

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Машински елементи 2

Број индекса: 50/2010

Дамјан Н. Дамјановић

**-Заптивање спојева машинских елемената-
завршни рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. др Мирко Благојевић, доцент - ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да да основне информације из области заптивања спојева машинских елемената. Посебан акценат треба обратити на поделу заптивки, затим на заптивке са додиром заптивних површина, на заптивање спојева без посебних заптивних елемената, на избор начина заптивања и сл.

Препоручена литература:

[1] Душан Ј. Витас, Милан Д. Трбојевић: МАШИНСКИ ЕЛЕМЕНТИ 2, НАУЧНА КЊИГА, БЕОГРАД, 1988.

[2] ИНЖЕЊЕРСКО МАШИНСКИ ПРИРУЧНИ, КЊИГА 2, ЗАВОД ЗА УЏБЕНИКЕ И НАСТАВНА СРЕДСТВА, БЕОГРАД, 1992.

[4] М. Ивановић, М. Стојановић: КОТРЉАЈНИ ЛЕЖАЈИ, НОВИНСКО-ИЗДАВАЧКО ПРЕДУЗЕЋЕ, ТЕХНИЧКА КЊИГА, БЕОГРАД, 1966.

[5] В. Милтеновић, М. Огњановић: МАШИНСКИ ЕЛЕМЕНТИ 3, МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ НИШ-БЕОГРАД, 1995.

[6] Јевтић Н. Јован: РЕДУКТОРИ, ДРУГО ПОПУЊЕНО ИЗДАЊЕ, ПРИВРЕДНИ ПРЕГЛЕД, БЕОГРАД, 1976.

[7] Милан Д. Трбојевић, Момчило Р. Јанковић, Јово Вугдеља, Слободан Ивковић, Војислав Латиновић: РЕДУКТОРИ, ДРУГО ИЗМЕЊЕНО И ДОПУЊЕНО ИЗДАЊЕ, НАУЧНА КЊИГА, БЕОГРАД, 1984.

Крагујевац, фебруар 2013.

ментор:

др Мирко Благојевић, доцент

РЕЗИМЕ:

За заптивање спојева машинских елемената важно је да заптивни елемент тј. заптивка раздваја различите средине, различите по својим физичким и природним својствима. Најјчешће је то раздвајање елемената и склопова, коначни циљ је заптивање елемената, склопова или машинских система у целини. У овом раду је приказано заптивање спојева са додиром заптивних површина, без додира заптивних површина, заптивање без посебних заптивки, као и материјали који се користе за израду заптивки. Због великог броја различитих случајева где се јавља потреба за заптивањем, изражена је и потреба за класификацијом заптивки. Поделу је могуће извршити на много начина, практично могуће је извршити поделу на основу сваке карактеристике заптивке.

Кључне речи: заптивање, манжетни заптивачи, филцани прстен, заптивање са додиром, заптивање без додира заптивних површина.

SUMMARY:

In order to seal joints of machine elements it is important that sealing element, i.e. seal, separates different environments, different by their physical and natural features. Usually this is a separation of elements and the whole set, the ultimate goal is to seal parts, assemblies or machine systems in general. This paper describes the sealing of joints touching the sealing surfaces, the sealing of joints not touching the sealing surfaces, sealing without special sealing gaskets, as well as the materials used for making seals. Since there is a large number of different cases in which exists a need for sealing, the classification of seals is necessary. Division can be done in many ways, practically it is possible to make division on the base of the characteristic of each seal.

Key words: sealing, bellows seals, felt ring, seal with a touch, sealing without contact between sealing surfaces.

САДРЖАЈ:

1.0. Увод	6
2.0. Подела заптивки	8
3.0. Заптивање са додиром заптивних површина	9
3.1. Филцани прстен	11
3.2. Заптивачи са опругом	13
3.3. Манжетни заптивачи	16
4.0. Заптивање без додира заптивних површина	20
4.1. Лабиринтски заптивачи	21
4.2. Центрифугални заптивачи	25
5.0. Заптивање спојева без посебних заптивки	27
6.0. Избор заптивки	29
7.0. Монтажа и демонтажа заптивки	32
8.0. Одржавање заптивки и заптивних места	35
9.0. Материјали за израду заптивки	36
10.0. Закључак	40
11.0. Литература	41

1.0. УВОД

Заптивање није само значајан триболошко експлоатациони регулатор, већ веома важан елемент машинског система, зато што од радне способности заптивних склопова зависи поузданост система у целини. Заптивање је у најширем смислу начин раздвајања различитих средина, различитих по својим природним и физичким својствима. Најчешће је то раздвајање елемената и склопова, а коначни циљ је заптивање елемената, склопова или машинских система у целини. Данашњи, високо достигнути ниво развоја заптивних средстава и појава многих специјализованих произвођача пружа конструисању широку лепезу могућег избора. Савремени развој заптивних склопова највише је усмерен на проналажење материјала за заптивање, који морају поседовати особине лаког деформисања да би максимално испунили микронеравнине на контактним површинама. Са друге стране, морају бити довољно крути и чврсти, отпорни на хабање и издржљиви на старење. На жалост, ни један од савремених материјала не одговара појму идеално заптивајућег материјала, [1, 2, 3].

Задатак заптивања спојева машинских елемената је да спречи истицање флуида из радног простора и да заштити радне елементе од продора и утицаја спољашње средине. Мерило заптивања представља степен пропустљивости заптивног споја, односно количину истеклог флуида у јединици времена. Заптивање спојева се остварује посредством заптивке, која има задатак да спречава да између два функционално раздвојена простора дође до тока флуида из једног простора у други. Заптивке морају ограничити губитке због пропусности у таквој мери да буду у потпуности задовољени захтеви у погледу сигурности, а да при томе омогућавају економски повољна конструктивна решења. Према намени, заптивке морају испуњавати следеће захтеве и својства:

- непропусност (ради смањења евентуалних губитака),
- погонска сигурност,
- дуг век трајања,
- растављивост, [2].

Избор начина заптивања врши се према радним условима (присуству нечистоћа или влаге), захтеваном радном веку, врсти мазива и начину подмазивања. Основне групе заптивних спојева су спојеви релативно покретних и непокретних делова. Непокретни спојеви који се при експлоатацији и одржавању не раздвајају, најједноставније се заптивају заваривањем или тврдим лемљењем делова који се спајају. Непокретни спојеви који се при експлоатацији повремено раздвајају, заптивају се попуњавањем празног

простора између заптивних површина заптивкама које се лако деформишу и тако неутралишу утицај неравнина и оштећења заптивних површина. Заптивање покретних спојева је тежи задатак, јер истовремено треба да се испуне два супротна захтева:

- заптивање без пропуштања радне течности,
- заптивање са што мањим трењем између заптивке и машинског дела, [3].

Заптивање се може остварити ако се нека мекша материја (кожа, филц...) приљуби уз вратило на месту његовог пролажења кроз лежиште. Овакав заптивач производи трење које може бити знатно, нарочито када се не обрати довољно пажње на склапање и намештање лежишта. Трење је често узрок повишене температуре лежишта.

Заптивање је могуће извршити и помоћу узаних процепа (лабирината). У овом случају није присутно трење у заптивачу, што представља повољнији начин заптивања, [1].

2.0. ПОДЕЛА ЗАПТИВКИ

Због великог броја различитих случајева где се јавља потреба за заптивањем, изражена је и потреба за класификацијом заптивки. Поделу је могуће извршити на много начина, практично могуће је извршити поделу на основу сваке карактеристике заптивке, [3].

Према начину заптивања, заптивачи се деле у две основне групе:

- заптивање са додиром заптивних површина,
- заптивање без додира заптивних површина.

Следећа подела која се спроводи је у зависности од облика места које се заптива, односно да ли се врши заптивање равне површине, кружне површине или навоја.

Подела по еластичним својствима заптивног материјала даје три групе заптивки:

- тврде,
- еластичне,
- течне.

Према садржају метала у својој структури, заптивке је могуће поделити на:

- металне,
- неметалне,
- комбиноване.

Поред наведених, заптивке се још деле на основу отпорности на поједини флуид, или поједину групу флуида, [3].

3.0. ЗАПТИВАЊЕ СА ДОДИРОМ ЗАПТИВНИХ ПОВРШИНА

Контактна заптивања су претежно заступљена у техници и њихова непропустљивост за раздвојене средине се образује путем спрегнутих елемената. Заптивка је основни елемент контактних заптивања који образује баријеру раздвајања заптиване и средине окружења, образује непропустљиви контакт спрегнутих елемената, обезбеђује мало трење при померању једног елемента у односу на други и довољну отпорност на хабање заптивне спреге. Класични контактни заптивачи су: филцани прстен и манжетни заптивачи, приказани на слици 1, [4].



а) филцани прстен



б) манжетна

Слика 1: Заптивачи са додиром заптивних површина

Због клизања између покретне и непокретне заптивне површине долази до загревања и хабања додирних површина, тако да ови заптивачи имају ограничени радни век, па се не препоручује њихова примена код високих учестаности обртања. У односу на заптиваче без додира заптивних површина, ови заптивачи имају већу ефикасност заптивања јер не постоји никакав контакт између спољашње средине и простора који заптивају. Могу да се примене и код подмазивања машћу и код подмазивања уљем.

При заптивању додиром, највише се употребљавају еластични прстенови од синтетичке гуме познати под разним именима: симирит, севанит, хидрофит, витон... Зависно од врсте употребљене сировине, материјал добија различите квалитете у погледу отпорности према топлоти и уљу, [5].

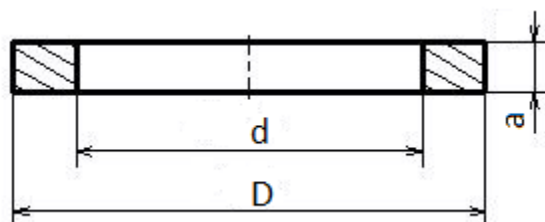
3.1. ФИЛЦАНИ ПРСТЕН

Најједноставнији заптивач са додиром заптивних површина је филцани прстен сл.1., који се примењује за средње брзине клизања до 4 m/s, [5].

Филцани прстенови (табела 1), могу се применити за обимне брзине на вратилу до 50 m/s, тј. према брзини задовољавају потребе код тешких машина. Потребно их је натопити пре монтаже у топлом уљу, тачно их спојити на саставу тако да не буде зазора, а захтевају фину обраду вратила, односно површине која је у додиру са филцом. Дају у случају подмазивања лежајног склопа конзистентом машћу, сигурно заптивање. Израђени, суви и врло прљави филцани прстенови губе заптивна својства, [4].

Табела 1: Филцани заптивачи, [4]

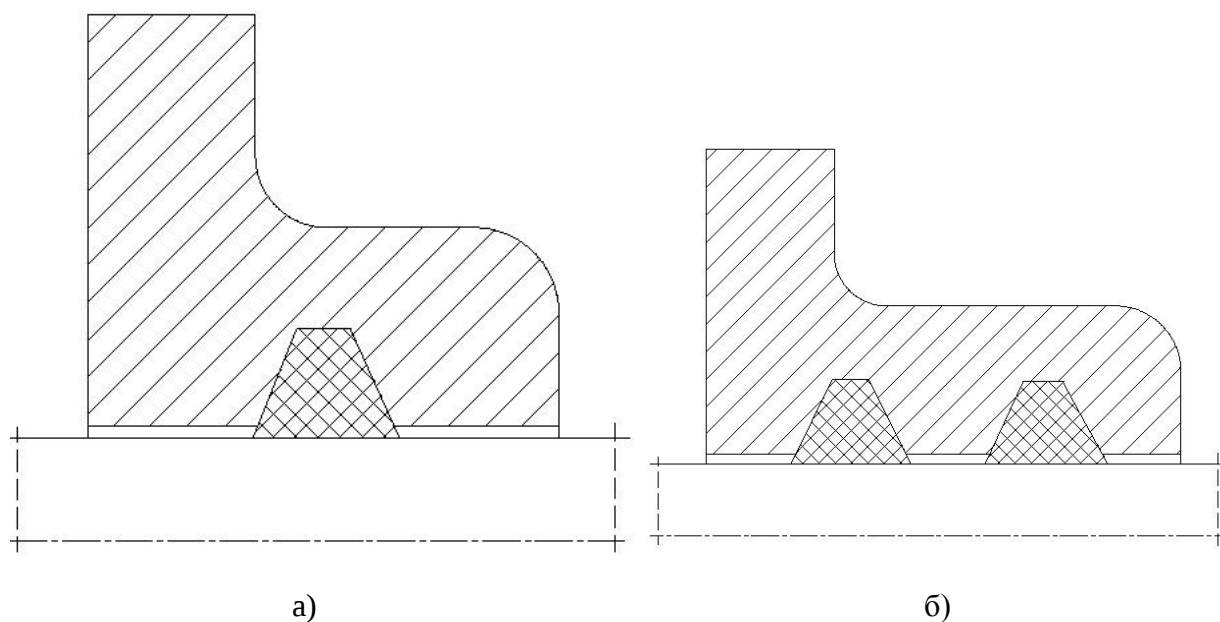
Prec. vrat.	D	d	a	Prec. vrat.	D	d	a	Prec. vrat.	D	d	a
20	35	19	5	75	96	74	8	130	161	129	12
25	40	24	5	80	101	79	8	135	166	134	12
30	45	29	5	85	106	84	8	140	171	139	12
35	50	34	5	90	113	89	9	145	176	144	12
40	55	39	5	95	118	94	9	150	185	149	13,5
45	60	44	5	100	127	99	10,5	155	190	154	13,5
50	69	49	6,5	105	132	104	10,5	160	195	159	13,5
55	74	54	6,5	110	137	109	10,5	165	200	164	13,5
60	79	59	6,5	115	142	114	10,5	170	205	169	13,5
65	84	64	6,5	120	147	119	10,5	175	210	174	13,5
70	91	69	8	125	156	124	12	180	215	179	13,5



Слика 2: Филцани прстен, [4]

Пре уградње прстен је правоугаоног облика. После потапања у врело уље, он се убацује у одговарајуће жљебове трапезног облика. При томе се прстен деформише и оставрује одрђени притисак и на само вратило. Овај притисак се временом због хабања вратила смањује, па се овај начин заптивања примењује махом код подмазивања машћу.

Заптивање представљено на сл. 3 је најчешћи начин заптивања који се примењује. Овде филц пре монтаже треба бити потопљен у уљу.

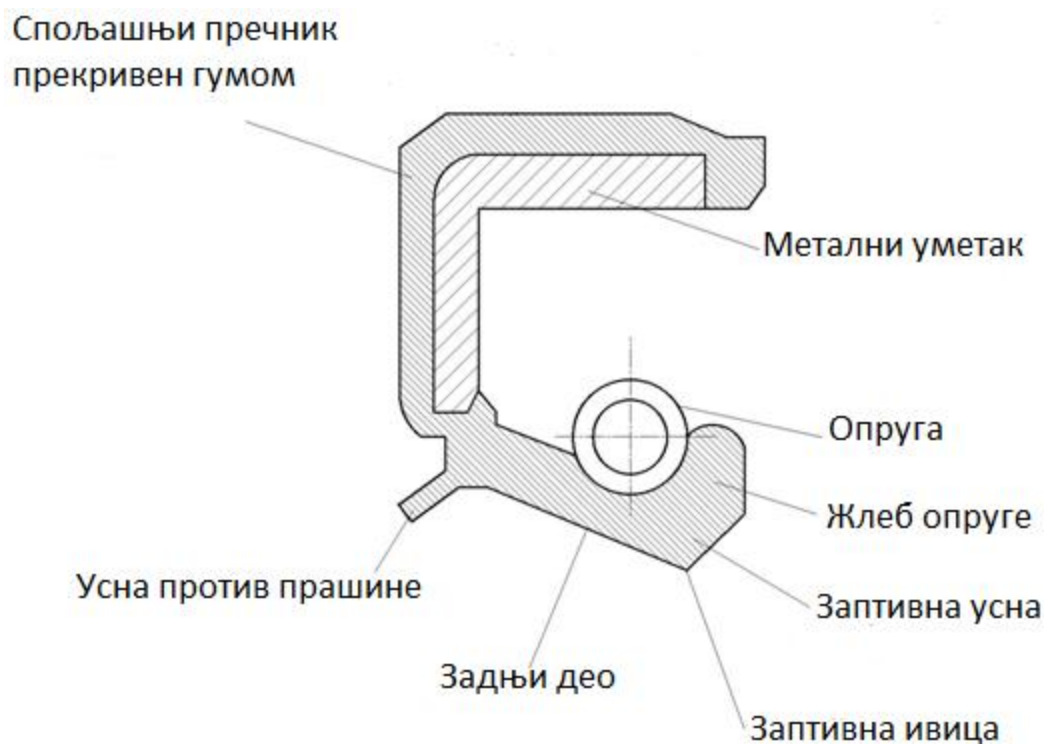


Слика 3: Најчешћи начини заптивања филцаним прстеновима, [4]

За лежаје већих димензија примењује се заптивање као на сл. 3 б.

3.2. ЗАПТИВАЧИ СА ОПРУГОМ

Заптивачи са опругом су заптивачи од коже, гуме или пластичне масе, упресовани у метални штит и снабдени прстенастом опругом која их притеже уз вратило, сл.4. Гранична брзина која је дозвољена за ове заптиваче је код брушених вратила 10, а код полираних 15 m/s, [2].



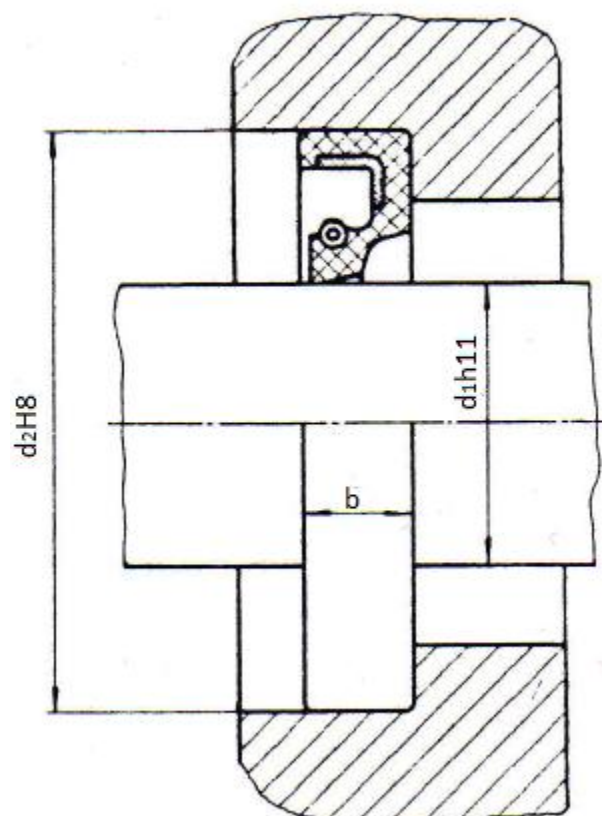
Слика 4: Заптивач са опругом, [6]

Принцип рада заптивача са опругом:

Површина између заптивне ивице и осовине је најважнија. Ефекат заптивања се постиже преднапрезањем заптивне усне, чиме њен унутрашњи пречник постаје мало мањи од пречника осовине. Заптивна опруга обезбеђује сталан механички притисак и одржава радијалну силу на осовини, изравнавајући заптивну ивицу до одређене ширине. Заптивање је резултат површинске напетости хидрауличког уљног слоја између изравнане површине заптивача и осовине, [6].

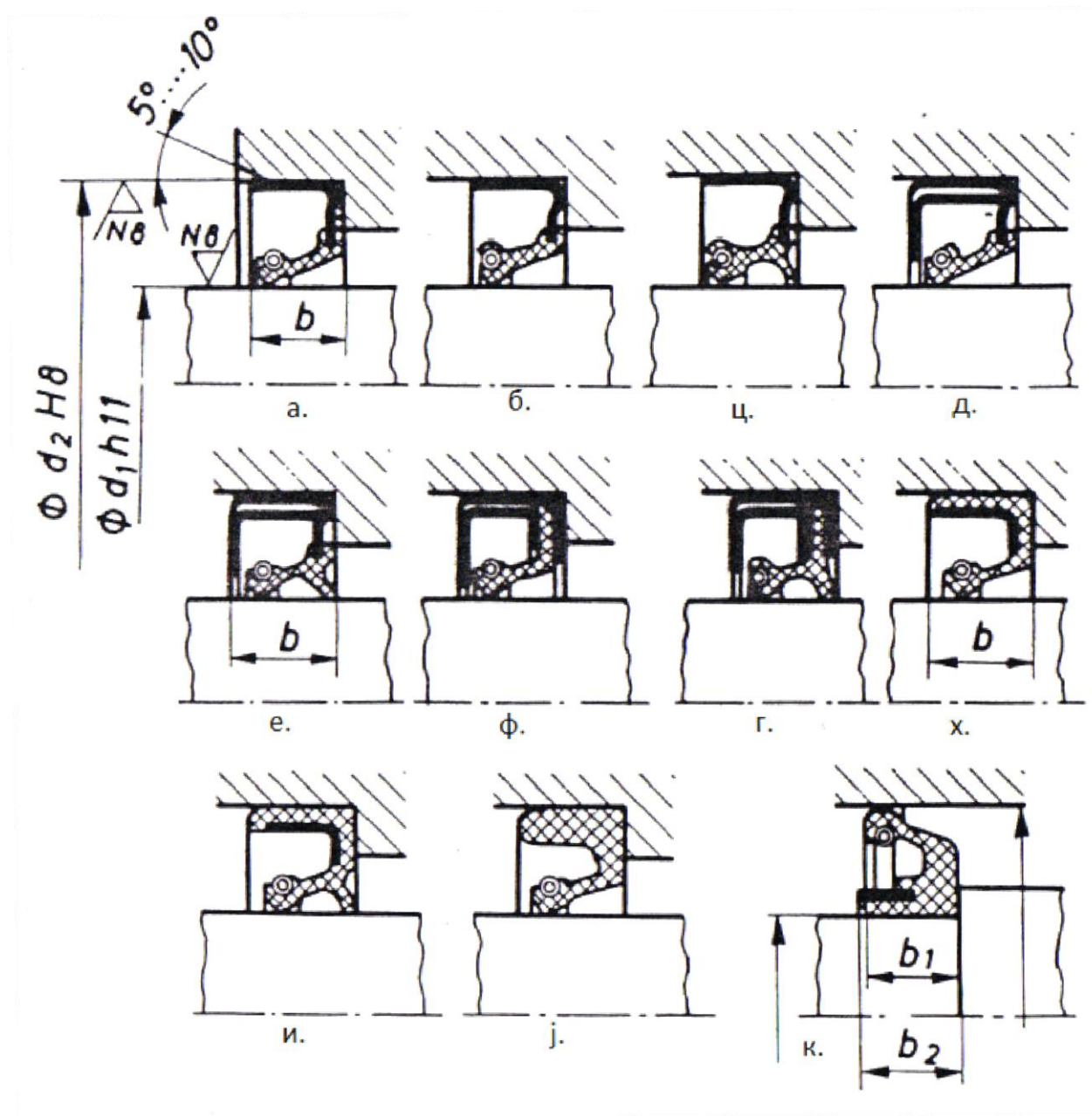
Метално кућиште се користи да би заптивач добио крутост. Обично се прави од хладног ваљаног челика. Да би се избегла корозија, може да се користи нерђајући челик, као и неки други материјали.

Заптивна опруга одржава радијалну силу на површини осовине. Обично се производи од челика за опруге, [6].



Слика 5: Примена заптивача са опругом код вратила, [7]

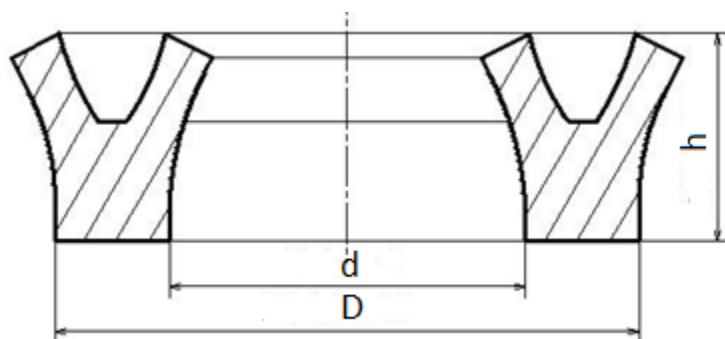
Радијалне заптивке са опругом уграђују се на вратила или осовине. Израђују се са једним, (сл.6.а, б, ц) или два L метална профила (д, е, ф, г) у облику оклопа, са металним ојачањем (х, и) или само од гумене смеше. Користе се за притиске до 0,6 бар и обимне брзине до 30 m/s. За више притиске до 1,7 бар морају се користити специјалне конструкције ових заптивки.



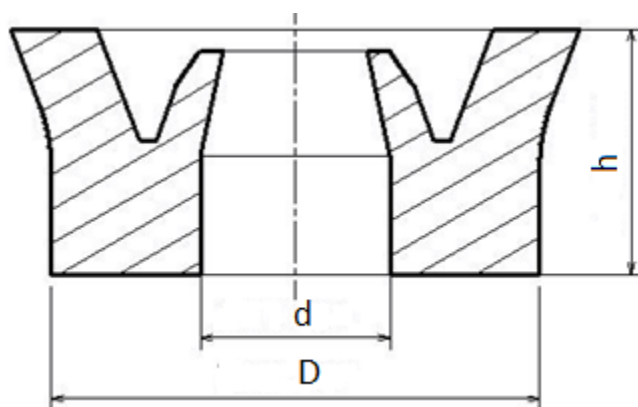
Слика 6: Облици и начини извођења радијалних заптивки са опругом, [2]

3.3. МАНЖЕТНИ ЗАПТИВАЧИ

Манжетне су еластични или нееластични прстенови специфичног облика и пресека. На слици 7 и 8 приказане су неки од ових заптивача. Служе за заптивање клипа и цилиндра у хидраулици и пнеуматици. Функција заптивања постиже се контактом између заптивне усне и површине клипа (цилиндра). Израђују се у различитим облицима за различите намене.

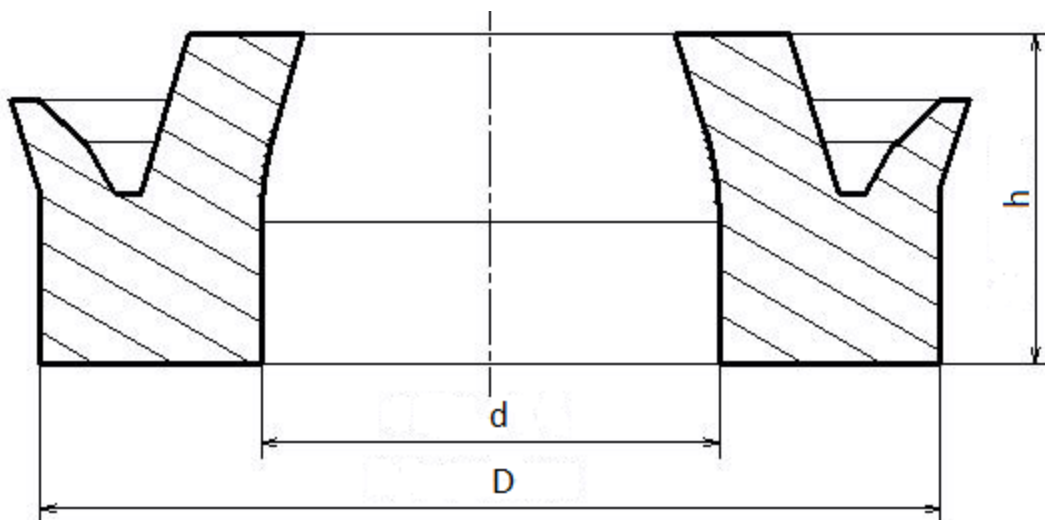


а) Једнакострана манжетна

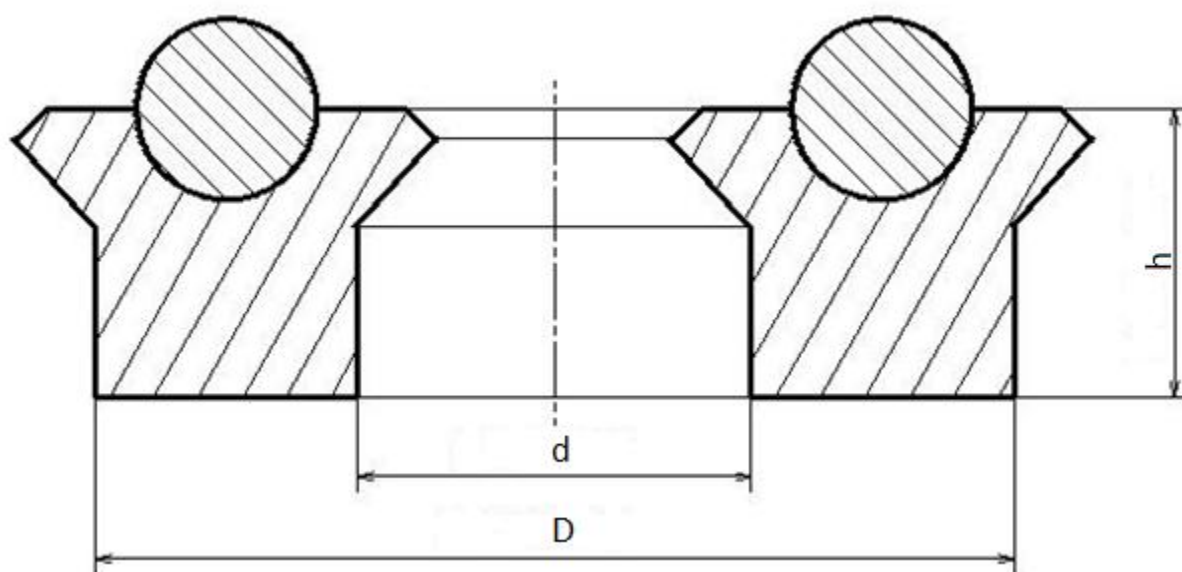


б) Манжетна са унутрашњом заптивном усном

Слика 7: Попречни пресеци манжетни -1, [2]



а) Манжетна за цилиндар



б) Манжетна са „О“ прстеном

Слика 8: Попречни пресеци манжетни -2, [2]

Једнакострaне манжетне углавном се користе у хидраулици за средње и високе притиске, а неједнакострaне манжетне се користе у хидраулици за ниске притиске и у пнеуматици. Израђују се од еластомера и термопласта. Манжетна под дејством притиска радне течности приања уз површину коју заптива, чиме се повећава ефикасност заптивања. Манжетна се најчешће уграђује у жлеб који је најчешће правоугаоног пресека и који треба да обезбеди да манжетна има преднапон.

Заптивни комплет манжетни користи се за заптивање покретних спојева, за високе притиске и тешке услове рада, када постоје ударна оптерећења, вибрације и хидраулички удари. Већи број манжетни у комплету амортизује ударе и вибрације, па се постиже добро заптивање.

Манжетни заптивачи могу се применити како код подмазивања машћу, тако и код подмазивања уљем. Одликују се добрим заптивањем и имају дуг радни век. Развијен је већи број конструкционих извођења манжетних заптивача, али су најчешће у примени заптивачи облика који су стандардизовани према DIN 3760 стандарду.

Заптивање манжетном се остварује постављањем манжетне у канал који је нешто шири од тела манжетне при чему се заптивне усне деформишу на рачун чега се ствара неопходни контактни притисак. Под тим притиском само врхови заптивних усана су у контакту са заптивном површином. Повећањем притиска флуида, пресек манжетне се шири радијално и повећава се контактна површина и заптивање је ефикасније, али се истовремено повећава трење и хабање, [2].

Правилан избор манжетне је управо решење односа ефикасног заптивања, трења и хабања. То се постиже дефинисањем одговарајућег профила и материјала за израду манжетне. Најчешће коришћени материјали за примену у хидраулици и пнеуматици су гума на бази NBR каучука, гума ојачана тканином и полиуретаном. Присуство тканине у гуми доводи до појаве малих удубљења на површини између појединих влакана у којима се задржава подмазивајући филм, који се не прекида ни под високим притисцима. На тај начин је избегнуто повећано трење и хабање са повећањем контактеног притиска манжетне и заптивне површине.

Користећи две, три или више манжетни скупљених у комплет, повећава се могућност квалитетног заптивања у широком опсегу притиска. Погодним комбиновањем манжетни од гуме и манжетни ојачаним платном са одговарајућим граничним прстеновима, добијају се комплети за заптивање у најтежим радним условима, [2].

„О” прстенови најпогоднији су за примену у спојевима са брзином до 3 m/s и притисцима до 20 bar. Користе се у хидраулици и пнеуматици. Уграђују се у правоугле жлебове, тако да се при спајању прстен радијално деформише, [2].

Услови примене манжетни дати су у табелама (2,3):

Табела 2: Услови примене једнакострaне манжетне, [8]

Дозвољени притисак	16 МПа
Температурни интервал	-30°до+100°С
Радни медијум	Хидрауличко уље типа Н, НL, НLP емулзије уље-вода типа НFA и НFB
Дозвољене брзине	0,5 m/s

Табела 3: Услови примене манжетне са спољашњом и унутрашњом заптивном усном, [8]

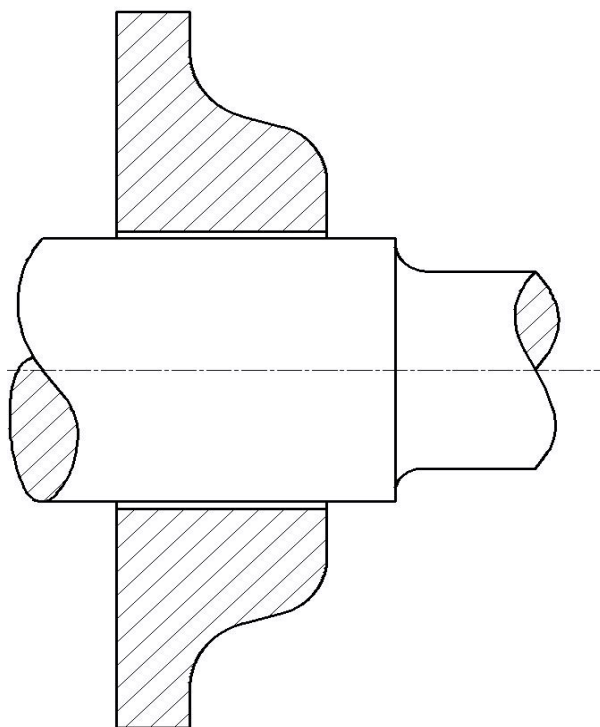
Дозвољени притисак	1,6 МПа
Температурни интервал	-40°до+80°С
Радни медијум	Ваздух
Дозвољене брзине	0,5 mm

Манжетна са „О“ прстеном користи се за заптивање до 200 bar.

4.0. ЗАПТИВАЊЕ СПОЈЕВА БЕЗ ДОДИРА ЗАПТИВНИХ ПОВРШИНА

Карактеристике безконтактних заптивних склопова је незнатно мали момент трења изазван вискозношћу ваздуха или мазива лоцираног у зазорима склопа. Због тога се довољно сложене конструкције безконтактнoг заптивања примењују у случајевима када је момент трења контактнoг заптивања сувише велики. Постојање зазора између контактних површина смањује ефикасност заптивања и зато се безконтактнo заптивање чешће примењује при подмазивању мастима, а ређе при подмазивању уљима. Већина оваквих заптивних склопова је нестандартна и њихове димензије бира конструктор. Простије конструкције могу бити коришћене при малим загађењима средине окружења машинских система, [4].

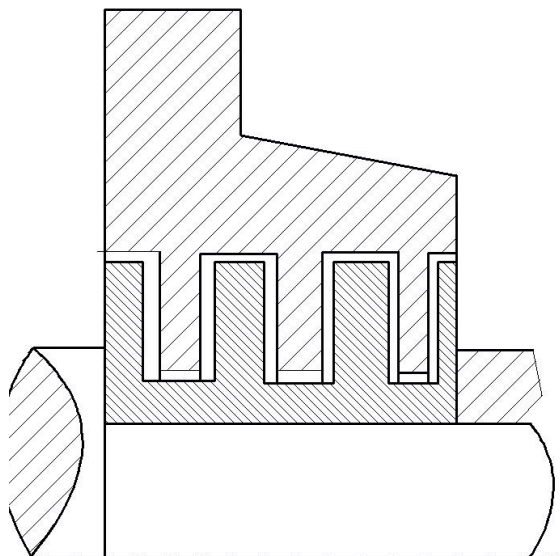
Пошто не постоји додир покретне и непокретне заптивне површине, овакав начин заптивања има неограничени радни век. Најједноставнији начин заптивања без додира заптивних површина приказан је на слици 9. Ширина поклопца лежаја је нешто већа, чиме се повећава и дужина зазора, и у овај простор ставља се маст. Овај начин заптивања примењује се за ниже учестаности обртања, где нема загревања ни могућности да маст исцури, [5].



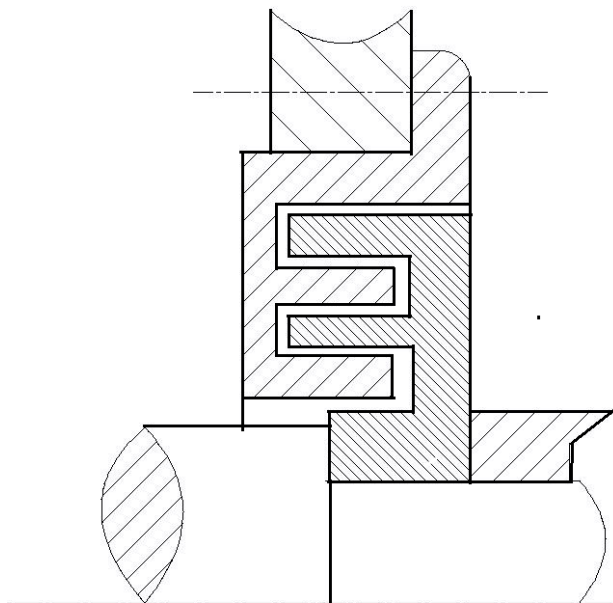
Слика 9: Заптивање малим зазором, [5]

4.1. ЛАБИРИНТСКИ ЗАПТИВАЧИ

Најчешће коришћени заптивачи без додира заптивних површина су лабиринтски заптивачи, Сл.10.и Сл.11.



Слика 10: Аксијални лабиринтски заптивач, [5]



Слика 11: Радијални лабиринтски заптивач, [5]

Зазор између покретних и непокретних површина је у облику изломљене линије лабиринта. Принцип заптивања састоји се у пролазу мазива наизменично кроз мањи и већи зазор, чиме се смањује његова кинетичка енергија и спречава истицање.

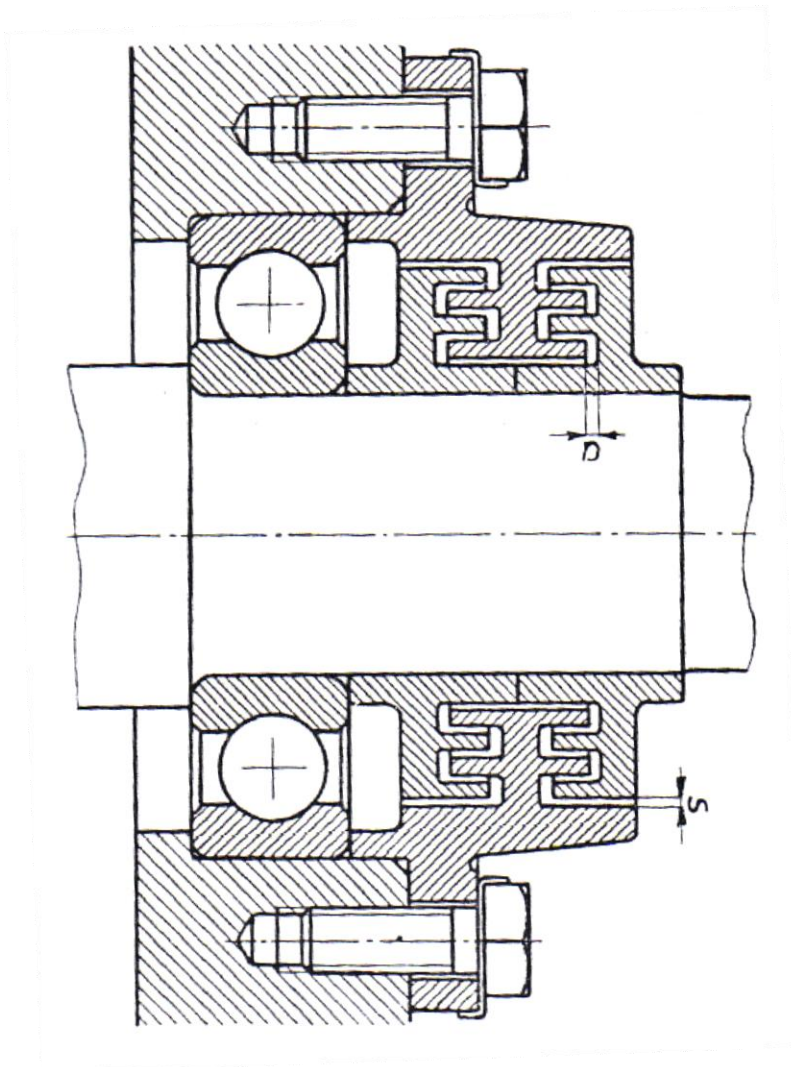
У примени су два типа лабиринтских заптивача: аксијални који се примењује код једноделних кућишта (Сл.10) и радијални за дводелна кућишта (Сл.11). Овакав начин заптивања користи се код подмазивања машћу и ефикасно штити лежај од продора спољне нечистоће. Примењује се и у комбинацији са другим типовима заптивача, [5].

При монтажи, лабиринтски заптивачи се пуне машћу. Ефикасно заптивање обезбеђено је уколико су делови који образују лабиринт центрично постављени, односно у колико нема промене зазора у току окретања вратила, [4].

Лабиринтско заптивање има предност што између елемената лабиринта не постоји додир, па према томе ни треће између покретног и непокретног дела заптивача. Примена лабиринтских заптивача није ограничена на одређена подручја температуре и ободних брзина. Како се обично радијални зазори крећу у границама 0,3 - 1 mm, а аксијални од 1,5-4 mm, израда лабиринта је тешка и скупа. Ово уједно захтева и већу тачност израде делова који су у вези са заптивачем. Успешност лабиринтског заптивања зависи од величине зазора и броја лабирината, [4].

Аксијални лабиринт са жлебовима за маст, (Сл.10.) успешно спречава продирање прашине и нечистоћа у лежиште. Ако је маст у раду изложена знатним температурама па би услед тога могла постати житка, потребно је овој конструкцији заптивача додати филцани прстен.

Начин склапања аксијалних лабирината (Сл.12) захтева примену дводелних кућишта. Склапање радијалних лабирината у том смислу је много једноставније. Лабиринти се пуне машћу при монтажи и тада сигурно заптивају. Уски зазори, сами по себи, довољно сигурно спречавају продирање нечистоћа у лежиште. Код лежишта трајно изложених утицају прашине и воде (возила), ефикасност заптивања одржава се на потребној висини на тај начин што се у лабиринту повремено утискује, за време обртања вратила, свежа маст. Тиме се уједно истискује из лабиринта стара маст заједно са наталоженом прљавштином.



Слика 12: Начин склапања аксијалних лабирината, [4]

Највише примењиване лабиринтске заптивке јесу *protesx* и *insomag*. То су дводелне лабиринтске заптивке које служе као замена за класични семеринг који се уграђује у кућиште лежајева на пумпама, редукторима, [5].

Семеринзи (Сл.13) имају најчешће способност заптивања само у једном смеру, тако да су у могућности или да спрече цурење уља ка атмосфери или продор прљавштине у кућиште. Оштећују вратило, због чега се овај део мора мењати, наварити и термички обрадити. *Protesx* и *insomag* заптивке решавају оба ова проблема остварујући већи степен заптивања и поузданост у раду. Ове заптивке састоје се из ротационог и стационарног дела. У оба ова дела се налази по гумени прстен преко којих се врши заптивање на вратилу, односно кућишту. Пошто нема кретања између ових прстенова и вратила, заптивање је стационарно, па се не оштећује вратило. На стационарном прстену постоји

дренажни канал који је увек постављен вертикално наниже и служи да се прљавштина из атмосфере одведе ван заптивке. Ове заптивке се примењују при брзини од 25 mm/s, постоје и специјалне заптивке које се примењују и за веће брзине, за рад на температури од -40°C до $+120^{\circ}\text{C}$. На слици 13 су приказане ове заптивке, [9].



а) Insomag заптивка

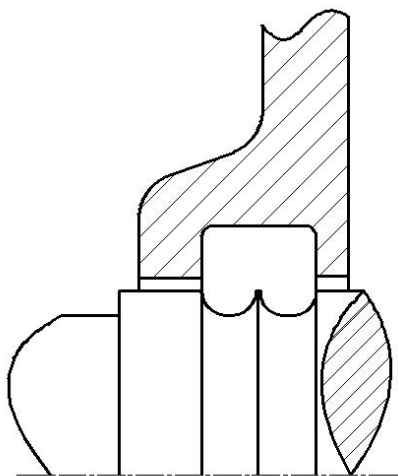


б) Protecх заптивка

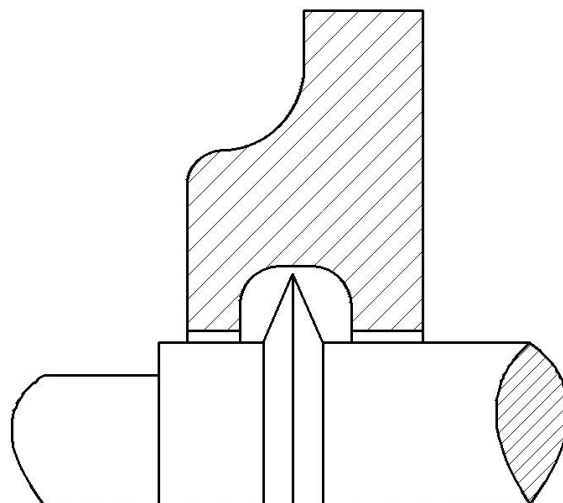
Слика 13: Семеринзи, [9]

4.2. ЦЕНТРИФУГАЛНИ ЗАПТИВАЧИ

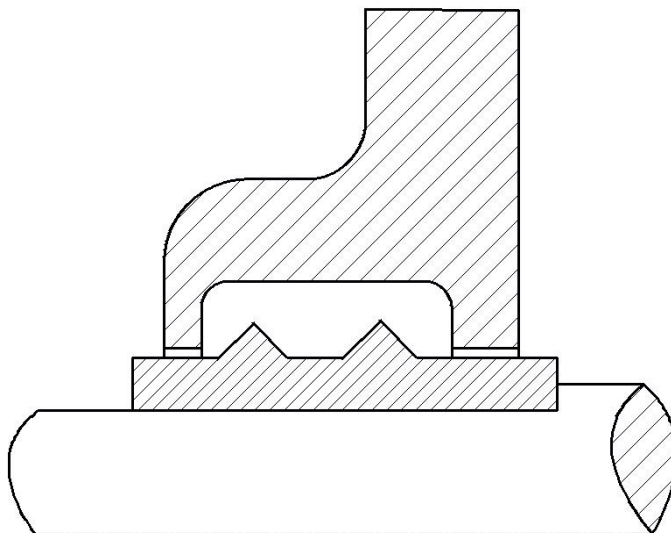
Центрифугални заптивачи (Сл.14, Сл.15, Сл.16.) такође спадају у заптиваче без додира заптивних поршина. Примењују се код подмазивања уљем лежаја високе учестаности обртања, односно за обимне брзине преко 7m/s. На самом вратилу може бити израђен или посебно причвршћен гребен троугластог пресека. Кад уље дође до овог гребена, услед центрифугалне силе бива одбачено од вратила, а затим се преко посебних канала враћа у кућиште. У циљу повећања ефикасности заптивања постоје и конструкциона извођења са два гребена, [5].



Слика14: Центрифугални заптивач, [5]



Слика15: Центрифугални заптивач са једним гребеном, [5]

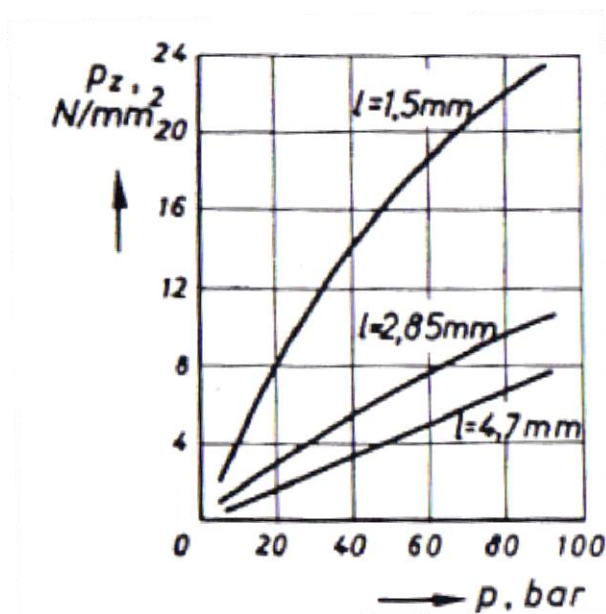


Слика 16: Центрифугални заптивач са два гребена, [5]

Прстени куглични једноредни лежаји са радијалним додиром 60, 62, 63, 64 производе се у варијанти са већ уграђеним заштитним заптивним прстенвима. Овај начин заптивања примењује се код подмазивања машћу лежаја који су уграђени на тешко приступачним местима, или када нису посебним кућиштима заштићени од влаге и нечистоћа, [5].

5.0. ЗАПТИВАЊЕ СПОЈЕВА БЕЗ ПОСЕБНИХ ЗАПТИВКИ

Под дејством оптерећења (Сл.18.) ствара се потребан притисак на додирним површинама елемената и тиме се обезбеђује заптивање споја. Експерименталним испитивањима извршеним на елементима од челика и водом као радним флуидом добијена је зависност притиска p_z који треба остварити на додирним површинама различите ширине l при различитим притисцима флуида Сл.17, [2].



Слика 17: Потребан притисак на додирним површинама за елементе од челика-радни флуид је вода, [2]

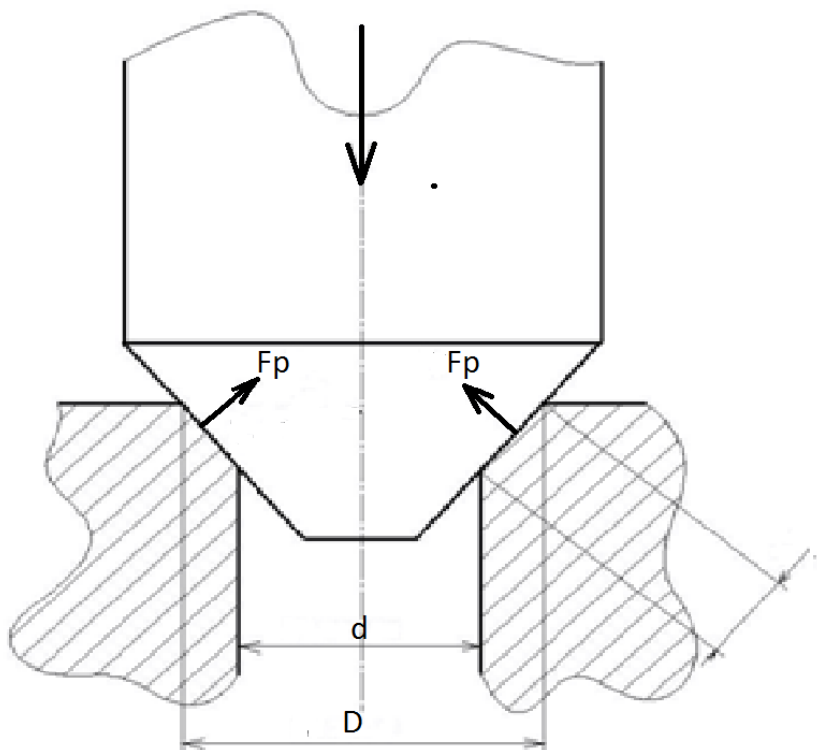
Конусним додирним површинама смањује се потребно аксијално оптерећење (Сл. 19.), на ширини додирних површина. Сила којом треба деловати на елемент споја под дејством притиска флуида износи:

$$F = p_z \pi (d_1^2 - d_2^2) (1 + \mu / \tan \alpha) / 4. \quad (1)$$

Притисак p_z одређује се на основу ширине:

$$L = (d_1 - d_2) / 2 \sin \alpha \quad (2)$$

D, d – спољашњи и унутрашњи пречници, μ је коефицијент трења додирних површина, а угао α се узима 30° , 45° или 60° .



Слика 18: Остваривање заптивања споја без посебних заптивки, [2]

6.0. ИЗБОР ЗАПТИВКИ

На избор одговарајуће заптивке утичу различити параметри, који се јављају у систему кућиште-заптивка-системски флуид. Раније се сматрало да је за одабир одговарајуће заптивке довољно узети само температуру, притисак, флуид и место уградње заптивке. Нова истраживања су показала да заптивке које задовоље ова четири услова, могу да се покажу као неадекватне за одређену примену, а разлози који ће довести заптивку до отказа су:

- металуршки процеси,
- завршна обрада,
- број трнова (чепова) на кућишту који служе за центрирање заптивке, као и број вијака којима се остварује притисак на заптивку,
- растојање између трнова или вијака,
- основни флуид који се заптива и др.

Новија истраживања узимају у обзир чињенице као што су: пропустљивост и дозвољена количина истеклог флуида.

Приликом тумачења вредности, за поједине параметре, које дају произвођачи заптивки, треба имати у виду да су то резултати добијени у лабораторијским условима (у реалним условима треба очекивати нешто ниже вредности) и да се лабораторијски тестови по правилу спроводе на заптивкама дебљине 0.8 mm (уколико су тестови рађени на другачијем узорку, то је поред добијених вредности наглашено). Ово је усвојено из разога што перформансе заптивке опадају са порастом дебљине заптивке. Другим речима, у случају дебље заптивке, потребно је притезање заптивке вршити већим силама да би се остварили идентични резултати. Поред овога, потребно је нагласити да уколико ће радни услови неке заптивке бити на граници препоручених вредности, препорука је да се усвоји квалитетнија заптивка, односно она заптивка код које наведена карактеристика (максимална вредност) неће бити блиска радним условима (нпр. радна температура је 185°C а заптивка издржава температуре до 200°C, препорука је да се усвоји заптивка која издржава температуре преко 220°C, [3].

Да би се одабрала одговарајућа заптивка, морају да се задовоље критеријуми, као што су температура, притисак, место примене, средина, пропустљивост.

ТЕМПЕРАТУРА

На првом месту приликом одабира одговарајуће заптивке, треба утврдити да ли жељена заптивка може радити на жељеној температури. Уколико је радна температура заптивке мања од собне, потребно је у обзир узети минималну температуру која је дозвољена за одређени материјал заптивке. Треба избегавати температуре које су блиске максималној радној температури заптивке одређеног материјала.

МЕСТО ПРИМЕНЕ

Овај критеријум за избор заптивке је повезан са силом притезања коју може да поднесе одређени материјал заптивке. Постоји прорачун који се заснива на подацима о површини налегања, броју, врсти и међусобном растојању трнова за центрирање заптивке и завртњева за причвшћивање заптивке и поклопца. Као резултат овог прорачуна, добија се сила притиска којом је могуће потребно оптеретити заптивку и та вредност се пореди за максимално дозвољеном силом притиска за поједини материјал заптивке.

СРЕДИНА - ОКРУЖЕЊЕ

Немогуће је произвести заптивку која ће заптивати сваки флуид, због неограниченог броја различитих флуида. У 99 % случајева, јавља се потреба за заптивањем већ познатих флуида. Мали је број оних флуида, који представљају граничне вредности, у смислу агресивности.

Највећи проблеми са системским флуидима јесте могућа хемијска реакције са примењеном заптивком. Могу довести до појаве да кисеоник из системског флуида реагује са угљеником из заптивке...

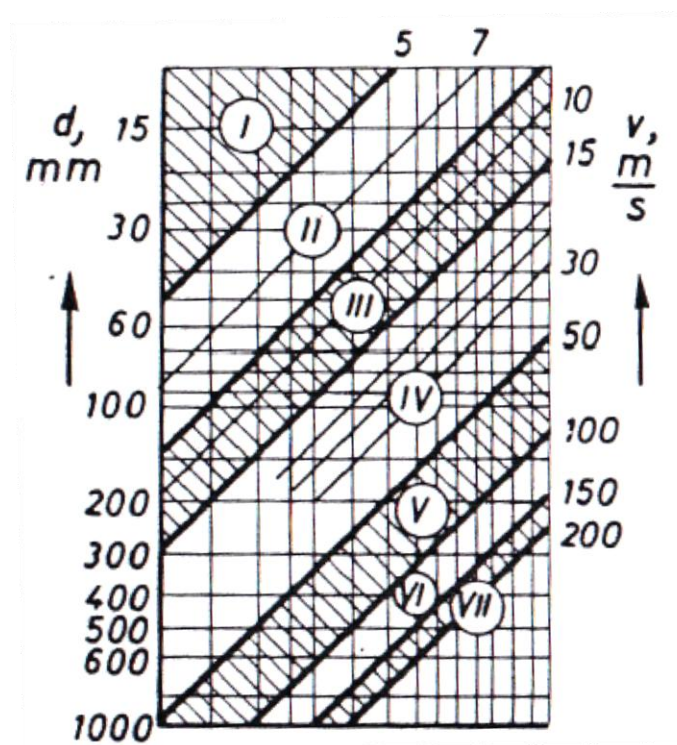
Једна од битних карактеристика системског флуида, а која утиче на способност заптивки да врше своју функцију, је киселост (познато је да кост и љуска јајета у киселини губе калцијум и постају еластични, а да гума у киселини постаје тврда и крта).

Приликом избора заптивке за одређени системски флуид, често се заборавља проверити отпорност заптивке на материје које се користе за прање и испирање простора који, током рада, заузима системски флуид. Наиме, могућ је случај да се, након испуштања системског флуида, у систем убаци флуид за прање и пусти систем неко време да ради. На овај начин заптивка долази у додир са флуидом, који је по правилу агресиван, и на који заптивка, можда, није отпорна, [3].

ПРИТИСАК

Радни притисак је један од основних критеријума који мора да задовољи изабрана заптивка. Приликом производње заптивке, произвођачи дају максималну вредност притиска који заптивка може да поднесе. За одабир одговарајуће заптивке потребно је узети у обзир и притисак и температуру. Стога се препоручује да се притисак и температура анализирају симултано, односно да се анализирају за сваку заптивку која се узима у обзир.

Избор начина заптивања може се усвојити према слици 19:



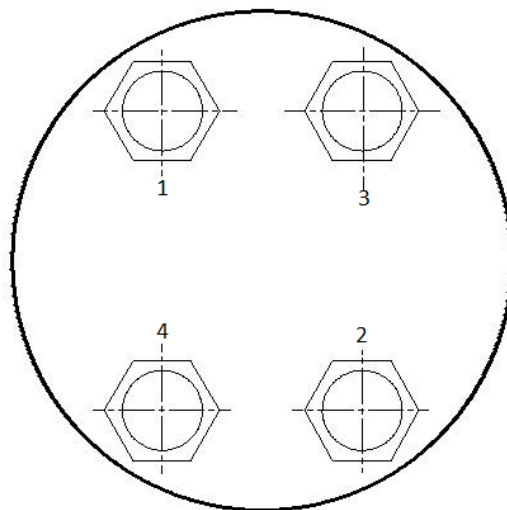
Слика 19: Избор начина заптивања, [6] (крива слика)

I-заптивање филцаним прстеновима, II-радијалне заптивке без специјалне обраде вратила, III-радијалне заптивке са опругом са хромираном површином вратила, IV-лабиринтно заптивање, V-заптивање процепима или спојевима са слободним струјањем, или убацивањем уљне магле, VI-вакумски уређаји, VII-заптивање гасом на основу против притиска у склопу, [2].

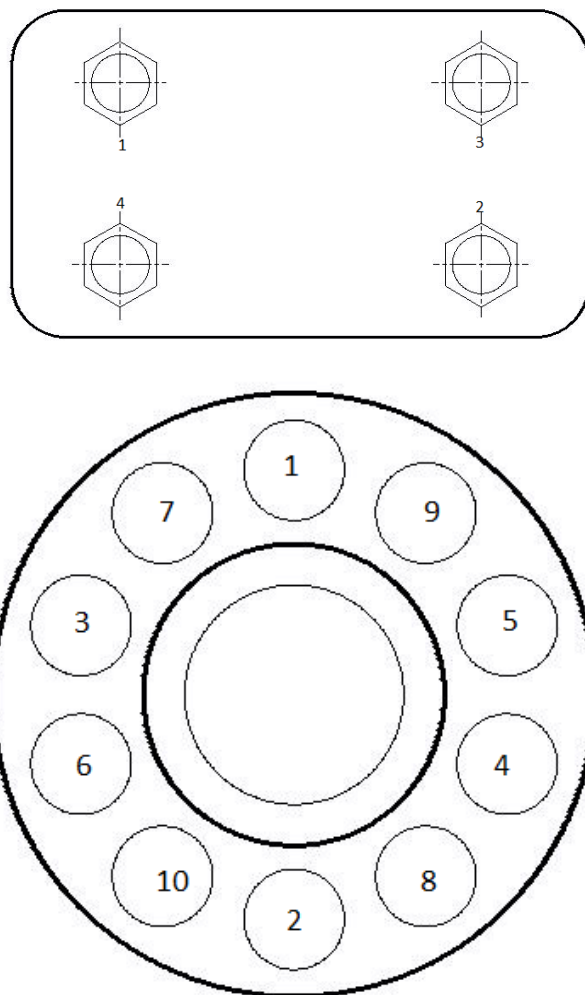
7.0. МОНТАЖА И ДЕМОНТАЖА ЗАПТИВКИ

Након отказа заптивке, потребно је дотрајалу заптивку заменити новом. Уколико се растављање склопа врши из неког другог разлога, а не из разлога дотрајале заптивке, није препоручено вратити исту заптивку приликом поновне монтаже склопа. Заптивка приликом демонтаже не поседује исте карактеристике као нова заптивка, с тога се препоручује да се демонтирана заптивка замени новом. Уколико се приликом монтаже склопа поново постави демонтирана заптивка може доћи до цурења радног флуида.

Приликом замене заптивке, неопходно је уклонити трагове старе заптивке и очистити површине на које ће заптивка налегати. Чишћење је потребно урадити предметом који неће довести до оштећења површина на који заптивка належе. Након што је површина темељно очишћена, потребно је поставити нову заптивку (препука је да заптивка буде што је могуће тања - 0,8 mm). Савремене заптивке не захтевају употребу средства за лепљење. Заптивка која се поставља на место заптивања мора бити чиста. Приликом позиционирања заптивке мора да се обрати пажња, да не би дошло до оштећења заптивке. На крају је потребно извршити притезање заптивке тачно одређеним моментом притезања. На сликама 20, 21 су приказани редоследи притезања завртњева приликом прочвршћивања заптивке.



Слика 20: Редослед притезања завртњева – 1, [3]



Слика 21: Редослед притезања завртњева - 2, [3]

Препорука је да се приликом притезања прати приказани редослед, како би заптивка успела да оствари максимално заптивање. Притезање се врши у три наврата са по трећином предвиђеног момента притезања. После 24 h потребно је проверити сваки завртањ.

Препоручљиво је да се са заптивкама приликом монтаже поступа са посебном опрезношћу, јер су заптивке подложне оштећењима приликом монтаже. Да би се избегло оштећење заптивке, често се израђују алати који олакшавају монтажу заптивке. На слици 22 приказан је пример оштећене заптивке, које је настало приликом монтаже заптивке преко нарезаног навоја.



Слика 22. Пример оштећења заптивке услед монтаже (превлачења) преко навоја, [3]

Како је приликом постављања заптивке често потребно применити силу, у пракси се дешава да се чекићем, уз помоћ неког додатног предмета, удара по заптивци или кружно или наизменично на два места. Овим се заптивка деформише било због директног оштећења ударцима, било због наизменичног ексцентричног навлачења на осовину. Додатни проблем је покушај "набијања" заптивке и када је она стигла до краја удубљења у које је треба поставити, што додатно деформише заптивку. Сви ови проблеми се могу избећи израдом одговарајућег алата, [3].

8.0. ОДРЖАВАЊЕ ЗАПТИВКИ И ЗАПТИВНИХ МЕСТА

Намонтиране заптивке, као и заптивна места не захтевају никаква посебна одржавања. Повремено је само потребно проверити да ли заптивка пропушта радни флуид. Најчешће се провера врши визуелним путем. Препоручљиво је вршити проверу завртњева, како не би дошло до самоодвртања. Проверу завртњева је препоручљиво вршити у тачно одређеним временским интервалима. Код заптивања покретних делова неопходно је водити рачуна о подмазивању заптивке, односно обезбедити сталан доток средства за подмазивање заптивке у зони заптивања, како не би дошло до повећаног трења, а самим тим и до повећања радне температуре заптивке, коју заптивка не може да поднесе. На слици 23 је приказан карактеристичан изглед оштећене заптивке услед недостатка средства за подмазивање.



Слика 23: Карактеристичан изглед оштећене заптивке услед недостатка средства за подмазивање, [3]

9.0. МАТЕРИЈАЛИ ЗА ИЗРАДУ ЗАПТИВКИ

Материјали за израду заптивки треба да имају следеће својства:

- чврстоћу,
- еластичност,
- отпорност на хабање,
- отпорност на повишене температуре,
- и да под дејством радне течности не мењају своја својства.

Материјали који се користе за заптивке могу се разврстати у три групе:

- метали,
- еластомери,
- и термопласти.

Металне заптивке за високе притиске израђују се од челика, а за средње и ниске притиске од бакра, алуминијума или њихових легура. Металне заптивке се примењују у случајевима када је неопходно обезбедити топлотну или електричну проводљивост заптивки. Отпорност оваквих заптивки зависи од материјала од којег је заптивка направљена.

Еластомери су материјали на бази каучука. Ту спадају природна и вештачка гума, нитрилни каучук, хлоропрен-каучук, сирол-бутадијен-каучук, силикон-каучук...

Вештачка гума се примењује за заптивање топле и хладне воде, водене паре амонијака, или слабе каустичне соде, где се остварују високи притисци и температуре. Показују добру отпорност на старење, абразију и кидање. Природна гума је отпорна на абразију и благе киселине, поседује високу чврстоћу и отпорност на кидање. Примењује се у условима где не владају високи притисци, а захтева се мека гумена заптивка.

Полуорганска синтетичка гума са добром отпорношћу на ниске и високе температуре, поседује ниску отпорност на кидање и лоше механичке особине без присуства средстава за подмазивање, али се добро понаша под оптерећењем, лако се враћа у првобитни облик. Поседује релативно добру отпорност на раствараче. Проблем са силиконима је што упијају поједина средства за подмазивање и што имају слабу хемијску отпорност на оксидирајућа средства за подмазивање, као и на нека оксидирајуће адитиве. Силикони се приликом наношења јављају у течном стању, а касније након излагања на ваздуху очвршћавају.

Витон је материјал за израду заптивки, који је отпоран на широк спектар уља и растварача. Поседује добру отпорност на абразију и кидање. Могуће га је применити у распону од -40°C до $+200^{\circ}\text{C}$. Добре особине овог материјала чине овај материјал врло скупим, чак деведесет пута је скупљи од нитрила.

Неопрен је материјал, који је отпоран на широк спектар уља и растварача и има одличну отпорност на озон. Препоручено је да се користи у температурском интервалу од -30°C до $+80^{\circ}\text{C}$.

НБР је отпоран на раствараче, уља, воду и хидрауличка уља. Поседује добру отпорност на притисак, истезање, пузање и абразију. Након престанка дејства деформишуће силе враћа се у свој првобитни облик, [3].

ЕПДМ је отпоран на временске услове и високе температуре, такође поседује одличну отпорност на биљна и животињска уља, као и на разне масти, воду, пару. Једина мана му је што није отпоран на нафтне деривате.

Термопластични материјали или термопласти се много користе за израду заптивки. У ове материјале спадају политерафлуоретилен, познат под називом тефлон, полиамид, полиацетол, поли-карбонат... У пракси се највише користи тефлон, чије се особине побољшавају армирањем стакленим влакнима, графитом, бронзом и другим специјалним материјалима. Тефлон добро подноси ниске и високе температуре. Примењује се за температуре у опсегу од -200°C до $+270^{\circ}\text{C}$. Има мали коефицијент трења и хемијски је отпоран према радним течностима, али при раду се пластично деформише. Тефлон не садржи никакве природне хранљиве материје тако да се на њему не могу развијати никакве бактерије. Отпоран је на појаву пузања и такозваног хладног течења. Није лепљив, што је изузетно битно у процесу демонтаже. Бубрење термопласта зависи од врсте материјала од кога је направљен и врсте радне течности. На тржишту се може пронаћи велики број производа направљених од тефлона, који се користе за заптивање. Тефлон се такође користи и за израду плетеница за заптивање пумпи и вентила.

За израду заптивки користе се још и материјали као што су: биљна влакна, вештачка влакна, азбест, графит, графоил, дурлон, акрилни материјали, арамид, керамички материјали...

Биљна влакна (картон, плута), уз додатке протеин-глицерин пуниоца, представљају добар заптивни материјал, за бензин, уља, нафту, керозин и природни гас и могуће их је примењивати до температуре до 100° C, [3].

Азбест, минерал који је једно време, због своје високе отпорности на температуру и притисак, био стандард за заптивање, али је због својих канцерогених својстава, као и особине да се трајно деформише и отврдњава, потиснут другим, новијим материјалима. Овај процес замене заптивки од азбеста је започео истраживањима у раним осамдесетим годинама, али пошто су се ти први неазбестни материјали показали инфериорним у односу на азбест, овај материјал је, у неким системима, опстао и до данас, [3].

Стаклена влакна (фиберглас - направљен од комплексних металних силиката) имају изузетне топлотне и механичке карактеристике. Влакна фибергласа не горе и ослобађају се топлоте (зраче топлоту) много брже него природна влакна. Поседују димензиону стабилност – не деформишу се под притиском и високу затезну чврстоћу (отпорност на кидање). Отпорна су на уобичајене раствараче, уља, нафту и нафтне деривате, избељиваче и већину органских хемикалија, [3].

Графит као природни материјал, често се користи за израду заптивки. Користи се у комбинацији са другим материјалима. Примењује се за рад на температури од -210°С до + 260°С, и за притиске преко 80 bar. Од експандираног графита могуће је изградити и плетенице за пумпе које подносе температуру до 650°С. Једна од особина која чини овај материјал изузетним, је та што је овај материјал отпоран на радиоактивно зрачење.

Графоил припада фамилији угљеничних заптивки, јер не садржи никакве смоле, азбест, никаква влакана... Садржи ламелиран лим дебљине 0,1 mm, од нерђајућег челика. Отпоран је на корозију и високе температуре. Једна од бољих особина овог материјала је та што не приања приликом заптивања уз основни материјал, тако да нема проблема приликом демонтаже заптивке направљене од овог материјала.

Дурлон је материјал који припада фамилији синтетичких влакана у комбинацији са гумом. Отпоран је на високе температуре. Подноси температуре преко 400°С и притиске преко 10 МПа. Отпоран је на пару, уље, течни хлор, течни и гасовити кисеоник, разне киселине, алкохол... Не садржи азбест. Проводи електрицитет и на тај начин спречава појаву статичког електрицитета. У свом саставу садржи материју која спречава лепљење на површине које заптива, тако да се демонтажа лако спроводи.

Акрилни материјали се у последње време јављају као течна, анаеробна средства за заптивање. Складиште се у боцама, након наношења задржавају своје течност стање, све док се не изврши монтажа, чиме се течност акрилно средство изолује од ваздуха, и тек тада очвршћава. Због ове особине се називају и анаеробним заптивкама. Могу се применити у температурним распонима од -50°C до $+150^{\circ}\text{C}$, па чак и до 200°C . Након очвршћавања могу издржати изузетно високе притиске системског флуида, [3].

Арамид се користи за израду плетеница са додатком средства за подмазивање. Плетенице направљене од овог материјала су изузетно трајне и отпорне на агресивну средину. Подносе температуру до 250°C , притисак од 35 bar и брзину од 600 m/min. Користи се и за израду класичних заптивки са додатком неког пуниоца. Радна температура класичних заптивки зависи од температуре коју пуниоц може да поднесе. Оваква заптивка може поднети притисак преко 80 bar.

Угљенична влакна импрегнирана тефлонском смолом могу се применити на сваком месту где се не захтева отпорност на агресивне хемиске супстанце. Најбоље особине ових влакана испољавају у температурском интервалу од -212°C до $+280^{\circ}\text{C}$. Заптивком од ултралона је могуће заменити заптивку од тефлона. Ултралон се показао као изузетно квалитетан материјал. Отпоран је на пузање и хладно течење. Није лепљив што га чини лаким за демонтирање.

Керамички материјали се користе за заптивање на високим температурама. Керамички материјали за заптивање се испоручују у течном стању. Након наношења на место заптивања, заптивка попуњава рупу, а затим после извесног времена очвршћава. Након 2 сата заптивка постиже своју крајњу чврстоћу и тада може да поднесе температуру од 1200°C , па чак може да поднесе температуру и од 1600°C у неком краћем временском интервалу. Поред овога, керамичке заптивке добро подносе већину хемикалија, отпорне су на старење, електрицитет...

10.0. ЗАКЉУЧАК

Заптивање није само значајан триболошко експлоатациони регулатор, већ веома важан елемент машинског система, зато што од радне способности заптивних склопова зависи поузданост система у целини. Заптивање је у најширем смислу начин раздвајања различитих средина, различитих по својим природним и физичким својствима. Најчешће је то раздвајање елемената и склопова, а коначни циљ је заптивање елемената, склопова или машинских система у целини.

Задатак заптивања спојева машинских елемената је да спречи истицање флуида из радног простора и да заштити радне елементе од продора и утицаја спољашње средине.

Може се приметити да највећи број отказа заптивки настаје услед људске непажње. Откази могу настати и услед старења материјала од кога је заптивка направљена. При отказивању заптивке најпре долази до губљења еластичних својстава материјала заптивке, што је праћено губљењем притиска између заптивке и кућишта, што на крају доводи до цурења радног флуида. Откази настали људском непажњом су:

- заптивка која је отказала услед старења, или из неког разлога демонтаже склопа, замењена је неадекватном заптивком, односно заптивком која не може одржати своја својства у радном окружењу,
- остаци старе заптивке који нису довољно уклоњени да би се намонтирала нова заптивка,
- грешке при монтажи (недовољно притезање завртњева),
- примена алата који нису намењени за демонтажу и монтажу заптивке,
- контакт заптивке са флуидом који јој мења својства,
- недовољни притисак притезања завртњева,
- превелик притисак притезања завртњева,
- комбинација предходна два случаја...

Због великог броја различитих случајева где се јавља потреба за заптивањем, изражена је и потреба за класификацијом заптивки. Поделу је могуће извршити на много начина, практично могуће је извршити поделу на основу сваке карактеристике заптивке. Најједноставнија подела је на заптивање спојева без додира заптивних површина и на заптивање спојева са диром заптивних површина.

11.0 ЛИТЕРАТУРА

- [1] Душан Ј. Витас, Милан Д. Трбојевић: МАШИНСКИ ЕЛЕМЕНТИ 2, НАУЧНА КЊИГА, БЕОГРАД, 1988.
- [2] ИНЖЕЊЕРСКО МАШИНСКИ ПРИРУЧНИ, КЊИГА 2, ЗАВОД ЗА УЏБЕНИКЕ И НАСТАВНА СРЕДСТВА, БЕОГРАД, 1992.
- [3] <http://www.iim.ftn.uns.ac.rs/kel/attachments/category/10/Nastava%2006%20-%20Zaptivanje.pdf>
- [4] М. Ивановић, М. Стојановић: КОТРЉАЈНИ ЛЕЖАЈИ, НОВИНСКО-ИЗДАВАЧКО ПРЕДУЗЕЋЕ, ТЕХНИЧКА КЊИГА, БЕОГРАД, 1966.
- [5] В. Милтеновић, М. Огњановић: МАШИНСКИ ЕЛЕМЕНТИ 3, МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ НИШ-БЕОГРАД, 1995.
- [6] Јевтић Н. Јован: РЕДУКТОРИ, ДРУГО ПОПУЊЕНО ИЗДАЊЕ, ПРИВРЕДНИ ПРЕГЛЕД, БЕОГРАД
- [7] Милан Д. Трбојевић, Момчило Р. Јанковић, Јово Вугдеља, Слободан Ивковић, Војислав Латиновић: РЕДУКТОРИ, ДРУГО ИЗМЕЊЕНО И ДОПУЊЕНО ИЗДАЊЕ, НАУЧНА КЊИГА, БЕОГРАД, 1984.
- [8] <http://www.profilisr.com/dihtunzi-i-manzetne.html>
- [9]] <http://www.hidraulika.biz/zaptivke-za-hidrauliku/semering>