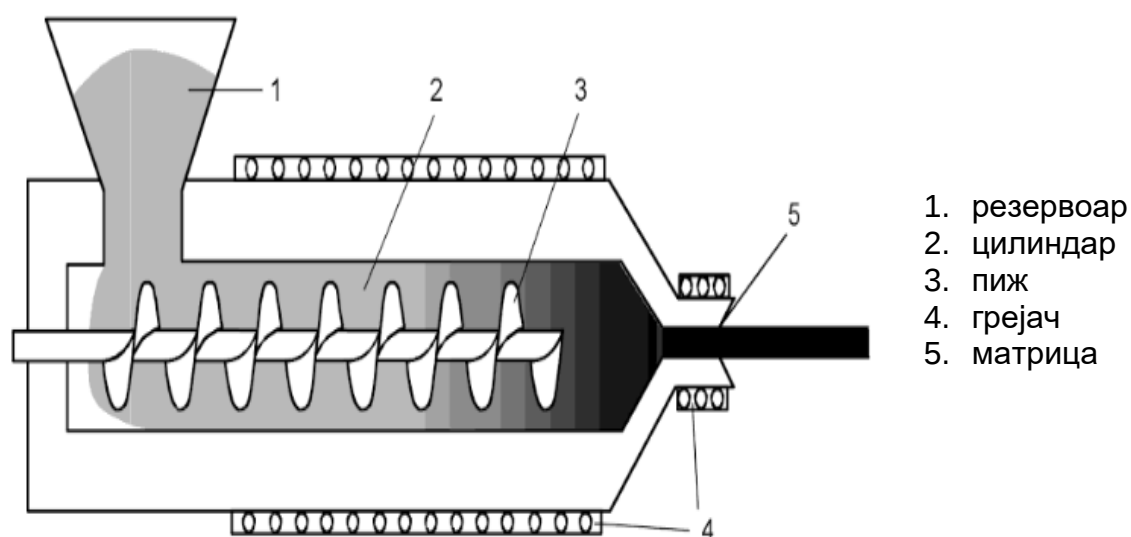
6.1.1. Прерадљивост при екструдирању

Да би се олакшала прерада каучукових смеша на екструдерима, као и обликовање у калупима за вулканизацију, додају се разни адитиви, каучук се претходно мастицира, регулишу се количине пунила и пластификатора, у смесу се додаје део већ умреженог полимера итд.

Интерни подмазивачи олакшавају екструзију, смањују оштећења на излазу и дају глатке површине. Додаци и обрада смесе која умањује релаксационе карактеристике такође помажу при екструзији за смањење бубрења екструдата при излазу из машине (тип пунила, мање пуњење, претходно мастицирање итд.). Восак, масне киселине и минерална гума поспуешују екструзију, којој не одговара ни превише низак вискозитет (гунитак ефикасности, кварење облика), нити превише висок вискозитет каучукове смесе [2].

6.1.2. Процес екструдирања

Процес екструдирања гуме се не разликује много од процеса екструдирања пластике. Главна разлика је процес очвршћавања или вулканизације гуме током процеса. Код процеса екструдирања гуме, смеша каучука и додатака се потискује кроз тело екструдера и пролази кроз матрицу одређеног попречног пресека. Смеса за екструдирање се у екструдер може доводити ручно или аутоматски са машине за умешавање. Затим гумени део мора бити вулканизован пре употребе (слика 15.). Процес вулканизације или сушења представља последњи корак процеса екструдирања. То помаже гуменим екструдираним профилима да задрже свој облик и непоходна физичка својства [13][14].



Слика 15. Шема екструзије [4].

Постоје различите врсте гумених екструзионих процеса:

Неконтинуирана екструзија – код овог начина екструзије за процес вулканизације се користе аутоклави. Током процеса вулканизације у аутоклавима производи различитих облика настали потискивањем кроз матрицу су изложени пари високог притиска и доведени на специфичну температуру вулканизације смесе, где се задржавају све док се хемијска реакција не заврши.

Континуирана екструзија – гумени материјал путује кроз отвор матрице а одмах затим кроз тунел за сушење где се температура материјала подиже на одговарајућу температуру вулканизације и одржава током целог процеса вулканизације. Брзина којом се производ креће комбинује се са дужином тунела како би се израчунало и контролисало време које производ проведе на температури вулканизационог периода (слика 16.) [18].



Слика 16. Пример континуалног екструдера [14].

Ток новонастале гуме излази из тунела за вулканизацију и улази у тунел за хлађење где се (још увек) врућа гума очисти од остатака и охлади тако да је са њом могуће руковати. Екструдирани производ се преноси кроз средину за хлађење помоћу извлакача, на крају екструзионе линије, који одржава целокупну линију затегнутом и помаже у одржавању стабилности целокупног процеса.

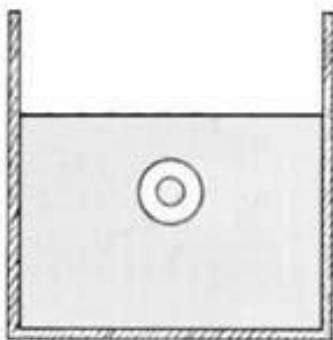
Са циљем да се производни процес учини ефикаснијим, разрађене су различите методе континуиране вулканизације. Оно што сви имају заједничко је да производ, непосредно након напуштања екструдера, настави даље кроз тунел са топлотно-проводљивим медијумом. Методе вулканизације код континуалних екструдера су следеће [6]:

- вулканизација у соној купки;
- вулканизација помочу флуидизованих лежишта;
- вулканизација у микроталасним пећима;
- вулканизација у са инфрацрвеним зрачењем.

У свим случајевима циљ медија је да брзо доведе континуирани ток гуме на унапред подешену температуру и да га држи на тој температури док се вулканизација не заврши.

6.1.3. Вулканизација у соној купки

Код ове методе (слика 17.) производ иде директно преко кратке транспортне траке у резервоар испуњен растопом течних соли. Ширина и дубина резервоара варирају у зависности од величине производа који се производи (углавном 20x20 cm). Дужина може варирати у зависности од расположивог простора и брзине производње (углавном 15 m).



Слика 17. Вулканизација у соној купки [6].

Најчешћа смеша соли је мешавина натријум нитрата и калијум нитрата уз додавање одређене количине натријум нитрата, који се загрева на температури између 180 и 240⁰С. Током транспорта кроз сону купку, производ мора бити притиснут испод површине помоћу транспортних трака или ваљака.

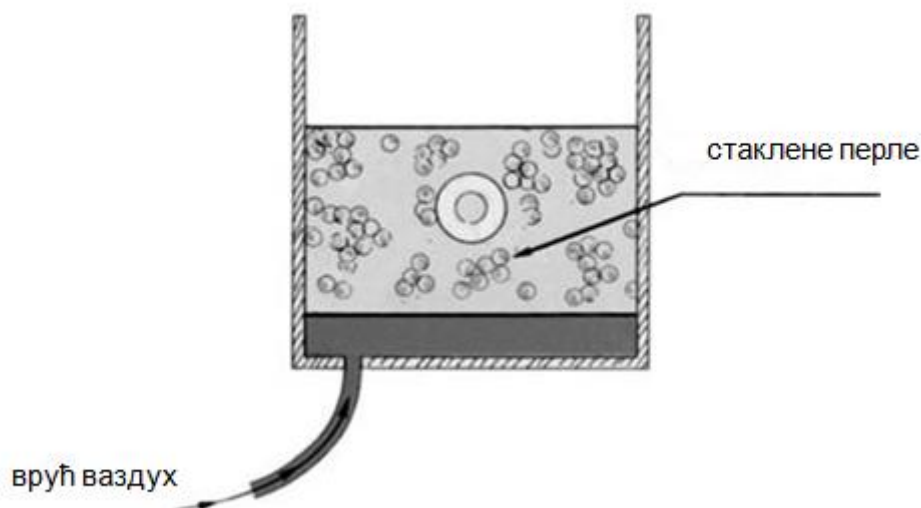
При производњи компликованих производа, као што су одређени гумени профили, користе се млазнице за наношење смесе соли преко профила. На овај начин се избегавају силе деформације од транспортних трака и ваљака. Користећи високе температуре, процес се може извести уз велике брзине. После вулканизације методом соне купке, со мора бити опрана и производи морају бити охлађени.

Највећа предност ове методе је у томе што со пружа врло брз пренос топлоте на производе који се производе. Недостаци процеса су негативни аспекти на животну средину. Соли које се користе класификују се као токсичне супстанце због садржаја натријум нитрита и могу се, у случају пожарног поступка, понашати као горива за запаљиве материјале.

Постоје строги захтеви за чишћење воде за испирање, која садржи доста растворене соли. Уобичајени поступак пречишћавања је испуштање воде и рециклирање преостале соли. Метода која је донекле нежнија за животну средину користи со у којој се натријум нитрит замењује литијум-нитратом [6].

6.1.4. Вулканизација помочу флуидизованих лежишта

Друга непрекидна метода, која користи резервоар за вулканизацију је принцип флуидизованог лежишта (слика 18.). Као што то подразумева, операција се врши помоћу флуидизованог слоја. То значи да је резервоар, који је нешто дубљи и дужи од оног који се користи за соно купатило, попуњен стакленим перлама, које су изазване да лебде дувањем врућег ваздуха са дна резервоара.



Слика 18. Принципу флуидизованог лежишта [6].

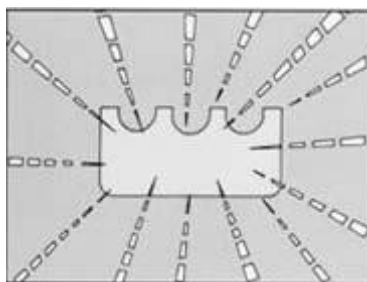
Пречник стаклених перлица је мањи од 0,1 мм, а температура ваздуха је око 220°C. Врућ ваздух је средство за провођење топлоте, а стаклене перлице обезбеђују подршку за транспорт током процеса. Нема транспортних трака, пошто се процес добијања производа изводи са лебдећим ланцима. Метода је врло погодна за производњу црева јер нема каишева или ваљака, што може утицати на конфигурацију попречног пресека производа.

Недостак ове методе је да одређени производи, као што су равни профили који подсећају на транспортне траке, могу померати стаклене перлице у резервоару. Стаклене перлице се могу лако прикачити на неке меке материјале, због чега се нагласак ставља на чишћење производа. Ово се ради помоћу покретних четкица и прања под високим притиском. После хлађења, производња готовог производа је завршена [6].

6.1.5. Вулканизација у микроталасним пећима

Гумени материјали имају лоше топлотно проводне особине. Управо због тога је развијено UHF грејање за непрекидну вулканизацију (слика 19.). Основни принцип је исти као и код обичне микроталасне пећи. Магнетрони преносе радио таласе са фреквенцијом од 2450 MHz, који узрокују струјне токове у

електричним проводним материјалима и доводе до осциловања поларне молекулске структуре у материјалу.



Слика 19. Вулканизација у микроталасним пећима [6].

Покрети настали у молекулима производе топлоту. Микроталаси су способни да продиру неколико центиметара у гумени материјал, који се затим загрева изнутра. У претходним случајевима загревање се одвијало од споља ка унутра.

Магнетрони се у процесу вулканизације налазе у тунелу, кроз који гумени профил пролази помоћу транспортне траке. Долази до повећања температуре у тунелу где се процес вулканизације остварује. Температура ваздуха у тунелу је преко 200°C. Да би се грејање омогућило микроталасима, гумени материјал мора бити електрично проводљив и имати поларне молекуларне структуре.

Овај поступак вулканизације се првенствено користи за производе дебелих зидова, којима треба пуно времена да се вулканизују приликом употребе других метода. Ако у гуменој смеси постоје загађивачи, који могу бити активирани микроталасима, као што су металне подлоге или слабо распоређена чађ, могу се јавити тзв. вруће тачке. Оне би могле бити толико вруће да долази до горења гумених профила током производње.

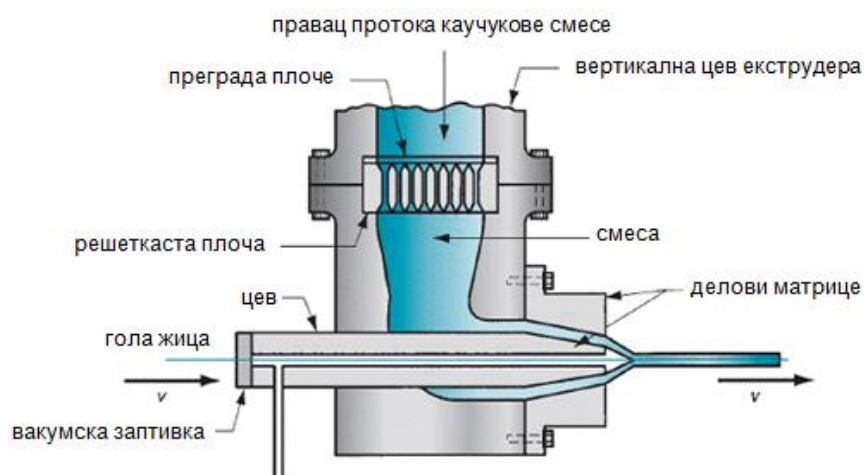
Исто се може десити ако постоји прекид доток гуме на екструдеру. Количина материјала у UHF тунелу се затим смањује и као резултат долази до прегревањем. Метода зато захтева праћење процеса. Микроталасни процес вулканизације у одређеној мери је заменио соне купке због смањене опасности по животну средину. Хлађење се одвијају на исти начин као и код других начина сушења [6].

6.1.6. Вулканизација са инфрацрвеним зрачењем

При изради силиконских гумених профила, вулканизација се одвија у тунелу са IR елементима типа сауне. Одржавањем високе температуре око 500°C и коришћењем материјала за брзу вулканизацију, тунел може бити кратак. Ако је силиконски производ добро отпоран на топлоту, после вулканизације у тунелу, мора бити накнадно вулканизован у пећима [6].

6.1.7. Екструдирање жица и каблова

Екструдирање служи и за облагање жице и каблова. Метална жица пролази обично кроз посебан део и излази из екструдера заједно са смесом (слика 20.). Смесa се из екструдера може истискивати кроз решеткасту плочу са намером да се из смесе, пре даље прераде, уклоне евентуалне присутне нечистоће (комади метала, дрвета итд.) [4].



Слика 20. Процес облагања жице [28].

Затим долази до вулканизације у микроталасним пећима, што је приказано на слици 21.



Слика 21. Линеја процеса за облагање жице [18].

6.1.8. Екструзиони уметци за екструдирање гуме

Екструзиони уметак је прецизан и специфичан алат од челика направљен резањем отвора обликованог у облику готовог попречног пресека жељеног производа (слика 22.). Гумени материјал ће протицати кроз ову матрицу помоћу притиска који се ствара од пуца екструдера. Многа гумена једињења ће се нагињати када пролазе кроз екструзиону матрицу, што доводи до повећања

димензија. Према томе, свака матрица се израђује према сваком појединачном делу и материјалу како би се осигурало да су испуњене све толеранције за готову екструдирану гумену подлогу [19].



Слика 22. Екструзиони уметак [14][19].

6.1.9. Материјали за екстудирање производе

Велики број гумених делова може се производити овим поступком, као што су профили, жице, траке, црева, облагање каблова, заптивачи итд (слика 23.).



Слика 23. Производи добијени овим поступком [15].

За добијање гумених производа екстудирањем користи се широк опсег материјала [2]:

NR (Природни каучук) – Ови еластомерни материјали користе се за производњу гумених производа од којих се захтева изванредна еластичност, незнатна трајна деформација после сабијања, експлоатација на температурама од -30 до 60°C и отпорност према хидрауличним и сличним течностима на бази алкохола а који при експлоатацији неће бити изложени непосредном дејству сунчеве светлости. Примењују се у производњи путничких пнеуматика првенствено за каркас и бокове, хирушке производе, у индустрији лекова, за израду пене за пуњење кревета и седишта и сл.

IR (Синтетички каучук – изопрен) – Највећим делом ови материјали се користе у производњи пнеуматика, за каркас и протектор (газећу површину) камионских пнеуматика, за производњу авионских пнеуматика. Користе се за израду читавог низа гумено-техничких производа као што су: носачи мотора, заптивке, О-прстенови, подови, гумене траке, спортска опрема и друго. Због високе чврстоће и високе прекидне чврстоће, користи се за артикле који се примењују у медицини и неке производе који долазе у додир са храном. IR обогатен уљем користи се за израду ђонова обуће, техничке робе и сунђерасте гуме.

SBR (Стирол-бутадиен синтетички каучук) – Ови еластомерни материјали користе се за производњу гумених производа код којих се не постављају посебни захтеви у погледу еластичности и отпорности према уљима. У погледу постојаности према атмосферском старењу бољи су од типа NR а заостају за типом IIR. Производња SBR-а у износу од око 40% у односу на производњу свих каучука указује да је он водећи у светској производњи.

EPDM (Етилен-пропилен синтетички каучук) – Ови каучуци налазе примену у производњи спољних пнеуматика, за израду изолација за средње и високо напонске енергетске каблове, за екструдирани профиле који служе за заптивање врата и прозора у аутомобилској индустрији. На бази EPDM се ради пресована гумено-техничка роба (амортизери на бази везе гума-метал, заптивке, мембране, сунђери са отвореним и затвореним порама).

IIR (Бутил синтетички каучук) – Ови еластомерни материјали користе се за производњу гумених производа од којих се захтева, посебно, отпорност према атмосферском старењу, постојаност на температурама од -30 до 130°C , непропустљивост за гасове, непропустљивост и отпорност према дејству бројних отрова, хлороводоничне и сумпорне киселине. Није отпоран према дејству горива и мазива. По еластичним својствима, овај тип еластомерног материјала заостаје за типом NR. На основу својстава мале пропустљивости гасова, налазе примену за израду унутрашњих пнеуматика, за израдуваздушних јастука, пнеуматских опруга, акумулаторских кутија и слично. Поред примене у пнеуматици, користе се за изолацију електричних каблова, за израду аутомобилских одбојника и амортизера, заптивних елемената.

CR (Хлоропрен) – Ови еластомерни материјали користе се за производњу гумених производа који су при експлоатацији, изложени температурама од -30 до 80°C на отвореном простору, од којих се захтева постојаност према парам бензина, уља и органских растварача и отпорност према морској и речној води. Најчешће се употребљавају за адхезиве (лепкове), у индустрији аутомобила, за жице и каблове, у грађевинској индустрији и за цеви и траке.

CSM (Полиетилен-хлорсулфидни) – Највећим делом се користе за гумирање тканина и добијање танких фолија у индустрији жица и каблова. У мањој мери се користи за црева и у пнеуматици. CSM се наноси на метале и тканине због захтеване хемијске отпорности тих материјала. У кабловској индустрији се користи због топлотне и уљне отпорности, па се израђују каблови који се користе у нуклеарним електранама, на бродовима, дизел-електричним локомотивама и за варење. CSM се користи и у грађевинарству за покривање

кровова, због добре отпорности на атмосферу. Производе се црева отпорна на хемикалије, са унутрашњим слојем на бази CSM.

NBR (Бутадиен нитрилни синтетички каучук) – Ови еластомерни материјали користе се за производњу гумених производа од којих се захтева отпорност према дејству минералних уља и других нафтних деривата у опсегу температура од -30 до 120°C. Примењују се за заптивање у хидрауличним системима са минералним уљима.

6.1.10. Облици екструдираних профила

Израђују се екструдирани гумени профили и производи у скоро свим облицима, величинама и дужинама од широког спектра чврстих гумених спојева и материјала. Најпопуларнији гумени профили и облици су дати у табели 1 [15].

Табела 1. Најпопуларнији гумени профили и облици

D – екструзионе траке
P - екструзионе траке
L - екструзионе траке
T - екструзионе облик
C - екструзионе канал
E - екструзионе канал
H - екструзионе канал
U - екструзионе канал
Кружни екструзиони канал



Слика 24. Сложенији облици профила [29].

Такође се могу добити и сложенији облици екструдираних профила (слика 24.).

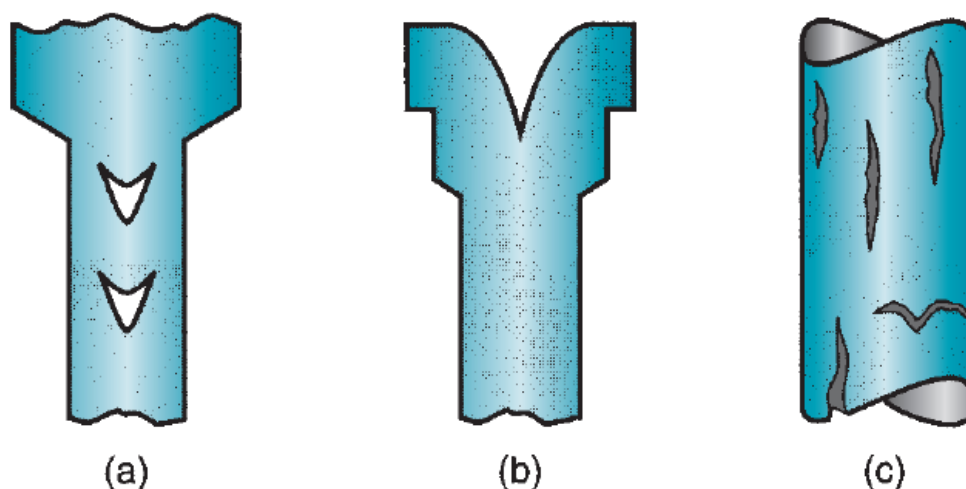
6.1.11. Грешке у екструдираним производима

Приликом екструзије на производима може доћи до значајних деформација као и до настанка неких недостатака у производима.

Оштећења екструдираних производа могу се сврстати у три категорије:

- пуцање централног дела
- пипинг и
- пуцање површинског дела

У наставку су илустровани недостаци настали у екструдираним производима (слика 25.).



Слика 25. Недостаци при екструдирању [17].

Пукотина централног дела је унутрашња пукотина која се развија као резултат напрезања на затезање дуж средње линије дела током процеса екструзије. Иако затезни напон обично не може бити видљив у процесу компресије као што је поступак екструзије, напон затезања се наговештава под условима који изазивају велике деформације у подручјима рада далеко од централне осе. Знатна количина кретања материјала у овим спољним подручјима истеже материјал дуж центра производа. Ако су напони високи, долази до пуцања. Услови који доводе до оваквих грешака су: високи углови матрице, ниски екструзиони коефицијенти и нечистоће у металном делу који служе као полазна тачка за стварање дефеката. Тешко је идентификовати овакве врсте грешака. Стварање централне пукотине је унутрашњи недостатак који се обично не примећује визуелним прегледом.

Пипинг је грешка повезана са директним екструдирањем. Као на горњој слици (б), то је формирање рупа на крају производа. Коришћење лажног блока чији је пречник нешто мањи од ширине производа, помаже да се избегне грешка пипинг у процесу екструзије. Ова грешка се још назива и рибљи реп.

Пуцање површинског дела резултат је високих радних температура које изазивају стварање пукотина на површини. Често се јављају када је брзина екструзије веома висока, што доводи до високог степена напрезања, праћено производњом топлоте. Други фактори који доприносе стварању пукотина на површинама у процесу екструзије су високо трење и површинско хлађење високотемпературних производа у процесу врућег екструдирања [17].

6.1.12. Предности и недостаци процеса екструзије

Предности су:

- брза производња (велика ефикасност процеса);
- широк спектар производа;
- процес је економичан;
- флексибилни процеса;
- израда производи од више различитих материјала укључујући гуму и метална језгра;
- минимална потрошња материјала и енергије [14].

Недостаци су:

- укупни трошкови сировина су већи због састава неопходних за пролаз кроз овај систем;
- трошкови постављања сировина су већи;
- ограничена величина попречног пресека производа [18].

6.2. Облагање метала гумом

У многим случајевима пожељно је наносити гуму на метал. На пример, када се гума користи за корозију, за заштиту од хабања или за покривање ваљака. Код многих инжењерских делова као што су амортизери, спојнице, гумени точкови или заптивни прстенови, гума се комбинује са металом [6].

Произвођачи у многим индустријама се ослањају на гумено-металне производе, који имају веома широку примену. Кључни разлози зашто се користе гумено-метални производи су следећи:

- за било који део који захтева комбинацију флексибилности гума и стабилности метал;
- комбиновање неколико делова у један склоп;
- осигурати да критичне функције неће пропасти због слабе везе ако се користи традиционално везивање;
- побољшање контроле звука и контроле вибрација;
- заптивање против органских растварача, морске воде итд [8].

Типични индустријски захтеви су:

- гумене плоче од метала;
- монтажа мотора и других примена у аутомобилској индустрији;
- хидраулика и пнеуматика;
- медицински уређаји као што су ручке за инструменте;
- електрични уређаји и друге индустрије – заптивачи, црева вентили изолатори и сл [8].

Најчешћа метода која се данас користи за везивање гуме и метала је метода везивања помоћу везивног средства раствореним у растварачу. Да би се

избегли проблеми који утичу на животну средину при руковању са растварачем, могу се користити средства за везивање на бази воде. Један део средства ближи металу се назива премазом а други лепком. За различите врсте гуме, различите метале и чак различите производне процесе препоручују се различита везивна средства.

Средства за везивање (атхезиона средства) гуме и метала, и основни премаз и лепак, обично садрже смесу смола, полимера, цуративес, проширивача, боја, инхибитора корозије и стабилности вискозитета.

Основни премаз садржи органске смоле, халогениране полимере, пунила као што су титаниум-диоксид, цинков-оксид и алуминијски силикати који реагују са већином металних материјала (угљеничног челика, нерђајућег челика, алуминијума, месинга и др.), како би се формирале хемијске везе са металом током вулканизације.

Лепак садржи халогениране полимере, чађ плус остала пунила и специјална везива који су компатибилни са основним премазом, као и са гумом која се спаја. Ди- и поли-функционалне хемикалије реагују у контакту између лепка и гуме, лепка и основног премаза и формирају стабилне везе. Генерални садржај везивних средстава не постоји. Тај садржај представља тајну сваког произвођача.

Реакције везане за гуму и метал су веома комплексне, јер се истовремено одвијају неколико реакција. Ове реакције морају бити завршене у кратком временском периоду, док су сви слојеви интерфазе и даље реактивни, како би се постигла издржљива веза [6].

6.2.1. Материјали

Техника је првенствено развијена за челик и алуминијум, који су најчешћи материјали који се користе, а који такође дају најбољу адхезију. За бронзу, бронзу и друге легуре адхезија варира од доброг до слабог зависно од састава легуре. Треба истакнути да се иста техника може користити за везивање гуме код великог броја неметалних материјала, нпр. стакло полиамид и керамика итд.

Под условом да може издржати топлоту и притиске гуменог калупа, готово сваки метал може бити везан за гуму. Међутим, сваки метал има другачији хемијски састав који може реаговати на тип гуме који се користи. Важан корак је утврђивање најбољег метала, као и оптимални тип гуме.

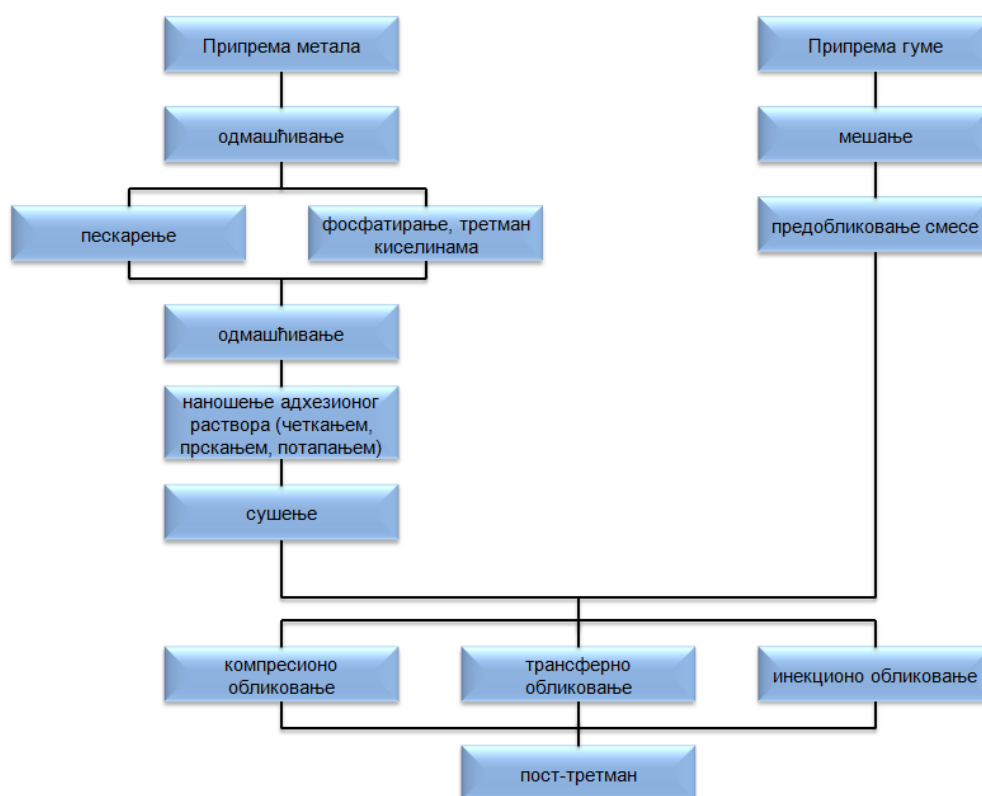
Један проблематичан материјал је месинг, који садржи олово, које хемијски спречава гумено лепљење. Мекши, слободни материјали од месинга имају већи садржај олова и могу бити тешки за везивање. Боља јачина везе може се постићи са најнижим нивоом садржаја олова. Припрема подлоге је апсолутно кључна уз правовремену примену два система за везивање слојева [8].

Добра адхезија се добија код већине обичних типова гуме, тј. NR, SBR, IR, BR, CR, NBR. Нема значајних разлика у коришћењу ових гума. Постоји тенденција да се поларни материјали попут CR и NBR, лакше везују него гумених материјала NR или SBR са малим или никаквим поларитетом у њиховим молекулским структурама. EPDM и IIR постижу слабије везивање него наведени типови изнад. Неки од производа као што су ваљци, заптивке, дугмад за медицинску дијагностичку опрему, ваљци за тешке транспортне захтеве, укључујући рударство и велику индустријску примену су дати на слици 26 [6][22].



Слика 26. Гумено-метални производи [22]

Дијаграм тока за израду делова од гуме и метала је приказан на слици 27. Треба напоменути да се посебно треба водити рачуна о томе да метална површина буде чиста. То се постиже механичким (резањем – брушењем, жичаним четкама итд.) или хемијским чишћењем.



Слика 27. Дијаграм тока израде гумено-металних производа [21].

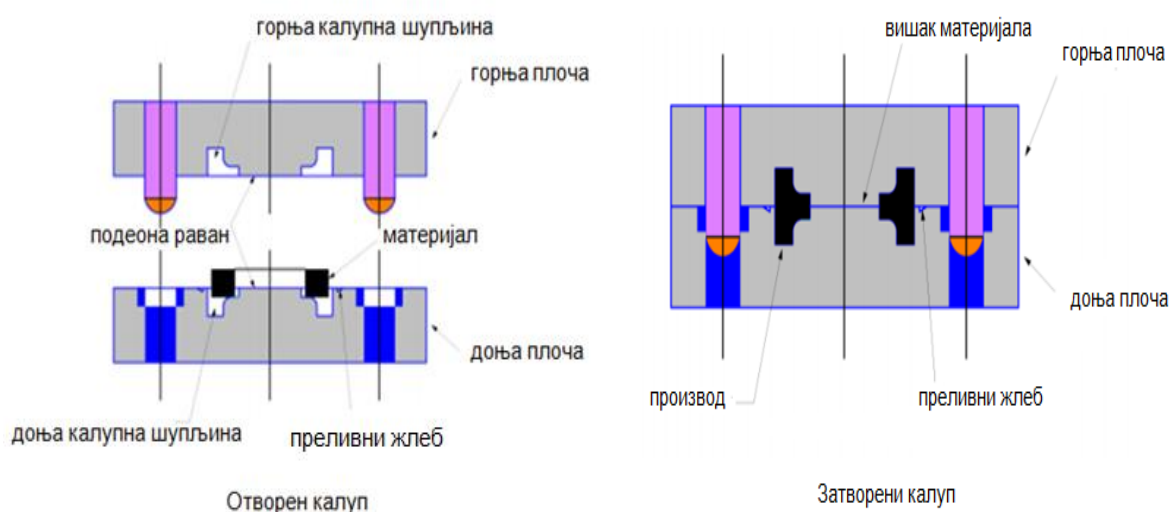
Процес адхезије гуме и метала почиње са металним уметцима (језгрима) који се прво припремају помоћу средстава за уклањање масти, како би се уклонили сви загађивачи пре него што се адхезионо средство (лепак) нанесе. После тога, загрејани лепак се наноси на метални уметак користећи неколико техника (прскање, потапање и четкање-премазивање). Када су метални уметци припремљени, они се затим постављају у калупне шупљине, а затим се започиње процес додавања гуме у калупну шупљину, која је претходно миксирана и преобликована. Након што се калуп затвори и обликовање започне активира се лепак на металу, омогућавајући металним уметцима да се везују за гуму [21].

6.3. Добијање гумених и гумено-металних производа пресовањем

Гумено-метално везивање је процес помоћу којег се гума механички везује за металну компоненту током различитих процеса прераде гуме. Већина гумено-металних производа је добијено методом затворене вулканизације у калупима односно коришћењем различитих процеса пресовања (СМ – компресионо обликовање, ТМ – трансферно обликовање и ИМ – инекционо бризгање) [24].

6.3.1. Компресионо обликовање – СМ

Компресионо обликовање је процес који подразумева узимање гуменог материјала или мешовите сировине и образовање "предформе" у основни облик крајњег производа (слика 28.). Предформе обезбеђују вишак материјала који се поставља у калупну шупљину, чиме се обезбеђује потпуна попуњавање калупне шупљине. Да би се осигурало правилно попуњавање калупне шупљине, неопходно је додавање вишка материјала и то од 5 до 10%. Затим се калуп затвара, доводи се и топлота и притисак на предформу и омогућава се попуњавање калупне шупљине. Када се калупна шупљина попуњава, вишак материјала прелази у преливне жлебове (канале). Након овог корака, гума се вади из калупа и добија се готов гумени производ [7].



Слика 28. Компресионо обликовање [7].

Користи се углавном за појединачну и малосеријску и средњесеријску производњу и за захтеве код којих се тражи израда производа од скупих материјала.

Да би избегли добијање дебљег производа од траженог потребно је на површинама спајања делова алата израдити центричне жлебове (канале) у односу на гнездо за прихват вишка гумене смесе. Удаљеност жлебова од гнезда мора бити 3-4 mm, а радијус жлебова 1,5-2 mm. Величина жлебова зависи од пластичности гумене смесе и од сложености конфигурације производа. Све што је већа ширина жлебова то је теже вађење производа из алата а самим тим и већи притисак у алату у самом процесу израде дела [2].

Предности компресионог обликовања су следеће [6][7]:

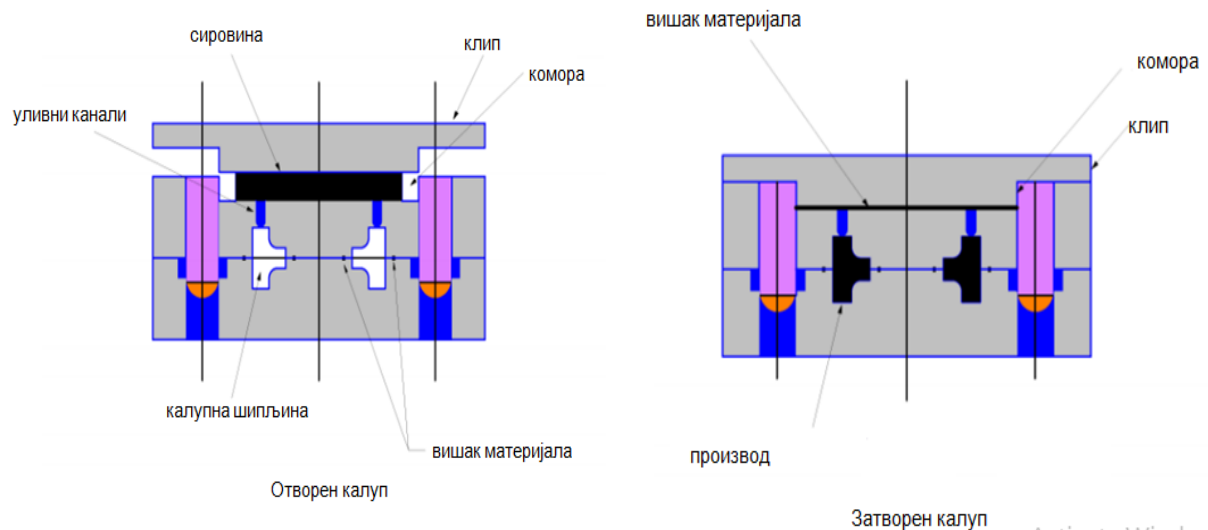
- метода је једноставна и захтева релативно једноставне пресе и калупе;
- могућа је производња композита који садрже ојачавајуће материјале и не садрже гуму;
- погодан за производа са великом површином или великим ширењем;
- може се користити за гумене смесе са високим вискозитетом и лошим карактеристикама протока;
- може бити економичан у случају када је пресек дела веома велики и захтева дуготрајну вулканизацију.

Недостаци компресионог обликовања су следеће [6][7]:

- припрема смесе и убацивање у калупну шупљину траје много дуго;
- компликоване шупљине је тешко попуњавати;
- брзина производње је веома мала;
- потребно је водити рачуна да се избегне контаминација метала са прашином.

6.3.2. Трансферно обликовање – ТМ

Као и код компресионог обликовања, трансферно обликовање захтева секундарну припрему сировина у предформе. Овај начин пресовања приказан је на слици 29., и изводи се помоћу алата који имају одвојену комору за пуњење од удубљења алата у коме се врши обликовање. Фазе тока процеса посредног пресовања почиње пуњењем коморе материјалом, који се у њој загрева и омекшава а затим долази до затварања алата. Након тога се спроводи потискивање растопљеног материјала из коморе за пуњење, преко уливних канала ка удубљењу алата и враћање потискивача. Долази до вулканизације производа а затим до отварања алата и избацивања готовог производа.



Слика 29. Трансферно обликовање [7].

Activate Window

Пошто је гума присиљена да протиче кроз канале, предгревање се одвија у гуми. Ово предгревање значајно смањује време вулканизације. Под условом да притисак убризгавања не прелази притисак затварања калупа, добија се добро избалансирана доза гуме у сваку шупљину и формирање вишка материјала се смањује на минимум [6].

Предности трансферног обликовања су следеће [6][7]:

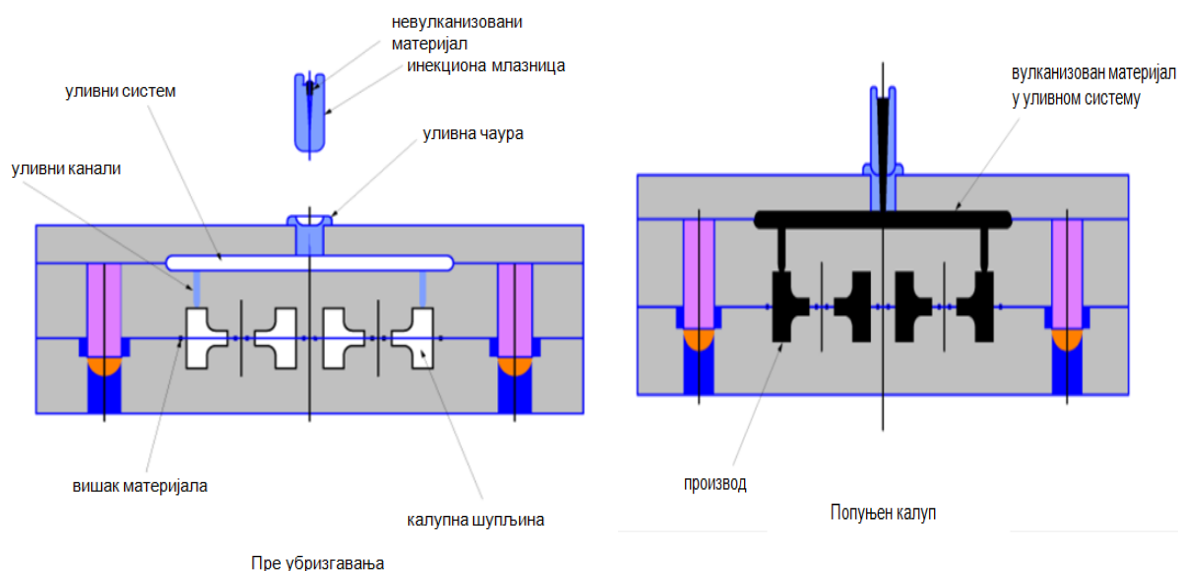
- припремање калупних шупљина је знатно олакшано;
- предгревањем гуме смањује се време вулканизације;
- загрејана гума ефикасније попуњава калупну шупљину;
- тачност димензија је већа јер се врши попуњавање алата (калупа) када је он затворен ;
- како се попуњавање калупа врши материјалом који је у течном стању, могу се израђивати делови сложеног облика и са дубоким отворима малог пречника;
- приликом добијања гумено-металних производа, гума остварује бољи контакт са металом при трансферном обликовању;
- век трајања алата је дужи.

Недостаци трансферног обликовања су следеће [6]:

- калупи су компликованији и скупљи;
- делови са текстилним уметцима не могу се производити;
- метода захтева материјала који су једноставни за обраду.

6.3.3. Инекционо бризгање – IM

За овај поступак се употребљава машина, која је у принципу једнака машини за убризгавање у индустрији пластичних маса. Међутим у раду са каучуковим смешама појављују се тешкоће због веће вискозности и опасности од преране вулканизације. Процес убризгавања се састоји од следећих фаза, што је приказано на слици 30.



Слика 30. Инекционо бризгање [7].

Процес почиње убацивањем материјала у машину у облику гранула трака или комада, одакле се помоћу уређаја за дозирање одводи у цилиндар који се загрева посебним грејачима. У цилиндру се материјал топи и под притиском клипа (или пужа) потискује преко бризгалке, уливне чауре и уливног канала у калупне шупљине алата. У току ове фазе алат се држи затворен на машини специјалним механизмом, јер притисак достиже високе вредности. Алат се хлади као и материјал у њему и отвара после неког времена а готов производ се избацује из њега.

За разлику од посредног пресовања у којем се температура потребна за вулканизацију доводи споља, у поступку са убризгавањем температура се развија за време проласка каучукове смесе кроз машину. Тако се читава маса равномерно загрева и вулканизује, а то доприноси боља физичка својства производа. Помоћу високог притиска за бризгање, добијено је кратко време убризгавања и значајна количина предгревања гуме. Предгревање може постићи исте или више температуре од претходних случајева, а време вулканизације постаје екстремно кратко [6].

Предности компресионог обликовања су следеће [6]:

- руковање материјалом је потпуно елиминисано;
- калуп се попуњава у затвореном положају и у одређеним случајевима се у потпуности избегава формирање вишка материјала на производу;
- комплексне шупљине и проточни канали се могу лако попити;
- време вулканизације је врло кратко;
- процес се лако може аутоматизовати.

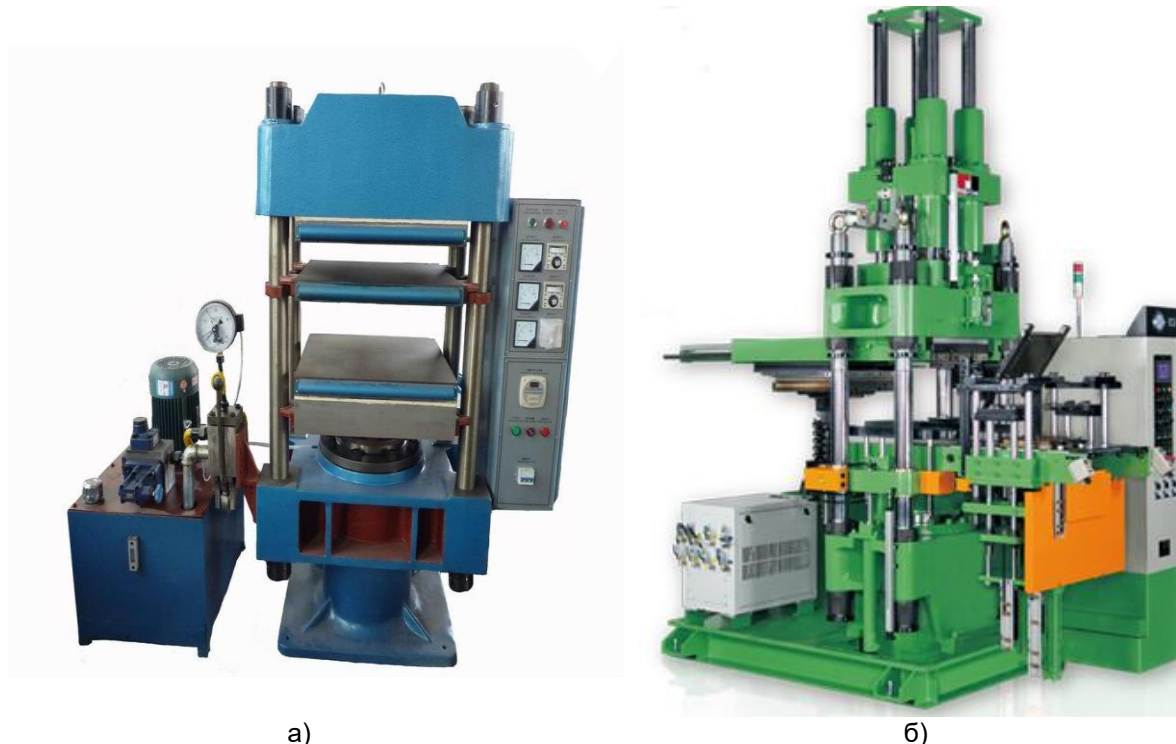
Недостаци компресионог обликовања су следеће [6]:

- алати и машине су знатно скупљи;
- ако део за убризгавање опслужује више калупа, материјал је ограничен на одређени тип смесе;
- процес захтева веће техничко знање;
- постоје строги захтеви да гумени састав буде хомоген и да има ниску вискозност.

6.3.4. Вулканизација у процесима пресовања

Вулканизација код оваквих процеса обликовања гуме се изводи на пресама које могу бити хидрауличке, пнеуматске и механичке. Највећу примену имају хидрауличке пресе.

Хидрауличке пресе (слика 31.) се састоје од неколико основних делова: вертикалних стубова (могу бити и рамови), радног цилиндра, потискујућег клипа, покретног стола, горњег непокретног стола, плоча са грејачима итд.



Слика 31. Хидрауличке пресе: а) за компресионо пресовање б) за трансфер пресовање и инекционо бризгање [31].

Вулканизација гумених производа мањих димензија изводи се у металним алатима који се причвршћују за плоче радног стола пресе или су покретне. Димензије плоча код хидрауличних преса варира од 300x300 до 1200x1200 mm.

Код већих дужина (транспортне траке, погонски каиши и др.) вулканизују се на вишецилиндричним пресама са дужином плоче од 1200 до 10000 mm. Плоче хидрауличних преса за вулканизацију се загревају електричном енергијом, а могу се загревати и паром а понекад и врелом водом. Постојаност температуре при загревању електричном енергијом изводи се помоћу аутоматског регулатора.

За хидраулични погон пресе за вулканизацију и постизање неопходног притиска користи се вода ниског и високог притиска. Вода ниског притиска (20 – 50 bara) користи се за подизање клипа и плоча пресе, док се вода високог притиска (100 – 300 bara) користи за накнадни притисак и потискивање клипа при вулканизацији [2].

Пуњење калупа се изводи у топлом стању, што захтева брзо извођење процеса јер би у противном могло доћи до појаве подвулканизације гумене смесе. Калупи (алати) се постављају на плоче пресе и загревају постепено до температуре од 150 – 230⁰С, у зависности од процеса обликовања и састава гумене смесе која се обликује. Загревање калупа се врши са обе стране (одозго и одоздо), због чега није препоручљиво на овај начин вулканизовати предмете велике висине због немогућности равномерног загревања дела.

Пуњење калупа гуменом смесом мора бити нешто веће него што то захтева величина производа (посебно код компресионог пресовања). Вишак смесе се у процесу вулканизације разлива у преливне канале где се формира отпресак који се касније одсеца.

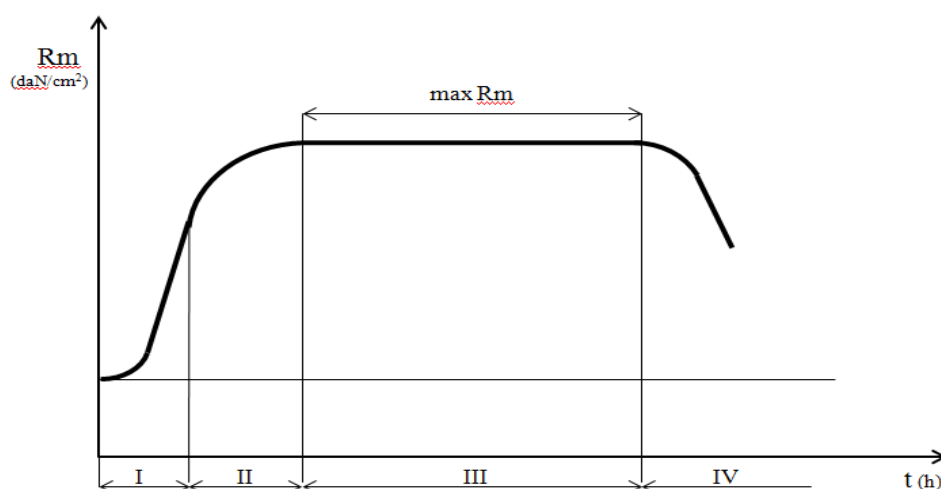
Приликом вулканизације долази до постепеног загревања, при чему долази до ширења гумене смесе у калупним шупљинама и стварања огромних притисака захваљујући којима долази до доброг, потпуног попуњавања шупљине у калупу. При даљем загревању долази до постепене вулканизације при чему смеша губи своју пластичност и прелази у чврст и еластичан облик. По истеку времена потребног за вулканизацију врши се растеређења калупа након чега следи отварање и вађење вулканизованог производа. Притисци приликом обликовања се крећу од 500 до 3000 bara.

Трајање процеса вулканизације на пресама зависи од температуре, димензија производа и рецептуре смесе гуме и креће се обично од 6 – 10 минута, односно 60 – 90 минута.

7. Вулканизација

Вулканизација је хемијски процес спајања каучука и сумпора, при чему долази до промене својстава каучука и добијања производа са знатно бољим својствима тврдоће, еластичности и отпорности према хабању који се назива гума.

Процес вулканизације је каталитички хемијски процес који се одвија на свим температурама, али се знатно брже одвија у одређеним условима. Реакција супора на каучуку се одвија све до постизања садржаја од 32% сумпора. Процес вулканизације се одвија у неком временском интервалу и може се поделити у четири фазе, што је приказано на слици 32.



Слика 32. Крива вулканизације: I – почетно стање II - подвулканизација III – област оптималне вулканизације IV – превулканизација [2]

У почетној фази вулканизације каучукова смешша је још увек пластична, али долази до почетка умножавања и пораста затезне чврстоће у току времена вулканизације. У овој фази могућа је и нежељена појава да је смеша већ пре почетка вулканизације изгубила један део своје пластичности и није најпогоднија за даљу прераду, а обрађене површине нису глатке. Да би се спречила ова појава додају се успоривачи вулканизације.

Друга фаза представља подвулканизацију, који претходи оптимуму вулканизације у коме у току времена долази до наглог пораста затезне чврстоће мада вулканизација није завршена.

Област оптималне вулканизације, односно, када се постигне максимална затезна чврстоћа, представља трећу фазу.

Вулканизација се никад не изводи до постизања максималне затезне чврстоће, јер њеним постизањем долази до опадања отпорности према старењу. За постизање најбољих својстава гуме нису исти услови вулканизације, јер на пример ако се жели највећа отпорност на хабање вулканизација се изводи на одређеној температури и времену, али при томе неће бити постигнута највећа

друга својства. Смеса за вулканизацију се према променама око највеће затезне чврстоће дели на смеше са сироким и уским опсегом.

Најповољније смеше су оне које имају широк опсег вулканизације, јер измена физичко-механичких својстава је потпуна, па је далеко лакше руководити процесом вулканизације. У последњој фази, фази превулканизације каучукове смеше долази до смањења свих својстава, првенствено затезне чврстоће, издужења и отпорности према хабању.

Оптималним избором убрзивача вулканизације и одговарајућом количином сумпора који се додаје, осетљивост на превулканизацију се смањује [3].

7.1. Методе вулканизације

Вулканизација, у зависности од примењене методе, може бити:

- хладна вулканизација;
- вулканизација са паром сумпор-хлорида и
- топла вулканизација (вулканизација зрачењем и термичка вулканизација).

Хладна вулканизација се примењује код добијања танких гумених предмета, који се потапају у 1,5 до 5% раствора сумпор-хлорида у угљен-дисулфиду, у интервалу од 2 до 20 секунди, зависно од дебљине. Дуже време вулканизације изазива добијање крте и ломљиве гуме, због тога се овај поступак мора изводити са пуно искуства и пажње. После вулканизације неопходно је гуму ослободити од тешког мириса раствора за вулканизацију путем прања, сушења, односно кувања у алкалним растворима.

Вулканизација са паром сумпор-хлорида се ређе примењује и то само за врло танке и јако углачане предмете обраде. Сама вулканизација изводи се за кратко време ако се смеша излаже у затвореној просторији дејством паре сумпор-хлорида. Посебна пажња се мора обратити на опасност од претеране вулканизације, и то све више што је дебљина мања [3].

Топла вулканизација се најчешће примењује у индустрији гуме, а у њеном процесу дешавају се следеће примене:

- смеша каучука и додатних материјала помешана са сумпором се загрева до температуре 135-160°C у току времена које зависи од њене количине;
- добијена гума, поред тога што је неосетљива према атмосферским утицајима, постаје еластичнија, има повишену затезну чврстоћу и отпорност према хабању;
- гума скоро у потпуности губи растворљивост и лепљивост.

Основни параметри процеса топле вулканизације су: температура, време и притисак.

Температура на којој се изводи топла вулканизација је 135-160°C. Ниже температуре утичу на то да је процес вулканизације успорен, а више утичу на

то да је процес вулканизације убрзан, али при томе у оба случаја се не добијају и оптимална својства гуме.

Време загревања при вулканизацији се састоји од времена потребног за загревање смеше каучука и додатних материјала T_z и време у коме настаје везивање сумпора са каучуком T_v .

$$T_u = T_z + T_v.$$

Код вулканизације масивних предмета обраде процес се прекида нешто раније да би се спречила могућност површинске превулканизације, која се такође може избећи и оптималним избором слојевите смеше за вулканизацију, са тим да спољни слојеви имају шири опсег вулканизације. Вулканизација у калупима који се смештају у пресе мора се одвијати нешто дуже време како би се смеша за вулканизацију разлила по целом калупу па и у простору за истицање вишка смеше за вулканизацију, обзиром да се у калупе обично уноси 5-10% више смеше него што је потребно

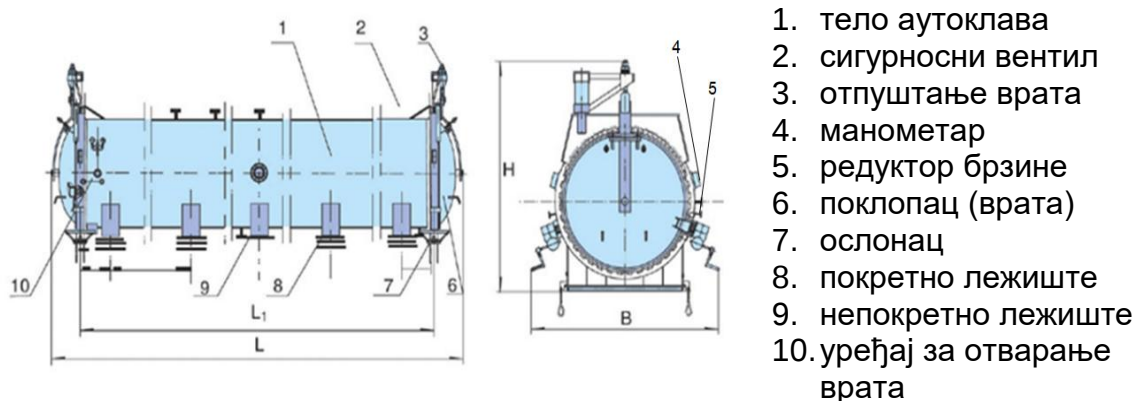
Притисак, неопходан за добијање хомогеног предмета од гуме, мора бити најмање од 1 до 1.2 МПа [3].

Само извођење топле вулканизације, која се обавља на готовим предметима од смесе каучука и додатног материјала се изводи:

- у котловима за вулканизацију;
- на пресама, које могу бити хидрауличне, пнеуматске и механичке;
- на пресама, за извођење континуиране вулканизације.

7.2. Вулканизација у котловима (аутоклавима)

За дисконтинуирану вулканизацију се користе аутоклави (котлови) за вулканизацију. Ова вулканизација се изводи помоћу водене паре под притиском у цилиндричним аутоклавима који могу бити: хоризонтални и вертикални. Велики аутоклави (слика 33. и 34.) који се користе у индустријске сврхе су углавном хоризонтални због лакшег стављања и вађења предмета за вулканизацију (пречника од 0,9 – 3 m и дужине од 1 – 40 m) [2].



Слика 33. Делови хоризонталног аутоклава за вулканизацију [27].



Слика 34. Аутоклав за вулканизацију [30]

Да се не би губило много времена пре и после вулканизације, материјали и предмети за вулканизацију се стављају у аутоклав на одређени начин. Тако се појединачни предмети уносе на великим плочама, ципеле и рукавице на калупима, лопте и други шупљи предмети такође у прикладним калупима а цеви и профили намотани на вретена. Такође се често, пре вулканизације, производи слажу на колица која се затим угурају у аутоклав. Пример таквих производа су аутомобилске гуме (слика 35.) [13].



Слика 35. Вулканизација аутомобилских гума [23].

Велики тешки предмети, као што су ваљци за папир, захтевају степенасту вулканизацију, што подразумева повећање температуре аутоклава на максималну температуру вулканизације низом корака како би се обезбедила релативно равномерна расподела температуре кроз производ током загревања [6].

Предност вулканизације помоћу водене паре у аутоклаву је што нема хладних делова и површина, па се предмети загревају равномерно. Потребна температура и трајање вулканизације за неки материјал или предмет зависи између осталог и од облика и величине аутоклава, па се за сваки аутоклав морају посебно одредити [13].

Такође, аутоклави се могу поделити на: необложени и обложени.

Код необложеног типа, пара се уноси директно у комору аутоклава. пара се кондензује на унутрашњим зидовима котла и на површине гумених производа који се вулканизира. Међутим код овог типа вулканизације долази до стварања удубљења на површинама производа, због тога треба предузети одређене превентивне мере, да би се гумени производи заштитили.

Код обложеног типа, који се састоји од двоструког зида, пара циркулише између тих зидова, тако да нема директног контакта паре са гуменим производима. Инертни гар (нпр. азот) се затим уводи у аутоклав да би се елиминисала оксидација која помаже деградацији полимера и због тога мора бити елиминисана. Гасови су углавном лоши проводници топлоте па се тиме повећава време вулканизације. Ова врста аутоклава је добра за обојене гумене производе [23].

При вулканизацији у зони врелог ваздуха загревање се обично изводи у самом аутоклаву преко спиралних парних грејача или калорифера распоређених низ бочни зид. Понекад се примењује принудна циркулација врелог ваздуха помоћу вентилатора, постављеног унутра на дну аутоклава. Такви котлови се примењују за вулканизацију стиролних каучука а могу бити искоришћени за вулканизацију у зони врелог ваздуха [2].

Котлови се обично постављају паралелно у погону тако да се могу опслуживати једном дизалицом (слика 36).



Слика 36. Паралелно постављање котлова [26].

Постоје разни начини вулканизације у аутоклавима:

- отворена вулканизација;
- вулканизација у праху;
- вулканизација под заштитом;
- вулканизација у калупима.

Производи предвиђени за вулканизацију смештају се у котао на вагонете. Након пуњења аутоклава поклопац се затвара и осигурава.

У котао се доводи пара са продувавањем ради острањивања ваздуха све до постизања радне температуре, тј. док на испусни вентил не почне да излази пара. након тога излазни вентил се затвара, а при томе се наставља са довођењем паре у аутоклав, при чему ће доћи до повећања притиска у котлу и постизања температуре неопходне за извођење вулканизације коју треба задржати до краја процеса. Након завршеног процеса вулканизације затвара се улазни вентил, а затим отвара испусни вентил до пада притиска у котлу на „0“, отвара се поклопац и врши се вађење вулканизованог производа.

Ради убрзавања процеса пуњења и пражњења котла примењује се палетни систем паковања производа за вулканизацију.

На тај начин, у технолошки процес вулканизације у аутоклавима, без обзира на начин вулканизације спадају:

- пуњење и затварање аутоклава;
- увођење водене паре са продувавањем;
- испуштање паре из аутоклава;
- отварање аутоклава и пражњење.

Уколико се вулканизација изводи у зони врелог ваздуха, након затварања поклопца уводи се пара у спиралне грејаче и ваздух под притиском у унутрашњост аутоклава. У овом случају, поред притиска ваздуха у аутоклаву регулише се и температура.

Савремени аутоклави за вулканизацију опремљени су уређајима за аутоматску контролу и подешавање.

Увођење и испуштање паре и сабијеног ваздуха изводи се помоћу електро-пнеуматског уређаја. Подешавање температуре паре и ваздуха изводи се помоћу регулатора температуре а притисак сабијеног ваздуха регулатором притиска [2].

Отворена вулканизација у аутоклавима

Вулканизација се назива отвореном зато што производи у том процесу нису заштићени од непосредног дејства средства за вулканизацију. Отвореном вулканизацијом могу се вулканизовати резервоари од ебонита, гумена обућа и плоче од ебонита.

Овај начин вулканизације делова примењује се у случајевима када не постоји опасност да ће средство за вулканизацију изазвати оштећења на површинама дела.

Кондензат водене паре који се формира при вулканизацији у зони засићене водене паре, задржи се на површини дела изложеног вулканизацији, може изазвати стварање удубљења. Зато је неопходно предузети мере и пречити продужено дејство кондензата на површини дела и стварање удубљења [2].

Вулканизација у праху

Овај начин вулканизације користи се за гумене цеви, заптиваче и остале сличне производе.

Специфичност овог начина вулканизације је та што се делови слажу на плато са прахом и накнадно се засипају на површини. плато се затвара поклопцем ради заштите делова од утицаја кондензата. Прах штити делове од непосредног дејства средства за вулканизацију а такође и од деформација изазваних тежином дела (сопственом тежином), што се највише манифестује у првој фази вулканизације док је гума још мекана.

Ако део подвргнут вулканизацији добро задржава форму (облик) не изводи се засипањем талка.

Вулканизација под заштитом

При вулканизацији под заштитом производи се пре стављања у процес заштићују влажним завојем. Завој се прави од чврсте тканине са ширином одабраном према величини производа који се подвргава вулканизацији.

Под заштитом се вулканизују гумени рукавци, гумени и ебонитни штитници, понекад и техничка пластика, као и вретена од ебонита. Гумени рукавци се вулканизују на крутим металним трновима (обликачима).

Влажни завој штити производ при вулканизацији. При загревању се скупља услед чега долази до значајног притиска на гумени рукавац чиме се омогућава његово пресовање. завој у извесној мери замењује калуп и штити производ од штетног дејства средстава за вулканизацију [2].

Вулканизација у калупима

У овом случају припрема гуменог производа за вулканизацију се изводи у металном калупу који се састоји од два или више растављених делова. Унутар калупа постоји шупљина увећана за проценат скупљања гуме (1 –3%) која обезбеђује добијање производа тражених димензија.

Калуп је опремљен уређајем за затварање који делове калупа задржава у затвореном стању кроз цео процес вулканизације. Након попуњавања форме сировом гумом, калупи се равно затварају на хидрауличин, прнеуматским или механичким пресама, а делови калупа се спајају специјалним фиксаторима или

вијцима након чега се постављају на колица и убацују у котао. Аутоклав се затвара и врши се увођење паре. Након завршетка вулканизације изврши се испуштање паре, отварање и пражњење аутоклава.

за овај начин вулканизације потребна је примена специјалних калупа за чији је претовар потребно значајно време што изазива прекомерне губитке паре.

Операција повезане са транспортом (претоваром) између аутоклава и калупа тешко је механизовати поготову што се овај начин вулканизације примењује само за делове великих димензија [2].

7.3. Грешке при вулканизацији

При топлој вулканизацији могу настати грешке, а то су: порозности, слегање смесе за вулканизацију, неуједначена вулканизација, прерадо или недивилно вулканизована гума.

Порозност гуме настаје при вулканизацији услед преласка влаге и лако испарљивих материја у гасовито стање, као и заосталих мехурова ваздуха који повећавају своју запремину повећањем степена загрејаности.

Да би се присутна влага у смеси за вулканизацију претворила у водену пару, притисак паре у порама постиже ниво који је у функцији рада температуре. Тако за температуру од 140°C износи $0,36\text{ MPa}$.

Унутрашњи притисак лао испарљивих материја присутних у смеси за вулканизацију је нешто већи од притиска водене паре, па ради тога спољни притисак мора бити већи од унутрашњег, односно $p_s > p_u$, што за горњи случај износи $3,8\text{ MPa}$.

Порозности услед влаге може се смањити додатком смесе за вулканизацију калијумили магнезијум оксида, са обзиром да он са влагом гради мање штетне хидроксиде.

Слегање обликоване смесе за вулканизацију настаје услед повећања пластичности и услед сопствене тежине ради чека се у пракси најчешће користе калупи.

Ова штетна појава карактеристична је за меке смесе, а ради спречавања слегања изводи се додавање тврдог каолина или активне чађи као пуниоца.

Неуједначена вулканизација се среће код масивних гумених предмета обраде или предмета обраде са дебелим зидовима, где су површински слојеви вулканизовани а средишњи слој је недовољно вулканизован.

Додатком цинк-оксида ова појава се знатно умањује, јер цинк повећава топлотну проводљивост смесе за вулканизацију [3].

Прерана вулканизација која се карактерише лепљивом површином и јаким мирисом, се спречава корекцијом параметара вулканизације и смањењем садржаја убрзивача вулканизације.

Недовољна вулканизација (подвулканизација) се одражава на својства еластичности и знатно трајно издужење, што се спречава корекцијом параметара вулканизације и повећањем садржаја убрзача вулканизације [3].

8. Старење, испитивање и складиштење гумених производа

8.1. Старење гумених производа

Сви гумени производи имају ограничен век трајања. Ова ограниченост испољава се на више начина. Јак и савитљив вулканизован каучук мења се у тврд, крт и слаб материјал или омекшава и постаје лепљив. Еластичност се губи, а затезна чврстоћа опада, вулканизат се скраћује, лакше се кида, појављују се пукотине и смањује се отпорност према хабању. Све ове промене доказују да гума губи своје способности, односно стари. Ово старење гуме одвија се потпуно независно од њеног трошења приликом употребе и других случајно изазваних оштећења. Старење гуме, резултат је промене величине и конфигурације молекула, промене хемијске структуре изазване најчешће везивањем кисеоника, образовањем поларних група итд. Старење гуме се заснивало углавном на оксидацији вулканизованог каучука, што се уочава на основу следећих чињеница:

- да мека гума, као и сирови каучуци који су још увек незасићеног карактера, примају кисеоник на дуплим везама које још нису поседнуте сумпором и
- да је вулканизовани каучук у одсуству ваздуха, односно кисеоника и светлости скоро неограничено издржљив.

Дејство кисеоника има примарну улогу при старењу гуме и може се слободно рећи да узроци старења нису тако прости и једноставни. То показује чињеница да исте каучукове мешавине могу, према условима рада, да дају вулканизат различите издржљивости, при чему је од битног значаја техника вулканизовања тј. услови под којима се она изводи. Због тога је потребно упознати све чиниоце који мање или више доприносе старењу вулканизата. Исто тако је неопходно да се упознају и хемијска средства која својим присуством у каучуковим смешама треба да спрече убрзано пропадање вулканизата и продуже век трајања [2].

8.1.1. Узроци старења

Фактори који условљавају слабљење меких гумених производа, односно њихово превремено погоршавање веома су разноврсни. Међу њима најважнији би били:

- топлота;
- утицај директне сунчеве свтлости, односно ултравиолетних зрака сунчевог спектра;
- присуство неких поливалентних метала;
- дејство озона;
- утицај напрегнутости гумених производа при раду, односно динамичко замарање;
- дејство јаких минералних киселина и база итд.

Када је реч о факторима који доприносе превременом старењу вулканизата треба напоменути да нема вулканизата који су на исти начин изложени овим утицајима. Један гумени производ може бити изложен само једном или комбинованом дејству ових фактора, док неки други може да трпи од већине њих.

Тако на пример аутомобилске гуме трпе од оксидације, топлоте, сунца, хабања и механичких напрезања. Цеви за водену пару изложене су искључиво дејству топлоте и евентуалним појавама накнадне вулканизације, док су остали фактори секундарног значаја.

Оваквих примера има много а сви скупа говоре о томе да је сваки гумени производ изложен различитим утицајима, који заједно доводе до бржег или споријег старења. Који ће од ових фактора бити заступљен мање или више, зависи највише од услова експлоатације [2].

8.2. Испитивање гумених производа

Како на квалитет гумених производа утичу спољни фактори, као што су светлост, температура, влажност и др., као и то да њихов квалитет зависи од начина производње и полазних сировина, то се за примену гуме морају утврдити бројна својства, преко хемијске, микроскопске и механичко-технолошке методе испитивања.

Посебна пажња се мора обратити на изборе узорак од кмојих се израђују епрувете који морају репрезентовати гумени производ. Исецање се изводи врло оштрим ножевима уз квашење водом да би се спречиле измене својстава гуме. Димензије узорак и њихов број одређен је одговарајућим стандардима.

Стандарди за испитивање вулканизиране, природне и синтетичке гуме и њихових производа дају препоруке које су везане за припрему и стање узорка, односно епрувете, на пример.

- испитивање се изводи 24 часа после вулканизације;
- складиштење узорак од тренутка испитивања одвија се у мрачној просторији најмање 12 часова (у ово време улази и време испитивања после 24 часа);
- припрема узорак и израда епрувета се изводи брушењем финим абразивима, помоћу брусне плоче пречника 152,4 mm, са бројем обртаја $n = 1400$ o/min, без загревања. При исецању епрувете из узорка препоручује се употреба сапуна да би се добиле равне и глатке ивице;
- минимални број епрувета је одређен према одговарајућим стандардима, а креће се најчешће од минимум 3 епрувете;
- епрувете морају бити одређеног облика и димензија, са глатким и равним површинама, без видљивих недостатака.
- мерење димензија епрувете мора се обављати одговарајућим мерним инструментима, са тачношћу 0,05 mm, а да притисак не сме да пређе 0,05 МПа.

У фази припреме неопходно је извести кондиционирање, уједначење стања гуме у току одређеног времена. Стандарди препоручују одређени третман пре испитивања гуме, а који се састоји од држања епрувета за испитивање на одређеној температури, при одређеној влажности, у току одређеног времена (табела 3) [2].

Табела 3. Услови кондиционирања – стандардна атмосфера.

Атмосфера	Третман	Температура ($^{\circ}\text{C}$)	Влажност (%)	Време (h)
A	1	20	65	88-94
	2	23	50	
	3	27	65	
B	1	20	температура околине	3
	2	23		
	3	27		
C	-	околине	-	-

Табела 4. Стандарди за физичко-механичка испитивања

Испитивана карактеристика	JUS G.S2
Испитивање вештачког старења	126
Одређивање релативне густине	123
Одређивање затезне чврстоће и издужења	127
Одређивање расцепне силе	121
Одређивање цепања иглом	122
Одређивање трајног издужења	124
Одређивање трајне деформације	130
Одређивање одбојне еластичности	131
Одређивање отпорности на хабање	301
Одређивање тврдоће по Шору (A и D)	125
Одређивање трајне деформације при датом оптерећењу	134
Одређивање кртости гуме на сниженим температурама	137
Одређивање тврдоће IRHD	143

8.3. Складиштење гумених производа

Гума је веома осетљив материјал јер у неповољним условима складиштења долази до штетне појаве старења гуме. Најзначајнији фактори који утичу на појаву старења су светлост, ваздух, влага, температура и хемојске нечистоће.

Светлост (ултра виолетни зраци) веома неповољно делује на гуму јер постаје тврда, крта и губи своју еластичност. Да би се ова штетна појава умањила прозорска окна на складишту мора да буде узрађена од тамног плавог стакла. Сличан утицај је и на сирови каучук, што има за последицу лош квалитет вулканизоване гуме.

Температура складиштења треба да буде испод 25°C , а оптимална температура од 10 до 16°C . Производи треба да се складиште тако да су

далеко од директних извора топлоте. Ако је температура складиштења испод 10°C мора се водити рачуна о пажљивом руковању са ускладиштеним производима. Производ који је складиштен на ниским температурама, треба дистићи температуру од приближно 30°C по целој маси пре него што се стави у експлоатацију.

Ваздух у складишту не сме бити сув и не сувише влажан, а било би пожељно да се влажност ваздуха креће од 40-60%. Просторије се морају проветравати ради уклањања штетних гасова насталих од хемијских материјала.

У производњи гуме складиштење свих сировина мора бити у сувим просторијама, тако да пунила, сумпор, боје и текстил не смеју имати већу влажност од 0,5%.

Пошто је озон посебно штетан за гуму, складиште не треба да садржи било коју опрему која може да ствара озон, као што су лампе са живином паром или електрични уређаји високог напона који стварају електричне варнице или тињајуће електрично пражњење. Гасови сагоревања и органске паре требало би да буду изузети из складишта, пошто могу да узрокују појаву озона преко форохемијских процеса.

Током складиштења не треба да се дозволи да гума дође у контакт са течним или полутечним материјама (нпр. бензин, мазива, киселине, течности за чишћење итд.) или њиховим парам.

Извесни метали и њихове легуре (посебно бакар и манган) су познати да имају штетне ефекте на неке врсте гуме. Гума не треба да се складишти са таквим металима изузев када је везана за њих, али треба да буде заштићена умотавањем у папир.

Контакти између производа добијених од гуме различитих састава треба да се избегава.

Производи код којих су везани гума за метал не треба да дођу у контакт са гумом других производа. Заштитно средство којим је заштићен метал не треба да неповољно делује на гуму [2].

Табела 2. Период почетног складиштења и период продуженог складиштења.

Класификација групе	Период почетног складиштења	Период продуженог складиштења
Гуме групе А	5 година	2 године
Гуме групе В	7 година	3 године
Гуме групе С	10 година	5 година
Напомена 1: Класификација типова гуме (А,В,С) према стандарду JUS ISO 2230		
Напомена 2: Ако је температура складиштења изнад или испод 25°C , ово утиче на време складиштења. Складиштење на температури вишој за 10°C смањује време складиштења за око 50%, а складиштење на температури нижој за 10°C повећава време складиштења за око 100%		

9. Врста и квалитет гуме

Гума као веома значајан материјал примењен у машинству, обзиром да се користи за израду великог броја предмета може се поделити на основу тога шта се од тих производа захтева.

9.1. Природна гума

Зависно од степена вулканизације природна гума се дели на меку, која се назива еластична гума и тврду која се назива ебонит. Мека гума односи се на предмет обраде који се израђују путем тзв. патент гуме, гуменог раствора и гумене смеше.

Табела 5. Основна механичка својства меке гуме, на примеру вулканизоване са 2 % сумпора.

Основно својство		Јединица мере	Вредност
Затезна чврстоћа		daN/cm ²	50-300
Издужење	Јединично	%	100-700
	Трајно	%	0-40
Тврдоћа		/	40-90
Температура	Кртости	°C	-20-70
	Постојаности	°C	50-300
Модул еластичности		daN/cm ²	10-200

Основне карактеристике меке гуме су:

- природна мека гума се одликује високим еластичним својствима која се у потпуности враћају у првобитно стање и после вишеструког понављања деформације;
- модул еластичности је близак затезној чврстоћи, али њихова међусобна зависност није линеарна услед појаве релаксације. Ради тога модул еластичности се мора везивати за издужење датог оптерећења. Снижењем температуре, а такође растом брзине деформације модул еластичности расте. Максиму модула еластичности је при прелазу гуме у крто стање;
- Петља хистерезиса има највећи ниво при првом циклусу оптерећења, а следећи циклуси воде ка постепеној стабилизацији. Запремина деформисане гуме практично се не мења, па је Поасонов коефицијент сталан и креће се од 0,47 до 0,50;
- према тврдоћи, одређеној међународним јединицама (1-100), гума се дели на меку (25-50) средњу (30-70) и тврду (45-90).

Тврда гума односно ебонит се добија вулканизацијом каучука али са великим садржајем сумпора (18-40%) и веома дугим трајањем вулканизације (2-10 часова). Смеса за вулканизацију се припрема на исти начин као за гуму, али у последње време смеси се додају иситњени и спрашени отпаци ебонита, а да би се спречио настанак шупљина додаје се ланено уље и природни асфалт [2].

Табела 6. Својства тврде гуме (ебонита).

Својства		Јединица мере	Вредност
Густина		g/cm ³	1,1-1,68
Апсорпција воде		/	0,02
Чврстоћа	Затезна	daN/cm ²	520-700
	Савојна	daN/cm ²	20-42
	Притисна	daN/cm ²	700-1500
Модул еластичности		daN/cm ² x 10 ⁴	17-32
Тврдоћа по Бринелу		НВ	110-140
Температурни коефицијент	Линеарног ширења	⁰ С x 10 ⁵	7-11
	Запреминског ширења	⁰ С x 10 ⁵	24
Топлотна проводљивост		W/mK	0,1625
Специфична топлота		kJ/kgK	1,43
Специфични запремински отпор		Ωcm	10 ¹⁴ -10 ¹⁵
Специфични површински отпор		Ω	10 ¹⁰ -10 ¹⁴
Диелектрични фактор губитака		10 ⁶ Hz	0,01
Диелектрична константа		/	2,8-3,5
Диелектрична чврстоћа		kV/mm	15-20

9.2. Синтетичка гума

Синтетичка гума често има својства која су за практичне сврхе повољнија од природне гуме, Посебно треба нагласити њихово слабије бубрење у разним органским течностима, већу отпорност на хабање и мању пропустљивост гасова. Неки од производа од синтетичке гуме су веома добар изолациони материјали, а друге су веома добри полупроводници.

Табела 7. Главни носиоци синтетичког каучука, односно технички називи и скраћене међународне ознаке.

Симбол	Технички назив	Главни хемијски елемент
NR	Природни каучук	/
IR	Синтетички каучук – изопрен	1,4 цис-полиизопрен
BR	Синтетички каучук – бутадиен	Полибутадиен
SBR	Стирол-бутадиен синтетички каучук	/
EPDM	Етилен-пропилен синтетички каучук	Тетраполимери етилена, пропилен
IIR	Бутил синтетички каучук	Кополимери изопрена и изобутилена
CIIR	Хлор-бутил синтетички каучук	/
CR	Хлоропрен	Поли-2-хлорбутадиена
CM	Полиетилен-хлорни	/
CSM	Полиетилен-хлорсулфидни	/
NBR	Бутадиен нитрилни синтетички каучук	Кополимери бутадиен-акрилонитрилни
FPM	Флуорни синтетички каучук	Тер-полимери

Карактеристике синтетичке гуме су [2]:

- густина синтетичке гуме, која зависи од хемијског састава, је увек већа од густине природне гуме;
- еластична проводност, је већа у односу на природну гуму;
- својства чврстоће и еластичности су одлучујући фактор за применљивост синтетичке гуме;
- отпорност на хабање, која је посебно значајна код аутомобилских гума, неких синтетичких гума је већа него код природне гуме. Тако неке синтетичке гуме имају већу отпорност на хабање за 25 до 35% од природне гуме и
- постојаност у агресивним органским течностима и уљима је код синтетичке гуме већа од природне гуме, што се огледа у мањем бубрењу.

Примена синтетичких гума [2]:

- пнеуматске и масивне гуме за точкове транспортних средстава (аутомобила, аутобуса, камиона, за пољопривредне машине и тракторе, грађевинске машине итд.);
- транспортне траке разних врста и димензија;
- равни и клинасти каишеви и други производи за вучне трансмисије;
- црева и цеви, обична и армирана тканином за рад под високим притиском;
- гумених амортизера;
- елементе изолације и друго.

Табела 8. Преглед група квалитета гуме, за разне производе која је изведена према намени, односно оном шта се од тог квалитета гуме захтева.

Гума са одређеним механичким својствима				
Бр.	Гаранција	Гума – средина	°C	Врста
1.	Првенствено се гарантују својства чврстоће	У неозонираној атмосфери	-35 до +70	М
2.		Са ниским хистерезисом		МЕ
3.		Додир са уљима и мастима		МТ
4.		Додир са уљем и ваздухом		МТА
5.		Полиуретанска гума	-60 до +100	МЈ
6.		Гума за амортизере	-40 до -70	/
Гума са одређеним физичко-хемијским својствима				
Бр.	Гаранција	Отпорност према средини	°C	Врста
7.	Првенствено се гарантује отпорност према некој средини а тек у другом плану механичка својства	Ваздух богат озоном	-35 до +70	ТА
8.		Гуме отпорне према топлоти	70 до 200	ТС
9.		Течности за хлађење мотора	-40 до +110	ТR
10.		Уље за кочнице	70 до 120	ТХ
11.		Минерална уља и масти	-25 до +200	ТО
12.		За хидрауличне уређаје	-25 до +175	ТОG
13.		За уља за рад зупчаника	-20 до +175	ТОР
14.		За бензин и дизел гориво	-27 до +70	ТGВ

10. Реконструкција лабораторијске пресе

10.1.Опис лабораторијске пресе

У оквиру овог дипломског рада дат је приказ лабораторијске пресе за испитивање грађевинског материјала на притиска (слика 37.), која се налази на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу. Углавном се испитује конструктивни грађевински материјал (бетон, цигла, камен итд.) јер је циљ испитивања на овој машини да се, помоћу задавања аксијалне силе, добије одговарајућа максимална сила (сила лома) и на основу тога утврди носивост датог грађевинског материјала.



Слика 37. Лабораторијска преса

Машина се састоји из неколико делова:

- вијак – користи се да својим обртним кретањем подиже и спушта горњу плочу тако да се може обезбедити фиксирање узорак;
- радне плоче – представљају радни простор машине између којих се поставља узорак;
- уметци – који могу бити метални (слика 38.), или дрвени у виду листова шперплоче, користе се да равномерно пренесу оптерећење на дати узорак;
- цилиндар – хидраулички је и служи за задавање аксијалне силе (14 N/mm^2 по минути);
- мерна скала – служи за читавање вредности максималне силе (силе лома) при којој је дошло до лома.



Слика 38. Уметци

Притисна чврстоћа материјала се израчунава на основу израза:

$$\text{Притисна чврстоћа } N/mm^2 = \frac{\text{Максимално оптерећење } N}{\text{Просечна површина узорка } mm^2}$$

За ово тестирање је потребно минимум пет узорака на основу којих се добија средња вредност притисне чврстоће.

10.2.Измене на лабораторијској преси у циљу израде делова вулканизацијом гуме

Поред основног упознавања са каучуковим смешама и процесима добијања гуме и гумених производа, као и вулканизацијом гуме, у овом делу дипломског рада потребно је урадити моделирање и реконструкцију лабораторијске пресе, коришћене за испитивање грађевинског материјала, и прилагодити је условима у којима је могуће израђивати делове вулканизацијом гуме.

Реконструкција се огледа кроз одређене измене:

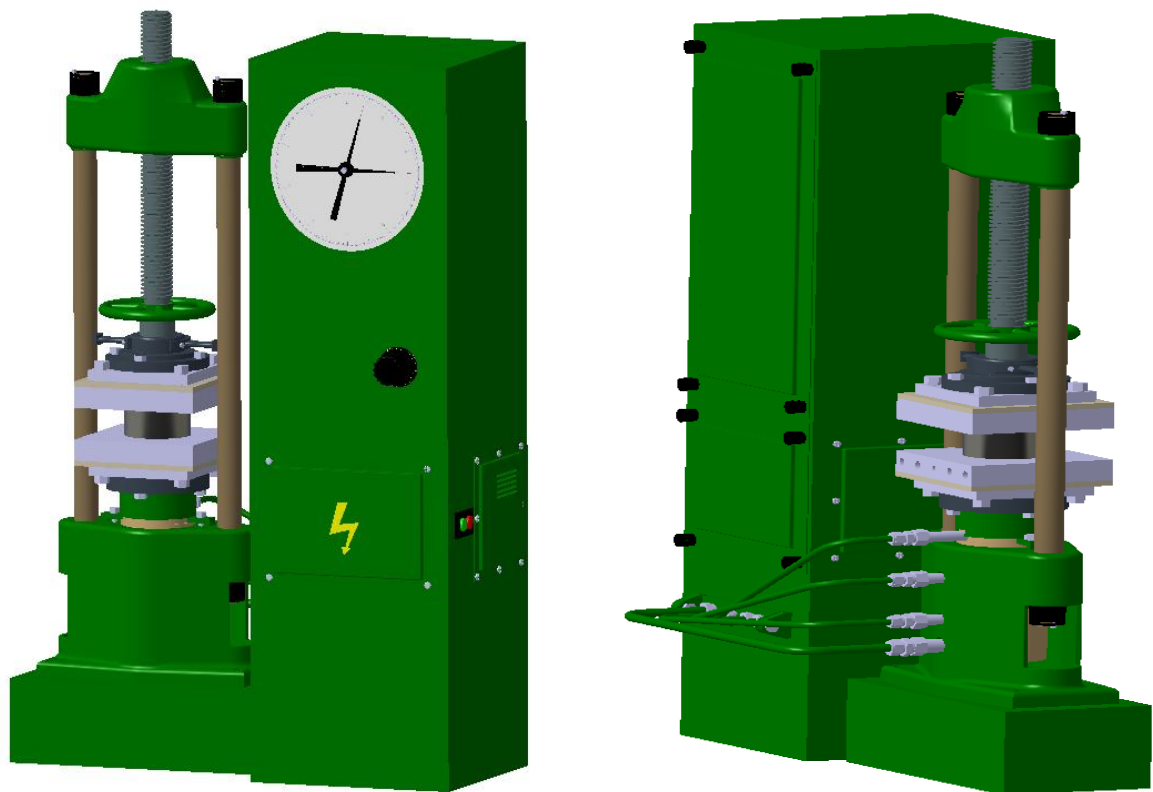
- скидање доње радне плоче и прилагођавање горње радне плоче;
- постављање азбестних плоча;
- постављање грејних плоча;
- уграђивање температурске сонде и одговарајућих грејача у плоче ;
- израда алата и постављање између грејних плоча;
- и коришћење мерне скале за задавање оптерећења.

Машина (слика 39.) користи грејне плоче димензија 240 x 240 x 40, помоћу којих се преноси топлота на одговарајући алат и омогућава његово загревање а самим тим и вулканизацију гуме у алату.

Пре самог постављања грејних плоча потребно је скинути доњу радну плочу и горњу радну плочу одвојити од сверног механизма и поставити тако да она буде учвршћена за вијак.

Затим се са обе стране постављају азбестне плоче које су температурно стабилне са врло ниском проводљивошћу топлоте и служе као топлотни изолатори. Након тога се на њих постављају грејне плоче.

За затварање алата и за вулканизацију гуме потребни надпритисак се доводи путем хидрауличног цилиндра, а задаје се преко скале која је служила за читавање силе.



Слика 39. Машина урађена у програму CATIA V5

Да би се грејне плоче довеле на одговарајућу температуру у њих се уграђују тзв. патрон грејачи (слика 40.) димензија $\varnothing 12 \times 220$, снаге 500W. У зависности од димензија дате грејне плоче користимо четири грејача. Такође ради мерења вредности температуре користимо температурску сонду са сензором (термопар) (слика 41.) коју постављамо у средиште грејних плоча да би мерење било што тачније.

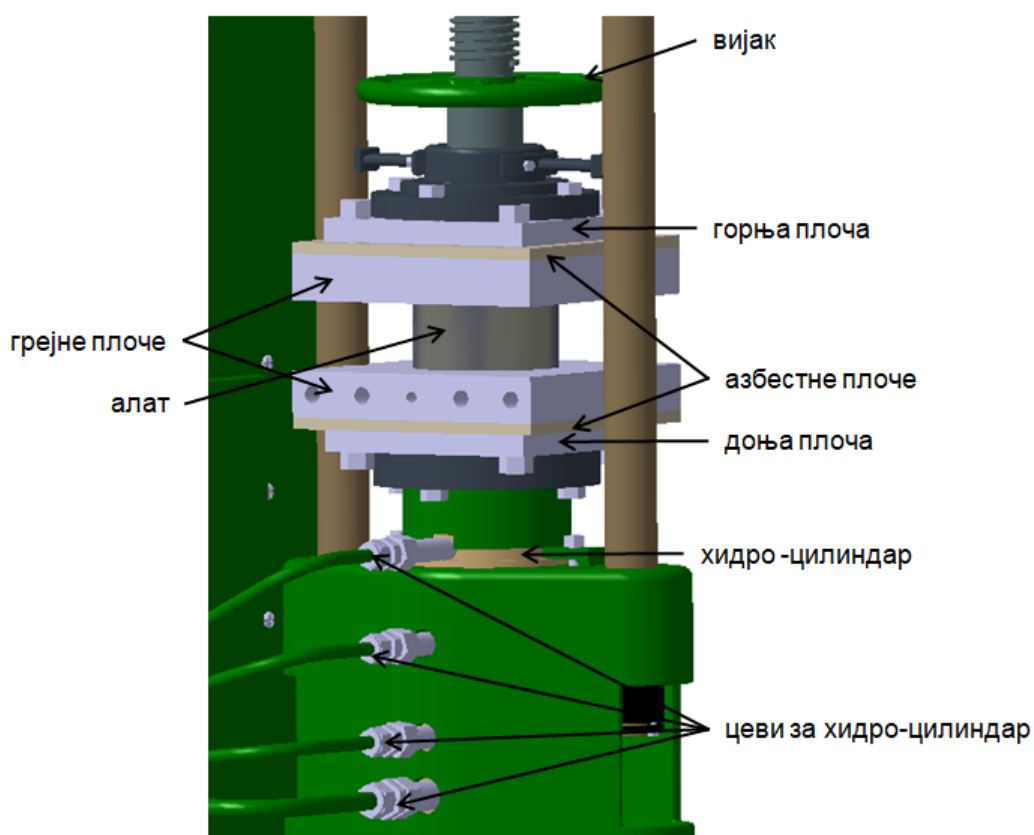


Слика 40. Патрон грејач



Слика 41. Температурска сонда

Принцип рада ове машине је једноставан. Алат се поставља између грејних плоча машине помоћу којих се загрева до одређене температуре. Када се температура постигне гумена смеша се додаје у алат. Помоћу вијка се остварује затварање алата, а потребни надпритисак се доводи путем цилиндра. Алат остаје неко време у том положају да би омогућио вулканизацију гуме. Затим се алат отвара, гума се вади из калупа и добија се готов производ.



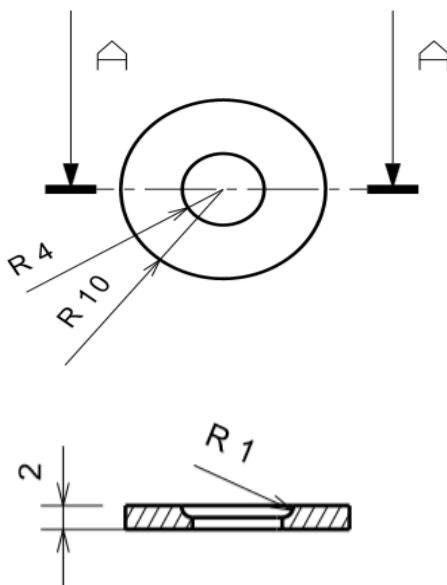
Слика 42. Радни део машине

10.3. Пример пројектовања алата за израду делова од гуме

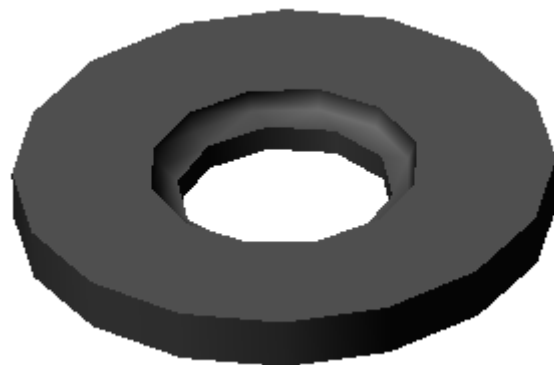
Основни полазни услови за пројектовање калупних шуљина алата за пресовање произилази од самог финалног производа. Потребно је водити рачуна о:

- дефинисању подеоне равни ради прилагођавања модела;
- нагибима како не би дошло до заглављивања дела у алату;
- одвођењу компримованог ваздуха из алата;
- потребно је омогућити несметано течење материјала;
- водити рачуна о времену хлађења и загревања.

Да би се приступило пројектовању алата неопходно је постојање техничке документације, односно постојање цртежа дела за који се конструише алат. На слици 43. могу се видети неке од основних димензија дела, док је модел дела дат на слици 44. Део представља гумени прстен намењен за заптивање код славина, бојлера итд.



Слика 43. Технички цртеж дела



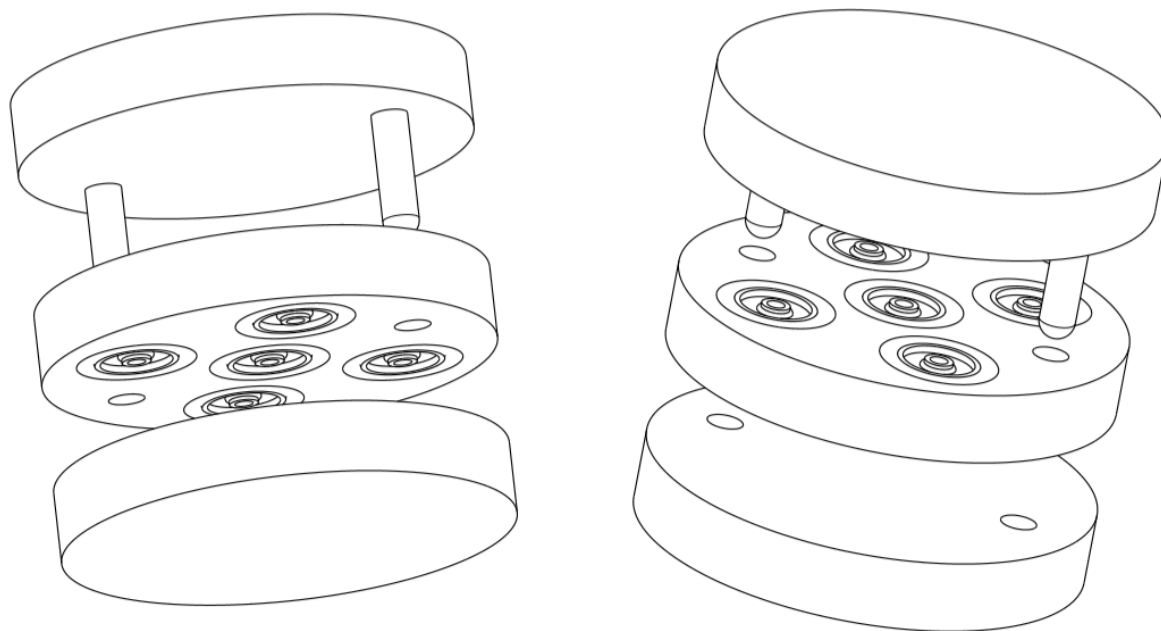
Слика 44. Модел дела за који се алат пројектује

При пројектовању алата битан фактор има материјал. Његов утицај је изражен у следећим фазама:

- димензионисање гравуре;
- прорачун скупљања у калупу и накнадног скупљања;
- квалитет површине калупа;
- место и облик уливног система;
- принцип вађења предмета.

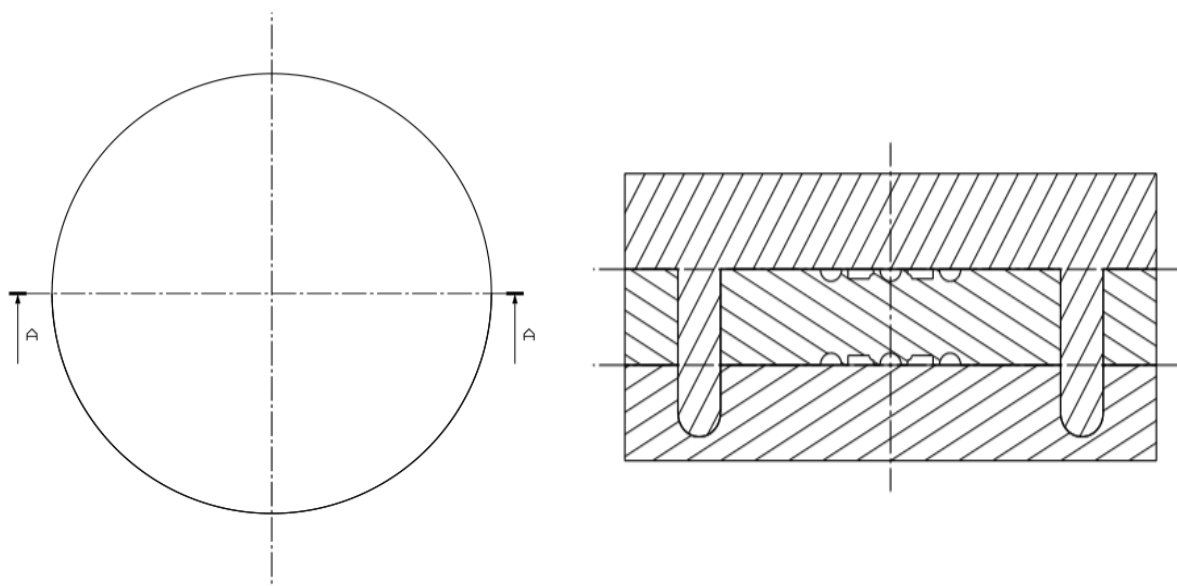
Алат који је пројектован се састоји од три дела (средишњи, горњи и доњи) и он може да садржи једну или више гравура. У нашем случају због релативно малих димензија производа који се израђује, алат садржи 10 гравура.

Обзиром да се ради о појединачној и малосеријској производњи, приликом израде алата дошло се до решења да површине горњег и доњег дела алата буду равне и без гравура, а да средишњи део алата буде са гравурама и изменљив, чиме би се остварила уштеда времена при изради целокупног алата као и економичност читавог процеса, при изради оваквих, и сличних делова.



Слика 45. Приказ алата

Због потребе за високим квалитетом обрађене површине, коју карактерише релативно мала хрпаваост, као и због малих димензија дела и неприступачности конвенционалних поступака обраде, гравуре се обрађују електроерозионом обрадом. Слика 46. показује пресек алата на местима гравура.



Слика 46. Пресек алата

Закључак

Употреба гуме, иако није основни конструкциони материјал, због својих еластичних, изолационих и заптивних особина толико се проширила да се без ње не може замислити савремена технологија израде разних производа у свим индустријским гранама. Велики број производа израђених од гуме, који се процењује на више од 40.000, тешко је класификовати и сврстати у одређене групе. Најпоузданији начин разврставања производа од гуме је према месту употребе и својствима која производ мора поседовати.

Гума је сложен материјал добијен од каучука и разних додатака који се користе ради процеса побољшања својстава каучука. Поред тога, процеси обраде помоћу којих се дају облици готових производа (екструдирање, пресовање итд) су веома сложени и тешко их је аналитички описати због утицаја читавог низа фактора, почевши од карактеристика материјала, комплексности геометрије производа, карактеристика машина и процеса, искуства радника итд. као и процес вулканизације гуме, намећу потребу за инжењерским алатом који би инжењерима пружио подршку у свим фазама развоја производа, од дефинисања геометрије, преко развоја алата до коначног процеса производње.

Вулканизација је веома важан хемијски процес спајања каучука и сумпора, при чему долази до промене својстава каучука и добијања производа, са знатно бољим својствима, који су употребљиви и спремни за тржиште. Након вулканизације гума добија такву комбинацију карактеристика, које остали материјали немају, па је њена примена у техници, а посебно у машинству веома значајна. Карактеристике које поседује су: велика еластичност, непропустљивост за течности и гасове, одличне електричне отпорности, добре отпорности према хемикалијама, добра отпорност према хабању итд.

Описани поступак реконструкције машине је са аспекта економичности прихватљив. Материјал који се користи за израду машине, као и додатних делова за реконструкцију лако је доступан и не захтева компликованију израду, осим самог алата који у зависности од величине као и броја гравура може бити променљив како у погледу економичности тако и у погледу сложености и компликованије израде. Такође, коришћење стандардних компоненти за управљање и покретање машине, омогућава лаку набавку елемената и одржавање комплетног система.

Имплементација грејних плоча са свим додатним елементима омогућава потпуно нову сврху машине. Од машине која је служила за лабораторијска испитивања, добијена је машина за пресовање гуме која се поред њене основне намене, а то је едукације студената, због ограниченог простора и неконинуалног тока производње, а и због времена потребног за вулканизацију, може користити највише за малосеријску производњу.

Литература

- [1] Миленко Плавшић, Радивоје С. Поповић и Ружица Поповић: *Еластомерни материјали* (каучук, гума и композити), Научна књига, Београд, 1995.
- [2] Бојан Симић: *Пројектовање алата за израду делова од гуме*, Дипломски рад, Крагујевац, 2006.
- [3] Владислав Ђукић, Богдан Недић: *Гума*, скрипта, Машински факултет, Крагујевац, 1998.
- [4] Милорад Јовановић, Вукић Лазић, Драган Адамовић, Нада Ратковић: *Машински материјали*, Машински факултет, Крагујевац, 2003.
- [5] John S. Dick: *Rubber Technology: Compounding and Testing for Performance*, јул 2001.
- [6] VERT – Virtual Education in Rubber Technology: *Processing of Elastomeric Materials*, пројекат, Läroverket i Småland AB, 2007.
- [7] Timco Rubber, *Guide Rubber Molding Processes*, <https://info.timcorubber.com/acton/attachment/35300/f-0007/1/-/-/-/Molding-Process-Guide.pdf> прегледано: Мај, 2018.
- [8] DP Seals, *Rubber to metal bonding guide*, <https://dpseals.com/wp-content/uploads/2017/10/DP-Seals-R2M-Guide-web.pdf> прегледано: Мај, 2018.
- [9] J-Flax rubber products, *A Guide of Rubber Extrusion*, <http://j-flex.co.uk/wp-content/uploads/A-GUIDE-TO-RUBBER-EXTRUSIONS.pdf>, објављено: Мај, 2015; прегледано: Мај, 2018.
- [10] Лабораторија за деформисање, *Структура и својства полимерних материјала*, скрипта, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2016.
- [11] http://www.dpm.ftn.uns.ac.rs/dokumenti/Laboratorija_za_deformisanje/TOP/guma.pdf прегледано: Мај, 2018.
- [12] <http://www.madehow.com/Volume-1/Rubber-Band.html> прегледано: Мај, 2018.
- [13] <http://www.seminarski-diplomski.co.rs/TEHNOLOSKI%20SISTEMI/Guma.html> прегледано: Мај, 2018
- [14] <http://www.gestiondecompras.com/en/products/rubber-and-rubber-metal/rubber-extrusion> прегледано: Мај, 2018.
- [15] <http://www.customgasketmfg.com/RubberExtrusions> прегледано: Мај, 2018.

-
- [16] <https://me-mechanicalengineering.com/shaping-processes/> прегледано: Мај, 2018.
- [17] <https://me-mechanicalengineering.com/defects-in-extruded-products/> прегледано: Мај, 2018.
- [18] <http://www.mantaline.com/capabilities/extrusion-capabilities/rubber-extrusions/> прегледано: Мај, 2018.
- [19] <https://www.timcorubber.com/rubber-resources/rubber-extrusion-process/> прегледано: Мај, 2018.
- [20] http://www.skrubbermachine.com/product_show219-1.html прегледано: Мај, 2018.
- [21] <https://rubbermachineryworld.com/2016/07/20/editors-pick-four-steps-to-effective-rubber-metal-bonding/> прегледано: Мај, 2018.
- [22] <http://www.rubberindustries.com/custom-bonded-rubber-to-metal-and-rubber-to-plastic.html> прегледано: Мај, 2018.
- [23] <https://rubbermachineryworld.com/2015/05/19/a-beginners-guide-to-autoclave/> прегледано: Мај, 2018.
- [24] http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_091a/0901b8038091a683.pdf?filepath=automotive/pdfs/noreg/299-51995.pdf&fromPage=GetDoc прегледано: Мај, 2018.
- [25] <http://www.aac-autoclave.com/sale-2483788-wood-rubber-food-vulcanizing-autoclave-equipment-2m-for-automotive-industrial.html> прегледано: Мај, 2018.
- [26] <https://ua.all.biz/avtoklavy-avtoklavy-promyshlennye-dlya-stroitelnoj-g2680332> прегледано: Мај, 2018.
- [27] <https://www.steam-generator.com/wp-content/uploads/2014/09/Industrial-autoclave-drawing.jpg> прегледано: Мај, 2018.
- [28] <http://www.mechscience.com/coating-plastics/> прегледано: Јун, 2018.
- [29] <http://www.gumins.rs/galerija.php> прегледано: Јун, 2018.
- [30] <https://czsinomac668.en.made-in-china.com/product/XjYEgcrUYpVb/China-Horizontal-Industrial-Steam-Indirect-Heating-Rubber-Vulcanization-Autoclave.html> прегледано: Јун, 2018.
- [31] <https://www.panstone.com/en/2-1117-62335/product/Transfer-Molding-Machine-Supplier-in-Taiwan-id352045.html> прегледано: Јун, 2018.