

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Производне технологије

Број индекса: 137/2012

Александар С. Вељковић

Технолошки процеси израде делова од гуме
Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др. Богдан Недић, ред. проф. – ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____
Оцена: _____

Resume

The thesis consists of nine chapters. The first three chapters provide an overview of historical moments to date. In addition, rubber mixtures have been described. After describing the rubber mixtures, the procedure for masticating the mixture in chapter four is described. In chapters five and six, the procedures for forming rubber mixtures and vulcanizable mixtures are explained. Chapter seven describes the construction of a tire forming tool. Chapter eight gives an example of a rubber part and describes the process by operation. Chapter nine is a conclusion drawn from the study of rubber technology.

Key words: *rubber mixture, mastication, vulcanization, rubber.*

Резиме

Дипломски рад се састоји од девет поглавља. У прва три поглавља направљен је преглед историјских тренутака до данас. Поред тога, описане су каучукове смеше. Након описивања каучукових смеша, описан је поступак мастикације смеше у четвртом поглављу. У поглављама пет и шест, објашњени су поступци обликовања каучукових смеша и вулканизација смеша. Поглавље седам описује конструкцију алата за обликовање гуме. У поглављу осам дат је пример гуменог дела и описан технолошки процес по операцијама. Девето поглавље је закључак донесен на основу проучавања технологије гуме.

Кључне речи: *каучукова смеша, мастикација, вулканизација, гума.*

Садржај

1. Увод	5
2. Историјски развој гумених смеша	6
2.1. Откриће поступка вулканизације („Goodyear“)	7
2.2. Употреба гуме у аутомобилској индустрији („Dunlop i Michelin“)	8
3. Каучукове смеше	10
3.1. Основни појмови (каучук, гума, еластомерни материјали, вулканизат, умрежавање)	11
3.2. Физичка својства каучука и гуме	12
3.2.1. Физичка стања каучука	12
3.2.2. Еластичност и чврстоћа гуме	12
3.2.3. Тврдоћа гуме	16
3.2.4. Фрикциона својства гуме	17
3.2.5. Специфична својства гуме	17
3.3. Прављење каучукове смеше	20
3.4. Додаци у процесу производње гуме, основни појмови	20
3.4.1. Средства за вулканизацију	21
3.4.2. Убрзивачи вулканизације	23
3.4.3. Успоривачи вулканизације	24
3.4.4. Средства против старења, замарања и деловања озона	24
3.4.5. Омекшивачи	26
3.4.6. Пунила	30
3.4.7. Боје	36
3.4.8. Додаци специјалне намене (остали додаци)	38
3.5. Врсте каучука	39
3.5.1. Смеша природног каучука (NR)	40
3.5.2. Стирен- бутadiensка каучукова смеша (SBR)	40
3.5.3. Поли-бутadiensка каучукова смеша (BR)	41
3.5.4. Хларопренска каучукова смеша (CR)	41
3.5.5. Етилен-пропилен каучукова смеша (EPDM/ЕРМ)	42
3.5.6. Нитрил каучукова смеша (NBR)	42
3.5.7. Хидрогенизована нитрилна бутadiensка каучукова смеша (HNBR)	43
3.5.8. Етилен-винил-ацетат каучукова смеша (EVA)	43
3.5.9. Бутил каучукова смеша (IIR)	43

3.5.10 Силикон каучукова смеша (VMQ/MVQ/HTV)	44
3.5.11 Акрилна каучукова смеша (ACM)	44
3.5.12 Флуорокарбон каучукова смеша (FVMQ).....	44
4. Поступци мешања каучукових смеша	45
4.1. Мешање на двоваљку	46
4.2. Мешање у мешалицама	47
4.3 Континуално мешање	49
5. Обликовање каучукових смеша пре вулканизације	50
5.1. Циклични поступци обликовања каучукових смеша	51
5.1.1. Директно пресовање каучукових смеша	51
5.1.2. Посредно пресовање каучукових смеша	52
5.1.3. Бризгање каучукових смеша	53
5.2. Континуални поступци обликовања каучукових смеша	53
5.2.1. Каландрирање	54
5.2.2 Екструдирање кучукових смеша.....	55
6. Вулканизација каучукових смеша	56
6.1. Вулканизација у котловима (аутоклавима)	59
6.1.1. Отворена вулканизација у котлу	60
6.1.2. Вулканизација у талку (праху)	61
6.1.3. Вулканизација под заштитом	61
6.1.4. Вулканизација у калупима.....	61
6.2. Вулканизација у пресама.....	62
6.3. Вулканизација у пресама - аутоклавима.....	64
6.4. Вулканизација у пресама са континуалним дејством	65
6.5 Грешке при топлој вулканизацији.....	66
7. Алати за израду делова од гуме	67
7.1 Основни захтеви у конструкцији и изради алата.....	67
7.2 Пројектовање алата за израду производа од гуме	70
8. Производни процес израде дела – пример	71
9.Закључак.....	77
Попис слика:	78
Литература:	79

1. Увод

За протеклих стопедесет година од како је пронађен поступак вулканизације, гума је заузела изузетно место међу материјалима који карактеришу савремену цивилизацију. Мада обично 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.

Примери из свакодневице указују да је гума у многим случајевима јединствен и неопходан материјал, за који још нема замене, па је онда лако разумети њен веома велики значај.

Од гуме се израђују: пнеуматици за аутомобиле, камионе и бицикле, бесконачне гумене траке, гипке цеви – црева, заштитници против деловања неких киселина, база, корозије и абразије, прикључци, рукохвати, обућа, одећа, плоче и застирачи у електроизолационој техници. У хидраулици и пнеуматици гума је нашла широку примену за израду заптивног материјала.

Као полазна сировина за добијање гуме (вулканизата) служи каучук. Каучук је назив за групу полимерних материјала који могу бити природног и синтетичног порекла.

2. Историјски развој гумених смеша

Откриће гуме (каучукове смеси) почело је веома давно, а заслуге имају стари народи Средње Америке. Археолошки налази потврђују да су још пре 2500 година племена Инка и Маја користили каучукову смешу за израду обуће, одеће и посуда. Они су први разрадили поступак сакупљања смоластог сока, беле боје из дрвета „Cau-chu“ што у преводу значи дрво суза. Такође развили су технику прераде наведеног сока путем загревања и мешања са соком друге тропске биљке, чиме су побољшали својства гуменој смеси. Бројни археолошки налази говоре о томе да су наведени народи користили и гумене лопте за ритуалну игру.

„Christopher Columbo“ (слика 2.1.) је приликом првог путовања у Западну Индију био инпресиониран гуменом лоптом, те је неколико лопти понео са собом у Европу, која до тада није видела ништа слично [1].



Слика 2.1 „Christopher Columbo“

Заслужни научник за прво научно проучавање каучука је француз „Charles Marie de la Condamine“ (слика 2.2). Током експедиције по бразилским прашумама године 1736. поменути научник је дошао у контакт са народом „Chali“ који је увелико експлоатисао каучук и први је описао вискозну течност коју је назвао латекс, која се добија из дрвета „Hevea brasiliensis“. Научник је понео већу количину каучука у Француску ради даљег испитивања, те је са пријатељем направио прве гумене ципеле. Насупрот великим очекивањима, гума се у Европи није добро показала због својих топлјивих својстава [2].



Слика 2.2. „Charles Marie de la Condamine“

До почетка 19. века откривено је неколико значајних примена гуме. Американац „James Boyd“ је 1821. године патентирао ватрогасно гумирано црево. Недуго након тога је дошло до случајног открића два Енглеска научника „С. Mackintosh, Т. Hancock“. Макинтош је открио да се гума лако отапа у нафти. То је научника подстакло да постојеће отапало (терпентин) замени новим тј. нафтом. Гума која би се отапала у нафти постајала би вискозна маса. Тако отопљену вискозну масу Макинтош би користио као премаз у два слоја на тканини и на тај начин добијао вишеслојна гумирана платна, те је од њих правио кишне огртаче. Ханкок је открио да се лепљење гумираних слојева може извести загревањем. Осим тога Ханкок је направио машину и назвао је мастикатор. То је била прва машина у процису рециклирања гуме и служила је да настале одпадке од гуме поново уједини у велике гумене блокове. Настанком мастикатора знатно је повећана ефикасност производње. Даљим удруживањем ова два научника основано је заједничко европско предузеће које се бавило прерадом каучука и произваодњом делова од гуме [3].

2.1. Откриће поступка вулканизације („Goodyear“)

Након Макинтоша и Ханкока појављује се нови научник „Charles Goodyear“ (слика 2.3) који је био одушевљен производима од гуме и чврсто је веровао у њихову свелу будућност. Научник је цели свој живот посветио гуми да би побољшао топлотна својства.



Слика 2.3 „Charles Goodyear“

Године 1839. догодило се сасвим случајно откриће. Наиме неко је забуном ставио у пећ смешу каучука са сумпором и оловом. У соби се осетио страشان смрад те је Годијер избацио узорак из пећи и бацио на снег. Тада је приметио да се не мењају својства гуме на хладноћи, што је до тада био највећи проблем. Понављањем поступка неколико пута добио је одговарајући поступак прераде каучука при којем се задржавају својства еластичности, али и чврстоће у широком опсегу температура околине. Због великих дугова поступак је патентиран тек 1844. године, али само у Америци. Знајући да су Макинтош и Ханкок светски лидери у преради каучука, Годијер је послао свог заступника Монтон у Енглеску да им прода поступак. Монтон је Ханкоку оставио узорак каучукове смеси са сумпором због анализе. Ханкок је анализом утврдио да је сумпор повећао топлотну стабилност гуменог производа. Одмах је у Великој Британији заштитио патент под својим именом. Ханкоков пријатељ је овај поступак назвао вулканизација, по Вулкану, римском богу ватре и металургије. Након тога следе многе тужбе и парнице ова два научника. Годијер је добио и многим пресудама, али није имао талента за пословање, тако да никада није профитирао на свом открићу. Највећа успомена на изузетног човека је савремени гигант производња гума „Goodyear“ која је основана 38 година након његове смрти. Откриће поступка вулканизације омогућило је масовно коришћење каучукових смеша. Из дана у дан појављивали су се нови производи од гуме, потражња за природним каучуком је расла, а траје и данас [4].

2.2. Употреба гуме у аутомобилској индустрији („Dunlop i Michelin“)

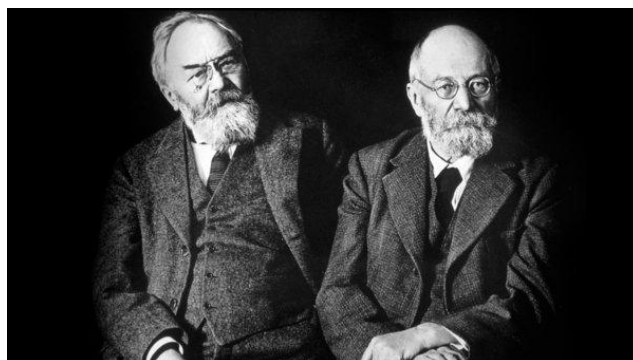
На путевима историје нашао се још један тркач коме је требала обућа, то је био аутомобил. И овај пут могућност коришћења гуме, као облоге за точкове, откривена је сасвим случајно. Једног зимског поподнева 1888. године, Шкот „John Boyd Dunlop“ (слика 2.4.), дошао је кући исцрпљен послом. Уместо кревета и одмора дочекао га је син са трициклом који је правио буку због дрвених точкова. Данлоп је толико био изиритиран буком да је почео размишљати шта да уради а да сину не одузме играчку. Након неколико дана је дошао на идеју да залепи неколико комада гуме у колут и да на њега налепи вентил од гумене лопте. Затим је надувао колут и лепком и ужетом га

причврстио на точкове. Резултати су били одлични, бука је смањена, а вожња бицикла постала удобнија. У том периоду у свету је једва био стотинак аутомобила, али је бицикала било пуно, тада овај производ веома брзо постаје значајан за производњу бицикла [5].



Слика 2.4. „John Boyd Dunlop“

Даљим током времена Французи, браћа „Edouard, Andre Michelin“ (слика 2.5.) 1895. године примењују пнеуматике на аутомобилима.



Слика 2.5. „Edouard i Andre Michelin“

3. Каучукове смеше

Гума је специјални материјал, ни један материјал нема такву еластичност као гума. Из тог разлога се гумени материјали другачије називају еластомери. Осим својства еластичности, еластомери поседују и читав низ повољних својстава. На пример постоје гумени материјали који су непропусни за ваздух и воду, материјали који су постојани на температурама изнад 200°C и постојани на утицај агресивних медија, а има и оних који су савитљиви на -100°C . Каучук је основни састојак гумених смеша, може бити природни (слика 3.1) или синтетички. Каучук се меша са различитим додацима сачињавајући смешу која се умрежава на повишеној температури. Умрежавање може бити и хладно али се оно ређе употребљује. Тек након завршетка процеса умрежавања смеша каучука поприма разна својства као што је еластичност и механичка својства као нпр. тврдоћу, чврстоћу и истегљивост.



Слика 3.1. Стабло каучука („*Hevea brasiliensis*“)

Својство еластичности каучука односно материјала од гуме може се објаснити молекулском структуром. Сваки молекул каучука састоји се од дугог низа ланца понављајућих јединица тј. мономера. Ланци од више хиљада таквих мономера чине полимер. Полимерни ланци односно макромолекули каучука због такве међусобне повезаности чине у ствари минијатурну опругу. Ланци нису међусобно повезани пре умрежавања, већ се држе релативно молим интермолекуларним силама. Када се каучук оптерети силом затезања, понаша се еластично, што значи да након престанка деловања оптерећења молекули се враћају и почетни положај. Међутим ако се оптерећење довољно повећа, доћи ће до трајне деформације. Дакле каучук је само делимично еластично, а претежно пластично деформабилан материјал.

Стварање хемијских веза између полимерних ланаца односно стварање тродимензионалне мреже назива се умрежавање што има за исход малу пластичну, а велику еластичну способност деформације. У поступку мешања природном или синтетичком каучуку додају се разни додаци. Тиме се постиже потребна топлотна и

хемијска својства гумених производа. Коришћена литература за писање трећег поглавље је [8,9, 10, 11].

3.1. Основни појмови (каучук, гума, еластомерни материјали, вулканизат, умрежавање)

Веома често се каучук означава као гума. Каучук, да ли природни или синтетички, основни је састојак каучукових смеша. Под појмом каучук подразумева се неумрежени полимер, природни или синтетички, који након умрежавња постаје ентропијски еластичан. Појам гума или еластомерни материјал имају исто значење и представљају умрежену каучукову смешу било добијену природним или синтетичким каучуком. Често се уместо појма еластомерни материјал или гума користи појам вулканизат.

Појмови каучук, еластомерни материјал, гума дефинисани су DIN 53501 стандардом:

- Каучук је неумрежена, али умреживајућа полимерна маса са ентропијски еластичним својствима на собној температураи. При повишеној температури и уз деловање силе деформисања каучук почиње вискозно да тече тако да се при повољним условима може преобликовати. Каучук је основа у производњи еластомерног материјала (гуме).
- Каучук латекс или једноставније латекс јесте колодиална дисперзија каучука у води.
- Гуме су до температуре разградње умрежени полимерни материјали који су при нижим температурама крути и крти попут стакла. На повишеним температурама не показују вискозно течење, док се у подручју собне температуре па до температуре разградње понашају гумсто-еластично.
- Појам умрежавање, подразумева хемијско-физичку промену при којој претежно пластични каучук прелази у гума-еластично стање. Током умрежавања хемијска реакција није у потпуности разрешена, али се сматра да долази до стварања веза између појединих макромолекула на местима погодним за реакцију. Умрежавање се понекад замењује појмом вулканизација при чему се под тим поступком мисли не само умрежавање већ и поступак прераде. Према DIN 53501 умрежавање се дефинише као поступак при којем се каучук због промене своје структуре преводи у стање у којем поседује еластична својства. За умрежавање је потребно средство односно умреживач. Најстарије средство које је и данас у примени код умрежавања јесте сумпор. Процес се одвија током више сати на температури 140 до 150°C. Брзина умрежавања се може по вољи подешавати додавањем разних састојака. Из тог резлога модерни системи за умрежавање не састоје се само од сумпора већ и убрзивача, активатора и успоривача ако се жели спречити предумрежавање каучукове смеше. Умрежавање сумпором је могуће јер молекули каучука на одређено размаку поседују двоструке везе. Остваривањем двоструке везе добија се место на које се сумпор везује. Међутим постоје неки синтетички каучуци који не садрже двоструке везе, па се не могу умрежавати сумпором. Таква врста каучука носи назив засићени каучуци и код њих се умрежавање постиже пероксидима [9].

У систему за умрежавање постоји и низ додатака који се пре умрежавања мешају са каучуком како би се постигла тражена својства гумених производа. Гуме са уделом сумпора до 5 се називају меке, оне са уделом од 5 до 20 делова сумпора поседују нижу еластичност, а гуме од 25 до 40 делова сумпора на 100 делова каучука немају својство гуме нити еластичности.

3.2. Физичка својства каучука и гуме

3.2.1. Физичка стања каучука

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

За каучуке је од посебног значаја вискоеластично стање, то јест 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 стакластог прелаза и температури прелаза у стање вискозног течења. Код каучука је температура стакластог 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 температура.

3.2.2. 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 смеша, док се еластичност јавља као основно својство гуме и готових гумених 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 оцењују 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 које се јавља у испитиваном узорку у тренутку кидања.

$$f_p = P_p/S_o,$$

где је: P_p - сила која изазива кидање испитиваног узорка; S_o - површина попречног пресека узорка пре испитивања. Вредност прекидне чврстоће гуме креће се у опсегу од 5 до 30 МПа.

Релативно прекидно издужење I_p [%] одредује се на основу апсолутне вредности издужења у тренутку кидања, и израчунава се на основу израза:

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

где је: I_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:

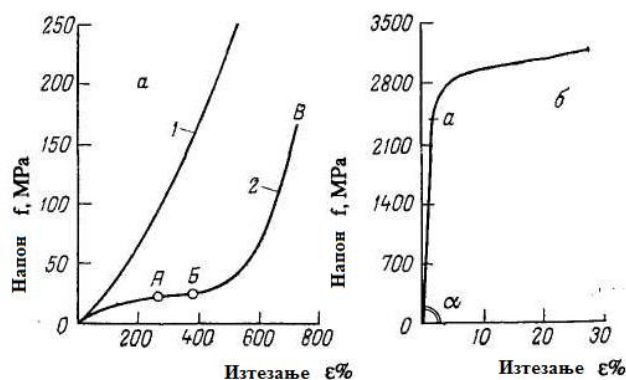
$$\theta_p = (l_2 - l_0) \cdot 100/l_0$$

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%. С повећањем релативног прекидног издужења, обично се повећава и заостало издужење после кидања.

3.2.2.1. Релативно-равнотежни модул гуме

При деформацији гуме, релативни напон при заданој деформацији није пропорционалан релативном издужењу гуме. Зависност између тих величина представља се S -кривом, тј. однос σ/ϵ није стална величина и зависи од степена истезања. Разлог оваквом понашању је тај што при деформацији гуме напон не зависи само од величине него и од брзине и времена трајања деформације.



Слика 3.2. Дијаграм истезања: а) гуме на бази природног каучука (1- гума која садржи пунила; 2- гума без пунила); б) челика

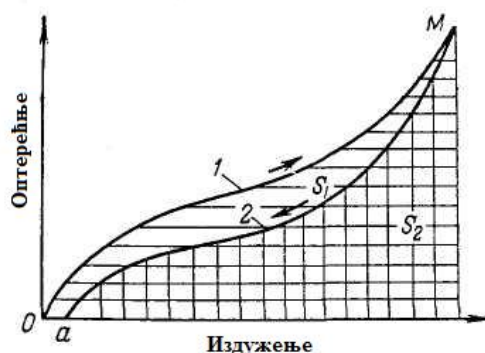
Вредности f_p и ϵ_p представљају координате крајње тачке на S -кривој, слика 3.2.

На кривој истезања се могу уочити два дела: први део, до тачке Б, одговара Хуковој деформацији; други део је у вези са карактеристичном структуром каучука.

3.2.2.2. Хистерезисни губици

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

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



Слика 3.3. Хистерезисна петља гуме

На слици 3.3. приказана је хистерисна петља, која се састоји од криве истезања и криве опуштања. Крива опуштања 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 пропорционална је раду утрошеном на истезање, док је површина ограничена кривом опуштања и осом издужења пропорционална раду враћеном при опуштању растерећеног узорка.

Неподударање кривих истезања и опуштања објашњава се постојањем неповратних губитака механичке енергије, утрошене на савлађивање унутрашњег трења и на пластичне 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 вишекратних деформација.

3.2.2.3. 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 утрошеног 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. Док код повећања садржаја пунила у гуми, параметар еластичности при удару се смањује.

3.2.2.4. Структурна чврстоћа (јачина на цепање)

Структурна чврстоћа је параметар отпорности према разарању (цепању) гуме при истезању, у условима концентрације напона, тј. на узорцима гуме са једним зарезом. Параметар структурне чврстоће одређује се као однос силе $P_{k,u}$ [N], при којој долази до цепања узорка на месту зареза, и првобитне дебљине узорка

$$h_0 \text{ [m]} : \quad \sigma_z = P_k / h_0 \text{ [KN/m]}.$$

3.2.3. Тврдоћа гуме

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

За одређивање тврдоће гуме, примењују се различити тврдомери. Често се користи Shore-ов тврдомер, 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 умрежења, има тврдоћу у пределу од 40 до 90 јединица. Са повећањем садржаја пунила и времена трајања умрежавања, тврдоћа се повећава. Омекшивачи смањују тврдоћу гуме. Јединица за означавање тврдоће је шор.

3.2.4. Фрикциона својства гуме

„Хабање“ или отпормост према хабању дефинише се као губитак у основних параметара који дефинише отпорност према трошењу је отпорност према запремини настао брушењем узорка баждареним брусним папиром.

3.2.5. Специфична својства гуме

3.2.5.1. Отпорност на топлоту

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

3.2.5.2. Постојаност гуме на ниским температурама

Отпорност на ниске температуре јесте способност гуме да задржи своја вискоеластична својства при сниженим температурама. Својства гуме на сниженим температурама карактеришу се: 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 (равном 100%) на температури од 23 до 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.

3.2.5.3. Отпорност према старењу и деловању агресивних материја

Старењем се назива неповратна промена својстава каучука или гуме, под деловањем топлоте, светлости, кисеоника, ваздуха, озона или агресивних материја. 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 или ваздуху, при повишеној температури, у 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 промена, најчешће, прекидне чврстоће и релативног прекидног издужења, пре и после старења. Што је мања промена својстава при старењу и коефицијент старења је мањи. Утолико је 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 материја и одговарајућих параметара пре њиховог дејства.

3.2.5.4. Издржљивост гуме на замор

Параметар издржљивости на замор, 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.

3.2.5.5. Образовање топлоте при вишекратном сабијању

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

3.2.5.6. Својство релаксације каучука при деформацији

Карактеристичност 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 каучука карактеришу: релаксација напона и пузања.

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

Пузање се састоји у постепеном увећању деформације гуме под деловањем сталног оптерећења.

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. Продужавањем времена повећавају се деформација и заостала деформација, понекад и 10 пута.

Релаксациони карактер вискоеластичних деформација каучука и гуме јавља се само при довољно спорим пролазним деформацијама, јер је за настанак процеса релаксације потребно одређено време. Према томе, деформације које се одигравају великом брзином, а, исто тако, вишекратне 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 при 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 одредивању физичко-механичких параметара гуме.

3.2.5.7. Утицај температуре на деформацију

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

3.2.5.8. Топлотни ефекат при истезању каучука

При знатном истезању природног каучука, долази до издвајања топлоте, пропорционално истезању. При опуштању истегнутог узорка, међутим, 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.

3.3. Прављење каучукове смеше

Поступак мешања каучука и додатака у каучукову смешу је веома комплексан процес и мора се подесити према намени каучукове смеше. Уз основни састојак који чини каучук, каучукове смеше садрже и низ других додатака, нпр. пунила, пигменте, омекшаваче, додатке за побољшање прерадљивости, додатке за спречавање старења, умреживаче, убрзиваче, активаторе, успориваче и др. У просеку свака каучукова смеша се састоји од 10 до 20 додатака.

3.4. Додаци у процесу производње гуме, основни појмови

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. Да би се од сировог каучука произвела гума, каучук се меша са разним додацима (органским и неорганским материјалима) који се даље вулканизирају. Сви материјали који улазе у састав каучукове смеше називају се ингредијенти или састиги смеше за вулканизацију. У зависности од специфичности деловања својства каучукових смеша и вулканизаната, додаци се деле на следеће основне групе:

1. Средства за вулканизацију;
2. Убрзивачи вулканизације;
3. Успоривачи вулканизације;
4. Средства против старења, замарања и деловања озона;
5. Омекшивачи;
6. Пунила;
7. Боје;
8. Додаци специјалне намене:
 - Средства за побољшање отпорности на хабање;
 - Средства за добијање порозне гуме;
 - Средства за заштиту од микроорганизама и бактерија;
 - Средства за регулисање мириса;
 - Средства против горења;
 - Средства за подмазивање.

Већина додатака утиче на својства не само готових вулканизата већ и на сирове каучукове смеше 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. Као пример за то могу послужити MgO и ZnO , који могу имати улогу убрзивача вулканизације, активаторе и пунила. Поред овога ZnO се додаје и за бојење.

Додаци каучукове смеше треба да имају:

- Приближно исти степен дисперзије у каучуку;
- Милимални садржај влаге и испаравајућих материјала;
- Да буду што чистији и без механичких нечистоћа;
- Да не садрже слободне минерале киселине и минерале соли растворене у води;
- Да буду што једнороднији по саставу;
- Да буду стабилни у условима чувања и вулканизације.

Прашкасти ингредијенти треба да буду дисперзивни, односно да се добро распоређују како бе се добила каучукова смеша хомогеног састава. Да би вулканизанти имали добра физичко-механичка својства, у току израде каучукове смеше (мешања), површина додира ингредијената с каучуком треба да буде што већа. Повећан садржај влаге и испарљивих материјала, при вулканизирању каучукове смеше, доводи до стварања пора и мехурова. Слободне минералне киселине и минералне соли растворене у води смањују активност органских убрзивача и неповољно утичу на отпорност вулканизата на старење.

Састављач рецептуре мора добро да познаје општа својства ингредијената, а нарочито њихов утицај на карактеристике вулканизата.

3.4.1. Средства за вулканизацију

Сумпор је основно средство за извођење вулканизације природног и највећег броја синтетичких каучука. Осим сумпора, способност умрежавања каучука имају: селен и телур, оксиди цинка, магнезијума, кадмијума и олова, органска једињења тринитробензен, диазоједињења, хинони и њихови продукти, фенолне смоле, нека полисулфидна једињења, изоцијанати и пероксиди.

3.4.1.1. Сумпор

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 $112,8^{\circ}C$, густине $2,07\text{ g/cm}^3$. Растворљивост таквог сумпора у каучуку је добра. При хлађењу растворљивог сумпора ромбичне модификације долази до стварања кристала који имају облик дугих тамножутих иглица - ромбични сумпор прелази у моноциклични. Моноциклични сумпор карактерише знатно мања растворљивост у каучуку. Тачка топљења је $119^{\circ}C$, густина $1,96\text{ g/cm}^3$. На температурама нижим од $96^{\circ}C$, моноцикличан сумпор прелази у ромбичан. При нагом хлађењу прегрејаног сумпора ствара се аморфни сумпор, који је

нерастворан у каучуку. Аморфни сумпор дужим чувањем делимично прелази у ромбични. Постоји неколико врста сумпора: млевени, сумпорни цвет и таложни сумпор. Највећу примену у гумарству има млевени сумпор.

Растворљивост сумпора у каучуку зависи, осим од алотропске модификације, од температуре, врсте каучука и количине додатих убрзивача. С повећањем температуре, растворљивост сумпора у каучуку знатно расте. У току израде смеша на бази природног каучука, растворљивост сумпора је 3% до 4% на 55 °С до 65°С. На температури вулканизације растворљивост достиже вредност од 10%.

При хлађењу каучукових смеша, могу настати презасићени раствори сумпора у каучуку, из којих сумпор дифундује на површину и кристалише. Појаву кристализације сумпора на површини сирове каучукове смеше или вулканизата називамо "исцветавањем". Искристалисани сумпор код сирових смеша смањује лепљивост, што изазива тешкоће при конфекцији гумених делова. Исцветавање сумпора може се смањити на неколико начина:

- увођењем, у каучукову смешу, омекшивача који омогућују бољу расподелу сумпора (боров катран, стеаринска киселина);
- увођењем регенерата и гасне чађи, при чему се смањење исцветавања објашњава великом растворљивошћу сумпора у регенерату и апсорпцијом сумпора на гасној чађи;
- извођењем процеса умешавања каучукове смеше на што нижој температури, при чему један део сумпора остаје нерастворен;
- коришћењем малих количина сумпора, нераствореног сумпора или смеше сумпор-селен.

Појава исцветавања сумпора код вулканизата знак је непотпуне вулканизације. Количина сумпора која се додаје каучуковој смеси зависи од врсте каучука и количине додатих убрзивача вулканизације. Ако каучукова смеша садржи ингредијенте који апсорбују сумпор (активне чађи) или ингредијенте који ступају у реакцију са сумпором (битумени), количину сумпора треба незнатно повећати. У каучуковим смешама нормалне тврдоће, сумпор се додаје у количини од 1,8 до 2,2% у односу на каучук, а у тврдим (ебонитним) каучуковим смешама сумпор се дозира у количини до 40%.

3.4.1.2. Остали агенси за вулканизацију

Агенси несумпорне вулканизације се могу поделити у три групе: метални оксиди, дифункционална једињења и пероксиди. Карбоксилловани бутатиенски, бутатиен-стиренски и карбоксилловани нитрилни каучуци могу се премошћавати реакцијом цинкооксида са карбоксиллованим групама на полимерном ланцу. При томе се, у реакцији неутрализације формирају цинкове соли. Остали метални оксиди реагују на сличан начин. Полихлоропрени се такође умрежавају у реакцијама са металним оксидима. Углавном се користи цинкоксид. Хлорсулфовани полиетилен се такође умрежава на сличан начин. Најчешће се користе PbO, PbO/MgO. У многим од ових система, користе се комбинације металних оксида у циљу контроле брзине умрежавања и апсорпције хидрохлорида.

Нека дифункционална једињења могу формирати премошћења у каучуцима, при чему се образују мостови између полимерних ланаца и чине тродимензионалну мрежу.

За умрежавање нитрилних каучука користе се епокси смоле, хинондиоксим умрежава бутил-каучук, а диамини и дитио једињења се користе код флуорног каучука.

Органски пероксиди се користе за умрежавање засићених каучука или за каучуке који не садрже реактивне групе способне да формирају премошћења. Пероксиди не улазе у полимерне ланце, већ формирају радикале које стварају везе угљеник-угљеник и на тај начин повезују ланце у полимеру.

3.4.2. 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, снижење температуре вулканизације каучукових смеша и скраћење времена за извођење вулканизације. Употребом убрзивача снижен је садржај сумпора у каучуковој смеси, а самим тим и могућност исцветавања сумпора на површини вулканизата. Смањена је, такође, опасност од реверзије, тј. опадања физичко-механичких својстава после оптимума. Омогућена је примена органских боја уместо неорганских, коришћење 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.

Убрзивачи се деле на органске и неорганске. Убрзивачи сумпорне вулканизације углавном су једињења која садрже сумпор.

Према хемијској припадности се сврставају у следеће важније групе: дитиокарбамати, ксантати, тиурами, тиазоли, сулфенамиди, базни убрзивачи, алдехи-дамини, амини, и др.

- Дитиокарбамати су аминокиселине и металне соли дитиокарбаминске киселине, дају брзу вулканизацију и могу се користити на ниским температурама;
- Ксантати (ксантогенати), су брзи убрзивачи са механизмом деловања који је сличан дејству дитиокарбамата и тиурама;
- Тиурами, врло често коришћени убрзивачи, од којих су најпознатији тиурам-моносулфид и тиурамдисулфид. Ова група даје сигурну и брзу вулканизацију;

- Тиазоли су најчешће коришћени убрзивачи у пракси и омогућују брзу вулканизацију;
- Сулфенамиди омогућују сигурну прераду смеша, зато што имају успорено дејство на почетку вулканизације;
- Базни убрзивачи су секундарни убрзивачи, који се користе у комбинацији са ултрабрзим убрзивачима, да би успорили вулканизацију и тако омогућили добро разливање смеше у калупу. Најпознатији представници ове групе су гванидини;
- Алдехидамини обезбеђују сигурност при преради каучукових смеша представник ове групе је бутиралдехид-анилински кондензациони производ;
- Амини дају успорену вулканизацију NR каучука, а најпознатији представник је хексаметилентетрамин;
- Тиоуре, дају брзо умрежавање хлоропренског каучука, а најпознатији представник је етилентиоуреа.

Према интензитету активности, убрзивачи се деле на:

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

3.4.3. Успоривачи вулканизације

Да би се обезбедила сигурност у раду при умешавању смеше на повишеној температури или при преради каучукове смеше екструдирањем или каландрирањем, потребно је у таквим случајевима успорити почетак вулканизације смеша. Овим успоравањем обезбеђује се тзв. "период течења", који омогућује добро разливање каучукових смеша које се вулканизују у калупима.

У пракси се најчешће примењују следеће групе успоривача: органске киселине које не испаравају лако, нитрозо-једињења и анхидрид фталне киселине.

3.4.4. Средства против старења, замарања и деловања озона

Постојаност вулканизата на појединачне или заједничке утицаје зависи у првом реду 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 позата су још и под именом антиоксиданти. Овај назив, који је дуго био споран, дат је оним хемијским једињењима која се употребљавају у каучуковим смешама да спрече привремено погоршавање вулканизата изазваног оксидацијом. Отуда назив антиоксидант налази своје оправдање баш у чињеници што се сматра да главни утицај при старењу вулканизата долази од стране кисеоника. Медјутим, данас када је употреба антиоксиданата знатно проширена, сматра се да они имају инхибирајуће дејство не само против утицаја кисеоника, већ и против утицаја топлоте, светлости поливалентних метала и др. Али сваки примењени антиоксидант није у могућности да у подједнакој мери штити вулканизате против свих погоршавајућих утицаја, баш зато што ових 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 ако неки антиоксидант пружа заштиту у првом реду од оксидације, он истовремено не може у пуној мери да заштити вулканизате и од других утицаја, као нпр. од утицаја атмосфере, динамичког замарања итд. 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 атмосферских утицаја.

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 у каучуку;
- да за време вулканизовања буду постојани и инертни, тј. да немају успоравајуће нити убрзавајуће дејство на ток вулканизације;
- да за време вулканизације не прљају производе, односно да су без утицаја на боју вулканизата;
- да су без мириса, укуса и да нису отровни.

У вези са овим треба напоменути да до данас још нису пронађена таква хемијска средства која би испуњавала све побројане услове и истовремено представљала потпуну заштиту за гуму.

Када је реч о подели средстава против старења треба одмах истаћи да их има више и да је критеријум за њихову расподелу различит. Једна од првих подела је она која их разврстава 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. Физичку групу чине она чије је заштитно дејство заступљено углавном на површини гуме, штитећи је од погоршавајућих утицаја из околине. Овде се ради о таквој заштити која почива 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
- средства која пружају заштиту од утицаја и светлости и озона.

Према другој подели хемијска средства против старења се, полазећи од њиховог технолошког дејства деле у три подгрупе на:

- средства која пружају заштиту против замарања;
- групу оних која немају ову заштитну моћ и
- она средства која вулканизате штите од последица изазваних атмосферским утицајима, тј. топлоте, светлости, озона итд.

Има још једна подела везана за степен интензитета промене боје вулканизата при вулканизовању. Иако се о овој појави води рачуна, ова подела није заступљена у званичној класификацији средстава против старења.

Већина средства против старења која имају појачано заштитно дејство и која истовремено пружају заштиту против атмосферских утицаја и замарања од динамичког напрезања, склона су не само да утичу на боју готових вулканизата, већ да обојавајуће делују и на суседне материјале. То значи да ова средства не мењају боју само гумених производа, већ такође и на гуму належућих материјала као што су разне фолије, лакови, текстилни и други материјал који служи за покривање гумених производа итд. Због тога се оваква хемијска средства не користе у каучуковим смешама за светле и обојене вулканизате. У таквим случајевима употребљавају се само она која боју вулканизата уопште не мењају или то чине незнатно.

На основу оваквог понашања средства против старења могу се поделити на:

- јако обојавајуће,
- слабо обојавајуће и
- небојавајуће супстанце

Не постоји универзално средство које би истовремено заштитило од свих појава деградације. Свако од тих једињења има свој "спектар деловања", то значи различито заштитно деловање, те је одређено понашање у промени боје вулканизата и супстрата који је у додиру са вулканизатом. До промена боје долази при излагању вулканизата светлу, а креће се од незнатне или скоро никакве промене до смеђе, па и до црне боје. На основу таквог понашања, разликују се антиоксиданти који мењају боју од антиоксиданата који не мењају или само слабо промене боју. Треба одмах рећи да су бојадишући антиоксиданти ефикаснији од небојадишућих.

3.4.5. Омекшивачи

Омекшивачи - пластификатори 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 смеше;
- снижавају температуру омекшавања каучукове смеше на почетку вулканизације;
- побољшавају отпорност на ниским температурама;
- побољшавају обликовање каучукових смеша при преради и вулканизацији;
- умањују скупљање вулканизата и

- утичу на ток вулканизације, физичко-механичка својства и старење вулканизата.

Правилно одабрани омекшивачи и дозирани у оптималној количини 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.

Многи омекшивачи имају специфично дејство. Масне киселине смањују активност убрзивача вулканизације, побољшавају дисперзију пунила и побољшавају везу између честица пунила и каучука. Восак, парафин и церезин побољшавају отпорност гуме на старење. Рубракс и парафин смањују бубрење гуме у води. Колофонијум и боров катран повећавају лепљивост смеса на бази синтетичких каучука. Због ових специфичности препоручује се комбиновање омекшивача. Избор омекшивача зависи од намене и услова експлоатације вулканизата. Количина омекшивача која се додаје каучуковој смеши зависи од врсте употребљених ингредијената и врсте каучука. За природни каучук та количина износи 5 до 8% у односу на каучук.

Синтетички каучуци, нарочито бутadiенстиренски и бутadiенакрилонитрилни, који се тешко мешају са додацима, изискују знатно већу количину омекшивача, чак и до 30% у односу на каучук. Кад се дозира у већој количини, омекшивач истовремено има и улогу пунила. У такве омекшиваче спадају рубракс и кумаронске смоле. То су материје које садрже незасићена једињења и које имају особину да током вулканизације ступају у реакцију са сумпором. Добијени продукти имају одређену еластичност, чиме се објашњава њихово дозирање у већим количинама.

Омекшивачи треба:

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

Сви омекшивачи нису подједнако компатибилни са каучуком. По правилу, неполарни каучуци захтевају неполарне омекшиваче, а поларни каучуци поларне. 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 с каучуком су: вишемасне киселине, парафин, вазелин, вазелинско уље, парафинско уље и други. До њихове делимичне миграције на површину полупроизвода долази у току израде и на тај начин се смањује лепљење смеса за радне површине, што олакшава каландрирање, екструдирање и друго, а површине каландрираних и екстудираних производа су глатке.

Дејство омекшивача на каучукову смешу је двојако. Омекшивачи изазивају бубрење каучука, раздвајају његове молекуле и смањују међумолекулска дејства. Тиме се олакшава покретање делова молекула каучука (смањује се унутрашње трење).

Омекшивачи који садрже површински активне материје образују на површини честица пунила мономолекуларне адсорпционе слојеве активних материја. Поларне групе ових материја окренуте су према површини честица пунила, а неполимерне према молекулима каучука. Због тога омекшивачи побољшавају дисперговање, расподелу пунила у каучуковој смеси и везу пунила са каучуком (повећавају активност пунила).

Према пореклу омекшивачи се класификују на:

- омекшиваче добијене прерадом нафте;
- омекшиваче добијене прерадом дрвета и угља;
- омекшиваче биљног порекла;
- вишемасне киселине и
- синтетичке омекшиваче.

3.4.5.1. Омекшивачи добијени прерадом нафте

У ову групу спадају: мазут, нафтолени, нафтенска уља (вазелинско и вретенско уље), битумен, парафин, церезин и озокерит. По хемијском саставу то су сложена једињења која се, према функционалним групама, деле на: парафине, нафтене, ароматичне и асфалтно-смоласте материје.

- **Парафинско-нафтенски** омекшивачи имају јаче изражено пластифицирајуће дејство него омекшивачи ароматичног карактера. Ефикасност ароматичних омекшивача зависи од ароматичне структуре и смањује се од лаких ка средњим и тешким ароматичима. Ароматични омекшивачи повећавају лепљивост смеша, док је омекшивачи нафтенског карактера снижавају. Парафин чини смешу пластичнијом, што омогућава лакше обликовање екструдирањем и каландрирањем. При смањеном дозирању повећава се лепљивост и чврстоћа смеше односно вулканизата.
- **Озокерит или земни восак** је тамносмеђе до црне боје. Његово деловање је слично парафину. Бељени озокерит је церезин. Он је беле или жућкасте боје, и понаша се слично озокериту.
- **Битумен** је тврда, крта материја, црне боје, сјајне површине на прелому. Тачка топљења је 30 до 120°C. У смешама се најчешће користе битумени са вишом тачком топљења, око 100°C. Дозирањем до 5%, побољшава се расподела пунила у смеси и побољшавају механичка својства вулканизата. За време вулканизације долази до делимичне реакције битумена са сумпором. Битумен повећава тврдоћу и отпорност на цепање.
- **Минерал рубер или рубракс** је производ добијен из битумена. Одликује се великом тврдоћом, бољим сјајем површине, а тачка топљења му је од 120 до 160°C. Дели се на: меки, са тачком топљења од 120 до 135°C, и тврди, са тачком топљења од 135 до 160°C. У смешама и вулканизатима повећавају тврдоћу и олакшавају прераду. Дозира се обично од 3 до 7%.

- **Вазелин** снажно повећава пластичност смеше, али смањује тврдоћу и прекидну чврстоћу. Чисти вазелин је беле боје, а технички жутосмеђе. Тачка топљења је од 40 до 50°C.
- **Минерално уље** даје смеши велику пластичност, али гума губи на чврстоћи.
- **Нафтолен** је производ добијен обрадом сирове нафте сумпорном киселином. Састоји се из тешких угљоводоника са двоструком везом. По изгледу је густа, тамсмеђа течност са зеленкастим преливом.

3.4.5.2. Омекшивачи добијени прерадом дрвета и угља

Од производа прераде дрвета и угља највећу примену има калофонијум. То је смеша смолних киселина, од којих је најпознатија абиетинска киселина. Колофонијум је аморфна супстанца светло жуте до тамно смеђе боје. Омекшава на температури од 50 до 80°C, а прелази у течно стање на 100 до 150°C. Двоструке везе могу везивати S и O, па у смешама са колофонијумом треба повећати дозирање сумпора. Колофонијум се додаје у количини од 1 до 2%, у односу на каучук, а његовим дозирањем повећава се лепљивост смеше и отпорност на цепање у вулканизатима.

Омекшивачи добијени прерадом угља су једињења - смеше чврстих и течних угљоводоника. Добијају се као споредни производи при крековању угља. Најважнији омекшивач из ове групе је кумарон-инденска смола. Добија се у више квалитета. У гумарству се користи смола која омекшава на температури од 65 до 85°C. У каучуковим смешама побољшава прерадљивост, лепљивост и нека физичко-механичка својства. Има својство да успорава процес вулканизације па је неопходно водити рачуна о избору система за вулканизацију. Користи се у смешама на бази синтетичких каучука, и то у количини од око 5% рачунато на каучук.

3.4.5.3. Омекшивачи биљног порекла

Боров катран је остатак суве дестилације црног бора. Користи се првенствено у каучуковим смешама које садрже велику количину чађи. То је густа, полутечна материја, сивосмеђе до црне боје. Повећава лепљивост смеше, па се обично додаје при изради регенерата. Добар је разредивач чађи, па се примењује при изради смеша са активним чађама чији вулканизати треба да имају добра механичка својства (са великим садржајем чађи). Највише се примењују при мешању црних смеша за израду пнеуматика и GTR производа.

Фактис је производ који се добија реакцијом биљних уља са сумпором или сумпорхлоридом на повишеној температури. Од биљних уља, користе се незасићена уља ланено и репичино. Смеђи фактис је производ спајања сумпора и уља. Ово се изводи тако да се биљно уље стави у котао и загреје на температуру од 130°C, након чега се лагано додаје 20 до 40% сумпног праха, уз лагано повишење температуре до 160°C. Сумпор омогућава везивање уља у просторну мрежасту структуру, захваљујући двоструким везама у молекулима уља. Садржај слободног сумпора у фактису не сме да пређе 1%. Смеђи фактис се понаша као добар диспергатор; не бубри каучук већ му повећава пластичност, чиме је олакшано бризгање смеше. Добра особина смеђег фактиса је што спречава старење гуме. Смеђи фактис се додаје смешама намењеним каландрирању и екструдирању. Поред тога што побољшава прерадљивост, помаже да се

очува профил екструдираног полупроизвода. Бели фактис се добија деловањем сумпор-монохлорида на уље, без повећавања температуре. Садржи 1,5 до 2% MgO.

3.4.5.4. Вишемасне киселине

Од вишемасних киселина највећу примену имају стеаринска и олеинска киселина, које имају улогу активатора вулканизације и диспергатора пунила. У ову групу омекшивача спадају и воскови - естри вишемасних киселина. Стеарин је смеша стеаринске и палмитинске киселине са извесном количином заосталих засићених и незасићених киселина. То је бела кристална материја слична парафину. Тачка топљења је 71°C, тачка кључања 359 до 383°C. У води се не раствара, већ у алкохолу, бензену. Стеарин у смеси помаже расподелу пунила и спречава јако слепљивање смеше за ваљке. Стеарин кочи почетак вулканизације, чиме омогућава боље разливање смеше у калупу. У вулканизатима делује као средство против старења.

3.4.5.5. Синтетички омекшивачи

Синтетички омекшивачи су најчешће естри (алифатски и алифатско-ароматски), неке врсте поликондензационих и полимеризационих производа и хлорирани угљоводоници. Омекшивачи типа естара (дибутилфталат, дибутилсебацинат, диоктисебацинат) примењују се за пластификацију поларних каучука, као што су бутадиен-акрилонитрилни и полихлоропренски каучук.

3.4.6. Пунила

Пунила су ингредијенти који се додају каучуцима и термопластима с циљем да побољшају њихова физичко-механичка својства и сниже цену коштања смеше по јединици масе или запремине. Према утицају на каучукову смешу, пунила се деле на: активна и неактивна. Активна пунила утичу на побољшање физичко-механичких својстава, док неактивна пунила немају то својство, већ снижавају производну цену каучукове смеше. Између активних и неактивних пунила нема оштре границе, јер понашање пунила зависи од врсте каучука којем се додаје.

У кристалишућим каучуцима (природни каучук, бутил-каучук и полихлоропренски каучук), пунила показују слабо појачавајуће дејство, док у каучуцима који не кристалишу (бутадиенстиренски каучук, бутадиенакрилонитрилни 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 и степен адхезије пунила и каучука. Смањењем честица појачава се дејство пунила. Величина честица је у непосредној вези са дисперзивношћу (што је величина честица мања, дисперзивност је већа). По облику, честице пунила могу бити: сферичне, пласнате, равне и игличасте. Сферичан облик карактеристичан је за индустријске чађи, док су друга два облика карактеристична за минерална пунила. Облик честица утиче на квалитет и физичко-механичка својства смеше. Ово нарочито долази до изражаја код производа који се прерађују поступком каландрирања и екструдирања. Игличасте честице оријентишу се у правцу дејства силе обраде, тако да физичко-механичка својства у правцу дејства силе постају израженија.

Јачина везе пунила са каучуком зависи од вредности силе адхезије између каучука и пунила. Јачина везе расте с повећањем „каучукофилности“ пунила. Суштина појаве је да каучук кваси пунила, тј. честицу пунила обавија танак филм каучука. На вредности квашења може се утицати обрадом пунила масним киселинама и другим материјама које повећавају хидрофобност површине честица пунила. Овај поступак назива се 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, а са порастом хидрофобности расте „каучукофилност“ код угљеничних каучука. Отпорност вулканизата зависи од чврстоће самог вулканизата, пошто до кидања може доћи не само на површини додир пунила и каучука већ и у самом каучуку. Пошто је чврстоћа непунених вулканизата већине синтетичких каучука мала, употребом пунила долази до промене структуре самог каучука и побољшања његових механичких карактеристика.

Код честица колоидних димензија честа је појава агрегације. Појава агрегације је непожељна јер доводи до смањења специфичне површине контакта, што се неповољно одражава на појачавајуће дејство пунила. Поред поменутих величина, које дају основне карактеристике, мора се водити рачуна и о рН вредности пунила, садржају воде и испарљивих материја. Вредност рН утиче на избор количине средстава за вулканизацију. Пунила која имају кисели карактер успоравају процес вулканизације и изискују повећану количину средстава за вулканизацију. Повећан садржај воде и испарљивих материја има за последицу добијање 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 до 0,05 микрометара.

У неактивна пунила спадају: креда, барит, литопон, талк, графит, обичан каолин. Величина честица ових пунила је око 1,5 микрометара.

Према пореклу, пунила се деле на органска и неорганска. У групу органских пунила спадају разне врсте чађи и синтетизована пунила као што су лигнин, полимери стирена, полиизобутилен, полиетилен, фенолформалдехидне, епоксидне и поливинилхлоридне смоле. У групу неорганских пунила спадају оксиди неметала (силицијума), оксиди метала (Zn, Ti, Al) и соли: алумосиликати, карбонати, сулфати и сулфиди Ca, Mg, Ba.

3.4.6.1. Органска пунила

Чађ је најраспрострањеније и најактивније органско пунило. Нарочито велики значај чађ има у гумама на бази полибутadiensког, бутadiенстиренског, бутadiен-акрилонитрилног каучука, код којих остварује велики појачавајући ефекат. Као појачавајуће пунило чађ се примењује највише у гуми за протекторе. У гумарској индустрији, потрошња чађи је на другом месту, одмах после каучука.

Чађи су прва пунила која су коришћена за побољшање својстава каучука. Према свом деловању на каучук, чађи се деле на: активне, полуактивне и неактивне.

Чађи се добијају непотпуним сагоревањем угљоводоника који могу бити у гасном, течном и чврстом стању, па тако постоје: гасне, уљне и ацетиленске чађи. Основне сировине за добијање чађи су течна органска уља из нафте и каменог угља, као и гасовити угљоводоници. Чађ се добија сагоревањем сировина у одсуству ваздуха, уз примену специјалних горионика.

3.4.6.2. Neorganska punila

Неорганска пунила се користе као активна и као неактивна. Нека од њих дају гуми специфична својства - повећавају отпорност на топлоту, уља, светлосно старење и чине гуму незапаљивом. Осим тога, бела боја минералног пунила TiO_2 омогућава израду белих и обојених каучукових смеша.

Ако активност неорганских пунила поредимо са чађима, примећујемо да је она мања, због њихове поларности. Она имају способност да апсорбују влагу, па се један део њихове површине пасивизира присуством влаге, а активност се смањује због смањења површине која реагује са каучуком. Та пасивизирана површина може се одстранити на неколико начина, најчешће загревањем на високим температурама.

Други начин је површинска обрада пунила третирањем материјама чији молекули имају поларни и неполарни део (стеаринска киселина). Поларни део се везује за пунило, док неполарни успоставља физичко-хемијске везе са молекулима каучука.

Силицијумови производи. - Песак, кварц и инфузоријска (дијатомејска) земља су природне форме силицијумових једињења различите по величини честица, степену кристалности и тврдоћи. Силицијумов песак се често користи са смолом као смолни цемент. Природни кварц се користи као пунило у фенолним и епоксидним смолама. Инфузоријска земља (фосилни остаци) се добија од остатака скелета и организама. Комерцијални производ се добија топлотним третирањем и уклањањем вишка воде из природних супстанци. Силицијумова пунила се такође добијају сушењем и пиролитичким процесима.

Пирогени силицијумдиоксид садржи мање од 2% везане воде; обично се добија сагоревањем испарљивих силицијумових једињења. Ови силицијумдиоксиди су високопојачавајућа пунила, малих честица; дају високе вредности прекидне чврстоће и отпорности на хабање, посебно код силиконских каучука.

Колоидни силицијумдиоксид је пунило из групе активних неорганских пунила. То је минерално пунило које се састоји од оксида силицијума са примесама оксида алуминијума и калцијума. Ово пунило се у природи налази као минерал властонит, који се алкалним топљењем преводи у алкалне таложне соли које се оксидишу до добијања финих честица SiO_2 .

Хидратни сталожени силицијумдиоксиди. Ова група силицијумдиоксида садржи 10-14% воде, са честицама величине 10-40 nm. Ово је група појачавајућих пунила која вулканизатима даје високе вредности прекидне чврстоће, структурне чврстоће, отпорности на хабање и тврдоће; користе се за транспарентне и обојене производе. Хидратни силицијумдиоксиди успоравају умрежавање и зато је потребно додати већу количину убрзивача или додатака, као што су гликоли или амини, да би се повећала брзина вулканизације каучукових смеша.

Општа својства ових пунила, која су од значаја за скоро све каучуке, су: велика уједначеност у величини честица, чистоћа и сјај, компатибилност са смолом, ниска апсорпција уља и влаге, хемијска отпорност и својства електро и термичке изолације. Недостатак је доста висока цена и брже старење, које они изазивају у поларним материјалима. Упркос томе, ова пунила имају све већу примену јер од свих белих пунила имају највеће појачавајуће дејство. По активности се пореде са активним чађима, због чега се називају "бела чађ".

Каучуковој смеси на бази природног каучука, SiO_2 се додаје у количини од 20 до 40% у односу на каучук. У смешама од синтетичког каучука та количина може да

буде и већа. SiO_2 утиче на повећање отпорности вулканизата на кидање, повећава еластичност и побољшава електроизолациона својства смеше. Овакве смеше, по отпорности на хабање, заостају за смешама пуњеним чађима. Ако се каучуковој смеси дода 15% SiO_2 , побољшава се технолошка прерада-каландрирање, екструдирање и смањује лепљење каучукових смеша за ваљке.

У силикатна пунила спадају алумосиликати (каолин и глина) и синтетички силикати калцијума и алуминијума добијени таложењем. Највећу примену има природни силикат алуминијума - каолин.

Каолин - Чист каолин је беле боје, а уколико садржи примесе, боја му је сива или жућкаста. Производи се као меки и тврди. Меки каолин има грубе честице, лако се меша, не повећава тврдоћу чак и ако се више дозира, па се примењује у јако пуњеним смешама. Тврди каолин има ситније честице, теже се меша са каучуком, повећава тврдоћу гуме и повољно утиче на прекидну чврстоћу. Пошто је хемијски постојан, користи се у гумама које долазе у додир са хемикалијама. Употребом каолина, снижава се цена каучукових смеша.

Азбест је минерал и сврставамо га у групу неорганских пунила. У природи је прилично распрострањен и јавља се у више различитих облика. У зависности од састава, сврстава се у две велике групе: серпентни азбест (хидратисани силикат магнезијума) и амфиболни азбест (тамно обојени силикат магнезијума). Амфиболни азбест чини група од пет различитих минерала: кроцидолит, амосит, антофилит, термолит и актинолит. Задња два минерала немају комерцијални значај.

Групу серпентног азбеста чини минерал крисолит који је познатији као бели азбест и чини 90% укупне производње азбеста. По хемијском саставу је хидрат магнезијумсиликата са двоструким слојем силицијумпентоксида и магнезијум-хидроксида.

Амфиболни азбест је минерал различите ланчане структуре где се, као основна структурна група, налази Si_4O_{11} у различитим комбинацијама са елементима Fe, Ca, Mg и Na. Азбест се дуго користи у индустрији пластичних маса, гуме и још неким сродним индустријама. Две главне предности азбеста су: релативно ниска цена и побољшање физичко-механичких својстава производа.

Талк је природни силикат који се више користи за прашковање (пудерисање) листова сирове каучукове смеше после извлачења са двоваљака или из каландра (јер спречава њихово слепљивање), а мање као пунило. Као пунило користи се при изради гумених делова од којих се захтевају добра електроизолациона својства.

Калцијумкарбонати је пунило из групе неактивних неорганских пунила. У том својству користи се у три облика: као природни, таложни и активирани калцијумкарбонат.

Кречњак (природна креда) постоји као сув и влажан са минималном величином зрна од 20 nm, с тим што ова вредност представља горњу практичну границу за поједине врсте. Суви типови обично имају честице величине 30 nm, а влажни испод ове вредности. Специфичне врсте добијају се површинском обрадом.

Таложни калцијумкарбонат настаје хемијским реакцијама, и то најчешће као нуспроизвод при добијању натријумхидроксида. Таложни калцијумкарбонат је чист калцијумкарбонат у облику белог праха. Величина честица зависи од млевења и сејања. Најситније честице имају величину од 5 nm, а средње од 5 до 10 nm. Грубе честице су од 20 nm

Активирани калцијумкарбонат настаје обрадом помоћу масних киселина (стеаринска киселина). Састоји се из CaCO_3 и једињења алуминијума, силицијума и магнезијума, а такође садржи и једињења мангана и бакра, који су отрови за гуму.

Мала вредност уљног броја и уједначена величина зрна чине да се калцијумкарбонат обрађује и проузрокује незнатно хабање машина при умешавању са полимерима. Такође, не утиче на физичко-механичка својства употребљеног каучука или смоле. Таложни калцијумкарбонат (чије су честице величине од 100 до 250 nm) поседује већи сјај и способност бојења полимера од типова са већом величином честица.

Стаклена влакна – Стакло се на тржишту појављује у три облика C, E и S.

- C стакло има низак садржај натријума; карактерише га отпорност на све киселине изузев флуороводоничне.
- E стакло је по саставу борсиликатно.
- S стакло има висок модул и високу прекидну чврстоћу.

Разни тестови на ватроотпорност показују да композити пуњени стакленим влакнима имају добру отпорност на пламен. Многе термопластичне масе и каучуци пуњени стакленим влакнима показују задовољавајуће понашање при испитивању на ватроотпорност.

Калцијумсиликат - Природно добијени калцијумсиликат користи се дуги низ година у термореактивним полимерима погодним за пресовање (каучуци, полиестри, епокси смоле и др.). Главна својства која налажу употребу калцијумсиликата као пунила у готово свим системима полимера су: релативно ниска цена, висока униформност, чистоћа и јасноћа, компатибилност са каучуцима и смолама, мала апсорпција уља и влаге, хемијска постојаност, повећана механичка отпорност и добре топлотне и електроизолационе карактеристике.

Баријумсулфат - Својства баријумсулфата као што су: хемијска инертност, мала растворљивост у води, велика густина - учиниле су да ово пунило буде заступљено у многим полимерним смешама. Зато се успешно користи тамо где се захтева висока густина материјала, као и за производе непропустљиве за X-зраке.

Оксиди метала:

- Антимонтриоксид је полупојачавајуће пунило и користи се као додатак који побољшава отпорност на горење, а понекад и као боја.
- Оловомоноксид се углавном употребљава као активатор, а због велике густине користи се у материјалима за смањење пропустљивости на радијацију.
- Магнезијумоксид састављен од ситних честица углавном се користи као акцептор киселина у полимерима који садрже халогене, и његова активност углавном зависи од величине честица. Магнезијумоксид већих честица мање је активан као акцептор киселина, али се користи у топлотно отпорним смешама за израду заптивача и мембрана.
- Титандиоксид је ефикасније појачавајуће пунило од цинкооксида. Најчешће се користи за производњу белих бокова пнеуматика, за израду опреме за болнице, итд. а као пунило даје одличну топлотну отпорност код силиконских еластомера.
- Цинкоксид се користи као активатор и појачавајуће пунило, које вулканизатима даје високу прекидну чврстоћу и одбојну еластичност. При већим дозирањима, побољшава течљивост смеса и лакше пресовање. Користи се и као бела боја.

3.4.7. Боје

Боје за полимере укључују широк опсег неорганских и органских материјала. Велики број артикала широке потрошње (цеви, играчке, маске, гумирани текстил, хигијенске гуме, санитарне гуме, обућа) 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 боја. 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 испунити следеће захтеве да:

- буду отпорне на сунчеву светлост;
- буду постојане у условима вулканизације;
- буду дисперзивни (да се добро расподељују у гуми);
- буду нерастворне у води и да не показују склоност 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 сребрнаст 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.

3.4.7.1. Неорганске боје

Бели пигменти - За добијање гуме беле боје користи се титаново бело, ZnS и ZnO . Титаново бело има добру способност бојења и даје јасно белу боју, отпорну на дејство сунчеве светлости. ZnS и ZnO се добро расподељују у каучуковој смеси, па имају добру способност бојења. Отпорни су на дејство сунчеве светлости. Недостатак ZnS је недовољна отпорност на повишеним температурама и недовољна постојаност на дејство киселина.

Црвени пигмент - Од црвених пигмената највећу примену имају антимонопентасулфид, антимоноtrisулфид, оксид гвожђа и сулфид живе. Антимонопентасулфид (Sb_2S_5) се ретко користи чист, већ у смеси са сумпором и антимоноtrisулфидом. При вулканизацији каучукових смеша Sb_2S_5 прелази и Sb_2S_3 уз ослобађање слободног сумпора, о чему се мора водити рачуна при састављању рецептура.

Црвени оксид гвожђа даје гуми променљиву боју: од жуте до црвене (нијанса зависи од поступка добијања оксида). Има малу способност бојења, а додаје се максимално до 5% у односу на каучук. Живин сулфид је јаркоцрвене боје и има добру способност бојења. Постојан је при вулканизацији, чак и у присуству веће количине сумпора, па је погодан за израду црвеног ебонита.

Жути пигменти - У жуте пигменте спадају кадмијумсулфид и кадмијумов литопон. CdS даје гуми јасно жуту боју и има добру способност бојења. Отпоран је на дејство сунчеве светлости и повишених температура. Кадмијумов литопон је смеша CdS (30%) и BaSO_4 . Има добру способност бојења, даје лимун жуту боју. Пгодан је за бојење гумираног текстила и неких хируршких предмета.

Зелени пигмент - То је оксид хрома Cr_2O_3 . Отпоран је на дејство сунчеве светлости. Користи се највише за бојење гумиране тканине. Зелена боја се може добити комбиновањем жутих и плавих пигмената.

Плави пигменти - То је ултрамарин. По саставу је силикат алуминијума и натријума, а садржи и хемијски везан сумпор. Непостојан је на дејство киселина и атмосферилија. Додаје се белим пигментима да истакне њихову белину.

3.4.7.2. Органске боје

Органске боје за гуму деле се на пигментне и таложне боје или лакове. Пигментне боје се не растварају у каучуку, док таложне боје могу бити растворне и нерастворне. Данас постоји велики број органских материјала који могу да боје каучук. Органске боје имају много већу способност бојења од неорганских, па се дозирају у знатно мањим количинама.

3.4.8. Додаци специјалне намене (остали додаци)

Остали додаци су материјали за специјалне намене. Овакви материјали дозирају се с циљем да се постигну специјални ефекти у погледу својстава вулканизата.

3.4.8.1. Средства за побољшање отпорности на хабање (абразиви)

Абразиви су материјали који побољшавају отпорност на хабање код производа који се при експлоатацији хабају. Минералне супстанце, као што је силицијумдиоксид и чађ, су ингредијенти који се додају с циљем да побољшају отпорност на хабање вулканизата.

3.4.8.2. Средства за добијање порозне гуме

Ова средства 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.

Азо-једињења и карбонати су погодне материје за ову сврху. Гасови ослобођени у току вулканизације (N_2 , CO_2 и др.), у вулканизату стварају поре (отворене или затворене) и тако настаје порозна гума, која се користи за израду седишта и у грађевинарству. Разлика између порозне и сунђерасте гуме је у томе што су код ове прве ћелије затворене и није допуштен пролазак ваздуха.

3.4.8.3. Средства за заштиту од микроорганизама и бактерија

Да би се спречио развој микроорганизама, бактерија, гљивица и осталих микроба, у гумене производе додају се супстанце које имају антимикробиолошко дејство. У зависности да ли је активна супстанца ефективна против дејства бактерија или гљивица, ове супстанце се деле на бактерициде и антимикотике. Ове супстанце уништавају бактерије, гљивице и др. или инхибирају њихов даљи развој, кад гумени производи дођу у контакт са њима. Додају се у смешу на уобичајени начин, у току процеса умешавања на двоваљку или у миксеру.

3.4.8.4. Средства за регулисање мириса

Мириси су ароматична једињења способна за прикривање и маскирање мириса који потичу од каучука и гуме. Нека од ових једињења користе се за обезбеђење пријатног мириса вулканизата (ванилин и гермициди).

3.4.8.5. Средства против горења

Највише коришћен материјал за побољшање отпорности полимера према горењу је антимонооксида. Доста се користи и антимоноксихлорид, који ослобађа хлор отпоран на горење. Фосфатни естри (трикрезилфосфат) се широко користе да смање запаљивост полимера, нарочито винилних смола. Такође се користе и хлорирани угљоводоници (хлорпарафин) и борати.

3.4.8.6. Средства за подмазивање

Неки амини, амиди и воскови додати у полимер делују као унутрашњи подмазивачи и омогућују лако вађење производа из алата. Такође, за лакше вађење гумених производа из алата често се користе сапуница и силиконска емулзија.

3.5 Врсте каучука

Задатак каучука је да обавије све додатке. Врста употребљеног каучука одређује темељна својства готовог гуменог производа. Пре свега то се односи на постојаност, старење, савитљивост на нижим температурама као и на понашање при утицају разних течности, нпр. уља, воде, или растварача. Врста каучука осим тога одређена је и помоћу механичких својстава, нпр. чврстоће и еластичности. Додавањем одређених додатака могу се нека својства мењати (нпр. тврдоћа) и побољшавати (нпр. савитљивости при нижим температурама, ударна еластичност, топлотна постојаност), него и ту постојенеке границе. Тако да нпр. није могуће основи природног каучука поправљати каучукву смешу постојану на деловање минералних уља.

Према ISO 1629 стандарду различите врсте каучука подељене су у седам група и означене су словима M, N, O, R, Q, T, U.

- Група M: Каучуци са засићеним полимерним ланцима, који се заснивају на полиметилену;
- Група N: Каучуци са атомима азота у полимерном ланцу;
- Група O: Каучуци са атомима кисеоника у полимерном ланцу;
- Група R: Каучуци са незасићеним полимерним ланцима;
- Група Q: Каучуци са силиконом у полимерном ланцу;
- Група T: Каучуци са атомима сумпора у полимерном ланцу;
- Група U: Каучуци са атомима угљеника, кисеоника и азота у полимерном ланцу.

Синтетички каучуци се могу поделити у две групе:

- Универзални, који се користе при производњи пнеуматика и масовних техничких производа;
- Специјални, који су развијени за посебне техничке примере.

Групи универзалних каучука припадају нпр. NR, SBR, BR каучуци. У групу специјалних каучука убрајају се нпр. IIR, NBR, CR, EPM, EPDM каучуци. Специјални

каучуци су добијени да би се задовољили захтеви за повишеном отпорношћу на горење, уља, озон, и слично.

Према поларности полимерног ланца каучуци се могу поделити у две групе:

- Поларни каучуци;
- Неполарни каучуци.

Неполарни каучук представља чист угљоводоник који не садржи поларне групе. Поларни каучуци поседују у молекулу осим угљеника и водоника и друге атоме или атомске групе. Гумени производи на основи поларних каучука обично су постојани, док за разлику од оних на основи неполарних каучука, на утицај бензина и минералних уља.

Према засићености полимерног ланца каучуци се деле на:

- Засићене;
- Незасићене.

3.5.1. Смеша природног каучука (NR)

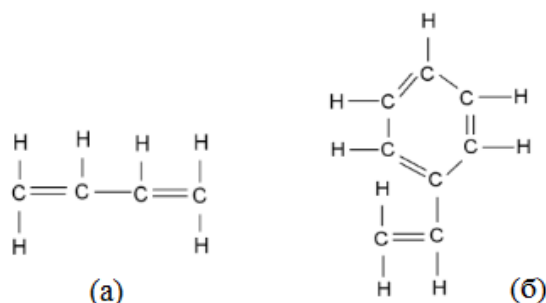
Природни каучук се добија из латекса одређених биљака. Високо молекулни угљоводоник представља чист природни каучук. Пре поступка мешања потребна се пластичност природног каучука постиже мастифицирањем. Каучукове смеше на основи природног каучука садрже између осталог и пунила, ојачала, омекшавала, додатке за спречавање старења, умреживаче и убрзиваче.

NR (Natural rubber) каучукове смеше могуће је умрежавати елементарним сумпором, тиурамдисулфидима или органским пероксидима. Гумени производи на основи природног каучука постојани су нпр. на утицај воде, алкохола, гликола, силиконских уља и масти, а непостојане на утицај минералних уља и масти, алифатске и ароматске хлороване угљоводонике. Температурни интервал примене ове смеше износи од -50°C од 80°C . Густина природног каучука је $0,9 \text{ kg/dm}^3$, а јачина на кидање 25 МПа. Када се при вулканизацији дода чађ, јачина достиже 32 МПа, док је издужење за чист каучук 700 %, а са додатком чађи издужење достиже 600 %. Примењују се у производњи транспортних трака, ремења, заптивки, рукавица и слично. Истражвањима научници су развили различите хемијске модификације (NR). Неке важне модификације укључују депротеинизовани NR (DPNR), продужено уље NR (OENR), и епоксидовани NR (ENR).

3.5.2. Стирен-бутадиенска каучукова смеша (SBR)

Стирен-бутадиен каучукове смеше се добијају од 78 % бутадиена и 22 % стирена. Полимеризација се може извести на хладно (5°C) и на топло (52°C). За разлику од природног каучука, SBR каучуке није потешко пре мешања мастифицирати. Смеше на основи SBR каучука садрже пунила, омекшиваче, умреживаче, убрзиваче и ојачиваче без којих би гумени производи имали ниска механичка својства. Омекшивач је обично минерално уље а убрзивач може бити сумпор, тиурам дисулфид или пероксид. Употребом ојачивача постижу се вредности механичких својства насупрот оних код

природног каучука, уз мању трошљивост и већу топлотну постојаност и постојаност на старење, али нижу еластичност и савитљивост при ниским температурама. У ојачаном стању стирен-бутадиен каучук достиже јачину кидања од 25 МПа, имајући при томе модул еластичности од 14 МПа и процентуално издужење од 600 %.. Температурни интервал примене ове смеше износи од -50°C од 100°C. Две трећине смеша на основи SBR каучука примењује се у производњи пнеуматика а преостали део се односи нпр. кабловске омотаче, гумена црева, заптивке, подне облаге и слично.



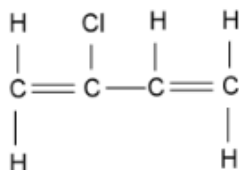
Слика 3.4. Мономер: а) бутадиена, б) стирена

3.5.3 Поли-бутадиенска каучукова смеша (BR)

Полибутадиен је на другом месту по употребљивости из групе синтетичких каучука, после (SBR). Главна примена је у машинарству и бочним зидовима пнеуматика. Поли-бутадиенска смеша има одличне способности на абразију, такође даје ниска својства отпора котрљања у машинарству пнеуматика. Обично коришћени (БР) заснован је на никл катализатору.

3.5.4 Хлоропренска каучукова смеша (CR)

Хлоропрен каучукова смеша је полимер хлоропрена и хлоробутадиена. По структури и механичким особинама веомај слична природној гуми. Ова група гума отпорна је на нафтне деривате, сунчеву светлост, озон, абразију, не потпомаже сагоревање. Користи се за заптивке, заштитне рукавице, заштитна одела, за израду конвејерских трака и као лепак. Додавањем чађе неопренским смешама повећава се отпорност на чување и абразију. Главна им је мана висока температура очврснућа. Ефикасно средство за умрежавање које се користи код ове гуме је метални оксид цинка (ZnO).



Слика 3.5. Мономер хлоропрена

3.5.5 Етилен-пропилен каучукова смеша (EPDM/ЕРМ)

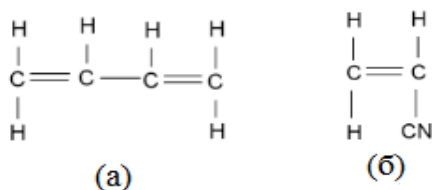
ЕРМ представља кополимер етилена и пропилена и умрежен је само са пероксидима. Током кополимеризације етилена и пропилена може се додати и трећи мономер по називу диен. Овај додатак трећег мономера створио је терполимер са једним незасићеним мономером. Добијени терполимер је познат као EPDM.

Овај полимер може бити умрежен сумпором јер полимерни ланац има засићеност. ЕПДМ кополимер може да се прошири са веома високим вредношћу не појачавајућег пунила, које може бити и до 200% његове сопствене тежине. Високо проширено ЕПДМ једињење се углавном користи у економичним гуменим производима.

Гумени производи на основи EPDM каучука постојани су на утицај топлоте, старења и на утицај агресивниг медија. Поседују добру еластичност а примењују се за прављење печата, профила у аутомобилској индустрији, за производњу флексибилних цеви и за изолацију каблова. Температурни интервал примене ове смеше износи од -50°C од 130°C.

3.5.6 Нитрил каучукова смеша (NBR)

Нитрил каучукова смеша представљаја кополимере акрилонитрила и бутадиена. То је незасићени полимер због присуства јединице бутадиена. Физичка и хемијска својства нитрилне гуме зависе од укупног броја садржаја акрилонитрила у гуми. Са већим садржајем нитрила расте и пластичност гуме. Боља својства отпорности на уље резултат су повећане поларности. Полимер са ниским садржајем акрилонитрила понаша се попут гуме и очвршћује се нормалним системом за умрежавање тј. сумпором. Полимер са вишим нивоом акрилонитрила није погодан за примену на ниским температурама. Гумена смеша NBR користи се у аутомобилској индустрији за прављење црева за горива и уља, заптивки. У зависности од садржаја акрилонитрила, температурни опсег примене ове смеше је веома широк. Ова компонента помаже NBR-у да буде идеалан материјал за аутомобилску употребу. Нитрилна гума је отпорнија од природне гуме на уља и киселине, али има мању чврстоћу и флексибилност, такође је отпорна на алифатске угљоводонике. Међутим, подложна је нападима озона, ароматичних угљоводоника, кетона, естера и алдехида, услед присуства незасићености у његовој структури. Након хидрогенизације добија се нова група еластомера под називом хидронизована нитрил-бутадиенска гума HNBR. Њена својства су боља за разлику од нитрилних гума али је овај еластомер нешто скупљи. Слично томе је карбоксилирана нитрилна гума XNBR.



Слика 3.6. Мономер: (а) бутадијен, (б) акрилонитрил

3.5.7 Хидрогенизована нитирлна бутадиенска каучукова смеша (HNBR)

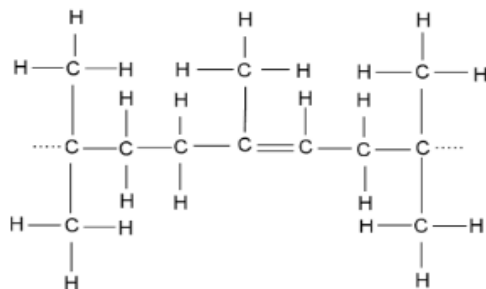
Својства HNBR зависе од степена хидрогенизације. Због хидрогенизације проценат незасићености полимера је смањен, и као резултат HNBR показује побољшану отпорност на напад озона и високу отпорност на топлоту. Због ниског нивоа засићености смеша показује добра својства отпорности на топлу воду и пару. За најбоље особине, користи се пероксидно стврдњавање, осим ако није потребна мала хистереза.

3.5.8 Етилен-винил-ацетат каучукова смеша (EVA)

Ова смеша представља кополимер етилена и винил ацетата. EVA представља потпуно засићену смешу. Због велике засићености полимер има високу температурну стабилност. Својства полимера EVA зависе од односа садржаја етилена и винил ацетата. Смеша са већим уделом етилена понаша се попут пластике, док је смеша са већим садржајем винил ацетата попут гуме. Постоје разне врсте EVA смеша, а главне разлике између група су у садржају винил ацетата и вискозности полимера. Већи удио винил ацетата у кополимеру смањује кристализацију. Стога су кополимери са високим садржајем винил ацетата аморфни. Вулканизате из ове групе одликује одлична отпорност на старење и веома добра постојаност на повишеним температурама током дужег времена. Отпорност на топлоту EVA групе надмашује само силиконска гума, флуоро гума и еквивалентна је акрилној гуми. EVA такође има боље понашање отпорности на пламен. Где год је потребан полимер отпорности на халоген без халогена, бира се EVA. Својства EVA без халогена, попут отпорности на ниске и високе температуре, отпорности на уље, стабилности времена и озона и обрадивости, нуде најбоље поређење перформанси и трошкова међу специјалним еластомерима.

3.5.9 Бутил каучукова смеша (IIR)

Кополимер изобутилена и бутадиена или изопрена се назива бутил каучукова смеша. Ова врста гуме има збијену структуру која је чини непропустљивом за ваздух под притиском. Зато се ова смеша доста примењује у изради унутрашњих гума на точковима, у изради унутрашњег слоја тубелес гума, као и за пасте намењене крпљењу гума. Бутил гума има добру отпорност на чупање, абразију као и на старење. Слабо је отпорна на нафтне деривате, није отпорна на пламен, али има веома добру отпорност на киселине и раствараче као и на пораст кртости и тврдоће на ниским температурама. Поседује веома добре електро-изолационе особине па се зато употребљава као изолациони материјал за електро опрему.



Слика 3.7. Полимер бутил гуме

3.5.10 Силикон каучукова смеша (VMQ/MVQ/HTV)

Силиконска гума се разликује од осталих полимера, јер се њен модел састоји од Si-O-Si јединица. Због своје основне структуре, показује одлична својства на високим и ниским температурама. Општа радна температура силиконске гуме је од -55°C до 230°C . Особина отпорности на временске утицаје такође је врло добра. У поређењу са органским гумама, затезна чврстоћа стандардних силиконских гума је мања. Из тог разлога се ове гуме примењују код малих оптерећења производа. Постоје и силиконска гумена једињења побољшане затезне чврстоће.

3.5.11 Акрилна каучукова смеша (ACM)

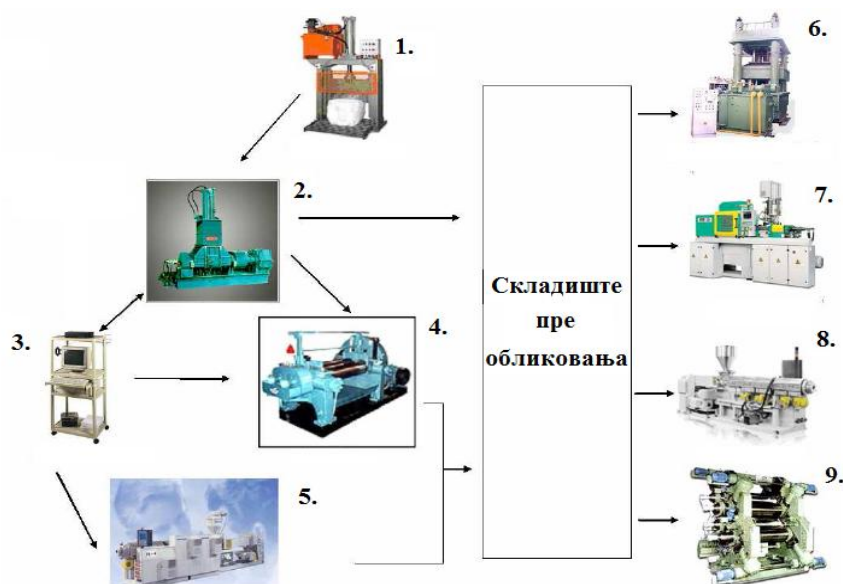
Акрилна каучукова смеша, позната је под хемијским именом кополимер алкил акрилат (ACM) је врста смеше која има изузетну отпорност на вруће уље и оксидацију. Има континуирану радну температуру од 150°C и повремену граничну од 180°C . Недостаци су ниска отпорност на влагу, киселине и базе. Не треба га користити на температурама нижим од -10°C . Обично се користи у аутомобилским мењачима и цревима.

3.5.12 Флуорокарбон каучукова смеша (FVMQ)

Флуеластомери представљају групу синтетичке гуме. Пружају изванредну способност отпорности на хемикалије, уље и топлоту, истовремено пружајући корисни век до 200°C . Веома висока топлотна стабилност и одлична отпорност на уља ових материјала су последица присуства хемијски инертних атома флуора у позадини полимера. Снага везе C-F је врло велика, што захтева веома велику енергију за дисоцијацију. То је још један разлог високе стабилности флуороеластомера на високој температури. Оригинални флуороеластомер је био кополимер хексафлуоропропилена и винилиден флуорида. Ду Понт га је развио 1957. године, за потребе високих перформанси за заптивање у ваздухопловној индустрији. Да би се обезбедила још већа топлотна стабилност и отпорност на раствараче, 1959. године уведен је тетрафлуороетилен који садржи флуороеластомерне терполимере, а верзије FVMQ са нижим вискозитетом уведене су 1960. године. Флуороеластомери се могу класификовати према њиховом садржају флуора, односно 66%, 68%, односно 70%. Флуороеластомери са већим удјелом флуора имају повећану отпорност на течност која је изведена из повећања нивоа флуора. Флуороеластомери очврснути пероксидом имају суштински бољу отпорност на воду, пару и киселину. Флуороеластомери се користе у широком броју различитих примена високих перформанси. FVMQ пружа, дугорочну поузданост чак и у отежаним окружењима. Неке од примена ове групе еластомера су индустрије попут ваздухопловства и аутомобила које укључују разне делове као што су: заптивни прстенови у горивима, мазивима и хидрауличким системима, заптивке вратила, заптивке за осовине вентила, О-прстенови за убризгавање горива.

4. Поступци мешања каучукових смеша

Каучукову смешу сачињава, како је већ споменуто каучук и низ додатака. При томе је каучук у облику вискозне ствари, омекшивачи су претежно течна или у облику пасте, док су остали додаци уобичајно прашкасти. Све компоненте се мешају према унапред задатој рецептури (слика 4.1).



Слика 4.1 Ток мешања каучукових смеша (1. Резалица каучука, 2. Гњетелица, 3. Процесни рачунар, 4. Двоваљак, 5. Екструдер, 6. Преса за равно пресовање,

7. Бризгалица, 8. Профилни екструдер, 9. Каландер)

Производ тих поступка јесте смеша. Она настаје мешањем једноставних састојака, који се потом не могу раздвојити физичким и механичким поступцима. При мешању које представља интензивно раздвајање честица молекула увек се развија или троши топлотна енергија. У смеси постоји чврста веза између честица и нема празнина.

Пре мешања потребно је измерити потребне количине каучука и свих додатака, зависно по ком се рецепту ради. Без обзира што је потребно измерити и дозирати поједине састојке каучукове смеси, ипак одлучујући утицај на квалитет каучукове смеси има поступак мешања на двоваљку или гњетилици.

Последњих година се у циљу боље координације и лакше контроле, поступак мешања каучукових смеша води рачунарским системима, што има за исход високе квалитете каучукових смеша.

Мешање на двоваљку је процес мешања у једном кораку, док мешањем у гњетилици каучукову смешу је потребно дорадити на двоваљку. Након завршетка мешања каучукова смеша се скида са двоваљка у облику листова и хлади се на ваздуху или у води. Након завршетка процеса хлађења, најчешће након 24 часа, узимају се узорци каучукове смеси због лабораториског испитивања и утврђивања

задовољавајућих својстава. Тек након добијених резултата каучукова смеша се зависно од резултата испитивања даље прерађује или иде у даље у производњу. Само такав поступак омогућује осигуране трежене квалитете гумених производа. Својства контроле посебно су важна за даљи процес прераде, јер се често јављају велике разлике од шарже до шарже. Коришћена литература за четврто поглавље је [12].

4.1. Мешање на двоваљку

Двоваљчане мешалице биле су у почетном раздобљу производње полимера основне машине за прављење смеша.

Двоваљак се састоји, као што и сам назив говори, од два водоравно, један иза другог, постављена челична ваљка, између којих се по вољи може подешавати размак (ззор). Ваљци се окрећу и супротним смеровима, различитим брзинама (трење-котрљање), предњи у односу на задњи у размери од 1:1,1 до 1:1,5. На тај начин се осигурава боље смичуће напрезање каучука у празнини што резултира интензивније мешање додатака у краћем временском периоду.

Током мешања на двоваљку врше три процеса:

- Мастицирање каучука;
- Мешање каучука са додацима;
- Предгревање каучукове смеше пре даље обраде.

Због великог трења током мешања каучукова смеша се загрева. Ваљци се морају хладити јер температура смеше не сме бити виша од 100 °C. Више се температуре сусрећу при мешању активних пунила у смешу. Двоваљак је опремљен и сигурносним уређајима како ваљци не би захватили руке радника. Прашина и гасови који настају током мешања уклањају се са радног места вентилационим уређајима.

Отвор између ваљка подеси се на почетку рада, тако да ротирајући ваљци могу ухватити и повућу комаде каучука. Након што комади прођу између ваљака радник који рукује машином враћа их поново кроз отвор између ваљака. При томе се размак између ваљака може проширивати. Након неколико преласка поједини се комади удружују и чине хомогену масу, која ствара превлаку на предњем ваљку (слика 4.2). Да би маса постала хомогенија повремено се режу делови масе, скидају се са ваљка и поново убацују између њих. На мањим машинама се резање изводи ручно, док на великим производним ваљцима се резање обавља аутоматски и континуално.



Слика 4.2. Мешање каучукове смеше на двоваљку

Двоваљци морају имати веома тврду површину, нарочито због резања трака каучука јер се тада нож за резање упре у површину ваљка. Ваљци се према потреби хладе водом. Да би се повећао учинак машине предњи се ваљак обично okreће нешто спорије од задњег. Оба се ваљка покрећу истим мотором и међусобно су повезани зупчаницима са дугим зубима, како би ваљци остали у вези и када се размичу. Када се прерађује материјал који изазива велико трење, сваки се ваљак засебно покреће. Мешање по правилу траје од 30 до 45 минута а понекад и дуже.



Слика 4.3. Двоваљак за мешање каучукове смеше у предузећу Хемигум Плус

4.2. Мешање у мешалицама

Мешање смеше каучука и додатака, обавља се и у мешалицама (миксерима). Тај се уређај састоји од затворене коморе са два ротора неправилног, крушкастог облика. Ротори се okreћу један према другом и том приликом притискају и мешају каучук између ваљака, али и између појединачног ваљка и зида коморе. Процес се одвија много ефикасније и у већем простору, па је за мешање у мешалици потребно много мање времена него за мешање на двоваљку. Поред тога, рад мешалице се може аутоматизовати и тада особље није у директном контакту са машином, чиме се избегавају многе несреће, које су честе када се мешање обавља двоваљцима. Ротори се према потреби могу хладити водом, често се ротори okreћу различитим брзинама да би се повећала ефикасност мешања. Након завршеног мешања, каучук се испушта отварањем дна мешалице. Каучук који је изашао из мешалице неправилног је облика и често подењен у неколико комада, па се читава маса одводи или испушта директно у машину са двоваљцима, који је хомогенизирају и обликују у плоче прикладне за даљу

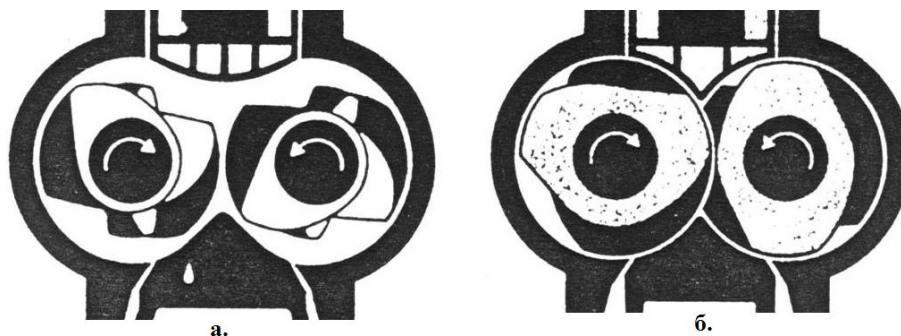
прераду. Запремина мешалице у великим индустријским погонима износи и до 250 dm³. На слици 4.4 приказан је изглед индустријске мешалице.



Слика 4.4. Индустријска мешалице

На основу међусобног положаја лопатица, мешалице се могу поделити у две велике групе:

- мешалице са лопатицама који се додирују (слика 4.5. а.);
- мешалице са лопатицама у захвату (слика 4.5. б.).



Слика 4.5. Подела мешалице по механизму рада: а) лопатице које се додирују; б) лопатице у захвату

Код додирујућих лопатица боље је увлачење каучукове смеше и лакше се празни комора мешалице по завршетку процеса. Код типа са лопатицама у захвату смеша се више затежуће деформише, чиме се постиже уједначени распоред температура у смеши.

4.3 Континуално мешање

Последњих година развијено је више врста континуалних мешалица. Увођење такве опреме за мешање сумњиво је све док се облик улазне сировине не прилагоди принципу рада сваке континуалне мешалице.

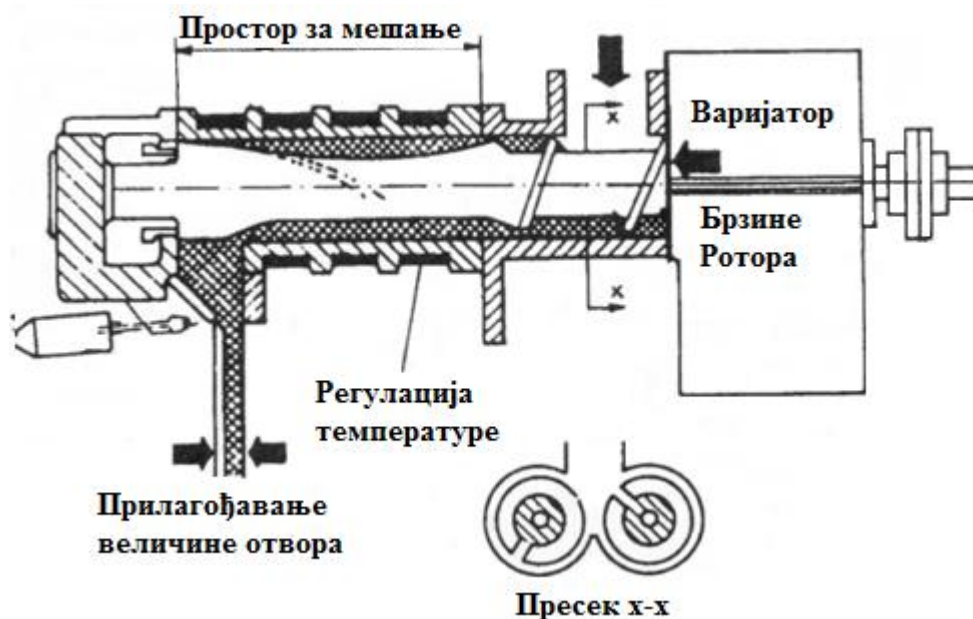
Развијено је више начина континуалног мешања, а споменућемо неке од њих:

- ЕКВ поступак;
- Троестеров пужни ваљак;
- Maillefer-ов начин мешања.

При ЕКВ поступку ради се о екструдеру за континуално мешање, а који се од уобичајних екструдера по томе што посебна конструкција пужног ваљка омогућује мешање и гњечење каучукове смеше.

Троестер је развио пужни ваљак за вакум екструдере. Геометрију пужног ваљка чини зона за мешање и зона смицајног течења каучукове мешавине.

Маилферов начин мешања састоји се из коморе континуалне мешалице која се састоји од два ротора у облику пужног вијка.



Слика 4.6. „Forerel Bridge“ континуални миксер

5. Обликовање каучукових смеша пре вулканизације

Добро измешана смеша каучука и потребних додатака мора се обликовати, формирати у предмет из ког ће након завршене операције вулканизације настати коначан гумени производ. Поступци обликовања полимера тј. дуромера, еластомера и еластопластомера деле се на цикличне и континуалне. У цикличне поступке се убрајају директно, посредно и инекцијско пресовање, а осим тога и поступак дувања док се у континуалне поступке убрајају екструдирање и каландирање. На слици 5.1 приказана је класификација поступка обликовања полимера. Коришћена литература за писање петог поглавља је [10].



Слика 5.1. Класификација обликовања полимера

Поступци обликовања каучукових смеша могу се поделити у две групе:

- Поступци обликовања уз истовремено умрежавање каучукове смеше;
- Поступци обликовања којима се обликују неумрежени полупроизводи који се потом умрежују у одвојеним процесима.

5.1. Циклични поступци обликовања каучукових смеша

Као што је раније споменуто међу цикличне поступке обликовања убрајају се директно, посредно и инекцијско пресовање који су између осталог и најважнији циклични поступци.

5.1.1. Директно пресовање каучукових смеша

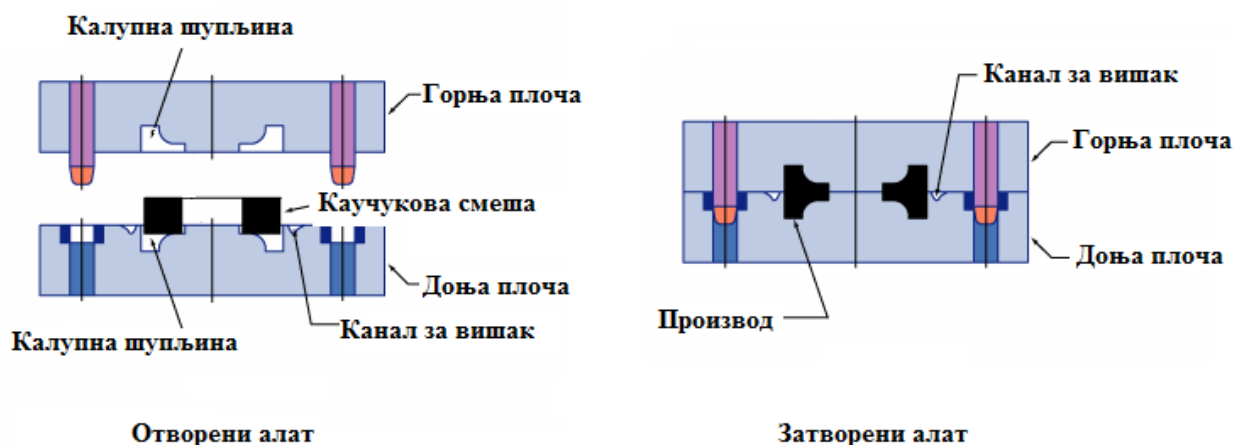
Директно пресовање спада у групу најстаријих и најједноставнијих поступака обликовања каучукових смеша. Уколико се делови обликују овим поступком тада се уједно и вулканизирају.

Предности поступка директног пресовања:

- Јефтини и једноставни калупи, што омогуује релативно јефтину производњу гумених производа у малим серијама;
- Могућност производње гумених производа сложене геометрије за које не постоји могућност аутоматизације;

Недостаци поступка директног пресовања:

- Неједнака количина протока, што може неповољно утицати на димензијску стабилност гуменог производа;
- Посупак захтева велик број фаза производње гуменог производа.
-



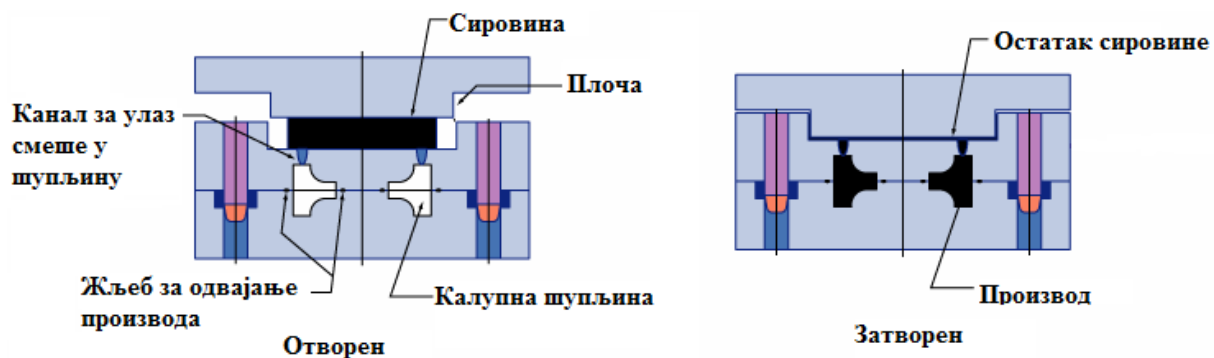
Слика 5.2. Проказ алата за директно пресовање



Слика 5.3. Преса за директно пресовање каучука у предузећу Хемигум Плус

5.1.2. Посредно пресовање каучукових смеша

Директно пресовање каучукових смеша обележено је бројним недостацима, а њихово делимично уклањање омогућује посредно пресовање. На слици 5.4. приказан је принцип рада посредног пресовања. Овом врстом обликовања постижу се боља својства и повећава се димензиона стабилност отпреска уз истовремено скраћивање циклуса.



Слика 5.4. Приказ алата за посредно пресовање

Посредно пресовање је циклични поступак обликовања убризгавањем каучукове смеше одређене вискозности из коморе за убризгавање у калупну шупљину. Уколико се делови обликују овим поступком тада се уједно и вулканизирају. Производ односно отпресак након умрежавања постаје подобан за вађење из калупа.

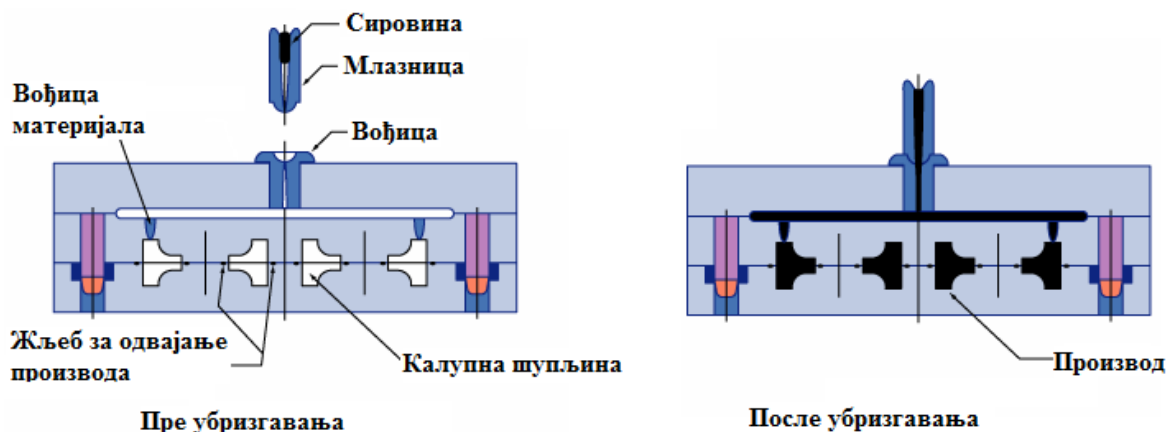
5.1.3. Бризгање каучукових смеша

Бризгање смеша најпроширенији је поступак прераде полимерних материјала. Њиме се прерађују полимери (пластомери, еластомери и чврсти дуромери). Пластомери су били први материјали који су се прерађивали бризгањем.

Брзи развој бризгања каучукових смеша тумачи се предностима самог поступка у односу на поступак директног или посредног пресовања и то:

- Гумена смеша не мора бити у облику сировине;
- Непотребан је транспорт и међускладиште у облику сировине;
- Није потребно убацати сировине у калупну шупљину;
- Краће време умрежавања;
- Повишен квалитет производа;
- Могућност постизања облика производа који се не може постићи другим поступцима прераде.

Данас се бризгањем производе гумени производа од 10 г до 10 кг. Нови производни погони морају се пројектовати тако да омогуће економичну производњу уз минималан утрошак енергије. На слици 5.5. приказан је принцип рада бризгања смеше.



Слика 5.5. Приказ алата за бризгање

5.2. Континуални поступци обликовања каучукових смеша

Од континуалних поступака обликовања каучукових смеша најважнији, а уједно и најзаступљенији поступци су каландрирање и екструдирање.

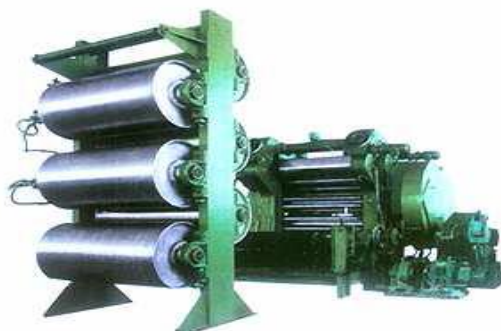
5.2.1. Каландрирање

Каландер је машина која смешу каучука и додатака формира у плоче жељене дебљине. Употребљава се такође за гумирање тканина. Машина се састоји од 2 - 4 ваљка, који се могу загревати или хладити и којима се међусобни размаци могу мењати. Једноставан каландер са два ваљка употребљава се за израду плоча дебљине 0,3 - 2 мм. Такав се каландер повезује са посебним екструдером, па смеша из екструдера улази директно међу ваљке. Много се чешће употребљавају каландери са 3 ваљка.

У производњи плоча трећи ваљак може служити за хлађење већ каландиране плоче пре намотавања у ролне. У каландерима са три ваљка директно се помоћу мотора покреће средњи ваљак (а остала два су везана с њим преко преносника и могу се примичати или одмицати од средњег ваљка). Ваљци се могу окретати истом брзином или да би се повећало трење, различитим брзинама. Необично је важно да смеша и ваљци каландера буду пре каландирања загрејани на потребну температуру. Ниска температура проузрокује неједноликост и храпавост материјала, а на превисокој температури стварају се мехурови. За успешно каландирање, тј. за избор најповољније температуре, брзине окретања и трења међу ваљцима, потребно је велико искуство.

За гумирање тканина употребљавају се каландери са три или четири ваљка. Њихов положај и начин рада може бити врло различит. На каландер са три ваљка се може гумити само једна страна тканине. За обострано гумирање делимично гумирана тканина мора поново проћи кроз такав каландер са 4 ваљка. Утискивање смеше у тканину постиже се захваљујући трењу које настаје између ваљка и тканине. У каландеру са три ваљка средњи се ваљак окреће брже од осталих. Смеша се убацује између првог и другог ваљка и хвата се на други топлији ваљак. Тканина улази у машину између другог и трећег ваљка, (тј. спорије од окретања другог ваљка), смеша пролази преко тканине и под притиском који влада између ваљка утискује се у тканину. Тако се, нпр. израђују гумене транспортне траке. Тканина се обично мора пре гумити да би се остварио бољи контакт између тканине и каучукове траке.

На савременим, великим каландерима, размак између ваљака, не намешта се ручно већ помоћу уређаја са електромоторима. Дебљина плоче која излази из каландера може измерити помоћу уређаја са бета-зрацима. Тај уређај, ако је потребно, аутоматски подешава размак међу ваљцима и омогућује израду плоче сталне дебљине. Каландрирање каучукових смеша је континуални поступак прављења бесконачних трака обликовањем високо вискозног полимера, његовим пропуштањем између парова ваљака каландра с подешавајућим зазором између њих. При томе ваљци гњече полимер. Каландар може имати постављене ваљке у облику I, F, S, Z и L.



Слика 5.6. Приказан је каландер

5.2.2 Екструдирање каучукових смеша

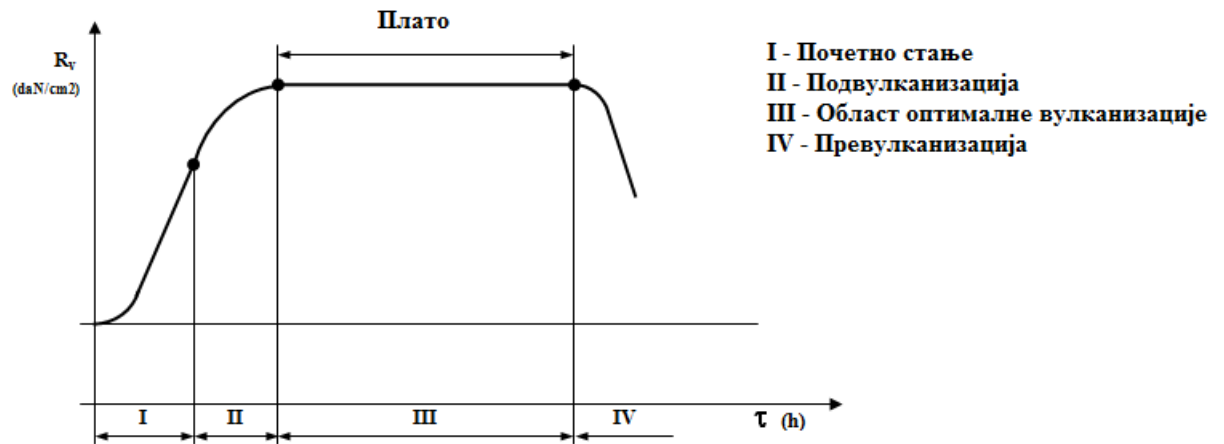
У производњи различитих гумених профила и гумених цеви употребљавају се екструдери. У тим се машинама смеша каучука и додатака потискује кроз тело екструдера, а затим истискује кроз плоче са отворима жељеног облика и димензија. Смеша за екструдирање може се доводити у екструдер ручно или аутоматски са машине са ваљцима. Из смеша које се не вулканизирају под притиском треба приликом екструдирања отклонити ваздух и велики део влаге, јер би у противном материјал после вулканизације могао бити порозан. У неким екструдерима смеша због тога пролази кроз део који је у вакуму, где се уклања ваздух и влага из смеше. За постизање жељене вискозности смеше необично је важно да се у таквим екструдерима, а нарочито у вакуму, температура контролише и тачно подешава. После изласка из отвора екструдера профилисана смеша обично мало промени свој облик и набубри. То треба узети у обзир приликом формирања отвора за екструдирање. На слици 5.7. показан је пресек екструдера.



Слика 5.7. Пресек екструдера

6. Вулканизација каучукових смеша

Вулканизација је хемијски процес који се састоји у томе да каучук за себе веже сумпор, при чему настаје промена својстава каучука, а настаје производ који се назива гума, са изузетно бољим својствима тврдоће, еластичности и отпора према хабању. Процес вулканизације је каталитички хемијски процес који се одвија на свим температурама, али се знатно брже одвија под одређеним условима. Реакција сумпора на каучук се одвија све до постизања садржаја од 32% сумпора. Сам процес вулканизације одвија се у току времена, које се може се поделити на четири стадијума, када настаје повећање затезне чврстоће, што илуструје слика 6.1.



Слика 6.1. Крива вулканизације

У почетној фази вулканизације каучукова смеша још увек је пластична, али се показује почетак умрежавања и пораст затезне чврстоће у току времена вулканизације. У овој фази вулканизације могућа је и нежељена појава да је смеша већ пре почетка вулканизације "предвулканизирана", што значи да је смеша изгубила један део своје пластичности и није више најпогоднија за даљу прераду, а обрађене површине нису глатке. Да би се спречила ова појава додају се смеси пре вулканизације успорачи вулканизације.

Друга фаза је подвулканизација, који претходи оптимуму вулканизације у коме у току времена настаје интензиван пораст затезне чврстоће, мада вулканизација није завршена.

Трећа фаза вулканизације је област оптималне вулканизације, када је постигнута максимална затезна чврстоћа (плато вулканизације). Нормално, вулканизација се никада не изводи до постизања максималне затезне чврстоће, јер њеним постизањем настаје опадање и отпорности према старењу. Тако за постизање свих најбољих

својстава гуме нису исти услови вулканизације, јер нпр. ако се жели највећа отпорност према хабању вулканизација се изводи на одређеној температури и времену, али при томе неће бити постигнута највећа друга својства. Смеше за вулканизацију се према променама око највеће затезне чврстоће деле на смеси са широким и уским платоима. Најповољније смеси каучука (са правилним избором убрзивача вулканизације) су оне које имају широки плато вулканизације, јер измена физичко-механичких својстава је поступна, па је далеко лакше руководити процесом вулканизације.

И последња фаза вулканизације је превулканизација каучукове смеси а то је област где настаје смањење свих својстава, првенствено затезне чврстоће, издужења и отпорности према хабању. Оптималним избором убрзача вулканизације са једне стране и додатом одговарајућој количини сумпора са друге стране осетљивост на превулканизацију се смањује. Коришћена литература за писање шестог поглавља је [10].

Вулканизација, зависно од примењене методе, може бити:

- Хладна вулканизација;
- Вулканизација са парама сумпор хлорида;
- Топла вулканизација:
 - вулканизација зрачењем
 - термичка вулканизација.

Хладна вулканизација се примењује код добијања танких гумених предмета, који се потапају у 1,5 до 5% раствора сумпорхлорида у угљен дисулфиду, у току 2 до 20 секунди, зависно од дебљине. Иако поступак изгледа јако једноставан ипак се мора извести са пуно искуства и пажње, јер дуже време вулканизације изазива добијање крте и ломљиве гуме. После вулканизације неопходно је гуму ослободити од тешког мириса раствора за вулканизацију путем прања, сушења, односно кувања у алкалним растворима. Вулканизација са парама сумпор хлорида се ређе применује 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.

Топла вулканизација се најчешће примењује у индустрији гуме, а у њеном току дешавају се следеће промене:

- Смеша каучука и додатних материјала помешана са сумпором се загрева до температуре 135-160° С у току времена које зависи од њене количине.
- Добијена гума, поред тога што је неосетљива према атмосферским утицајима, постаје еластичнија, има повишену чврстоћу и отпорност према хабању.

- Гума скоро у потпуности губи растворљивост и лепљивост.

Само извођење топле вулканизације, која се обавља на готовим предметима од смеше каучука и додатних материја се изводи у:

- Котловима за вулканизацију (аутоклавима);
- Пресамa, које могу бити хидрауличне, пнеуматске и механичке;
- Пресамa - аутоклавима, које су комбинација котла и пресе;
- Пресамa, за извођење континуиране вулканизације.

Основни параметри процеса топле вулканизације су:

- Температура;
- Време;
- Притисак.

Температура на којој се изводи топла вулканизација је нормално 135 – 160 °C. Ниже температуре утичу на то да је процес вулканизације успорен, а више температуре 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 времена у коме настаје везивање сумпора са каучуком T_v , односно:

$$T_u = T_z + T_v$$

Код вулканизације масивних предмета обраде процес се прекида нешто раније да би се спречила могућност површинске превулканизације која се може избећи и оптималним избором слојевите смеше за вулканизацију, с тим да спољни слојеви имају шири плато вулканизације.

Код вулканизације 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 просторима за истицање вишка смеше за вулканизацију, с 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 10 - 12 ат, односно 1 - 1,2 МПа.

6.1. Вулканизација у котловима (аутоклавима)

Вулканизација гумених производа у котловима изводи се при притиску већем од атмосферског. Обично се примењују хоризонтални котлови (слика 6.2.) пречника 0,9 – 3,0 м и дужине од 1 – 40 м. У котловима вулканизација се може изводити у зони засићених водених пара, прегрејане паре, врелог ваздуха или вреле воде.



Слика 6.2. Аутоклав за вулканизацију у предузећу Хемигум Плус

При вулканизацији у зони врелог ваздуха загревање се обично изводи у самом котлу преко спиралних парних грејача или калорифера распоређених низ бочни зид. Понекад се примењује принудна циркулација врелог ваздуха помоћу вентилатора, постављеног унутра на дну котла. Вратило вентилатора долази споља (кроз семеринг) и покреће се електромотором. Такви котлови се примењују за вулканизацију стиролних каучука, а могу бити искоришћени и за вулканизацију у зони врелог ваздуха.

У доњем делу котла за вулканизацију уграђују се колица за кретање по шинама унутар котла. За аутоматско одвођење кондензата, у котао или на спиралне грејаче, уграђују се кондензациони судови (лонци). Котлови се обично постављају паралелно у погону тако да се могу опслуживати једном дизалицом (монорејом).

Постоје разни начини вулканизације у котловима:

- отворена вулканизација производа;
- вулканизација у талку (праху);
- вулканизација под заштитом;
- вулканизација у калупима.

Производи предвиђени за вулканизацију смештају се у котао на вагоне. Након пуњења котла поклопац на котлу се затвара и осигурава. У котао се доводи пара са продувавањем ради одстрањивања 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 наставља са довођењем паре у котао 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 поклопац и врши вађење вулканизованих производа.

Ради убрзавања процеса пуњења и пражњења котла примењује се палетни систем паковања производа намењених за вулканизацију. На тај начин, у технолошки процес вулканизације, без обзира на начин вулканизације спадају:

- пуњење и затварање котла;
- увођење паре у котао са продувавањем;
- испуштање паре из котла;
- отварање котла 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 котла. У овом случају, поред притиска ваздуха у котлу регулише се и температура. Савремени котлови за вулканизацију опремљени су уређајима за аутоматску контролу и подешавање. Увођење и испуштање паре и сабијеног ваздуха изводи се помоћу електропнеуматског уређаја. Подешавање температуре паре и ваздуха изводи се помоћу регулатора температуре а притисак сабијеног ваздуха регулатором притиска.

6.1.1. Отворена вулканизација у котлу

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 и задржи се на површини дела изложеног вулканизацији, може изазвати стварање рукаваца (удубљења). Зато је неопходно предузети мере и спречити продужено дејство кондензата на површини дела и стварање рукаваца.

6.1.2. Вулканизација у талку (праху)

На овај начин се вулканизују гумене цеви, заптивачи и остали слични производи. Специфичност овог начина вулканизације је та што се делови слажу на плато са талком и накнадно се засипају по површини. Плато се затвара поклопцем ради заштите делова од утицаја кондезата. Талк 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 засипање талком.

6.1.3. Вулканизација под заштитом

При вулканизацији под заштитом производи се пре уласка 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 вратила, 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.

6.1.4. 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 хидрауличним, пнеуматским или механичким пресама а делови калупа се спајају специјалним фиксаторима или вијцима након чега се постављају на колица и убацују у котао. Котао се затвара и врши увођење паре. Након завршетка вулканизације изврши се испуштање паре, отварање и пражњење котла.

За овај начин вулканизације потребна је примена специјалних калупа за чији је претовар потребно значајно време што изазива прекомерне губитке паре. Операције повезане са транспортом (претоваром) котлова и калупа тешко је механизовати поготово што се овај начин вулканизације примењује само за делове великих димензија

који се не могу вулканизовати на хидрауличним пресама или аутоклавима, а такође и за производе средњих димензија у мањим количинама.

6.2. Вулканизација у пресама

Постоје пресе за вулканизацију разних конструкција:

- са хидрауличним погоном,
- са полужно-механичким погоном,
- са полужно-пнеуматским погоном.

Пресе са хидрауличним погоном имају универзалну примену и могу се користити за вулканизацију разноврсних предмета висине од 120-140 мм.

Хидрауличне пресе за вулканизацију са доњим положајем цилиндра састоје се од следећих основних делова: два вертикална рама (или 2, 3 и 4 вертикална стуба), радног цилиндра, потискујућег клипа, покретног попречног стола, горњег непокретног попречног стола, парних плоча, цевовода за довод паре и цеви за одвод кондензата. Постоји конструкција хидрауличне пресе са рамовима и пресе са стубовима. Примењују се пресе са димензијама плоче 300х300 мм, 400х400 мм, 600х600 мм, 800х800 мм, 600х1200 мм и 1200х1200 мм. Вулканизација гумених производа мањих димензија изводи се у металним калупима који могу бити учвршћени на столу пресе или покретни.

Производи веће дужине – транспортне траке, погонски каиши вулканизују се непосредно на вишечилиндричним пресама са дужином плоче од 1200-10000 мм. Плоче хидрауличних преса за вулканизацију обично се загревају паром, а понекад врелом водом или електричном енергијом. Постојаност температуре при загревању електричном енергијом изводи се помоћу аутоматског регулатора.

Пуњење калупа се изводи у топлом стању што захтева брзо обављање процеса јер би у противном могло доћи до појаве подвулканизације гумене смеше. Калупи се постављају на плоче пресе. На сваку плочу пресе (етаж) може бити постављено више калупа исте висине. Уколико су производи а самим тим и калупи мале висине могуће је извести слагање калупа један на други (не више од 2-3 калупа). Пуњење калупа смешом гуме мора бити нешто веће него што то захтева величина производа да би дошло до потпуне попуње гнезда у калупу. Вишак смеше у процесу вулканизације се разлива у преливне канале где се формира отпресак који се касније отсеца.

За време вулканизације калупи се постепено загревају при чему долази до ширења смеше гуме у гнездима при чему се ствара огроман притисак захваљујући коме долази до добре (потпуне) попуње гнезда 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 испуст течности високог притиска при чему долази до растеређења калупа након чега се може извршити отварање и вађење вулканизованих производа. Да би се прекинула даља прекомерна вулканизација производа дозвољено је да се изврши хлађење калупа водом.

Загревање калупа при вулканизацији изводи се са две стране, одозго и одоздо, због чега није препоручљиво на овај начин вулканизовати предмете велике висине због немогућности равномерног загревања дела. Температура плоче при вулканизацији је неједнака, при чему је температура средњег дела виша за 3-5 °C него на крајевима због интензивнијег одвођења топлоте по обиму. Температура вулканизације на пресама обично се креће у опсегу 135-160 °C.

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

Пресе за вулканизацију се постављају на ред тако да један радник може истовремено опслуживати више преса. Примењују се пресе са једностраним и двостраним опслуживањем. Више етажне пресе имају обично двострано опслуживање што значи пуњење и пражњење калупа изводе истовремено два радника са обе стране, при чему један радник ради на доњим етажама, а други на горњим.

Сада су у примени све чешће пресе са покретним калупима касетног типа, при чему се доња половина прави у облику ластиног репа и учвршћује за плочу пресе. Покретљивост доњег калупа, иако је ограничена, ипак много олакшава рад на преси. Горња половина калупа се скида само ради чишћења гнезда. Ради лакше покретљивости калупа, поставља се на челичне куглице пречника 3 – 4 мм.

Због правилног међусобног налегања горњег и доњег калупа уграђују се чивије за центрирање. У индустрији су у употреби полуаутоматске хидрауличне пресе за вулканизацију са касетним калупима са уређајем за аутоматско затварање и отварање калупа. Преса поседује обртни сто на коме је по обиму распоређено 18 гнезда за вулканизацију покривених поклопцима са вентилационим отвором. Довод течности под високим притиском паре, као и одвод кондензата изводи се преко колектора уграђеног на обртном столу. Плоче се загревају помоћу паре, а максимални радни притисак је 12 bar. Загревање паром може бити замењено електричном енергијом. Трајање процеса вулканизације се креће од 4 – 16 минута и може се мењати у зависности од броја обртаја стола које се изводи преко варијатора. Све операције везане за вулканизацију на преси као што су отварање и затварање калупа и њихово померање при пражњењу обављају се аутоматски. Задана температура вулканизације одржава се аутоматски.

6.3. Вулканизација у пресама - аутоклавима

Преса-аутоклав се примењује за вулканизацију гумених производа велике дебљине (висине) где је неопходна равномерна вулканизација која није могућа без обостраног загревања (са горњег и доњег краја). При вулканизацији у пресама-аутоклавима калупи се практично загревају са свих страна. Пресе-аутоклави примењују се за вулканизацију ауто и авио покривки, као и масивних прстенова и осталих гумених техничких производа. У својој конструкцији пресе-аутоклави садрже елементе котла и елементе хидрауличне пресе за вулканизацију.

Постоје разни типови пресе-аутоклава са:

- Скидајућим поклопцем и непокретним кућиштем
- Непокретним поклопцем и покретним кућиштем
- Покретним кућиштем на горе (звоном)

Најпрактичнијим су се показали аутоклави са покретним поклопцем.

Процес вулканизације на пресама-аутоклавима добија се на следећи начин: на покретни сто пресе-аутоклава поставља се први калуп, сто се спушта за висину првог калупа, поставља се други калуп, поново се спушта сто и поставља трећи калуп и тако до потпуног искоришћења капацитета уређаја.

На спољним површинама горњег дела, калупа за вулканизацију постоје канали за довод паре који омогућавају загревање радног комада са свих страна. По завршетку формирања поклопац пресе-аутоклава се затвара. Након затварања поклопца у радни цилиндар се у почетку доводи вода под ниским притиском а затим и вода под високим притиском. У кућиште пресе-аутоклава уводи се пара и изводи вулканизација по устаљеном режиму. Надпритисак паре обично се креће у опсегу 3-5 бара.

Трајање вулканизације у зависности од величине радног дела и састава сирове гуме траје од 30 до 120 мин. Након извршене вулканизације испушта се пара из аутоклава а затим и вода из хидрауличног радног цилиндра. После тога се отвара поклопац аутоклава.

6.4. Вулканизација у пресама са континуалним дејством

Машине и уређаји за вулканизацију са континуалним дејством имају многе предности:

- висока продуктивност;
- мали губици енергије: пара, електроенергија;
- побољшан квалитет производа;
- постојан температурни режим;
- ланчани систем производње;
- производни циклус се одвија на малој површини.

За непрекидни процес вулканизације користи се различита опрема:

- за отворену вулканизацију при атмосферском притиску и вулканизацију под притиском;
- вулканизерски добоши за непрекидну вулканизацију под притиском;
- вулканизерске пресе непрекидног дејства каруселног типа за вулканизацију гумених делова у калупима.

Вулканизерске пресе непрекидног дејства и уређаји за вулканизацију при атмосферском притиску примењују се за вулканизацију гумираног платна, хируршких рукавица и гумене обуће. Конструкција и величина комора и уређаја може бити различита. По правилу у свим тим уређајима делови за вулканизацију пролазе кроз зону за вулканизацију у којој се одржава температура ваздуха неопходна за процес вулканизације. Што је већа дужина пута - кретања производа кроз комору при вулканизацији и што је брзина кретања мања то је процес вулканизације дужи. Практично дужина грејања процеса се одређује променом брзине кретања дела у комори или уређају. У суштини ови уређаји раде по принципу сушара. Загревање ваздуха у уређају изводи се помоћу парних или електричних калорифера. Циркулација ваздуха унутар коморе обезбеђује брзо и равномерно загревање дела а самим тим одржавање потребне температуре при целом процесу вулканизације.

Комора се дели у три зоне: прва зона служи за загревање тканине на температуру вулканизације, у другој зони се одвија процес вулканизације а у трећој зони увођењем хладног ваздуха врши се хлађење гумираног платна.

Брзина кретања тканине у комори непрекидног дејства је 6-12 м/мин. Трајање вулканизације зависи од услова процеса, рецептуре смеше и траје од 15-30 минута. Задржавање тканине у све три коморе износи 30-60 мин.

6.5 Грешке при топлој вулканизацији

При топлој вулканизацији могу настати грешке, а то су порозност, слегање смеше за вулканизацију, неуједначена вулканизација, прерано или недовољно вулканизирана 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. Порозност услед влаге може се смањити додатком смеши за вулканизацију калијум или магнезијум оксида, с обзиром да он са влагом гради мање штетне хидроксиде.
- *Слегање* обликоване смеше за вулканизацију настаје услед повећања пластичности и услед сопствене тежине ради чега се у пракси најчешће користе калупи. Ова штетна појава карактеристична је за меке смеше, 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 вулканизирани а средишњи слој је недовољно вулканизиран. Додатком цинк оксида ова појава се знатно умањује, јер цинк повећава топлотну проводљивост смеше за вулканизацију.
- *Прерана вулканизација* која се карактерише лепљивом површином и јаким мирисом, се спречава корекцијом параметара вулканизације и смањењем садржаја убрзача вулканизације.
- *Недовољна вулканизација* (подвулканизација) се одражава на својства еластичности и знатно трајно издужење, што се спречава корекцијом параметара вулканизације и повећањем садржаја убрзача вулканизације.

7. Алати за израду делова од гуме

7.1 Основни захтеви у конструкцији и изради алата

Алати за вулканизацију се најчешће израђују од челика. У зависности од врсте производње (појединачна, серијска, масовна), елементи алата који образују облик гуменог дела израђују се од челика за побољшање, алатних челика или челика за цементацију. Материјали за остале елементе алата узимају се према њиховој намени, степену оптерећења итд. Радна површина алата се полира а након тога се може хромирати или површински калити (за случај израде гумених производа који својом наменом то захтевају, на пример разни заптивни елементи).

Полирана површина обезбеђује глатку површину производа а у исто време продужава век трајања алата.

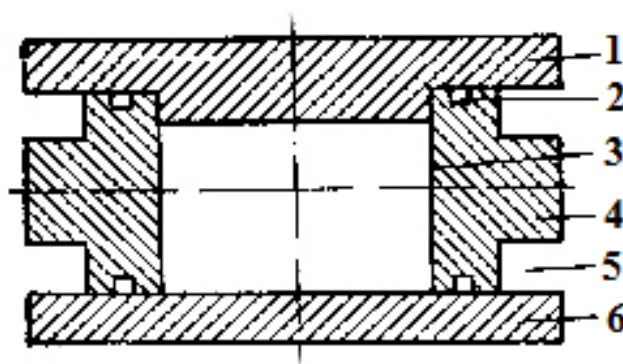
Понекад се алати праве од алуминијума поготово када производи имају сложену конфигурацију.

Алати за вулканизацију могу бити са једним или више гнезда. Број производа који се истовремено вулканизира у једном алату зависи од њихове величине, сложености и тежине пуњења гнезда и вађења готовог производа.

Алат за вулканизацију најједноставније конструкције састоји се из два дела: горњег дела (поклопца) и доњег дела. При сложеној конфигурацији производа алат се може састојати из три и више делова. Уколико производ има унутрашње шупљине, алат мора садржати језгро које је уметнуто између делова алата у потребном положају. Уколико производ у себи садржи сложену шупљину средњи део алата се израђује из два дела.

Код израде алата у најчешћем случају се тражи тачан (прецизан) међусобан однос између делова алата. За такве алате на деловима алата се раде површине под нагибом, централни конусни стожер као и чивије на једном делу алата са одговарајућим рупама у другом делу алата. Алати за вулканизацију у зависности од конструкције деле се на следеће типове:

- отворене за просто пресовање,
- затворене са урањајућим клипом и
- затворене са каналима за убризгавање.



Слика 7.1. Затворени алат са урањајућим клипом

1-Горњи део алата са клипом, 2- Канал за вишак гумене смесе, 3- Гумено-метални део, 4- Средњи део алата, 5- Жлеб за олакшање растављања алата, 6- Доњи део алата

Код алата са урањајућим клипом на једном делу налази се испуст који као клип залази у други део алата и при томе врши пресовање гумене смеше у гнездо алата. Овај тип алата омогућава добијање производа у облику плоче.

Затворени алати са каналима за убризгавање предвиђени су за израду гумених производа ливењем. Алати за ливење већих делова морају имати браве које ће спречити отварање алата у процесу ливења или вулканизације. Такви алати имају један или више канала за убризгавање гумене смеше у гнездо алата.

Конструкција гнезда (форме) у алатима има веома велики значај. Од ње не зависе само димензије производа већ и квалитет, као и лакоћа при раду. Конструкција гнезда мора обезбедити:

- правилан облик и димензије дела;
- лако пуњење гнезда смешом гуме и слободан одвод ваздуха из шупљине алата;
- лако склапање и расклапање алата као и очување конфигурације дела;
- слободно и лако вађење гуменог дела из алата.

При конструисању алата мора се узети у обзир скупљање гуме при вулканизацији. Због тога се димензије гнезда у хоризонталној равни увећавају за 1–3% од димензија готовог производа. Ову вредност узимати из дијаграма скупљања гуме. Дијаграм скупљања гуме одређује се за сваку смешу посебно. Већи проценат скупљања (1,5 – 2,2)% узима се за делове мањег попречног пресека и већег пречника, а мањи проценат (1 – 1,8)% за делове већег попречног пресека и мањег пречника. По висини

димензије гнезда се увећавају само код производа већих димензија. Производ (одпресак) не сме бити дебљи поготово у ситуацији када је неопходно добити део са тачним димензијама.

Дебљи производ (одпресак) може настати као последица веће густине гумене смеше или неправилне конфигурације алата. 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 смеше. Удаљеност жлебова од гнезда мора бити 3 - 4 мм, а радијус жлебова 1,5 – 2,0 мм. Величина жлебова зависи од пластичности гумене смеше 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 процесу вулканизације.

Ради олакшаног вађења производа алати се понекад праве са уским "режућим" ивицама које при вулканизацији образују танку опну која се лако одстрањује.

Слободан одвод ваздуха из алата при вулканизацији обезбеђује добру и потпуну попуну језгра (форме). Одвод ваздуха се обично одвија на споју између делова алата. Уколико је гнездо у алату дубоко онда се у доњем делу алата раде канали за одвод ваздуха.

Лакоћа склапања и расклапања алата као и лакоћа вађења производа из гнезда зависи од конструкције алата. Ради олакшаног вађења производа из алата често се средишњи део алата ради из више делова или се на местима састава делова алата израђују специјални жлебови за уметање полуга, одвијача или сличног алата.

7.2 Пројектовање алата за израду производа од гуме

*Poprečni presek kalupa
Razmera 1:3*

*Model dela
Razmera: 1:4*

Broj.	Gornja polovina alata
1.	Donja polovina alata
2.	Klin za centriranje
3.	Kalupna šupljina
4.	Klin za centriranje
5.	Zljev za lakše otvaranje kalupa
6.	Kanal za višak materijala

Tolerancije slobodnih mera:

Materijal:

Površinska hrapavost:

Termička obrada:

Površinska zaštita:

Format: A4 Masa: Razmera:

Naziv: **Alat za vulkanizaciju gume**

Ornaka: List:

Izv. pod. Zamena za:

Datum

Obrad. Aleksan Veljkovic

Stand. dar

Odobr.

St. i Izmene Datum Ime

FAKULTET
INŽENJERSKIH NAUKA
KRAGUEVAC

8. Производни процес израде дела – пример

У предходним поглављима описана је могућност добијања готових делова кроз различите производне процесе од добијања полазних сировина, па све до финалног производа. У зависности од дела који се израђује, примењују се разни процеси производње. Одабиром примера производа укратко ће мо објаснити поступке производње.

Пример: Израда гумираних ролни

Код оваквог примера производа, производ се састоји од две врсте, различитих материјала који изискују низ додатних операција. Дакле производ се састоји од средишњег дела који је металан (алуминијум) и спољашњег дела гуме.

Први корак у производњи је одабир каучукове смеше која ће моћи да задовољи одређене карактеристике производа. Одабиром смеше приступа се прављењу смеше по унапред задатој рецептури. У зависности од врста машина које предузеће поседује приступа се изради технолошког поступка.

Други корак је израда каучукове смеше на двоваљку и развијању каучукове смеше у траке које се даље користе за облагање метала.



Слика 8.1. Двоваљак за припрему каучукове смеше у предузећу Хемигум Плус

Трећи корак представља обликовање трака, одсецање према унапред задатим димензијама и намотавања на метални део. Пре свега метални део треба проћи одређени

низ поступака да би се добро обезбедио спој гуме са металом тј. припрема металних површина и повезивање помоћу лепка.

Припрема металних површина

Јачина везе која се остварује између металних делова и гуме у великој мери зависи од припреме металних површина. Сматра се да треба радити искључиво са чистим, одмашћеним површинама, пошто је утврђено да масноћа спречава боље пријањање гуме за метал.

Припрема металних површина започиње механичком обрадом односно пескарењем кварцним песком. Пескарењем се површина метала чисти од рђе и друге прљавштине и што је најважније она се том приликом чини храпавијом чиме се знатно повећава површина за повезивање гуме са металом. Трагови уља и других масноћа које евентуално могу да дођу у додир са пескареном површином, одстрањују се накнадним чишћењем помоћу растварача. Треба истаћи да је веома важно да се са очишћеним металним деловима поступа пажљиво, јер су чак и трагови прстију штетни због масних трагова.



Слика 8.2. Комора за пескарење у предузећу Хемигум Плус

Повезивање помоћу разних лепкова

Везивање гуме на метал употребом лепкова врши се у пракси веома често, при чему се користи читав спектар најразличитијих материјала за производњу лрпкова. За наношење лепкова употребљавају се четке разних величина или револвер са распршивачем. Нанос лепкова треба да буде што тањи, али да потпуно покрива

површину, па се зато препоручује да се употребе два унакрсна премаза, када се лепак наноси четком. Са лепковима се никад не сме радити у влажној атмосфери. Међутим ако се не могу постићи најбољи услови у погледу влаге, треба металне комаде непосредно после премазивања ставити у сушионицу ради испаравања растварача. Ово се може учинити само са мањим предметима. Предмет након премазивања лепка приказан на слици 8.3.



Слика 8.3. Метал премазан лепком у два слоја у предузећу Хемигум Плус

Четврти корак у производном процесу се односи на обликовање у калупу, а уједно и умрежавање односно вулканизација. Обавља се на хидрауличној преси на којој је намонтиран калуп који се загрева на температури од 167°C . Пре него што се метални део обмота траком од каучукове смеше и убаци у калуп предходно се загреје да би температура у калупу била стабилна. По убацивању у калуп део се вулканизира на поменутој температури 12 минута. Након протеклог времена преса се аутоматски отвара и предмет се ручно вади из калупа, одклања се вишак материјала. Даљим током се предмет оставља на хађење. После одређеног времена када се предмет потпуно охлади примењује се даља обрада предмета. Да би се задовољила тачност димензија предмет се израђује у нешто већим димензијама које се накнадно машинском обрадом доводе на тачну димензију. У те поступке спадају стругање и завршно брушење.

Стругање се изводи на универзалном стругу и представљено је сликом 8.4.



Слика 8.4. Машинска обрада стругањем у предузећу Хемигум Плус

Брушење се изводи на универзалном стругу модификованом за кружно брушење и представљено је сликом 8.5.



Слика 8.5 Кружно брушење на модификованом универзалном стругу у предузећу Хемигум Плус

Након свих опреација добија финални производ приказан сликом 8.4.

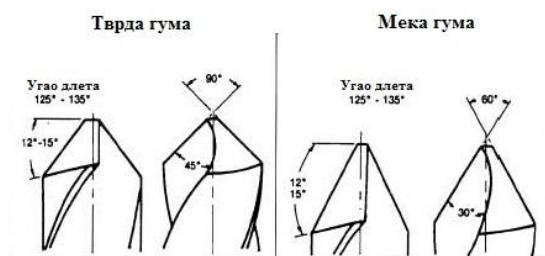


Слика 8.6. Финални производ

Алати у процесима додатне машинске обраде гуме

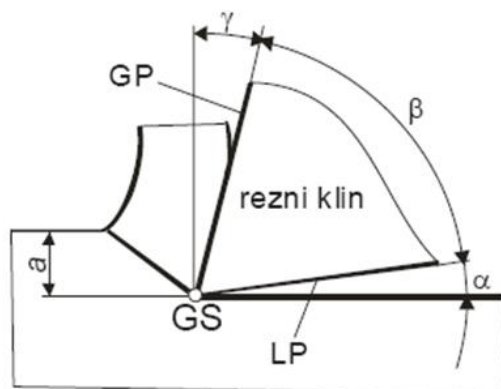
Да би се задовољиле димензије производа некада је потребно изређини производ додатно обрадити поступцима обраде као што су стругање, бушење и брушење. Гума као посебна врста материјала може да се обрађује овим поступцима с тим што се разликују врхови резних алата за обраду гуме од врхова резних алата за обраду метала. Постоји и могућност обраде гуме алатима за метал али се тада гума подвргава замрзавању, тај поступак се назива криогени постпак. При том поступку гума из еластичног прелази у пластично стање. Замрзавање се изводи у окружењима са сувим ледом или течним азотом.

Када је реч о бушењу гуме, алат (бургија) у односу на метал се разликује за угао врха. Нпр. код метала тај угао износи од 118° - 135° у зависности од тврдоће док код бургија за гуму се угао врха се креће од 60° - 90° у зависности од тврдоће гуме [14].



Слика 8.7. Врх бургије за обраду гуме

Стругање меке гуме је тешко изводити и у великом броју случајева се изводи у криогеној средини у којој гума прелази у пластично стање. За разлику од меке гуме тврда гума се може обрађивати стругањем у нормалним условима. Код обраде стругања алат (стругарски нож) има нешто другачију геометрију у односу на метал. Стругање се се изводи стругарским ножевима са грудним углом $\gamma = 10 - 18^\circ$ и леђним углом $\alpha = 25 - 35^\circ$.



Слика 8.8. Геометрија резног клина стругарског можа

Постоје и неке иновације у конструицији стругарских ножева за обраду гуме. Код њих струготина пролази кроз средишњи део ножа, боље је одвођење струготине и мања сила при резању[15].



Слика 8.9. Нож за обраду гуме

9. Закључак

Производи од гуме данас представљају једну веома заступљену и важну групу делова која је не заменљива. Производња и прерада гуме представља више комплексних процеса који лица која се баве производњом и прерадом морају детаљно добро познавати. Веома битан процес од ког зависе сва физичка својства јесте припреманје каучукове смеше односно мешање и представља полазни процес у преради гуме.

Што се тиче обликовања најбитније је да гума испуни калупну шупљину у колико се обликовање изводи у калупу у којико се ради о другим врстама обликовања најбитније је да предмет задржи димензиона својства. Да би се направио модел потребно је направити клуп са отиском модела, данас је то олакшало начин производње и постиже се компјутеским програмима под називом Solidworks, Pro engineer, Catia које је потребно познавати. Да би се приозвео калуп и израдила калупна шупљина потребно је познавати другу групу производних процеса тј. машинске материјале и обраду метала резањем јер се калупи издађују резањем метала.

Вулканизација дели битно место са мешањем каучикове смеше а најбитније је одредити оптималну температуру, бреме и притисак који се остварују током вулканизације у колико се ради о топлој вилканизацији која је најзаступљенија у производњи гума.

Сваки процес у производњи представља један комплексни процес, без обзира да ли се ради мешању, обликовању и вулканизацији каучукове смеше, сваки процес је подједнако битан у производњи дела који треба да задовољи потребе корисника.

Попис слика:

Слика 2.1 „Christopher Columbo“	6
Слика 2.2. „Charles Marie da la Condamine“	7
Слика 2.3 „Charles Goodyear“	8
Слика 2.4. „John Boyd Dunlop“	9
Слика 2.5. „Edouard i Andre Michelin“	9
Слика 3.1. Стабло каучука („Hevea brasiliensis“)	10
Слика 3.2. Дијаграм истезања	14
Слика 3.3. Хистерезисна петља гуме.....	15
Слика 3.4. Мономер: а) бутадиена, б) стирена	41
Слика 3.5. Мономер хлоропрена.....	41
Слика 3.6. Мономер:(а) бутадиијен, (б) акрилонитрил	42
Слика 3.7. Полимер бутил гуме	43
Слика 4.1 Ток мешања каучукових смеша.....	45
Слика 4.2. Мешање каучукове смеше на двоваљку	46
Слика 4.3. Двоваљак за мешање каучукове смеше у предузећу Хемигум Плус.....	47
Слика 4.4. Индустриска мешалице.....	48
Слика 4.5. Подела мешалице по механизму рада.....	48
Слика 4.6. „Forerel Bridge" континуални миксер	49
Слика 5.1. Класификација обликовања полимера.....	50
Слика 5.2. Проказ алата за директно пресовање	51
Слика 5.3. Преса за директно пресовање каучука у предузећу Хемигум Плус	52
Слика 5.5. Приказ алата за бризгање.....	53
Слика 5.6. Приказан је каландер.....	55
Слика 5.7. Пресек екструдера	55
Слика 6.1. Крива вулканизације	56
Слика 6.2. Аутоклав за вулканизацију у предузећу Хемигум Плус	59
Слика 8.1. Двоваљак за припрему смеше у предузећу Хемигум Плус	71
Слика 8.2. Комора за пескарење у предузећу Хемигум Плус	72
Слика 8.3. Метал премазан лепком у два слоја у предузећу Хемигум Плус	73
Слика 8.4. Машинска обрада стругањем у предузећу Хемигум Плус	74
Слика 8.5 Кружно брушење на стругу у предузећу Хемигум Плус	74
Слика 8.6. Финални производ	75
Слика 8.7. Врх бургије за обраду гуме.....	75
Слика 8.8. Геометрија резног клина стругарског можа.....	76
Слика 8.9. Нож за обраду гуме.....	76

Литература:

- [1] Интернет адреса: <https://sr.wikipedia.org/sr-ec/Kau%C4%8Duk#Istorija> приступљено 05.09.2019
- [2] Интернет адреса: https://en.wikipedia.org/wiki/Charles_Marie_de_La_Condamine приступљено 05.09.2019
- [3] Интернет адреса: <https://connecticuthistory.org/charles-goodyear-and-the-vulcanization-of-rubber/> приступљено 05.09.2019
- [4] Интернет адреса: <https://www.undiscoveredscotland.co.uk/usbiography/d/johnboyddunlop.html> приступљено 05.09.2019
- [5] Интернет адреса: <https://sr.wikipedia.org/sr-ec/%D0%9C%D0%B8%D1%88%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%BD> приступљено 05.09.2019
- [6] Интернет адреса: <https://tiikm.com/publication/doi/icoaf2015-1122.pdf> приступљено 05.09.2019
- [7] Интернет адреса: <http://www.ipg-society.org/Novosti/Industrija%20plastike%20i%20gume%20u%20Srbiji.pdf> приступљено 05.09.2019
- [8] M. Plavšić, Rad. Popović i Ruž. Popović: Elastomerni materijali (kaučuk, guma i kompoziti), Naučna knjiga, Beograd, 1995.
- [9] DIN 53501
- [10] Интернет адреса: <http://download.polympart.com/polympart/ebook/Reverse%20Engineering%20of%20Rubber%20Products%20Concepts%2C%20Tools%2C%20and%20Techniques.pdf> приступљено 08.09.2019
- [11] ISO 1629 стандард
- [12] M. Savković: Tehnologija proizvodnje gume, rukopis, Trstenik, 1995.
- [13] Tehnička preporuka o konstrukciji i izradi alata za vulkanizaciju, TRZ Čačak, 1980.
- [14] Интернет адреса: <https://www.regalcuttingtools.com/learning-center/articles/which-drill-point-angle-should-i-be-using> приступљено 8.10.2019
- [15] Интернет адреса: <https://rolmaconglobal.com/stripping-rings/> приступљено 8.10.2019.