

**Факултет инжењерских наука Универзитета у
Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Машински елементи

Број индекса: 130/2012

Стефан З. Бараћ

Активни магнетни лежаји
завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Зорица Ђорђевић, ванр.проф - ментор**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да обради следеће:

1. Увод,
2. Активни магнетни лежаји: основне карактеристике, принцип рада, примена,...
3. Конструктивни облици активних магнетних лежаја,
4. Предности и недостаци магнетних лежаја,
5. Закључак.

Препоручена литература:

[1] Вера Николић, Машински елементи – теорија, прорачун, примери, Крагујевац, 2004.

[2] Војислав Милтеновић, Милосав Огњановић, Машински елементи 3 - елементи за обртно кретање течности и гасове, Ниш-Београд, 1995.

[3]https://www.researchgate.net/publication/225280238_AKTIVNI_MAGNETNI_LEZAJE_VI.

Крагујевац, 21.09.2016.год.

Ментор:

Др Зорица Ђорђевић, ванр.проф

Садржај

1. Увод	1
2. Котрљајни лежајеви.....	3
2.1 Подела котрљајних лежајева.....	5
2.2 Мере и означавање котрљајних лежаја.....	7
2.3 Уградња лежаја.....	9
2.4 Врсте и карактеристике котрљајних лежаја.....	10
3. Клизни лежајеви-лежишта.....	12
3.1 Предности и недостаци клизних лежишта.....	13
3.2 Подела клизних лежаја.....	14
3.3 Врсте мазива код клизних лежишта.....	16
3.4 Материјали за израду делова клизних лежишта и рукавца.....	18
4. Активни магнетни лежаји.....	19
4.1 Историја настанка магнетних лежаја.....	19
4.2 Принцип рада активног магнетног лежаја.....	20
4.3 Лежајеви подршке.....	22
4.4 Подела активних магнетних лежаја.....	23
4.5 Предности и недостатци активних магнетних лежаја у односу на клизне и котрљајне лежаје.....	24
4.6 Поље примене магнетних лежаја.....	26
5. Закључак.....	29
Литература.....	30

Резиме:

У оквиру овог рада предстаљен је активни магнетни лежај. Поред активног магнетног лежаја дат је кратак осврт и на котрљајне лежаје и клизна лежишта. Котрљајни лежаји и клизна лежишта припадају групи контактних лежаја код којих се јавља трење. Они служе да пренесу оптерећење са покретних делова на непокретне у аксијалном и радијалном правцу. Активни магнетни лежаји представљају унапређену верзију лежаја. Спадају у групу неконтактних лежаја код којих се трење не јавља. Примењују се код машина и уређаја који захтевају велику прецизност, мала одржавања, велике брзине итд.

Кључне речи: *Лежај, клизна лежишта, котрљајни лежаји, магнетни лежај, активни магнетни лежај.*

Abstract :

Within the paper active magnetic bearing is presented. Besides the active magnetic bearings, within this paper short review of rolling bearing and plain bearings. Rolling bearings and plain bearing belong to group of contact bearings in which occurs friction. These bearing serve for transferring load from movable parts to immovable parts in radial and axial direction. Active magnetic bearing presents new and upgrade version of bearings. They belong to group of non contact bearings where there are no friction. It is used in machines which requires high precision, high speed and long life.

Key words: *Bearing, plain bearing, roller bearing, magnetic bearings, active magnetic bearings.*

1 Увод

Лежај је машински део који дозвољава одређено релативно кретање између два дела, најчешће ротацију, при чему преноси оптерећење са покретног на непокретни део уз смањење трења између тих делова. Лежаји имају задатак да елиминишу трење на додирним површинама, смањују отпор кретању вратила и самим тим смањују губитке ефикасности неке одређене машине. Лежаји морају да: апсорбоју вибрације, преносе ударе, буду опторни на промену температуре и др.



Слика 1

Лежаји

При дефинисању једног лежаја потребно је:

- Дефинисати геометријске карактеристике лежаја,
- Дефинисати носивост лежаја,
- Дефинисати број обртаја и угаону брзину коју лежај може да поднесе,
- Дефинисати опсег температур при којима лежај може да ради.

Према конструкцији лежаји се деле на, [1]:

- Клизни лежаји,
- Котрљајни лежаји,
- Бесконтактни лежаји.

Према правцу деловања силе лежаји се деле на три групе, [1]:

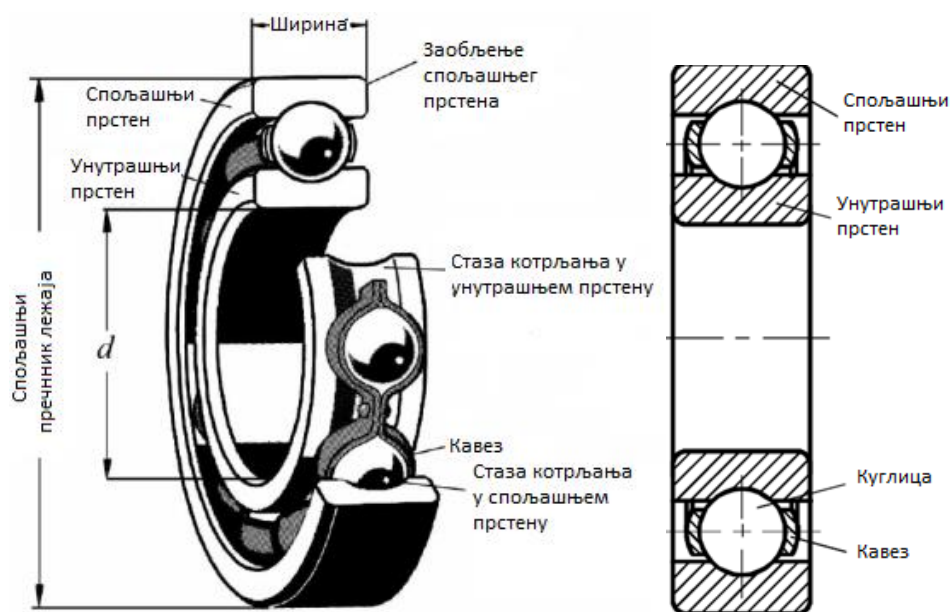
- Радијални (попречни) лежаји - код којих сила делује нормално на осу лежаја,
- Аксијални (уздужни) лежаји - код којих сила делује дуж осе лежаја,
- Комбиновани (аскијално - радијални лежаји) - код ових лежаја сила делује нормално и дуж осе лежаја.

2. Котрљајни лежаји

Котрљајни лежаји су машински делови који се најчешће уграђују у ослонце вратила и осовина. Често се за котрљајни лежај користи само израз лежај. Основна улога лежаја је преношење оптерећења, са покретних делова на непокретне, и обезбеђење тачности њиховог положаја. На пример, силе са вратила и осовина лежаји преносе на носећу конструкцију, углавном кућиште. Поред тога лежаји омогућавају и обртање рукавца. Обрнуто, посредством лежаја код мотора СУС, сила са клипњаче се преноси на коленасто вратило. Лежаји се уграђују и између других релативно покретних делова, на пример између обртних главчина и вратила. Према томе, лежаји преносе само силе, а не и обртне моменте, [1].

Котрљајни лежаји су стандардни елементи и производе се у специјализованим фабрикама. Стандардима су прописани облици и мере, називи и начин означавања, материјал, квалитет радних површина, начин контроле и уградње и др., [1].

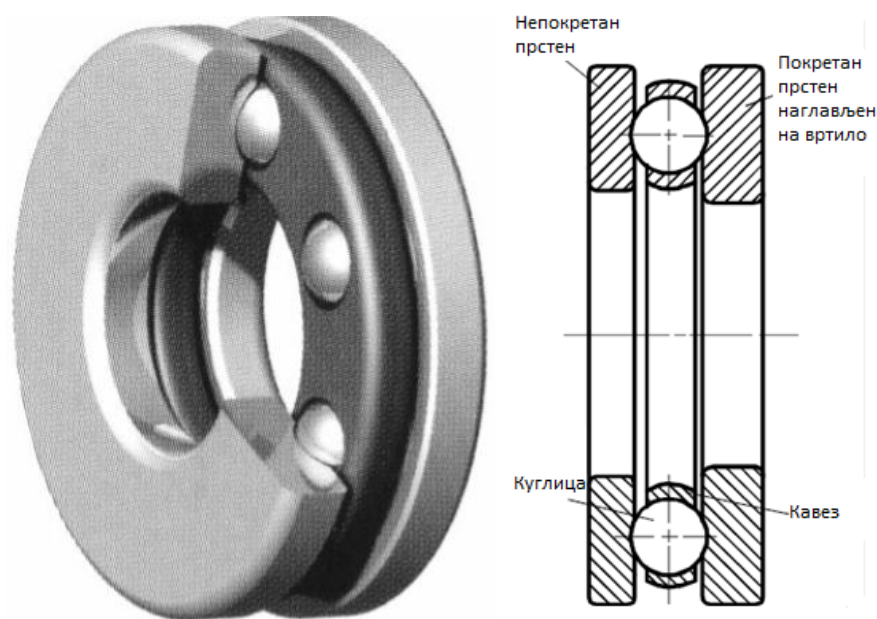
Котрљајни лежаји се састоје од прстена или колутова који су спојени са непокретним или покретним деловима машине, котрљајних тела и кавеза (слика 2). Котрљајна тела су смештена између спољашњег и унутрашњег прстена код прстенастих лежаја.



Слика 2

Саставни делови прстенастог лежаја

Код колутних лежаја котрљајна тела се налазе између колутова. Један колут колутних лежаја је чврсто наглављен на вратило и окреће се заједно са њим. Други колут је углављен у кућиште лежаја и напокретан је.



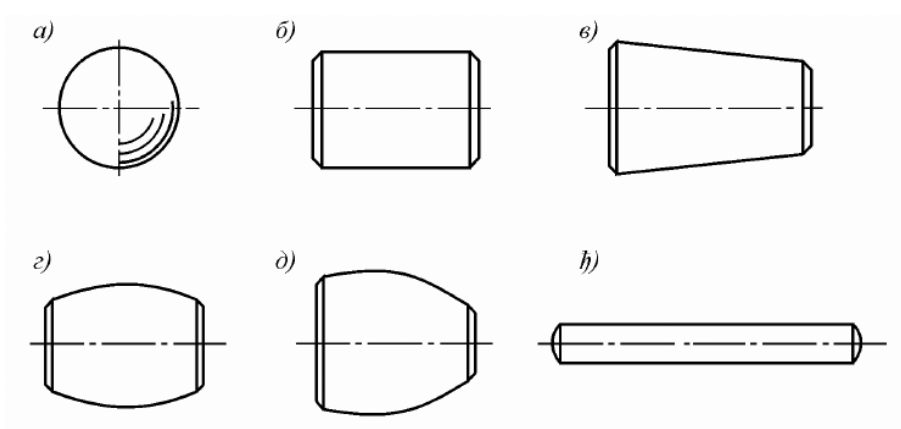
Слика 3

Саставни делови колутног лежаја

У прстеновима и колутима уграђени су жлебови, такозване стазе котрљања по којима се крећу тела. По правилу прстенасти лежаји служе за преношење радијалних сила, а могу се применити и у случају радијалних и аксијалних сила. Колутни лежаји служе за преношење аксијалних сила.

Прстенови, колути и котрљајна тела се израђују од челика легираног хромом. За кавез се најчешће користи челични лим, лаки матали полиамиди и друго.

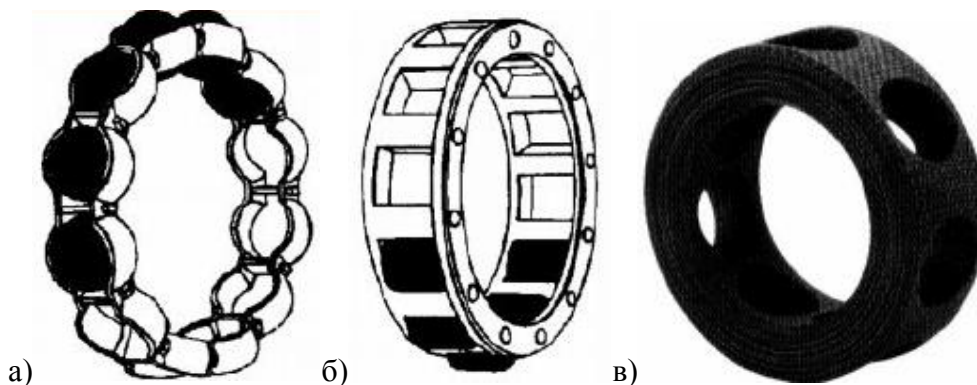
Котрљајна тела могу бити у облику куглица, цилиндричних ваљака, конуса, заобљених ваљака, заобљених конуса и иглица (слика 4).



Слика 4

Облици котрљајних тела: а) куглица; б) цилиндрични ваљак; в) конични ваљак; г) заобљени ваљак; д) бачвасти ваљак; е) заобљени конус; ж) иглица

Котрљајна тела су смештена у одговарајуће **кавезе** (слика 5). Кавез спречава додир котрљајних тела и одржава њихово стално међусобно растојање. Кавези се израђују од лима или пуног материјала, [1].



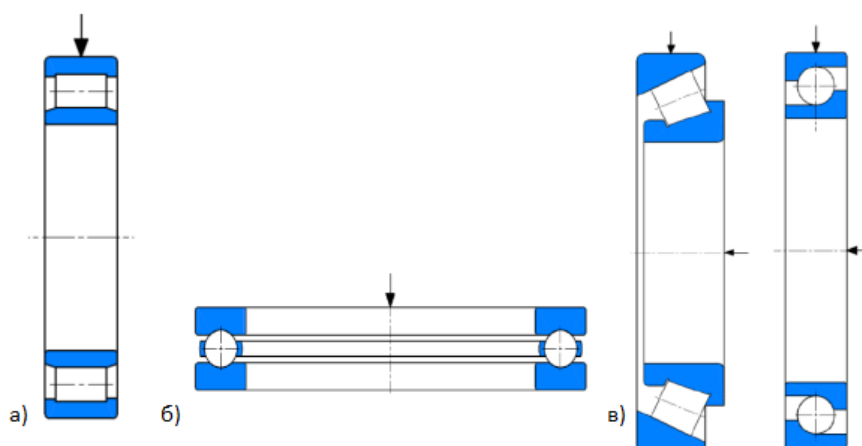
Слика 5

Кавези котрљајних лежаја: а) кавез за куглице; б) кавез за ваљке; в) кавез који се користи при великим обртним моментима

2.1. Подела котрљајних лежаја

Котрљајни лежаји се могу поделити, [1.2]:

- **Према правцу силе коју преносе лежаји се деле на:**
 - Радијалне (преносе силу у радијалном правцу),
 - Аксијалне (преносе силу у аксијалном правцу),
 - Радијално - аксијалне (преносе силу у радијалном и аксијалном правцу).



Слика 6

а) Радијални лежај; б) аксијални лежај; в) радијално-аксијални лежај

- Према броју котрљајних тела лежаји могу бити, [2]:

- Једноредни (један ред котрљајних тела),
- Вишередни (два или више редова котрљајних тела).

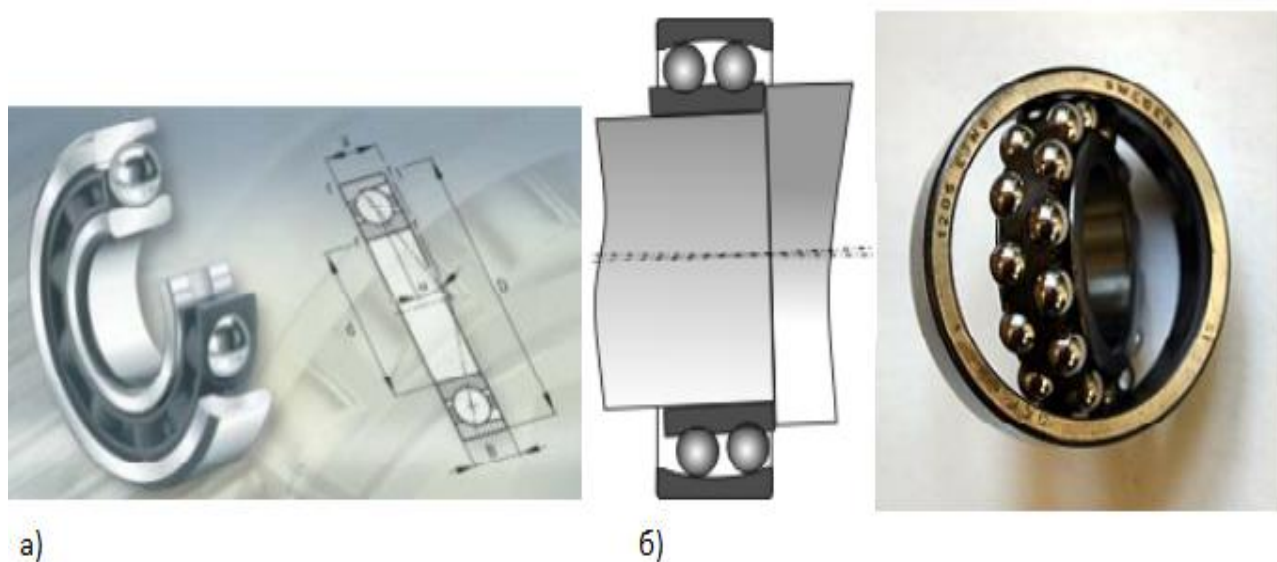


Слика 7

а) Једноредни лежај; б) дворедни лежај; в) вишередни лежај

- Према способности прилагођавања деформацијама вратила у ослонацу лежаји се деле на, [2]:

- Круте (неподесиве),
- Зглобне (подесиве).



Слика 8

а) Крути лежај; б) зглобни лежај

2.2 Мере и означавање котрљајних лежаја

Спољашње мере котрљајних лежаја су стандардизоване према стандардима ISO 15, ISO 104 и ISO 355, DIN 616, DIN ISO 355. Сваком пречнику отвора d (пречнику вратила) одговара спољашњи пречник D (пречник омотача) и стандардна ширина B , код прстенастих лежаја, односно висина H код аксијалних лежаја. Према ISO препорукама мере ширине, односно висине и пречника омотача сврстане су у прогресивне редове.

Ознаке котрљајних лежаја су стандардизоване и већина светских произвођача користи систем DIN на основу кога је урађен и стандард SRPS M.C3.506. Ознаке лежаја се састоје из два дела: основне и додатне.

Основна ознака дефинише тип и величину лежаја. Основна карактеристика конструкције одређена је помоћу једног или више бројева или слова. Ознака реда мера добија се на основу стандардизованих спољашњих мера (ширина, висина и спољашњи пречник). Одговарајући низ за спољашње пречнике означава се бројевима 8, 9, 0, 1, 2, 3, 4, ширине бројевима 0, 1, 2, 3, 4, 5 а висина бројевима 7, 9, 1.

Ознаке за отвор надовезују се на ознаку за серију лежаја и образују се на различити начин, у зависности од типа и величине лежаја. За лежаје са пречником отвора мањим од 10 mm, ознака је идентична вредности пречника у mm. За пречнике отвора 10, 12, 15 и 17 mm ознаке су 00, 01, 02, 03. Ознаке лежаја, са пречником отвора до 20 до 500 mm се добијају када се вредност пречника у mm подели бројем 5, а за пречнике отвора веће од 500 mm ознака одговара пречнику у mm.

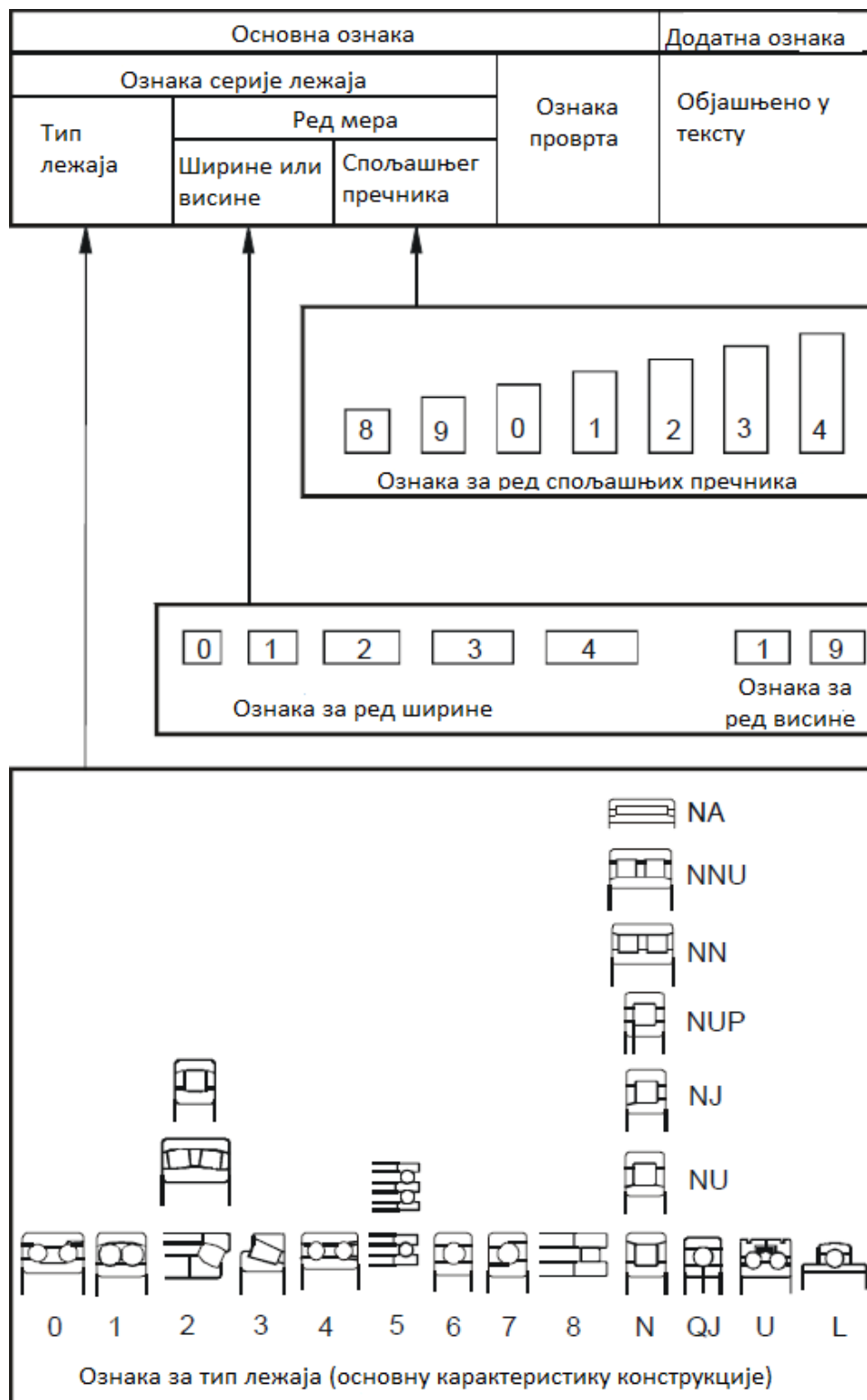
Код ознаке реда мера први број се односи на ширину, односно висину лежаја, а други број на спољашњи пречник прстена или колута у зависности од типа лежаја. Код неких типова лежаја ознака реда мера садржи само ознаку спољашњег пречника.

Поред основних ознака постоје и додатне ознаке које служе за обележавање материјала, конструктивних специфичности, зазора, мазива, толеранција и др. Додатна ознака се пише иза или испред основне ознаке, [1].

Допунске ознаке које се пишу иза основне ознаке могу бити:

- Одступање конструкције лежаја (означава се са: A, B, C, D, E),
- Одступање спољашњег облика означава се са J (без ивичног прстена), K (са коничним отвором)...
- Зазор у лежају се означава словом C и бројном знаком,
- Класа толеранције се означава словом P и бројном знаком класе,
- Постојаност на повишеним температурама се означава словом S и бројем.

Допунске ознаке испред основне величине значе да су лежаји некомплетни. На пример, К - кавез са котрљајним телима, R - прстен лежаја са котрљајним телима, L - слободни прстен расклопивног лежаја.

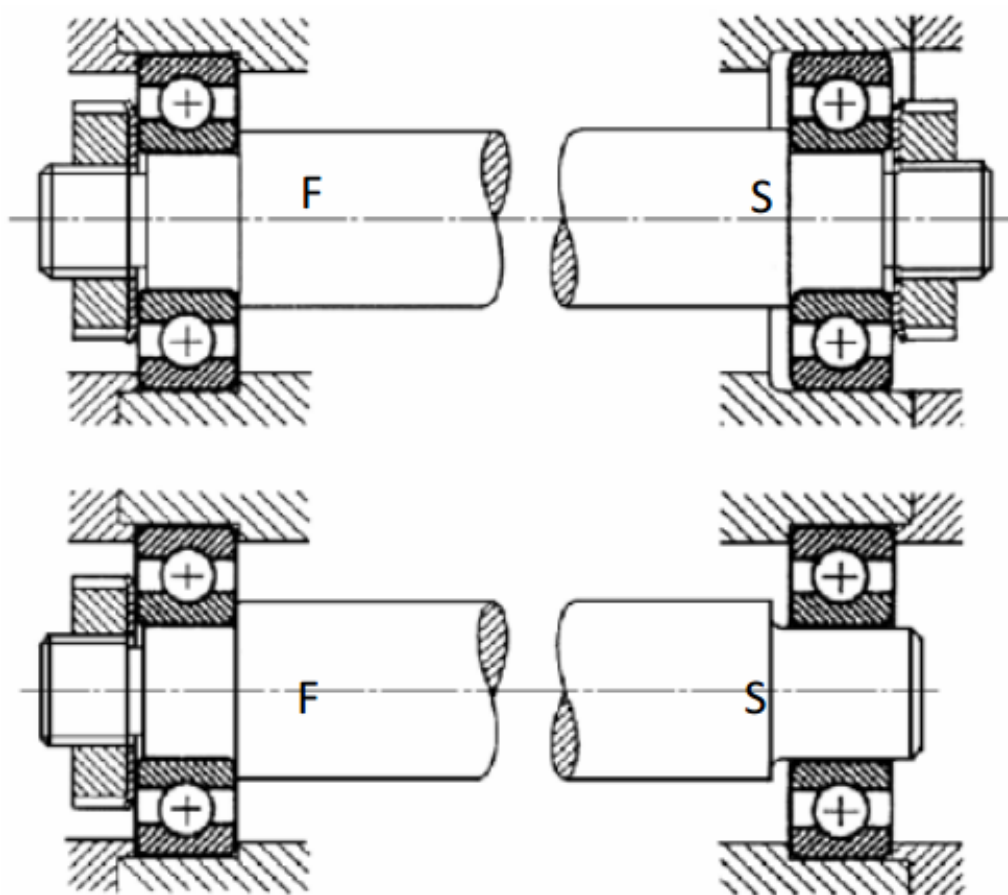


Слика 9

Означавање лежаја

2.3 Уградња лежаја

Преношење радијалног оптерећења се постиже учвршћавањем унутрашњег прстена лежаја на вратилу и спољашњег прстена у кућишту; то се постиже прописивањем толеранцијског склопа (налегања). Унутрашњи прстен са вратилом образује чврсто налегање са малим преклопом или лабаво налегање са малим зазором ако се спољашњи прстен окреће; спољашњи прстен са кућиштем чини лабаво налегање са малим зазором, а када се кућиште обрће, тада се образује чврсто налегање са малим преклопом.



Слика 10

Примери осигурања лежаја на вратилу и кућишту

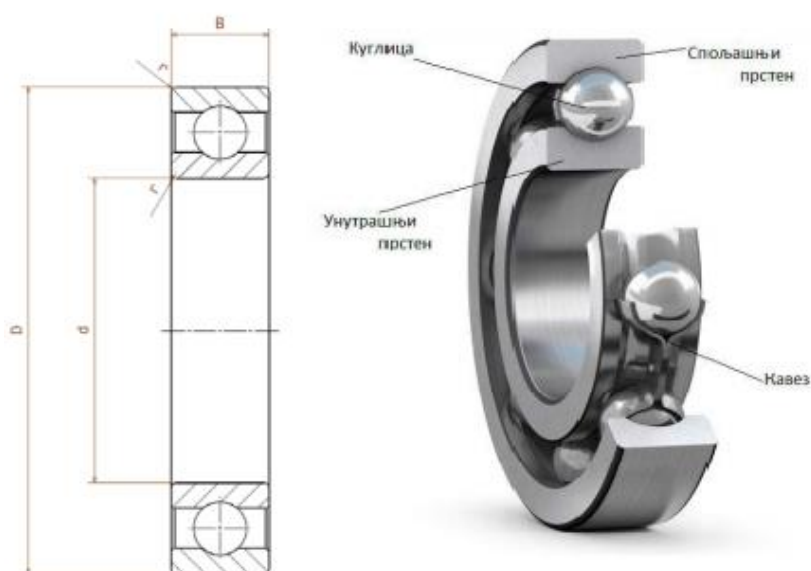
Као осигуравајући елементи користе се: степенасти наслони на вратилу и у кућишту, навртке са специјалним подметачем, прстенасти ускочници, дистантне чауре, нееластични прстенови и др. Неки од ових елемената приказани су на слици 10. Осигуравајући елементи такође служе и за преношење аксијалних сила између вратила и елемената на њему. Аксијалне силе се преносе отпором клизања, [1]

2.4 Врсте и карактеристике котрљајних лежаја

Прстенасти куглични једноредни лежај (серија 60, 62, 63, 64)

Овај тип лежаја спада у групу радијално-аксијалних лежаја, може да пренесе релативно велико радијално и знатно аксијално оптерећење у оба смера. Аксијалне силе не би требале бити веће од 70% носивости овог лежаја. Због једноставности конструкционог облика, смањеног шума и вибрација у раду и ниске цене, ови лежаји имају јако велику примену.

Примена ових лежаја је универзална - за преноснике, код свих врста машина, у индустрији моторних возила и др, [2].

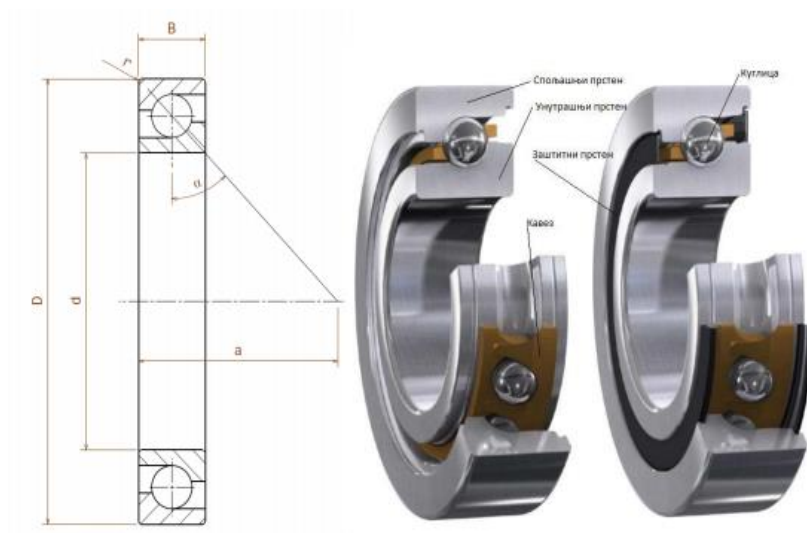


Слика 11

Прстенасти куглични једноредни лежај

Прстенасти куглични једноредни лежај са косим додиром (серија 70, 72, 73)

Ова група лежаја спада у групу радијално-аксијалних лежаја, са тим што аксијалну силу преносе само у једном смеру. Због тога се уграђују у пару (као слика у огледалу) чиме се неутралише аксијална компонента, и тада могу да преносе аксијалну силу у оба смера. Прстенасти куглични лежаји са косим додириром намењени су за више учестаности обртања и за веће аксијалне силе. Због могућности подешавања зазора у току монтаже, користе се код вратила са тачним вођењем, [2].



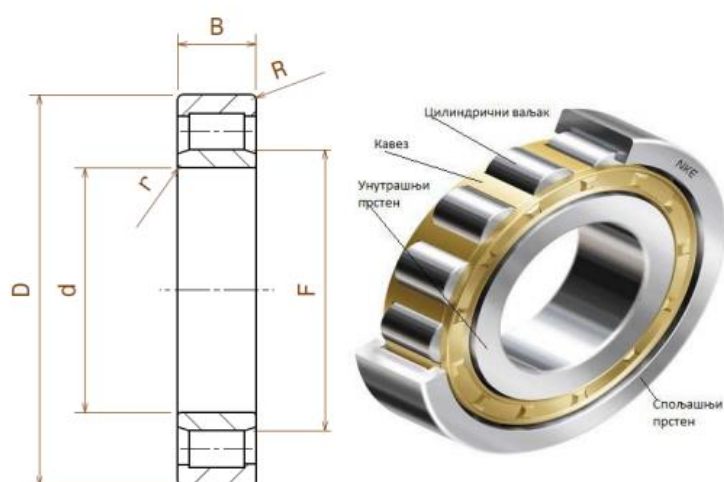
Слика 12

Прстенасти куглични једноредни лежај са косим додиром

Прстенасто цилиндрично-ваљчани једноредни лежај

Ови лежаји намењени су првенствено за пренос радијалних сила. Додир између прстенова и котрљајних тела је линијски, што овим лежајима омогућава већу носивост у односу на кугличне лежаје истих димензија са додиром у тачки. Због линијског додира, то су крути лежаји, [2].

Ови лежаји добро подносе високе учестаности обртања и велика радијална оптерећења. Примењују се код преносника, електромотора, код осовина шинских возила, итд.



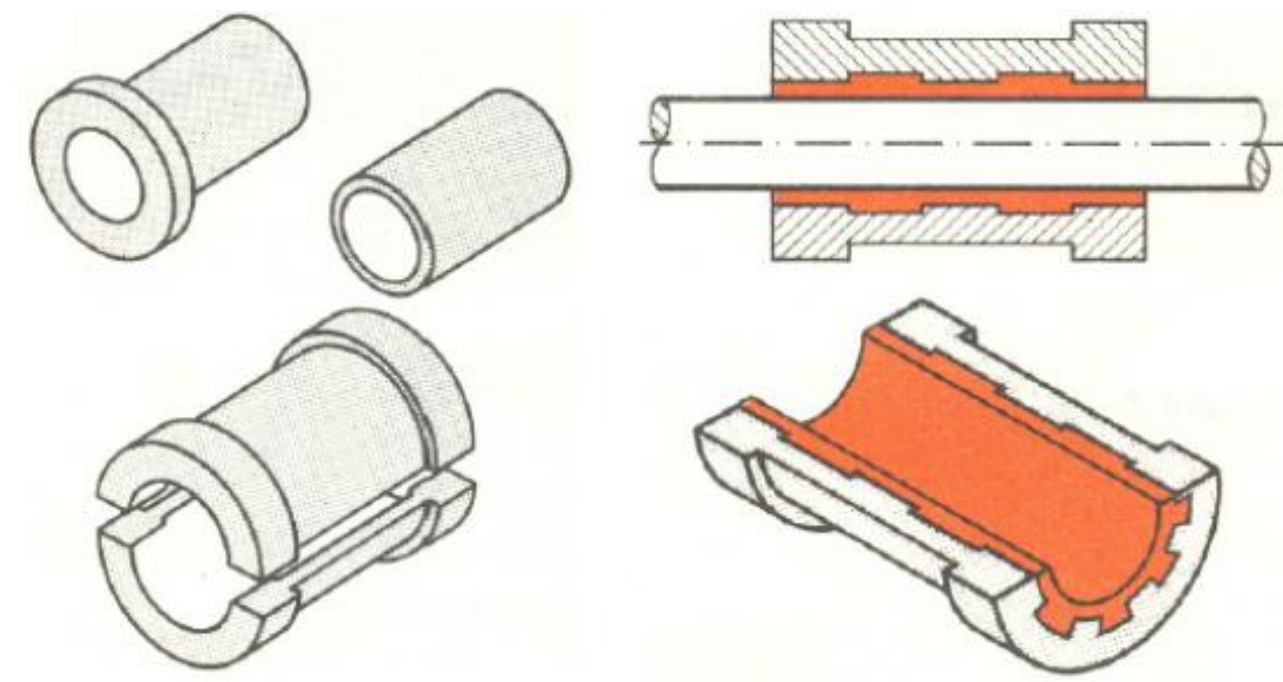
Слика 13

Прстенасто цилиндрично-ваљчани једноредни лежај

3. Клизни лежаји - лежишта

Клизни лежаји су сви клизни покретни спојеви. Основни део клизних лежаја је танак слој антифрикционог материјала који се назива постељица, који има мали коефицијент трења. Између вратила и лежаја треба да буде довољан зазор у коме се налази мазиво које спречава додир површина а самим тим и смањује трење. Клизни лежај је смештен у кућиште које може бити стандардног и нестандартног облика. Улогу кућишта може да има и машина. Вратило се обрће, а лежиште и кућиште мирују, тако да се јавља трење клизања између постељице и рукавца које се смањује присуством мазива.

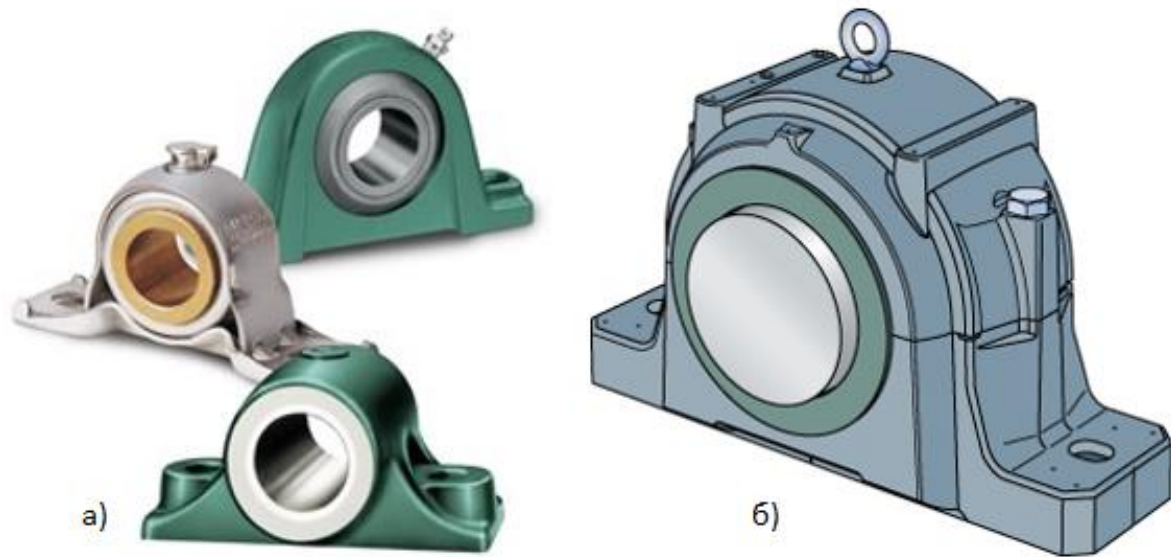
Лежиште је заправо само онај танак прстен који се назива постељица, која се налази у кућишту. Постељица може бити једоделна и дводелна (слика 14). Дводелна постељица је једноставнија за монтажу, [3].



Слика 14

Постељица лежишта

Лежиште се налази у кућишту које може бити једноделно (слика 15, а) и дводелно (слика 15, б).



Слика 15

Кућишта лежишта: а)једноделно; б)дводелно

3.1 Предности и недостаци клизних лежишта

Предности клизних лежаја – лежишта, [1]:

- Могу бити једноделна, дводелна и вишеделна; примењују се тамо где није могуће уградити котрљајне лежаје или где је веома тешко уградити котрљајне лежаје,
- Примењују се за пречнике вратила до 15 mm и преко 300 mm јер се котрљајни лежаји ретко израђују за те пречнике,
- У склоповима где би котрљајни лежаји изазивали велику буку уграђују се клизна лежишта; клизна лежишта због великих површина клизања између рукавца и постелице раздвојених слојем мазива имају могућност пригушења буке,
- Имају релативно дуг радни век,
- Погодна су и за највеће брзине, где котрљајни лежаји не могу да се примене због ограниченог радног века и носивости,

- Једноставне су конструкције и при истој носивости, у поређењу са котрљајним лежајима, клизни лежаји су мањих димензија.

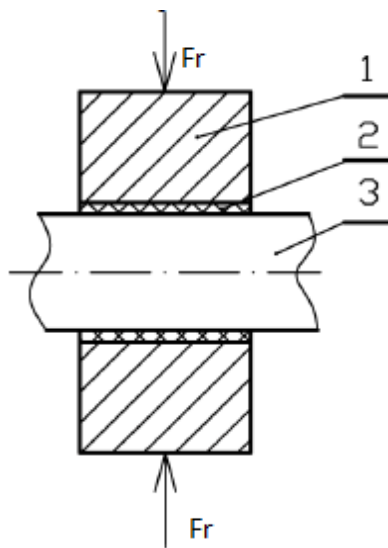
Недостаци клизних лежаја – лежишта, [1]:

- Долази до великог губитка енергије због хабања,
- Хабање додирних површина; хабање се своди на минимум савршеним подмазивањем што је немогуће остварити.

3.2 Подела клизних лежаја

Основна подела клизних лежаја извршена је према правцу дејства сила и разликују се:

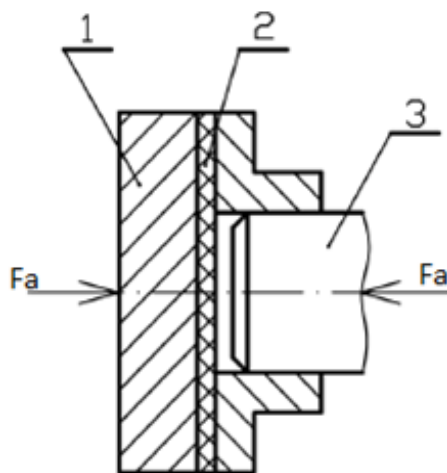
- **Радијална клизна лежишта** (носива лежишта), код којих сила дејствује управно на осу рукавца (управно на осу лежишта), [1,2].



Слика 16

Радијално лежиште: 1.кућиште, 2.лежиште, 3.осовина.

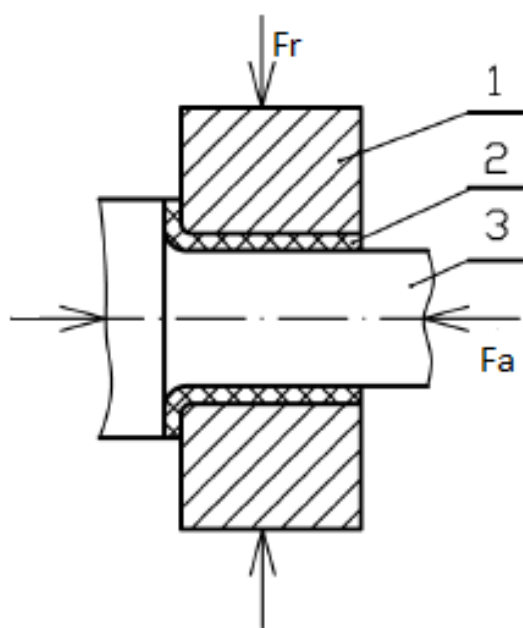
- **Аксијална клизна лежишта** (упорна или потпорна лежишта); сила делује у правцу осе рукавца, [1,2].



Слика 17

Аксијално лежиште: 1.кућиште, 2.лежиште, 3. осовина.

- **Радијално-аксијална клизна лежишта** истовремено преносе и радијалне и аксијалне силе, [1,2].



Слика 18

Радијално-аксијално лежиште: 1.кућиште, 2.лежиште, 3.осовина.

Поред основне поделе клизна лежишта се могу поделити и према, [2]:

- Начину улежиштења на: фиксирана која преносе аксијале и радијалне силе и слободна која преносе само радијалне силе и дозвољавају мала померања у аксијалном правцу,
- Начину остваривања притиска у уљу на: хидростатичка и хидродинамичка,
- Способности прилагођавања деформацијама вратила у ослонцима на: крута (неподесива) и зглобна (подесива),
- Стању додирних површина: лежишта са сувим, полутечним и течним трењем.

И поред добрих особина, клизна лежишта се примењују само у одређеним подручјима. Зато су извршена и одређена усавршавања клизних лежишта у смислу примене нових материјала, повећања носивости, примене нових система подмазивања и др, да би клизна лежишта добила што већу примену.

3.3 Врсте мазива код клизних лежишта

Основна улога мазива је олакшање клизања належућих површина и смањење њиховог хабања. Мазива треба да имају следеће особине: да добро пријањају за материјал, да имају довољну вискозност како би се образовао уљни филм између површина налегања, да не нагризају материјале, да их штите од корозије, да хладе додирне површине циркулацијом уља, да обезбеђују термичку стабилност лежишта, преносе притисак, штите површине од нечистоће и воде, амортизују ударна и вибрациона оптерећења, итд.

Као мазива код клизних лежишта се користе, [1]:

- **Течна мазива (уља):**

Уља најбоље задовољавају све захтеве која захтевају клизна лежишта. Примењују се како при ниским тако и при високим учестаностима обртања. Погодна су за велика оптерећења лежишта и рад на високим температурама. Употребом уља може се остварити хидродинамичко и хидростатичко подмазивање. Најчешће се користе минерална и синтетичка уља. Минерална уља се добијају прерадом нафте. За лежишта се користе минерална уља обogaћена различитим адитивима. Синтетичка уља се добијају синтезом више органских материја па су због тога веома скупа. Одликују се великом термичком стабилношћу. Синтетичка силиконска уља се примењују за температуре 70 - 250 °C.

- **Масти**

Масти се користе за лежишта која раде са малим учестаностима обртања и прекидима у раду. Погодне су и код машина које раде при ударним оптерећењем када је немогуће остварити хидродинамичко подмазивање, најчешће код лежишта пољопривредних машина, дизалица, преса и др. Маст се дуже задржава у лежишту и штити лежиште од прашине и нечистоће, што је и његова главна предност.

- **Чврста мазива**

Чврста мазива су облика праха или пасте. Веома добро пријањају уз клизне површине побољшавајући клизна својства. Употребљавају се код спорих клизних лежишта и лежишта која раде на високим температурама. Чврста мазива се наносе директно на клизне површине. Најчешће се употребљавају графит и молибдендисуфид у споју са уљима и мастима.

- **Мешавина чврстих мазива са уљима и мастима**

Ова мазива се добијају додавањем праха у уља и масти. Наносе се у танким слојевима на клизне површине. Нарочито се користе у периоду уходавања машина и уређаја.

- **Вода**

Вода се користи за подмазивање лежишта од дрвета, гуме и пластичних материјала. Применом воде постиже се боље хлађење лежишта.

- **Примена антифрикционих материјала**

Применом антифрикционих материјала за израду лежишта, престаје потреба за подмазивањем. На пример, пластичне масе (полиамиди, полиацетал и др.) имају самоподмазујуће особине. Ипак у овом случају остварује се суво трење. Коефицијент трења је мањи од 0,3.

- **Ваздух, азот, угљендиоксид и др.**

Подмазивање ваздухом односно аеростатичко и аеродинамичко подмазивање је могуће код брзоходних и мање оптерећених лежишта. Такав случај се среће код лежишта малих апарата и инструмената у прехранбеној индустрији и фармацеутској индустрији.

3.4 Материјали за израду делова клизних лежишта и рукавца

Основни делови клизних лежишта су постељица, рукавац и кућиште. Испавност рада клизног лежишта зависи од материјала постељице и рукавца. Материјал рукавца треба да буде 3 до 5 пута веће тврдоће од материјала постељице, [1].

За материјал рукавца се обично узима челик високог квалитета површинске обраде и са довољно великом тврдоћом од 64 HRC и више. Клизна површина рукавца је обично брушена и глачана али се знатно бољи услови у клизном споју постижу када се рукавац хромира.

Материјал кућишта није битан за функцију и рад клизног лежишта.

Материјал од кога се израђује треба да поседује особине које омогућавају преношење оптерећења. Од материјала за израду постељице захтева се, [1]:

- Способност еластичног и пластичног прилагођавања при оптерећењу,
- Опорност на високим температурама,
- Отпорност на хабање,
- Отпорност на корозију,
- Висока контактна чврстоћа,
- Мали коефицијент трења,
- Добра топлотна проводљивост,
- Спостобност клизања и др.

За израду постељице, најчешће се користе: сиви лив, бронза, синтеровани материјали и пластичне масе. У зависности од димензија и облика постељице, немене и цене у пракси се најчешће бирају материјали велике чврстоће и издржљивости, а антифрикциона својства се постижу наношењем облоге на клизне површине постељице. Облога постељице се наноси у више слојева различитих материјала, а може се и обнављати по потреби, [1].

4. Активни магнетни лежаји

4.1 Историја настанка магнетних лежаја

Магнетизам у машинској индустрији заузима све више простора. Идеја о развоју објеката који раде на принципу магнетизма први пут се јавила још за време другог светског рата на „University of Virginia“, од човека под именом Jasse Beams и била је у концепту ултрацентрифугалних машина за причвршћавање изотопа и опасних елемената код израде прве атомске бомбе. У деценијама после било је много покушаја израде магнетних лежаја од којих се помињу само Strade 1972. године и Robinson 1981. године. Сви ови магнетни лежаји су у почетку имали проблем са стабилизацијом ротора, а проблеми стабилизације су уклоњени увођењем модерних сензора и рачунара, који се развијају крајем 80-тих година прошлог века. Почетком 90-тих година прошлог века настају први модерни дигитални уређаји за контролу положаја ротора.

Први интернационални симпозијум на тему активних магнетних лежаја одржан је 1988. године. Од тада креће и употреба магнетних лежаја. Прву употребу активни магнетни лежаји су доживели у Канадској индустрији плина, мада су комерцијалну примену доживели неколико година пре, 1976. године у Француској.



Слика 19

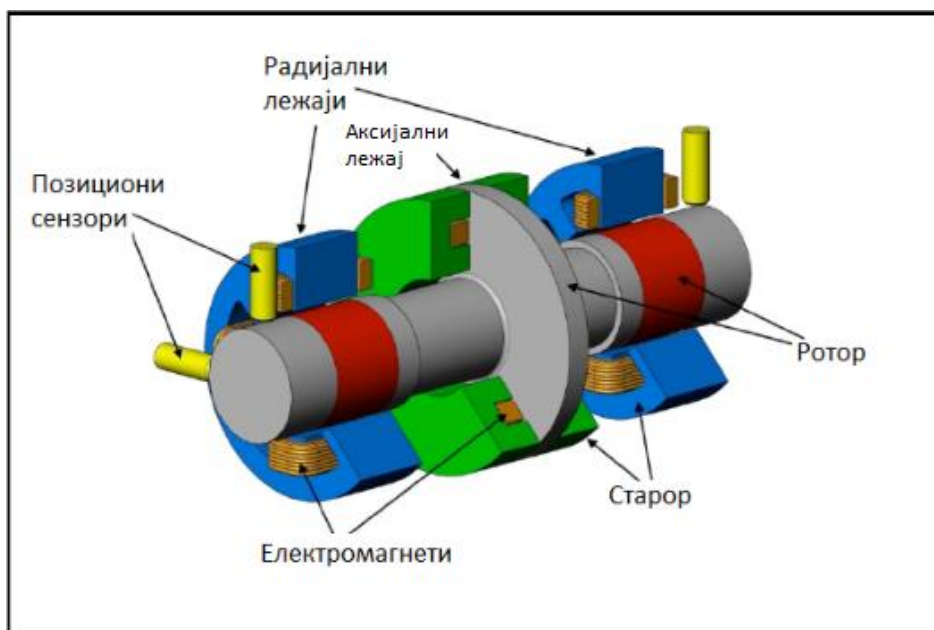
Магнетни лежај тестиран од стране НАСЕ

Технологија оваквих активних магнетних лежаја се интензивно развија последњих година и сматра се да ће допринети смањењу потрошње енергије у будућности.

4.2 Принцип рада активног магнетног лежаја

Активни магнетни лежаји су техничко решење контроле ротирајућег тела (ротора), где треба контролисати свих пет степени слободе. Ово није могуће постићи са трајним магнетима, већ се постиже електромагнетима, зато што се код електромагнета може мењати вредност флукса тј. вредност привлачне силе. Магнети лежај реагује на кретање дуж три транслаторне и две угаоне осе. Оптимално магнетни лежај пружа мали фрикциони отпор на кретање дуж ротационе осе.

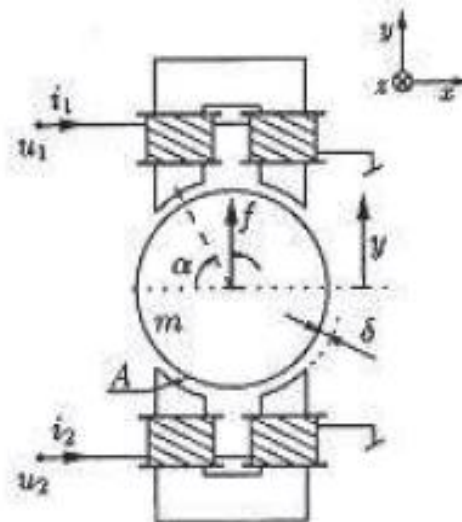
За контролу наведених пет степена слободе већином се користи систем магнетних лежаја, који у себи садржи неколико лежаја, што зависи од места примене тј. од захтева машине. Њихов принцип рада се може објаснити на систему који се састоји од два радијална активна магнетна лежаја и једног аксијалног лежаја (слика 20). Радијални лежаји су постављени под углом од 90 степени један у односу на други, тако да контролишу кретање у хоризонталном и вертикалном правцу, док аксијални лежај контролише аксијално померање, [4].



Слика 20

Основни изглед активног магнетног лежаја

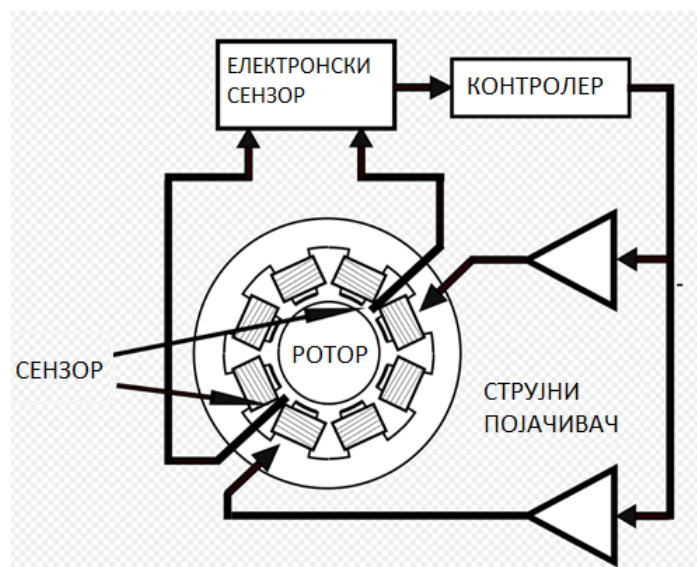
Један радијални активни магнетни лежај се састоји од једног пара магнета који су постављени на супротним странама ротора (слика 21). Они представљају статор радијалног магнетног лежаја. На вратилу се налази феромагнетични материјал који се обрће заједно са вратилом. Електромагнети стварају привлачну силу која делује на ротор.



Слика 21

Шема радијалног активног магнетног лежаја

Овакав лежај је још увек нестабилан систем. Да би се остварио стабилан систем, оваквом лежају се додају још две компоненте, а то су сензори и уређаји за контролу силе. Позициони сензори прате положај вратила (ротора), па његово максимално померање јављају уређају за контролу. Контролер обрађује све сигнале које прими и рачуна како да расподели струју у електромагнетима да би се вратило вратило на своју основну позицију ако дође до неправилног померања. Струјни појачивач који се налази у конттролеру распоређује струју у електромегнетима и тиме контролише привлачну силу, [4].



Слика 22

Принцип рада активног магнетног лежаја

Принцип рада је приказан на слици 22. Регулација положаја ротора је врло прецизна, јер сензори раде са прецизношћу од неколико микро метара, са резолуцијом од 30 nm, док се у уређајима за контролу користе модерни рачунарски програми.

Сензор представља најкритичнији део активног магнетног лежаја, зато треба водити рачуна на његов положај при конструисању, пошто су они осетљиви на високе температуре. О прецизношћу ових лежаја говори и чињеница да уређаји за контролу имају могућност мењања магнетног флукса и до 15 000 пута у секунди. Контролни уређај се састоји од дигиталног сигнал процесора, дела за пренос енергије и појачала. Ваздушни простор између ротора и статора се креће између 0,5 mm до 2 mm. Сваки од ових лежаја има и техничко решење за сигурност услед нестанка енергије, који иначе служи за преузимање оптерећења приликом покретања и заустављања лежаја. Покретање и заустављање лежаја се врши лаганим повећањем и смањењем довода електричне енергије, узимајући у обзир да је притом брзина обртања вратила једнака нули.

Најважнији фактори који утичу на носивост и величину једног магнетног лежаје су:

- Број полова и њихова величина,
- Материјал статора и ротора,
- Број намотаја,
- Ваздушни простор,
- Максимална струја коју лежај може поднети,
- Пречник ротора.

4.3 Лежаји подршке (сигурносни лежаји)

Сваки систем магнетног лежаја је опремљен са сигурносним системом лежаја. Ови сигурносни системи лежаја се другачије називају лежаји подршке (слика 23). Ови лежаји служе као подршка ротору када су магнетни лежаји искључени. Такође служе као сигурносни механизми за машине, ако на пример дође до неочекиваног прекида у струјном напајању што би довело до престанка рада магнетних лежаја.

Сигурносни лежаји имају следеће особине:

- Сигурности системи за активне магнетне лежаје у системима са осовином могу да теже преко 9 тона,
- Омогућавају спречавање оштећења машине кроз сигурно и контролисно гашење система,

- Лежаји подршке могу да издрже неколико испуштања осовине при престанку рада магнетних лежаја,
- Брза провера стања лежаја након испуштања осовине постижу се захваљујући систему праћења стања.



Слика 23

Лежај подршке

4.4 Подела активних магнетних лежаја

Карактеристика магнетних лежаја зависи и од врсте лежаја, [4]:

- **Радијални активни магнетни лежаји**

Имају носивост од 50 до 25000 N, са унутрашњим пречником од 9 до 230 mm. Користе се код машина које имају брзину обртања од 1800 до 10000 min⁻¹, а могу да раде на температурама и до 220°C.

- **Аксијални активни магнетни лежаји**

Имају носивност од 130 до 24500 N, са унутрашњим пречником од 9 до 130 N. Могу радити при брзинама од 1800 до 100000 min⁻¹. Радна температура им је ограничена на 220°C.

- **Конични аксијални активни магнетни лежаји**

Имају карактеристику да могу да преносе оптерећење и у радијалном и у аксијалном правцу. Носивост у аксијалном правцу им је 17800 N, а у радијалном 8900 N.

Карактеристике ових лежајева се могу мењати по потреби. Ово су стандардне вредности за носивост, пречник и температуру.

4.5 Предности и недостатци активних магнетних лежаја у односу на клизне и котрљајне лежаје

Најважније предности магнетних лежаја у односу на клизне и котрљајне лежаје:

- **Трење сведено на нулу**

Један од главних проблема код котрљајних и клизних лежаја представља појава трења, које смањује век трајања самог лежаја због чега је потребна замена лежаја након одређеног времена, што доводи до губитака у производном процесу. Код магнетног лежаја не долази до директног додира два материјала тј. не долази до трења, нема његовог трошења и самим тим магнетни лежај има практично неограничен век трајања, што му даје јако велику предност код употребе у свемирској индустрији. Пошто нема трења, магнетни лежај не захтева јако мале толеранције израде као ни употребу скувих материјала, отпорних на хабање. Такође, због елиминације трења, ови лежаји не производе никакву топлотну енергију при раду због чега се код њих не уграђују системи за хлађење.

- **Без подмазивања**

Ова предност произилази из чињенице да је трење елиминисано, не постоји, па је тако и подмазивање непотребно. Ово повећава ефикасност производног процеса, пошто је клизне лежаје потребно често подмазивати. Ова карактеристика такође даје предност магнетним лежајима за употребу у вакуму и местима где се тражи велика чистоћа, као што је прехранбена индустрија и индустрија лабораторијских инструмената. Такође због непостојања мазива температура не утиче на рад магнетних лежаја. Због тога што магнетне лежаје није потребно подмазивати системи за подмазивање се не угрђују у магнетне лежаје, па се тиме штеди енергија и смањује цена. Техничко извођење ових лежаја им омогућава употребу код флуида који су под притиском, где се у специјалним случајевима може допустити протицање флуида између ротора и статора уколико је то потребно, [4].

- **Уштеда енергије**

Због тога што трење у магнетним лежајевима не постоји, они не стварају никакве губитке енергије, што им даје предност за употребу код машина које у себи садрже велики број лежаја, јер се на тај начин повећава ефикасност машине а самим тим се смањује и цена одржавања те машине. Уштеда енергије се огледа и у томе што се избацује неколико система из машине када се користе активни магнетни лежаји. Системи који се избацују су: расхладни системи и системи за подмазивање. Све то

чини већи степен аутоматизације машине. Подаци говоре да се употребом магнетних лежаја код гасних компресора који раде снагом од 1 MW годишње уштеди и до 90 000 еура.

- **Постизање великих брзина**

Магнетни лежаји практично немају ограничења код броја обртаја вратила, пошто брзина нема никакав утицај на магнетни флуks и силу, због тога вратило може постићи брзину и до 250 m/s. Због ове предности активни магнетни лежаји се користе код компјутерски управљаних машина за обраду материјала, такође и код разних центрифугалних машина: вакумских пумпи, гасних компресора, турбогенератора итд.

- **Поузданост**

Поузданост магнетних лежаја заснива се на томе да магнетни лежаји имају веома дуг радни век и шансе да дође до квара након одређеног броја радних сати су врло мале. Због тога њима управља компјутерски програм.

- **Прецизност и елиминација вибрација**

Због сензорског праћења положаја вратила, овакви лежаји имају велику прецизност одржавања вратила у правилном и жељеном положају. Због велике прецизности користе се код вратила на којима се налази алат који врши одређену обраду, јер се самим тим повећава прецизност дате обраде. Вибрације код активних магнетних лежаја су готово сведе на нулу тако да су и вибрације саме машине у којој се користе активни магнетни лежаји јако смањене, што им даје предност за употребу код турбо-молекуларних пумпи. Прецизна контрола вибрација се може искористити и у супротном смеру, тако што се употребом ових лежаја могу прецизно изазвати контролисане вибрације, које се могу искористити на разним местима где су те вибрације потребне, нпр. код вршења неких врста тестова на опорност материјала или делова на вибрације. Код магнетних лежаја вибрације не расту са бројем радних сати као што је то случај код клизних и котрљајних лежаја.

Најважнији недостатци активних магнетних лежаја у односу на клизне и котрљајне лежаје:

- **Потребна им је енергија за рад**

Да би активни магнетни лежаји могли да раде и да би нормално функционисали, они користе електричну енергију. Ово је највећи недостатак магнетних лежаја, па при њиховом избору треба водити рачуна да укупна енергија која је потреба за њихов рад не прекорачи енергију која се може уштедети коришћењем класичних контактних лежаја.

- **Представљају комплексан систем**

Због постојања сензора и контролних уређаја, читав систем магнетних лежаја је поприлично сложен и комплексан систем.

- **Цена**

Цена оваквих лежаја је нешто већа у односу на цену клизних и котрљајних лежаја, управо због постојања сензора и контролних уређаја.

- **Носивост**

Магнетни лежаји нису препоручљиви за употребу код екстремно великих оптерећења пошто се тада тражи довод велике количине енергије потребне за њихов рад, [4].

4.6 Поља примене магнетних лежаја

Нафта и гас

Активни магнетни лежаји се ефикасно користе у машинама које производе, складиште и транспортују нафту и гас. Типична поља примене у овом сектору укључују компресоре и електромоторе. Шафлерово решење карактерише издржљивост, зато што активни магнетни лежајеви при свом раду не користе уља и мазива, еколошки захтеви су испуњени, па су они погодни за примену у природним добрима.

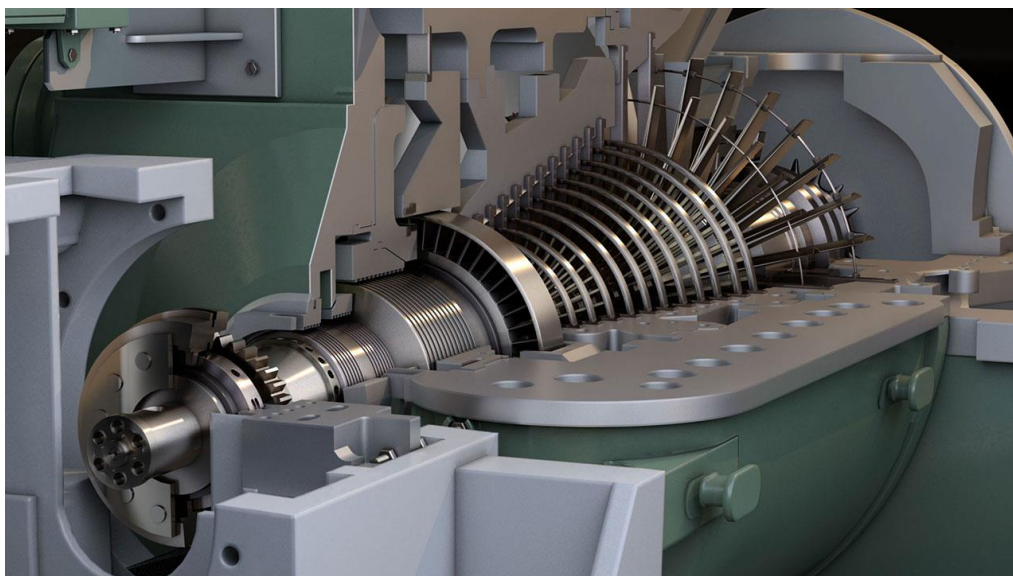


Слика 24

НИС-постројење за производњу нафте

Генерисање струје:

Висока ефикасност и поузданост активних магнетних лежаја значи да се они могу применити у сектору генерисања струје, на пример: гасне и парне турбине, гасне микро турбине и пумпе за воду. Коришћење активних магнетних лежаја у електранама смањује ризик од пожара зато што резервоари уља и системи за хлађење нису потребни да би хладили лежаје што значи да не постоји запаљива материја у опасној зони турбине. Сензори магнетних лежаја помажу у праћењу стања машине и планирању одржавања магнетних лежаја.



Слика 25

Парна турбина

Друге индустријске примене:

- Турбо генератори и мотори, расхладни копмресори,
- Производне машине, центрифуге и уређај за складиштење ротационе енергије,
- Коришћење активних магнетних лежаја велике брзине омогућава екстремно велико повећање перформанси машина. Ово за узврат омогућава креирање много компактнијих машина које готово не морају да се одржавају због њиховог дизајна који искључује контакт радних површина, а самим тим и искључује трење.



Слика 26

Ротор турбогенератора

Примена СКФ магнетних лежаја код турбоекспандера-турбина

Код турбоекспандера (слика 27) који користи гас са вишим притиском за покртење компресора, лежаји раде у тешким условима рада који убрзавају хабање, а самим тим и настанак кварова. У овом случају се користе магнетни лежаји, који пружају решење које је много поузданије и без уља.

У сет ових магнетних лежаја који се користе код турбина спадају два радијална лежаја са сензорима и помоћним лежајима и аксијални лежај који може да поднесе валика аксијална оптерећења. Пошто нема контакта радних површина, лежајима скоро није потребно никакво одржавање. Магетни лежаји у турбоекспанерима имају и функцију да прате вибрације осовина и температуре помоћу интегрисаних сензора.

Први турбоекспандер на свету са магнетним лежајем произведен је 1988. године прошлог века.



Слика 27

Турбоекспандер

5. Закључак

Основна улога лежаја је преношење оптерећења са покретних делова на непокретне, омогућавање међусобног кретања тих делова и смањење трење између њих.

Код контактних лежаја, као што су котрљајни и клизни лежаји, долази до појаве трења па су код њих неопходни системи за подмазивање и хлађење.

Са развојем технологије све више се јавља потреба за коришћењем безконтактних лежаја као што су магнетни лежаји.

Код магнетних лежаја се не јавља трење па је материјал за њихову израду јефтинији јер нису потребни активирани материјали. Магнетне лежаје карактерише велика прецизност, дуг радни век и веома лако техничко одржавање.

Магнетни лежаји се користе код машина које захтевају већу прецизност зато што њима управља компјутерски програм. Поред тога налазе примену и код машина са великим бројем обртаја вратила, пошто број обртаја вратила не утиче на њихов рад.

Због дугог радног века магнетни лежаји налазе примену и у свемирској индустрији.

Поред наведених предности магнетни лежаји имају и недостатке и не представљају увек идеално решење. Њихова израда је скупа и поред тога што не користе скупе материјале. Магнетни лежаји представљају комплексан систем због присуства контролера и сензора који се налазе у њему и који су веома скуп. Поред тога они се не користе при великим оптерећењима јер је тада потребна велика количина енергије за њихов рад.

Литература:

- [1] Николић Вера, Машински елементи – теорија, прорачун, примери, Крагујевац, 2004.
- [2] Војислав Милтеновић, Милосав Огњановић, Машински елементи 3 - елементи за обртно кретање течности и гасове, Ниш-Београд, 1995.
- [3] Радојко Глигоријевић, Машински елементи, Нови Сад, 2015.
- [4] https://www.researchgate.net/publication/225280238_AKTIVNI_MAGNETNI_LEZAJE_VI, преузето 03.09.2016.
- [5] <http://www.skf.com/rs/news-and-media/news-search/2014-03-25-skf-s2m-magnetic-bearings-boost-turboexpander-performance-for-turbogazNew%20Page.html?switch=y>, преузето 08.09.2016.
- [6] Синиша Кузмановић, Машински елементи – Обликовање, прорачун и примена, Нови Сад, 2014.
- [7] Милчић Драган, Банић Милан, Милтеновић Александар, Милчић Миодраг, Машински елементи, Ниш, 2015.