

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжињерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Машине алатке

Број индекса: 21/2014

Милош Р. Милојевић

**Испитивање мазива машина алатки на уређају
*four ball***

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Богдан Недић-ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да изврши прикупљање и систематизацију података о испитивању мазива машина алатки на уређају *four ball*. Потребно је детаљно описати све врсте подмазивања зупчаника и котрљајних лежајева као и стандардне методе које се примењују. У оквиру експерименталног дела рада извршити опис уређаја, његових делова и поступака испитивања која се користе.

Крагујевац, Датум..

Ментор:

Др Богдан Недић

САДРЖАЈ

1. Увод	6
2. Подмазивање	8
2.1 Гранично подмазивање	9
2.2 Хидродинамичко подмазивање	10
2.3 Хидростатичко подмазивање	11
2.4 Еластохидродинамичко подмазивање	12
2.5 Мешовито подмазивање	12
2.6 Подмазивање зупчаника	13
2.6.1 Уља за зупчасте преноснике аутомобила	14
2.6.2 Уља за зупчасте преноснике код машина алатки	14
2.7 Подмазивање котрљајућих лежајева	15
3. Стандардне методе испитивања	17
3.1 Стандардни метод испитивања хабања превентивних карактеристика течности за подмазивање D4172	17
3.1.1 Обим	17
3.1.2 Референтни документи	17
3.1.4. Сажетак методе испитивања	17
3.1.5. Значај и употреба	17
3.1.6. Апарат	18
3.1.7. Материјали	18
3.1.8. Услови тестирања	18
3.1.9. Припрема апарата	19
3.1.10. Процедура	19
3.1.11. Прецизност и поновљивост	20
3.2 Стандардна метода испитивања за мерење особина екстремног притиска мазива за подмазивање D 2783-03	21
3.2.1 Простор	21
3.2.2 Референтни документи	21
3.2.3. Терминологија	21
3.2.4 Сажетак методе испитивања	23
3.2.5 Значај и употреба	24
3.2.6 Апаратура	24
3.2.7 Материјали	24
3.2.8 Припрема апарата	25
3.2.9 Поступак	25
3.2.10 Прорачуни и извјештаји	27
3.2.11 Прецизност и поновљивост	28
4. Експериментално испитивање	30
4.1 Опис уређаја	30
4.2 Делови уређаја four ball	30
4.3 Тело уређаја	32
4.4 Држач куглица	32
4.5 Погонска јединица	33
4.6 Припрема узорка	33
4.7 Поступак испитивања	34
4.8 Резултати испитивања	37
4.9 Four ball уређај „RANZI U. M. 112“	38
5. Закључак	40
6. Литература	41

РЕЗИМЕ

У овом завршном раду су описане и испитане карактеристике подмазивања која се користе код машина алатки. Извршена је основна подела подмазивања зупчаника и котрљајних лежајева. Описане су стандардне методе испитивања мазива по стандардима D4172 и D2783-03. Представљени су тестови који су извршени на уређају. Експериментална испитивања су имала за циљ одређивање карактеристика мазива машина алатки на уређају *four ball*.

Кључне речи: мазива, подмазивање, *four ball*.

Abstract

In this thesis, described and tested lubrication characteristics used in machine tools. The basic division of lubrication of gears and roller bearings has been performed. Standard test methods for lubricants according to D4172 and D2783-03 standards are described. The tests performed on the device were presented. Experimental tests were aimed at determining the characteristics of lubricating machine tools on a four ball device.

Key words: lubricants, lubrication, *four ball*.

1. Увод

Мазиво је средство које се наноси на контактне површине са циљем ублажавања основних триболошких феномена, односно трења и хабања. Према функцији разликују се две основне групе мазива:

- Конструкциона мазива која се посматрају као елемент конструкције машина
- Технолошка мазива која се примењују при обради метала резањем и деформацијом у циљу подмазивања и хлађења алата и материјала које се обрађује

Према агрегатном стању мазива се деле на:

- Гасовита
- Течна
- Получврста
- Чврста

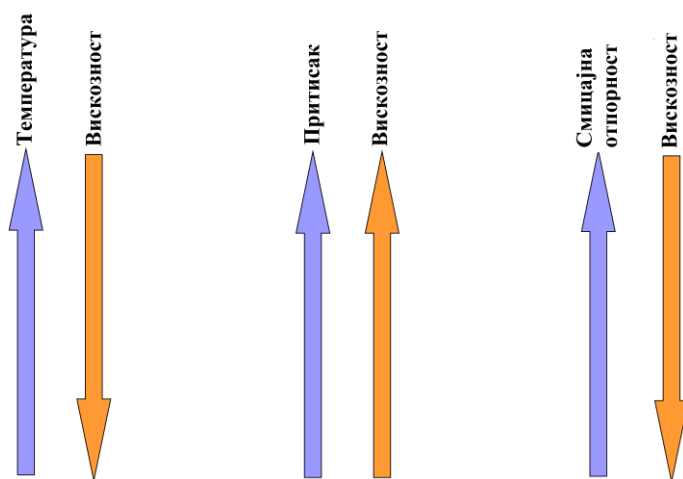
Са аспекта практичне примене најзначајније су следеће три врсте мазива:

- Уља за подмазивање
- Мазиве масти
- Чврста мазива

Вискозност је основна физичка величина уља и представља меру унутрашњег отпора течењу флуида. Искузује се као:

- Динамичка или
- Кинематска

Вискозност, као физичка величина мазива, увелико зависи од експлоатационих и контактних услова (Слика 1). Вискозност са повећањем температуре опада, док са порастом притиска, односно контактеног оптерећења, вискозност расте. Вискозност уља зависи и од смицајне отпорности контактних површина, тако да са њеним порастом вискозност опада [1].



Слика 1. Промена вискозности са променом контактних параметара

Подмазивање је основна активност превентивног одржавања техничких система и дефинише се као примена одређеног средства са циљем да се смањи сила трења, а самим тим и хабање и оштећење клизних површина. Материјал на клизним површинама којим се постижу ти ефекти представља мазиво.

Правилно и добро подмазивање зупчаника у зупчастим преносницима представља један од основних фактора који обезбеђују нормалну експлоатацију и поузданост. Рационалан избор врсте мазива за подмазивање умањује утрошак снаге на трење, а тиме смањује и загревање преносника, обезбеђује минимално хабање. Осим тога мазиво штити елементе преносника од корозије и умањује буку при раду.

AW Тест - Три челичне кугле пречника 12,7 mm су спојене заједно и покривене мазивом за процену. Четврта челична куглица пречника 12,7 mm, која се назива горња куглица, притиска се силом од 147 N или 392 N у шупљину која се формира од три куглице за контакт са три тачке. Температура тестног мазива је регулисана на 75 °C [167 °F], а затим горња куглица се ротира брзином од $1200 \frac{\text{°}}{\text{min}}$ током 60 min. Мазива се упоређују коришћењем просечне величине пречника ожилјака, који се налази на три доње куглице.

EP Тест - Овај тестер ради са једном челичном куглицом под оптерећењем која се ротира против три челичне куглице држане стационарне у облику колевке. Тест мазиво покрива доње три лопте. Брзина окретања је $1760 \pm 40 \frac{\text{°}}{\text{min}}$. Машина и мазиво за испитивање су доведени на 18 до 35 °C (65 до 95 °F), а затим се серија тестова трајања од 10 секунди врши на растућим оптерећењима до заваривања. Десет тестова се врши испод тачке заваривања.

Уређај се састоји од микропроцесора и механичке јединице која служи за контролу и мерење резултата.

Кинематска шема уређаја је приказана на слици 18.

Делови уређаја:

1 - асинхрони мотор; 2 - држач горње куглице; 3 - Склоп посуде у којој су три куглице; 4 - полуга; 5 - тегови; 6 - клин за подешавање оптерећења; 7 - контратег; 8 - носач држача горње куглице; 9 - спојница; 10 - гурач; 11 - сензор за читавање брзине ротације;

2. Подмазивање

Подмазивање је основна активност превентивног одржавања техничких система и дефинише се као примена одређеног средства са циљем да се смањи сила трења, а самим тим и хабање и оштећење клизних површина. Материјал на клизним површинама којим се постижу ти ефекти представља мазиво. Основна функција уља за подмазивање у трибомеханичком систему је триболошке природе и састоји се у раздвајању директног додира контактних површина које се релативно крећу.

Функција мазива:

- Смањење трења и хабања
- Хлађење компоненти система
- Заштита од корозије елемената система
- Заштита од продирања различитих контаминената у зону контакта
- Пренос снаге и кретања
- Заптивања између зоне високог притиска и зоне ниског притиска у хидрауличним системима
- Електроизолације

Да би ефикасно обављало своје функције мазиво треба да:

- Издржи спољашње контактено оптерећење и обезбеди раздвајање контактних површина
- Одведе топлоту генерисану трењем и/или сагоревањем
- Обезбеди контролу процеса корозије и рђе
- Спречава процесе стварања талоба услед деградације мазива
- Спречи појаву самопаљења у моторима
- Обезбеди уклањање нерастворљивих контаминената
- Неутралише било какве корозионе продукте који се могу створити у процесу функционисања система

Подмазивање је од суштинског значаја за поуздано функционисање опреме. Генерално је прихваћено да је 60% механичких отказа у техничким системима директно повезано са неадекватном праксом подмазивања, док добро подмазивање може и три пута продужити век трајања трибомеханичких система.

Трајност и поузданост рада машина и различитих механизма битно зависе од правилног избора и примене мазива. Лоше одабрано мазиво или његова погрешна примена је узрок ненормалном, убрзаном трошењу површина које су у контакту и појава трајних деформација, односно оштећења. Један од основних критеријума избора је специфичност рада механизма: брзина и облик кретања, специфична оптерећења, температура... Уопштено, може се рећи, да се мазива не бирају за машине у целини, већ посебно за различите склопове једне машине. Тако, на пример, код погонске групе неког моторног возила мотор се подмазује моторним уљем, преносни механизам трансмисионим уљем, неке лежајеве мазивим мастима [1].

Будући да је хабање елемената последица трења, а трење отпор релативном кретању, основна улога мазива је да смањи тај отпор. Мазиво се може дефинисати као материја која

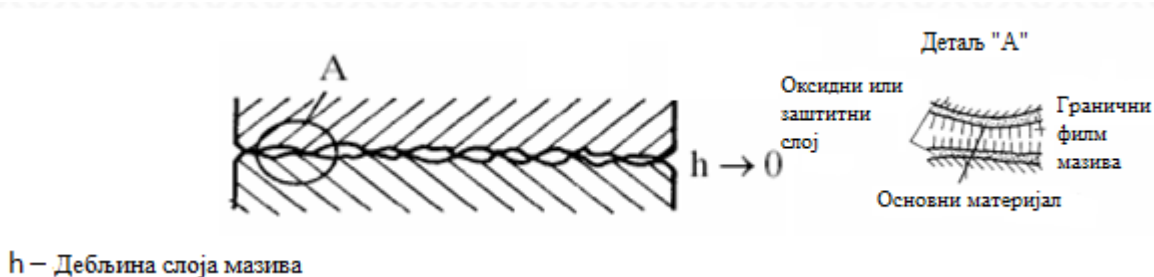
смањује трење, али осим тога испуњава и неке сасвим одређене и строго постављене захтеве. На пример, савремено моторно уље пре свега мора подмазивати површине, али уједно мора имати способност хлађења, заштите од корозије, заптивања, чишћења и прања елемената мотора и мора бити оксидационо и термички стабилно. Без тих особина оно не би могло задовољити сложеним захтевима савремених мотора.

У зависности од дебљине слоја мазива, његовог међуповршинског распореда, степена геометријске сличности спрегнутих површина и радних услова елемената механичког система могуће је остварити различите видове подмазивања:

- гранично
- хидродинамичко
- хидростатичко
- еластохидродинамичко
- мешовито подмазивање

2.1 Гранично подмазивање

Гранично подмазивање настаје када слој мазива нема довољну дебљину да спречи контакт површина чврстих тела. Површине елемената су у непосредном додиру и оптерећење се преноси с једне на другу преко спрегнутих неравнина.



Слика 2. Шематски приказ граничног подмазивања

Мазиво се налази између контактних површина у облику мономолекуларног слоја (детал „А“) који путем физичко-хемијских веза реагује са металном површином. Гранично подмазивање се анализира преко промена коефицијента трења. Вредност коефицијента трења граничног подмазивања одређена је коефицијентом трења у граничном слоју и коефицијентом трења на местима додира чистих метала:

$$m = a_w m_m + (1 - a_w) m_g$$

где је:

a_w – део стварне површине додира метала

m_m – коефицијент трења спрегнутих површина метала

m_g – коефицијент трења граничног слоја

Код случаја граничног подмазивања највише су изражена адхезивна и абразивна хабања материјала, а у мањем обиму су присутни трибохемијски процеси и хабање услед површинског замора материјала. У циљу смањења трења и хабања у процесу граничног подмазивања потребно је обезбедити погодни површински, односно гранични слој. Стварање граничних слојева могуће је постићи: физичком адсорпцијом, хемијском адсорпцијом, хемијским реакцијама.

Физичка адсорбција се јавља када се активни молекули из мазива везују за површине. Поларни адитиви (масна уља) формирају на површинама метала чврст слој који има способност да се одупре продирању неравнина и на тај начин спречава додир метал-метал. Овај вид стварања граничних слојева погодан је за мала оптерећења, ниже температуре и мале брзине.

Код хемијске адсорбције активни молекули мазива везани су за металне површине хемијским везама, као на пример везивање масних киселина за метале и његове оксиде, при чему настају метални сапуни веома добрих триболошких својстава. Ови гранични слојеви су погодни за средња оптерећења, средње температуре и средње брзине.

Хемијском реакцијом између активних молекула мазива и метала стварају се нова хемијска једињења на површинама. Ова мазива у свом саставу садрже хлор, фосфор и сумпор у облику различитих једињења. Делују тако што, услед високих температура, на површинама стварају слојеве хлорида, фосфида и сулфида који штите површину метала од високих оптерећења и екстремних притисака [2].

2.2 Хидродинамичко подмазивање

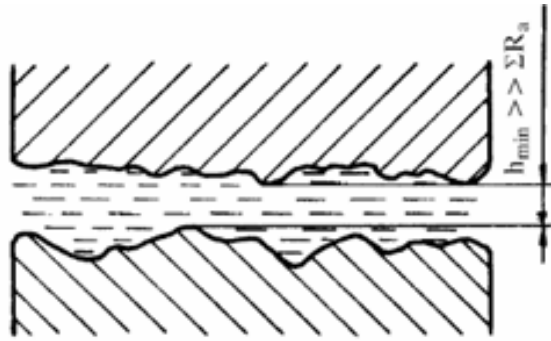
Хидродинамичко подмазивање представља начин подмазивања при коме су површине које се подмазују раздвојене континуалним слојем мазива у току кретања, односно где се трење површинских рељефа у потпуности замењује унутрашњим трењем честица мазива. У току мировања, покретања или заустављања површине се налазе у директном контакту.

Елементи механичких система код којих се остварује хидродинамичко подмазивање одликују се следећим триболошким карактеристикама:

- Површине које се подмазују раздвојене су континуалним слојем мазива довољне дебљине тако да не долази до њиховог додира, изузев при покретању и заустављању
- Оптерећење се преноси с једне на другу површину преко слоја мазива који поседује одређену моћ ношења насталу као резултат релативног кретања површина
- Отпор услед трења у систему је одређен величином унутрашњег трења у мазиву

Дебљина уљног слоја, код хидродинамичког подмазивања, мора бити већа од збира висина површинских рељефа клизних површина.

Дебљина слоја која је једнака збиру висина површинских рељефа површина назива се критичном и испод ње престају законитости хидродинамичког подмазивања.

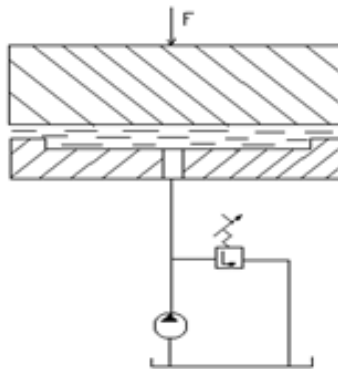


Слика 3. Шематски приказ хидродинамичког подмазивања

Овај начин подмазивања има најзначајнију примену код радијалних и аксијалних клизних лежаја [2].

2.3 Хидростатичко подмазивање

Да би се обезбедила континуална дебљина слоја мазива између спрегнутих површина, неопходан је притисак у слоју мазива који је већи од оптерећења које делује на површине. Ако се притисак у слоју мазива одржава помоћу посебног уређаја – хидростатичког система, ради се о хидростатичком подмазивању, слика 4. Користи се тамо где се морају отклонити недостаци хидродинамичког подмазивања, односно тешкоће стварања хидродинамичких слојева код малих брзина или брзине једнаке нули (покретање и заустављање система).



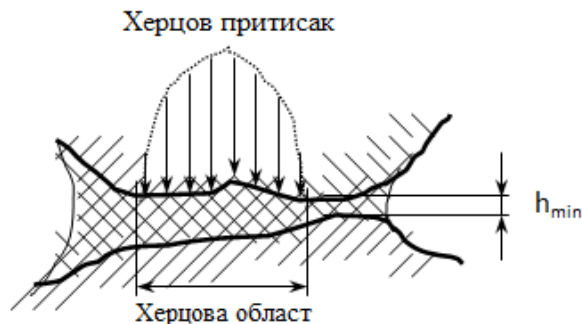
Слика 4. Шематски приказ хидростатичког подмазивања

За овај вид подмазивања користи се посебан тип клизних лежајева који се називају хидростатичким. То су лежајеви у којима се моћ ношења уљног слоја остварује сталним додавањем уља под притиском из неког уљног резервоара.

Овакав начин подмазивања је заступљен код клизних лежаја турбина, пумпи, машина алатки, клизних вођица [2].

2.4 Еластохидродинамичко подмазивање

За хидродинамичко подмазивање је карактеристично да се оптерећење преноси преко велике површине додира. Међутим постоје многи елементи машина (зупчаници, котрљајни лежајеви, брегасте механизми) код којих се теоријски додир остварује у тачки или по линији. Стварни додир је по некој малој али коначној површини. Мала додирна површина узрокује висока специфична оптерећења, што изазива еластичне деформације површинских слојева и промену геометрије површине додира. За ове услове важе Херцови закони, на основу којих се одређује величина притиска, као и величина додирне површине [2].



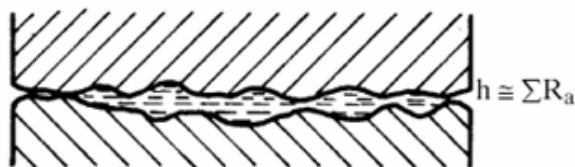
Слика 5. Шематски приказ еластохидродинамичког подмазивања

У области додира високо оптерећених спрегнутих површина јавља се притисак који има параболичну расподелу. Изван Херцове области владају закони хидродинамичког подмазивања. На улазу у Херцову област притисак у мазиву је мањи од Херцовог притиска, али довољно висок да би раздвојио површине. У самој Херцовој области притисак у слоју мазива прати расподелу Херцовог притиска [2].

2.5 Мешовито подмазивање

Мешовито подмазивање представља прелазни облик између потпуног и граничног подмазивања. Када је дебљина слоја мазива недовољна да потпуно раздвоји површине, јавља се местимични директни контакт површина.

Оно је присутно и у случају малих брзина кретања машинских елемената при високим оптерећењима [2].



h – дебљина слоја мазива,

R_a – средње аритметичко одступање профила

Слика 6. Шематски приказ мешовитог подмазивања.

2.6 Подмазивање зупчаника

Уља за зупчасте преноснике из члана 2. тачка 7. овог правилника, на основу примене могу бити:

1. Уља за затворене индустријске зупчасте преноснике
2. Мазива за отворене индустријске зупчасте преноснике
3. Уља за механичке преноснике моторних возила

Изрази, појмови и ознаке који се односе на уља за затворене индустријске зупчасте преноснике из става 1. тачка 1. овог члана утврђени су стандардом JUS ISO 6743-6 (категорије СКВ, СКС, СКД, СКЕ, СКС, СКТ и СКСГ). Изрази, појмови и ознаке које се односе на мазива за отворене индустријске зупчасте преноснике из става 1. тачка 2. овог члана утврђени су стандардом JUS ISO 6743-6 (категорије СКН, СКЈ, СКЛ и СКМ). Изрази, појмови и ознаке које се односе на уља за механичке преноснике моторних возила из става 1. тачка 3. овог члана утврђени су стандардима YUNG M1.062 (SAE J 308) и YUNG M1.063 (SAE J 306) [3].

Правилно и добро подмазивање зупчаника у зупчастим преносницима представља један од основних фактора који обезбеђују нормалну експлоатацију и поузданост. Рационалан избор врсте мазива за подмазивање умањује утрошак снаге на трење, а тиме смањује и загревање преносника, обезбеђује минимално хабање. Осим тога мазиво штити елементе преносника од корозије и умањује буку при раду. Такође је важно и заптивање редуктора да би се спречило цурење уља из кућишта и обезбедила заштита зупчаника од разних прљавштина, воде, паре, киселина, гасова.

Подмазивање зупчастих преносника укључује хидродинамичко, еластохидродинамичко и мешовито подмазивање.

При том се тежи пуном еластохидродинамичком мазивом слоју чија је дебљина барем три пута већа од средње површинске храпавости бокова зуба.

Уља за преноснике и технологија подмазивања у преносницима требају испунити следеће основне функције, а то су [4]:

- Одвођење топлоте настале трењем између клизних површина
- Пренос снаге и смањење трења
- Спречавање или смањење механичких оштећења

Уља поред тога морају испунити следеће секундарне функције:

- Спречавање корозије на лежајевима и зупчаницима
- Заштита од продирања различитих контаминената у зони контакта
- Амортизација удара и вибрација
- Електроизолација

Уколико се мазиво за зупчанике посматра као конструкцијски елемент, треба испунити следеће додатне функције:

- Створити мазиви слој за преношење оптерећења између клизних површина
- Одвести насталу топлоту
- Уклонити честице настале хабањем

Зупчасті преносници могу имати цилиндриче, коничне и хиперболоидне зубчасте парове или њихове комбинације у различитим конструкцијским скоповима. Приликом одабира уља за зубчасте преноснике потребно је размотрити следеће факторе конструкције и услове рада:

- Врста зубчаника
- Радна температура
- Природа оптерећења
- Врста погона

Уља за зубчанике можемо поделити на две групе:

- Уља за зубчасте преноснике аутомобила
- Уља за зубчасте преноснике код машина алатки

2.6.1 Уља за зубчасте преноснике аутомобила

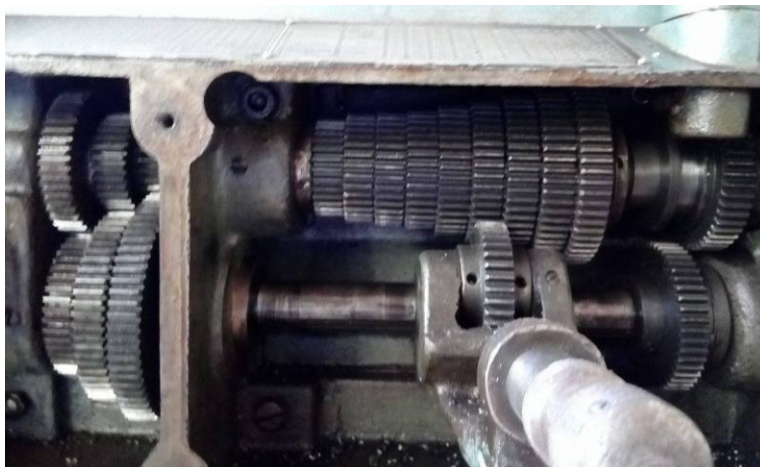
Произвођачи возила су главни покретачи развоја уља за преноснике у возилима. Главни циљеви су процена економичности потрошње горива, продужење интервала замене уља, продужење радног века и смањење трошкова одржавања. Уља за зубчанике могу бити минерална, полусинтетичка или синтетичка [4].

2.6.2 Уља за зубчасте преноснике код машина алатки

Напредак у металургији и производњи зубчаника омогућио је израду компактних преносних јединица. Код њиховог подмазивања, у уљу се повећава радна температура, која узрокује повећану оксидацију чији је резултат повећана вискозност уља и стварање талога. Док су претходне температуре биле углавном између 50-70 °С, данас су знатно више од 100 °С. Ова уља морају радити у доста различитим условима, за разлику од уља за аутомобилске преноснике [4].



Слика 7. Приказ зубчастог преносника код машина алатки



Слика 8. Приказ Нортоновог преносника код машина алатки

2.7 Подмазивање котрљајућих лежајева

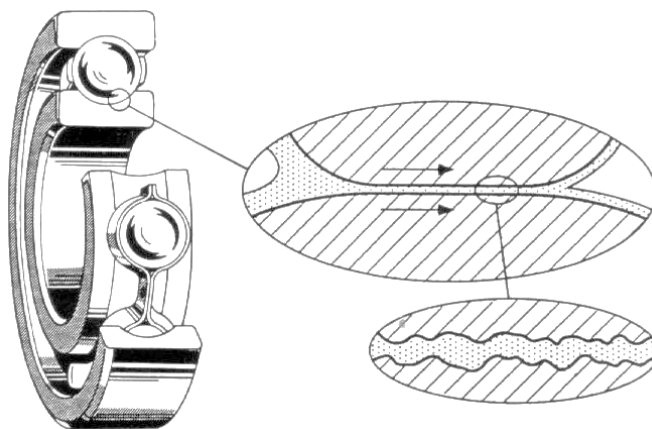
Уља за подмазивање лежаја вретена и прикључних спојница из члана 2. тачка 3. овог правилника утврђена су стандардом JUS ISO 6743-2 [3].

Котрљајући лежајеви представљају најбројнију групу машинских елемената који се подмазују мазивим мастима. Састоје се од унутрашњег и спољног прстена, између су постављени ротирајући елементи:

- Куглице
- Ваљци
- Бурићи
- Иглице

Ротирајући елементи лежаја су међусобно одвојени држачем, што осигурава центричност лежаја, једнако растојање између површина прстенова и равномерно оптерећење носивог дела лежаја. Површине по којима се котрљају ротирајући елементи су обрађене брушењем, па је коефицијент трења котрљања веома низак. Он се код котрљајућих лежаја креће у границама од 0,001 до 0,005.

За време рада котрљајућег лежаја долази до стварања краткотрајних, веома високо локалних оптерећења у зони контакта ротирајућих елемената и прстена лежаја . Резултат тако високих притисака су еластичне деформације прстена и ротирајућих елемената. Ти високи притисци се преносе и на слој мазива који се налази између контактних површина, што доводи до високог пораста вредности вискозитета и појаве еластохидродинамичког подмазивања. Контактне површине се потпуно раздвајају, па је код котрљајућих лежаја процес хабања веома низак [5].



Слика 9. *Еластохидродинамичко подмазивање код лежаја [1]*

Захваљујући томе радни век котрљајућег лежаја је веома дуг, али прорачунати век трајања лежаја се значајно смањује у случају неодговарајућег режима подмазивања. Под овим се подразумева подмазивање са неодговарајућом врстом масти, као и подмазивање са недовољном количином мазиве масти.

Котрљајући лежајеви се подмазују уљем и мазивим мастима. У одређеном броју случајева бољи резултати се постижу код подмазивања уљем, али у неким другим условима рада исти лежај је боље подмазати машћу.

Век трајања лежаја зависи и од спољних утицаја, као на пример:

- Воде
- Температуре
- Нечистоћа
- Ударног оптерећења

За подмазивање котрљајућег лежаја са нормалним оптерећењем и код рада без деловања неповољних спољних утицаја, потребне су сасвим мале количине мазиве масти. Због тога се кућиште лежаја пуни потпуно само у случајевима када мазива маст, осим функције подмазивања, треба да обави и функцију заптивања. Код лежаја са високим бројем обртаја није дозвољено потпуно пуњење лежаја машћу, јер због високих вредности трења у унутрашњости мазиве масти долази до пораста температуре. Она утиче на разградњу и пад вредности вискозности мазиве масти, па је коначан резултат скраћење радног века лежаја. Утврђено је да већи број котрљајућих лежаја страда због велике количине мазиве масти у кућишту, него због недовољне количине [5].

3. Стандардне методе испитивања

Текст представља приближан превод стандарда

3.1 Стандардни метод испитивања хабања превентивних карактеристика течности за подмазивање D4172

3.1.1 Обим

3.1.1.1 Ова метода испитивања обухвата поступак за прелиминарну процену анти-хабања особина мазива течности у клизном контакту помоћу *four ball* машине. Евалуација мазива за подмазивање помоћу исте машине описана је у методи за испитивање Д 2266.

3.1.1.2 Вредности које започињу у јединицама у килограму или SI јединицама треба посматрати засебно као стандард. У оквиру теста јединице у килограмима приказане су у заградама. Вредности започете у сваком систему нису тачни еквиваленти, па се сваки систем мора користити независно од других. Комбиноване вредности два система могу довести до неусаглашености са спецификацијом.

3.1.1.3 Овај стандард не подразумева решавање свих сигурносних проблема. Одговорност корисника овог стандарда је да успостави одговарајуће безбедносне и здравствене праксе и одреди примену регулаторних ограничења пре употребе.

3.1.2 Референтни документи

3.1.2.1 ASTM стандарди:

D 2266 Метода испитивања хабања превентивне карактеристике мазива за подмазивање (метод са четири куглице)

3.1.2.2 ANSI стандард

V3.12 Спецификација за металне кугле

3.1.3 Терминологија

3.1.3.1 Дефиниције:

3.1.3.2 Мазиво, било који материјал постављен између две површине који смањује трење или хабање између њих.

3.1.3.3 Хабање, оштећење чврсте површине, генерално укључује прогресивни губитак материјала услед релативног кретања између те површине и контактне површине.

3.1.4. Сажетак методе испитивања

3.1.4.1 Три челичне куглице пречника 12,7 mm су спојене заједно и покривене мазивом за процену. Четврта челична куглица пречника 12,7 mm, која се назива горња куглица, притиска се силом од 147 N или 392 N у шупљину која се формира од три куглице за контакт са три тачке. Температура тестног мазива је регулисана на 75 °C [167 °F], а затим горња куглица се ротира брзином од 1200 $\frac{^\circ}{min}$ током 60 min. Мазива се упоређују коришћењем просечне величине пречника ожиљака, који се налази на три доње куглице.

3.1.5. Значај и употреба

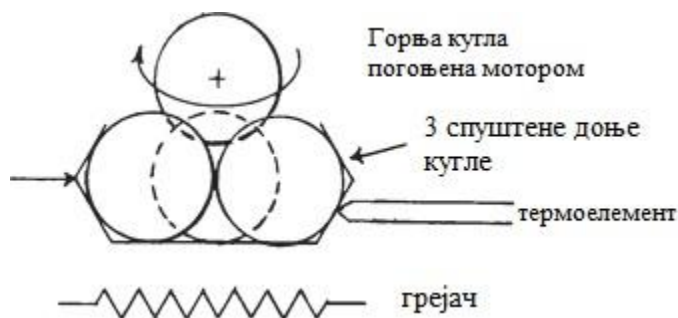
3.1.5.1 Ова тест метода се може користити за одређивање релативних особина превентивног хабања мазивих течности у клизном контакту под прописаним условима теста. Није направљен никакав покушај корелације овог теста са куглицама у ваљном контакту. Корисник ове методе испитивања треба да утврди да ли су резултати овог

тестног поступка у корелацији са перформансама на терену или другим машинама за тестирање.

3.1.6. Апарат

3.1.6.1 Машина за проверу хабања са четири куглице, видети Сliku. 1-3

3.1.6.2 Микроскоп, способан да мери пречнике ожиљака произведених на три стационарне куглице до тачности од 0,01 mm. Ефикасније је мерити ожиљке без уклањања три куглице из држача.



Слика 10. Шематски приказ машине са четири куглице

3.1.7. Материјали

3.1.7.1 Куглице за тестирање, од хромираног легираног челика, направљен од ANSI стандардног челика бр. E-52100, са пречником од 12,7 mm, од степена 25 EP (Extra Polish). Такве куглице су описане у ANSI B3.12. Екстра полирање није описано у тој спецификацији. Тврдоћа Rockwell C ће бити 64 или 66, што је ближа граница него што се налази у захтеву ANSI.

3.1.7.2. Средства за чишћење за припрему куглица и апарата за испитивање треба да буду одобрена као нетоксична, способан за уклањање антикорозивних премаза са куглица, елиминишу преношење тестног уља са једног теста на други. Када је течност запаљива, треба предузети одговарајуће мере предострожности. У „round-robin“ тестовима за одређивање поновљивости и репродуцибилности нису дати посебни правци за чишћење куглица и делова машина. Оператори су пријавили употребу разних растварача са и без купатила за чишћење. Технике чишћења које су извели неки сарадници укључени су у извјештај о истраживању RR: D02-1152

3.1.8. Услови тестирања

3.1.8.1 Услови тестирања који су коришћени за израду прецизних података како је наведено у одељку 10 су:

Табела 1. Услови тестирања

	А	Б
Температура	75±2 °C [167±4 °F]	75±2 °C [167±4 °C]
Брзина	1200±60 o/min	1200±60 o/min
Трајање	60±1 min	60±1 min
Оптерећење	147±2 N	392±2N

3.1.9. Припрема апарата

3.1.9.1 Подесите погон машине како бисте добили брзину вретена од $1200 \pm 60 \frac{^\circ}{\text{min}}$.

3.1.9.2 Подесите температурни регулатор да бисте добили температуру теста уља $75 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ [$167 \pm 4 \text{ }^\circ\text{F}$].

3.1.9.3 Када се користи аутоматски тајмер за завршетак теста, потребно је проверити потребну прецизност од $\pm 1 \text{ min}$ у времену од 60 min .

3.1.9.4 Механизам за учитавање мора бити уравнотежен на нулто читавање са свим деловима и тестним уљем на месту. За демонстрирање правилне прецизности треба додати или одузети $19,6 \text{ N}$ у неравнотежи. Одређивање тачности оптерећења на 147 N и 392 N је тешко и генерално ограничено на пажљиво мерење односа полуге и тежине или пречника клипа и калибрације мерача притиска.

3.1.10. Процедура

3.1.10.1 Темељно очистите четири куглице за тестирање, делове за стезање за горњу и доње куглице и чашу за уље користећи раствараче. Делови се након тога могу финално обрисати. Не би требало оставити никакав траг растварача када се уље за узорак уведе и машина се монтира.

3.1.10.2 Затегните једну од чистих куглица у вретену тест машине.

3.1.10.3 Саставите три чисте тест куглице у посуду за тестирање уља и затегните ручицу помоћу кључа који се испоручује у производњи опреме.

3.1.10.4 Налијте уље у чашицу за тестно уље до нивоа најмање 3 mm изнад врха куглице. Обратите пажњу да овај ниво уља и даље постоји након што тестно уље попуњава све празнине у склопу.

3.1.10.5 Инсталирајте поклопац за тестно уље / три куглице у машину и избегавајте учитавање удараца полако притискањем оптерећења теста (147 N или 392 N).

3.1.10.6 Укључите грејаче и поставите контроле како бисте добили $75 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ [$167 \pm 4 \text{ }^\circ\text{F}$]. Напон грејача на пропорционалним контролерима треба да буде способан да доведе стабилизовану температуру унутар прописаних граница.

3.1.10.7 Када се достигне температура испитивања, покрените погонски мотор који је претходно био подешен да погони горњу куглицу на $1200 \pm 60 \frac{^\circ}{\text{min}}$. Машине са аутоматским стартом користећи пропорционални контролер ће почети испод подешене температуре. Пропорционални опсег треба поставити довољно уско да ограничи "под температуру" на почетку на близу $2 \text{ }^\circ\text{C}$ [$4 \text{ }^\circ\text{F}$].

3.1.10.8 Након што је погонски мотор укључен на $60 \pm 1 \text{ min}$, искључите грејаче и погонски мотор и уклоните склоп за тестирање уља и три куглице.

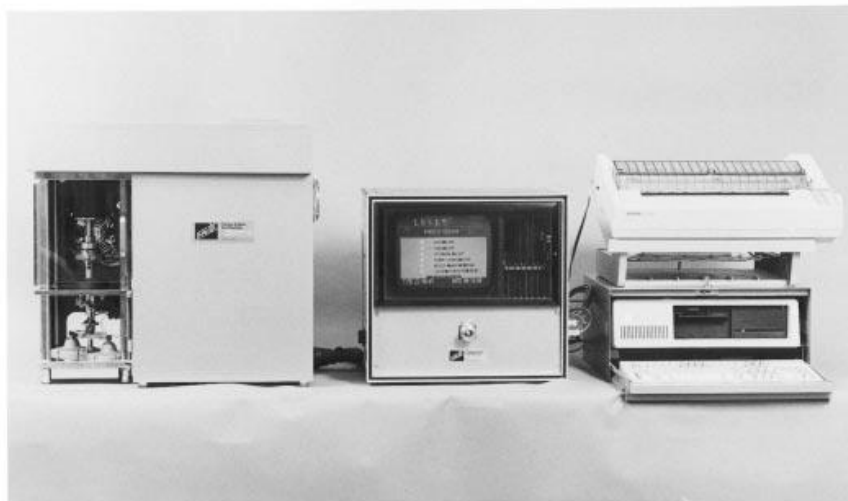
3.1.10.9 Измерите оштећења хабања на три доње куглице до тачности од $\pm 0,01 \text{ mm}$ помоћу једне од следећих метода:

3.1.10.9.1 Опција А-Испразните уље за тестирање са три лопте и обришите ожиљак. Оставити три кугле стезане и постави на основи микроскопа који је намењен за ту сврху.

Направите два мерења на сваком од ожиљака за ношење. Измерите ожиљак дуж радијалне линије од центра држача. Узмимо друго мерење дуж линије од 90° од прве. Пријавите аритметички просек шест мерења као пречник ожиљака у милиметрима.

3.1.10.9.2 Опција Б - Уклоните три доње кугла са њихове стезне позиције. Обришите ожиљак. Направите два мерења за сваки од три ожиљка. Направите два мерења на 90° један према другом.

Водити рачуна да је линија видљивости нормална на површину која се мери.



Слика 11. *Фалекс модел, машина за тестирање трења и хабања*

3.1.10.9.3 Ако се просек од два мерења на једној куглици разликује од просека свих шест читања за више од 0,04 mm, истражите поравнање три доње куглице са горњом куглицом.

3.1.11. Прецизност и поновљивост

3.1.11.1 Прецизност овог метода испитивања која је утврђена статистичким испитивањем резултата међулабораторијског теста је следећа.

3.1.11.1.1 Поновљивост - разлика између узастопних резултата добијених од стране истог оператора са истим уређајем под сталним условима рада на идентичном материјалу за испитивање би дугорочно у нормалном и исправном раду методе испитивања превазишла само следећу вредност у једном случају у двадесет:

Поновљивост 5 0,12 mm разлика између ожиљака.

3.1.11.1.2 Поновљивост - разлика између два појединачна и независна резултата добијена од стране различитих оператора који раде у различитим лабораторијама на идентичном тестираном материјалу, на дужи рок, би требало да пређу следећу вредност само у једном случају у двадесет:

Поновљивост 5 Разлика пречника ожиљака 0,28 mm, [6].

3.2 Стандардна метода испитивања за мерење особина екстремног притиска мазива за подмазивање D 2783-03

3.2.1 Простор

3.2.1.1 Ова метода испитивања обухвата одређивање карактеристика носивости течности за подмазивање. Следећа два одређења су направљена:

3.2.1.1.1 Индекс ношења оптерећења (раније средње оптерећење).

3.2.1.1.2 Тачка вара помоћу тестера екстремног притиска са уређајем са четири куглице (EP Тест)

3.2.1.2. Овај стандард не подразумева решавање свих сигурносних проблема, ако их има, повезаних са његовом употребом. Корисник овог стандарда је одговоран за одговарајуће безбедносне и здравствене навике и одређује применљивост регулаторних ограничења пре употребе.

3.2.1.4 Вредности наведене у јединицама у килограмима или SI јединицама треба посматрати засебно као стандард. Вредности наведене у сваком систему нису тачне еквиваленти; стога, сваки систем ће се користити независно од другог. Комбиновање вредности из два система може довести до неусаглашености са стандардом.

3.2.2 Референтни документи

3.2.2.1 ASTM стандард:

D 2596 Метода испитивања за мерење особина екстремног притиска масти за подмазивање (метода са четири куглице)

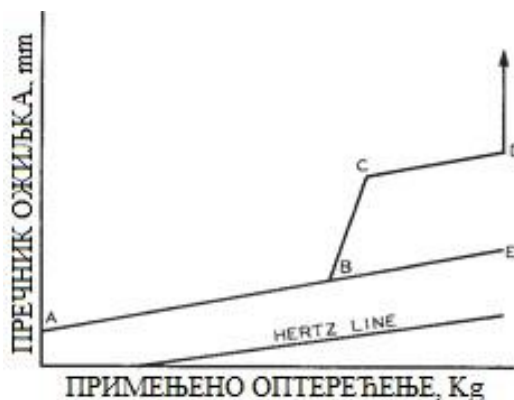
3.2.2.2 ANSI стандард:

В 3.12 металне куглице

3.2.3. Терминологија

3.2.3.1 Дефиниције

3.2.3.1.1 Линија компензације - линија парцеле на логаритамском папиру, као што је приказано на слици 12, где су координате пречник ожиљака у милиметрима и наношење оптерећења у килограмима-сила (или Њутнима), добијених под динамичким условима.



Слика 12. Шематски приказ дијаметра ожиљака у односу на примењено оптерећење

ABE – компензациона линија

B – последње оптерећење пре заривања

BC – област почетног заривања

CD – област тренутног заривања

D – тачка вара

3.2.3.1.1.1. Дискусија - Координате за линију компензације налазе се у табели 2, колоне 1 и 3.

3.2.3.1.1.2 Дискусија - нека мазива дају координате изнад линије компензације. Познати примери таквих течности су метил фенил силикон, хлорирани метил фенил силикон, сорфенилен, фенил етар, и неке смеше нафтног уља и хлорисаних парафина.

3.2.3.1.2 Компензација ожиљка пречника - просечан пречник, у милиметрима, од ожиљка оштрице на стационарним куглицама узрокованим окретном куглицом под примењеним оптерећењем у присуству мазива, али са спољашњим узроком или заваривањем.

3.2.3.1.3 Исправљено оптерећење - оптерећење у килограмима-сила (или Њутнима) за сваки погон добијен множењем наношења оптерећења према односу пречника ожиљака Херц до измереног ожиљка на том оптерећењу.

3.2.3.1.4 Херц линија - линија парцеле на логаритамском папиру, као што је приказано на слици 12, где су координате пречник ожиљака у милиметрима и примењено оптерећење у килограмима-сила (или Њутнима), добијених под статичким условима.

3.2.3.1.5 Пречник ожиљака Херц - просечан пречник, у милиметрима, од удара узрокован деформацијом куглица под статичким оптерећењем (пре испитивања). Може се израчунати из једначине:

$$D_h = 8.73 \times 10^{-2}(P)^{1/3}$$

где је:

D_h = Херцов пречник контактне површине

P = статичко примењено оптерећење

3.2.3.1.6 Регион непосредног напада - та област кривине ожиљака која се карактерише запљењењем или заваривањем приликом покретања или великим ожиљцима оштећења. Иницијална деформација опционалног уређаја за мерење трења је већа о оптерећења. Погледати слику 12.

3.2.3.1.7 Почетни напад или подручје почетног напада - то подручје на којем се, са примењеним оптерећењем, постоји момент разарања филма за подмазивање. Овај распад се примећује изненадним порастом измереног дијаметра ожиљака и тренутним удаљавањем показивача.

3.2.3.1.8 Последње оптерећење без гашења - последње оптерећење при којем измерени пречник ожиљака није више од 5% изнад линије компензације при оптерећењу. Погледајте слику 12.

3.2.3.1.9 Индекс носивости оптерећења (или својства носивости мазива) - индекс способности мазива да минимизира хабање на примењеним оптерећењима. У условима овог теста, специфична оптерећења у килограмима-сила (или Њутнима) са интервалима отприлике 0,1 логаритамских јединица се примењују на три стационарне куглице десет пута пре заваривања. Индекс носивости оптерећења је просек суме коригованих оптерећења утврђених за десет примењених оптерећења која непосредно претходи пару заваривања.

3.2.3.1.10 Тачка вара - у условима овог теста, најниже наношење оптерећења у килограмима при коме се кружна кугла заварује на три стационарне кугле, што указује на ниво екстремног притиска мазива-сила (или Њутна) је прекорачена.

3.2.3.1.10.1 Дискусија - Нека мазива не дозвољавају истинито заваривање и екстремно оцењивање три стационарне куглице. У таквим случајевима, примењено оптерећење које производи максимални пречник ожилжа од 4 mm, пријављује се као тачка вара.

Табела 2. Предложени образац за снимање резултата испитивања

Примењено оптерећење, Kg (L)	Просечан пречник ожилжака, mm (X)	Компензација ожилжака, mm	LD _h Фактор	Кориговано оптерећење, Kg (LD _h /X)
6			0.95	
8			1.40	
10		0.21	1.88	
13		0.23	2.67	
16		0.25	3.52	
20		0.27	4.74	
24		0.28	6.05	
32		0.31	8.87	
40		0.33	11.96	
50		0.36	16.10	
63		0.39	21.86	
80		0.42	30.08	
100		0.46	40.5	
126		0.50	55.2	
160		0.54	75.8	
200		0.59	102.2	
250			137.5	
315			187.1	
400			258	
500			347	
620			462	
800			649	

3.2.4 Сажетак методе испитивања

Овај тестер ради са једном челичном куглицом под оптерећењем која се ротира против три челичне куглице држане стационарне у облику колевке. Тест мазиво покрива доње три куглице. Брзина окретања је $1760 \pm 40 \frac{^\circ}{min}$. Машина и мазиво за испитивање су доведени на 18 до 35 °C (65 до 95 °F), а затим се серија тестова трајања од 10 секунди врши на растућим оптерећењима до заваривања. Десет тестова се врши испод тачке заваривања. Ако се деси десет оптерећења када се јавља заваривање, а ожилци на оптерећењима испод напрезања су у границама од 5% од линије компензације (АБ слика 12), ниједан други рад није потребан. Укупна вредност се може довести до десет, под претпоставком да ће оптерећења испод последњег оптерећења без гашења произвести ожилже од оштећења једнаке "пречнику ожилжа". Вредности ових "претпостављених" ожилжака дати су у

табели 2. За појашњење "последњег оптерећења без гашења" и "тачке заваре" погледајте слику 12.

3.2.5 Значај и употреба

3.2.5.1 Овај метод испитивања, који се користи у сврхе спецификације, разликује се између течности за подмазивање са ниским, средњим и високим степеном екстремних притисака. Корисник ове методе треба да утврди да ли резултати овог тестног поступка корелирају са перформансама на терену или другим тестним машинама.

3.2.6 Апаратура

3.2.6.1 Тестер екстремног притиска са четири куглице, илустрован на Сл. 13 и 14.

Напомена 1 - Важно је разликовати ЕР тестер са четири куглице и тестер носача са четири куглице. ЕП тестер са четири куглице је дизајниран за тестирање у тежим условима.

3.2.6.2 Микроскоп, опремљен калибрираном мерном скалом и читљив на тачност од 0,01 mm.

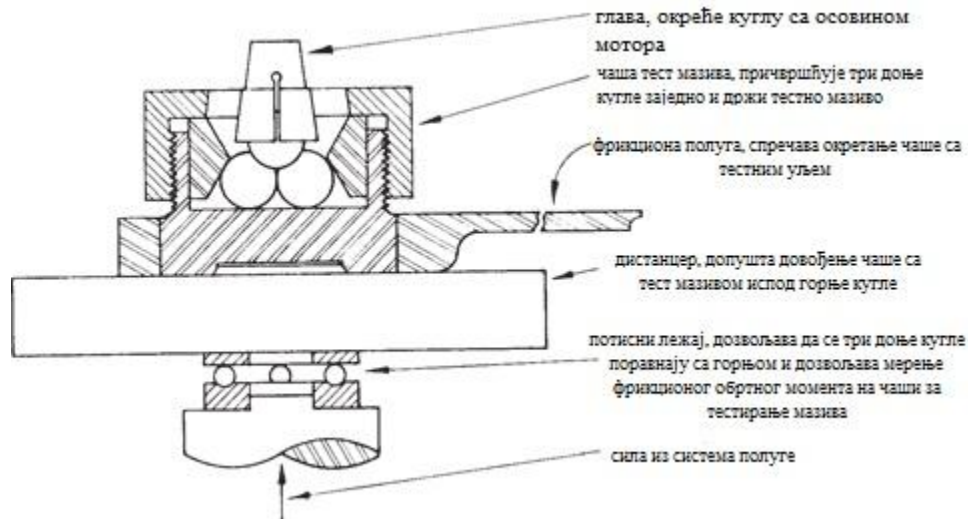
3.2.6.3 Тајмер, завршио десетине секунде

Напомена 2 - Опциона опрема са апаратом са четири куглице састоји се од уређаја за мерење трења са електричним погоном и погодно је завршио у ознакама од 10 s.

3.2.7 Материјали

3.2.7.1 Средство за чишћење, безбедно, не-филмско формирање, нехлоровано. (Упозорење-Запаљиво. Штетно ако се удише)

Напомена 3 - Одређени дестилати нафте, раније коришћени као растварачи, елиминисани су због могућих токсичних ефеката. Сваки корисник би требао изабрати растварач који може испунити применљиве сигурносне захтеве и темељно очистити делове машине. Растварач разреда реагенса је пример растварача који је погодан.



Слика 13. Скица Four-ball теста



Слика 14. Four-ball машина за EP тест

3.2.7.2 Куглице за тестирање, од хромираног легираног челика, направљен од ANSI стандардног челика бр. Е-52100, са пречником од 12,7 mm, од степена 25 EP (*Extra Polish*). Такве куглице су описане у ANSI В3.12. Екстра полирање није описано у тој спецификацији. Тврдоћа Rockwell C ће бити 64 или 66, што је ближа граница него што се налази у захтеву ANSI.

3.2.8 Припрема апарата

8.1 Темељно очистите четири нове тест куглице, чашу за тестирање мазива и склопове чаура првим прањем помоћу растварача за чишћење.

8.2 Спустите прекидач тако што ћете подићи ручицу. Закључајте ручицу полуге у подигнутом положају помоћу уређаја за закључавање у ту сврху.

3.2.9 Поступак

9.1 Поставите три куглице за тестирање у шољу за тестирање мазива. Поставите прстен за закључавање преко тестних куглица и добро причврстите навртку. Сипајте течност за подмазивање која се тестира преко три куглице за тестирање све док нису покривени

9.2 Довести уље и шољу од 18 до 35°C (65 to 95°F).

9.3 Притисните једну куглицу у главу машине и причврстите стезну главу у носач стезне главе.

9.4 Поставите шољу тест мазива у склопу за тестирање мазива на тест апарату у контакту са четвртом куглицом. Поставите размак између чаше и потисног лежаја.

9.5 Поставите носач тегова на хоризонталној полуци на одговарајућем месту за основно испитивање да оптерећење буде 784 N (80 Kg). Отпустите ручицу полуге и лагано примените оптерећење теста на куглице, тако да склоп чаше и одстојници буду центрирани. Ако се користи уређај за мерење трења, спојите калибрирану полуци на шољу за тестирање мазива на индикаторску опругу помоћу спојнице и жице.

9.6 Покренути мотор и нека буде укључен 10 ± 2 S.

9.7 Уклонити склоп шоље са тестним уљем; Скинути главу и одбацити куглицу.

9.8 Измерите дијаметар оживља тестних куглица на следећи начин:

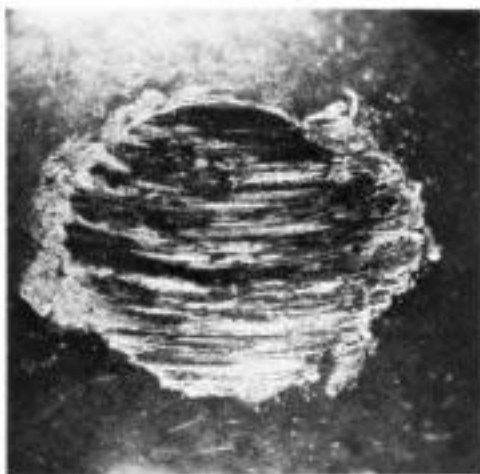
9.8.1 Опција А-Уклоните тестне куглице. Очистите куглице растварачем за чишћење и затим исперите растварачем. Обришите сувом меком крпом. Поставите појединачне куглице на одговарајући носач и помоћу микроскопа измерите до најближих 0,01 mm оштрице пречника и паралелно (хоризонтално) и нормално (вертикално) до неравних површина у ожиљцима једне од три тест куглице.

9.8.2 Опција Б - Оставите куглице причвршћене у шољу. Излити течност за подмазивање. Очистите површине куглице растварачем за чишћење. Коришћењем микроскопа измерите до 0,01 mm пречник ожиљака и паралелно (хоризонтално) и нормално (вертикално) до неравних површина у ожиљцима у једној од три тест куглице.

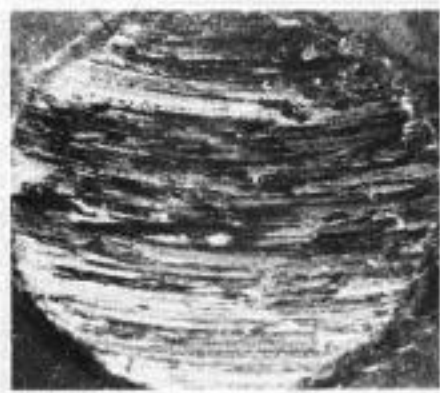
9.8.3 Мерење пречника ожиљка микроскопом треба обавити на све три куглице, а не само на једној куглици.

9.9 Запис (табела 2, колона 2) за 784 N (80 Kg), оптерећење просечног пречника ожиљака са било којом од три технике описане у 9.8. Упоредити овај просечни пречник ожиљака са променом дијаметра ожиљака (табела 2, колона 3).

9.10 Направите додатна испитивања на узастопно већим оптерећењима, снимити промене мере ожиљка и одбаците тестне куглице све док не дође до заваривања. Ако до заваривања не дође, поновити тест на већем оптерећењу све док не дође до заваривања.



Слика 15. Типични тестни ожиљци кугле - пре уклањања



Слика 16. Типични тестни ожиљци кугле - после уклањања

9.11 Ако је измерени пречник ожилка на оптерећењу од 784N (80Kg) већи од 5% од пречника компензације оштећења, извршити следеће испитивање на следећем доњем оптерећењу (табела 2, колона 1).

9.12 Алтернативно, у случајевима када измерени ожилци одступају више од 5% изнад линије компензације, наставите ову процедуру све док се не забележи укупно десет потеза испод тачке заvara.

3.2.10 Прорачуни и извјештаји

10.1 Исправљена оптерећења - Израчунајте и забележите (табела 2, колона 5) за свако примењено оптерећење између последњег оптерећења без терета и тачке вара коришћењем једначине:

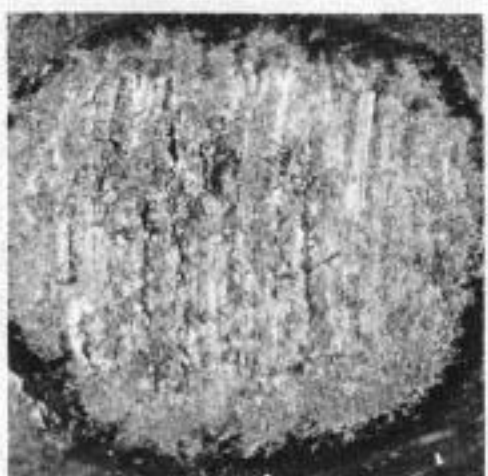
$$LDh/X$$

где је:

L = примењено оптерећење, односно примењена укупна маса помножена са односом полуге

D_h = Херцов пречник ожилка, mm

X = средњи пречник ожилка, mm



Слика 17. Типични тестни ожилци кугле – након уклањања



Слика 18. Типични тестни ожилци кугле – након уклањања

10.2 Индекс носивости оптерећења – израчунати и пријавити индекс оптерећења у килограмима-силама коришћењем једначине:

$$A/10$$

где је:

A = сума исправљених оптерећења утврђених за десет примењених оптерећења које непосредно претходе тачки вара.

10.3 Тачка вара - пријавите верификовану тачку завара која се налази у 9.10.

Табела 3 . Укупно исправљених оптерећења линије компензације

Последње оптерећење без напада	Носивост оптерећења										
	800	620	500	400	315	250	200	160	126	100	80
200	583	639	684	720	749	770					
160	410	466	511	547	576	597	615				
126	269.8	325.8	370.5	407	435	457	474	489			
100	159.7	215.8	260.5	296.7	325.3	346.9	364.4	378	390		
80	71.6	127.7	172.4	208.6	237.2	258.2	276.3	290	302	311.0	
63		56.1	100.8	137.0	165.6	187.1	204.7	218.8	230.4	239.3	246.7
50			44.7	80.9	109.5	131.0	148.6	162.7	174.3	183.2	190.6
40				36.2	64.8	86.4	103.9	118.0	129.6	138.6	145.9
32					28.6	50.2	67.7	81.8	93.4	102.4	109.7
24						21.6	39 .1	53.2	64.8	73.8	81.1
20							17.6	31.6	43.2	52.2	59.2
16								14.1	25.7	34.6	42.0
13									11.6	20.6	27.9
10										9.0	16.3
8											7.4

3.2.11 Прецизност и поновљивост

11.1 Прецизност - Следећи критеријуми требају се користити за оцењивање прихватљивости резултата за подмазивање флуида који прате линију компензације и имају тачке завара од 400 Kg или мање.

11.1.1 Индекс оптерећења:

11.1.1.1 Поновљивост - разлика између узастопних резултата испитивања, добијених од стране истог оператора са истим апаратом под сталним условима рада на идентичном тестираном материјалу, на дужи рок и у нормалном и исправном раду методе испитивања, превазилазе следеће вредности само у једном случају од двадесет:

17% средње вредности

11.1.1.2 Поновљивост - разлика између два, појединачна и независна резултата, добијена од стране различитих оператора који раде у различитим лабораторијама на идентичном тестираном материјалу, на дуже стазе и у нормалном и исправном раду методе испитивања превазилазе следеће вредности само у једном случају од двадесет:

44% средње вредности

11.1.2 Тачка вара:

11.1.2.1 Поновљивост - разлика између узастопних резултата испитивања, добијених од стране истог оператора са истим апаратом под сталним условима рада на идентичном

материјалу за испитивање, на дужи рок и у нормалном и исправном раду методе испитивања, прелазе следеће вредности само у једном случају од двадесет:

више од једног повећања оптерећења

11.1.2.2 Поновљивост - разлика између два, појединачна и независна резултата, добијена од стране различитих оператера који раде у различитим лабораторијама на идентичном тестираном материјалу, на дужи рок и у нормалном и исправном раду методе испитивања, прелазе следеће вредности само у једном случају од двадесет:

више од једног повећања оптерећења

11.2 Прецизност за мазива са тачкама заvara веће од 400 Kg или изнад линије компензације, или оба, није утврђена [7].

4. Експериментално испитивање

Експериментални део испитивања је урађен у фабрици мазива ФАМ Крушевац

4.1 Опис уређаја

Код овог испитивања три доње куглице су у додиру док се на њих одређеном силом ослања горња куглица која се ротира. Време које је потребно за испитивање зависи од врсте испитивања. У неким испитивањима се мери време које је потребно да дође до појаве питинга тј. оштећења у облику рупице на горњој куглици.



Слика 19. Уређај за испитивање мазива са четири куглице

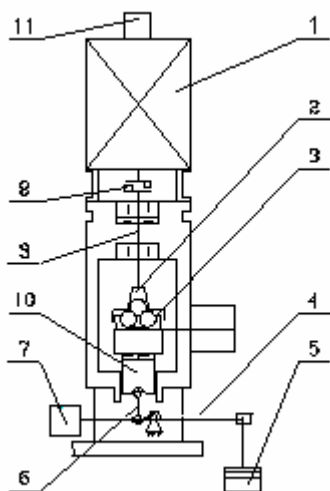
4.2 Делови уређаја *four ball*

Уређај се састоји од микропроцесора и механичке јединице која служи за контролу и мерење резултата.

Кинематска шема уређаја је приказана на слици 20.

Делови уређаја:

1 - асинхрони мотор; 2 - држач горње кугле; 3 - Склоп посуде у којој су три кугле;
4 - полуга; 5 - тегови; 6 - клин за подешавање оптерећења; 7 - контратег; 8 - носач држача
горње куглице; 9 - спојница; 10 - гурач; 11 - сензор за читавање брзине ротације [8];

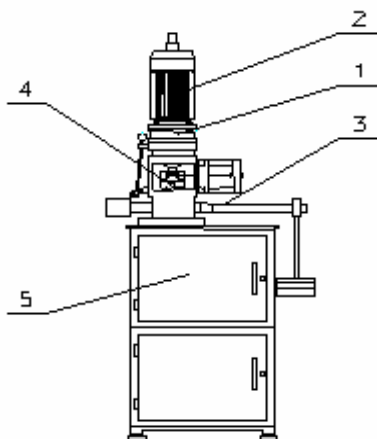


Слика 20. Кинематска шема уређаја „четири кугле“

Механички делови уређаја су приказани на слици 21.

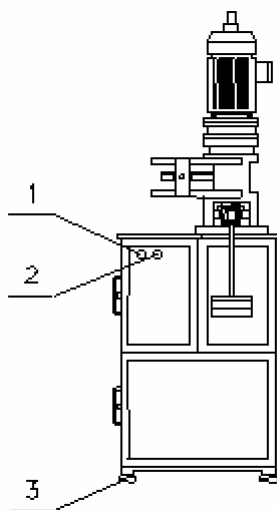
Делови уређаја:

1 – тело уређаја; 2 – погонска јединица; 3 – сегмент за подешавање оптерећења; 4 – склоп делова у којима ротирају кугле; 5 – постоље [8];



Слика 21. Предњи поглед уређаја

1 – прекидач за укључивање мотора; 2 – прекидач за искључивање мотора; 3 – подножје уређаја



Слика 22. Бочни поглед уређаја

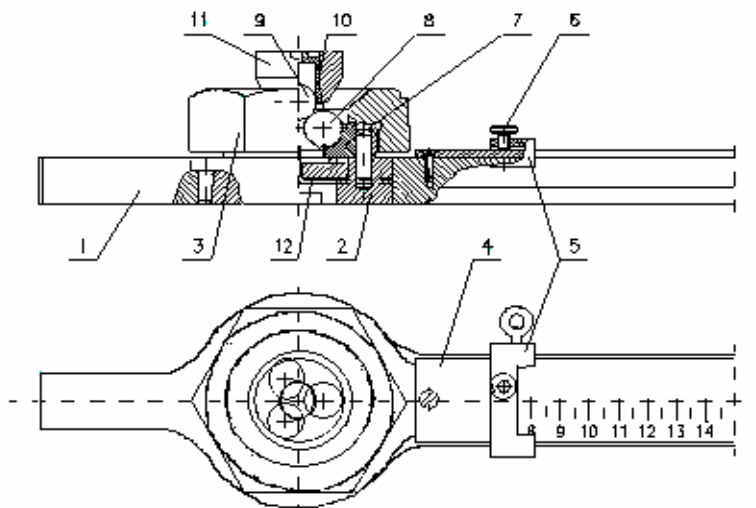
4.3 Тело уређаја

Функционалне јединице, сензори и додатни инструменти уграђени су у тело уређаја. У средини уређаја постоји сегмент за подешавање оптерећења. Погонска јединица се налази на врху тела уређаја. Држач горње куглице је постављен у главни носач и ротира се помоћу погонске јединице. Тело уређаја је направљено од ливеног гвожђа [8].

4.4 Држач куглица

Делови уређаја у којем ротирају куглице (слика 23):

- 1 – челични оквир посуде; 2 – посуда у којој су куглице; 3 – матица; 4 – мерна трака;
- 5 – клизни уложак; 6 – вијак за подешавање; 7 – посуда за доње кугле; 8 – доње кугле;
- 9 – горња кугла; 10 – држач горње куглице; 11 – носач држача горње куглице;
- 12 – сензор за мерење температуре [8];



Слика 23. Приказ склопа делова у којем ротирају куглице

4.5 Погонска јединица

Погонска јединица уређаја састоји се од асинхроног мотора, спојке, носача и држача горње куглице.

Снага асинхроног мотора је 1,5 kW, а број обртаја мотора је $700 \frac{\text{о}}{\text{min}}$.

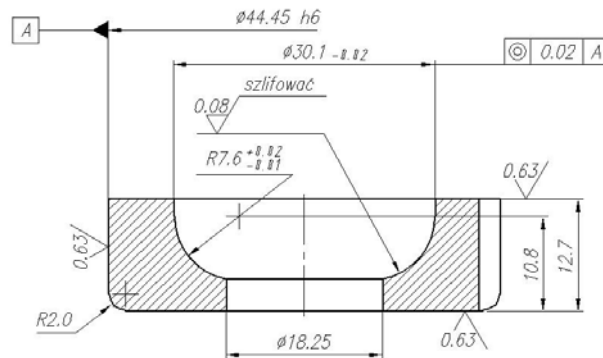
Асинхрони мотор преко спојке окреће носач, који ротира држач куглице а самим тим и горњу куглицу.

4.6 Припрема узорка

Посуда у којој се ротирају доње куглице мора задовољити неке захтеве, и то:

- Храпавост површине по којој куглице ротирају износи $0.08 \mu\text{m}$ ($Ra = 0.08 \mu\text{m}$)
- Посуда је направљена од алатног челика и термички обрађена тако да јој тврдоћа буде $62 \pm 2 \text{ HRC}$

Посуда за испитивање треба бити без оштећења, огреботина, рупица и сличних дефеката.



Слика 24. Технички цртеж посуде у којој се налазе три доње куглице

За испитивање користити куглице од хромираног легираног челика пречника 12,7 mm. Да би испитивање било успешно спроведено у сваком испитивању мора доћи до питинга бар на једној куглици.



Слика 25. Куглице за испитивање

4.7 Поступак испитивања

- 1) Стартовати машину
- 2) Припремити уље за испитивање



Слика 26. Уље за испитивање [9]

- 3) Поставити три куглице у посуду за мерење и сипати уље преко куглица док не пређе 3 mm изнад њих.



Слика 26. Посуда у којој стоје три куглице са уљем

4) Поставити четврту куглицу у носач куглице



Слика 27. Четврта куглица

5) Подесимо температуру на којој ће се вршити испитивање



Слика 27. Температура на којој се врши испитивањ

6) Подесимо оптерећење, дужину трајања испитивања и брзину ротирања горње куглице



Слика 28. *Подешавање оптерећења и дужина трајања испитивања*

7) Поставимо посуду са куглицама на уређај и стартујемо мотор



Слика 29. *Посуда за испитивање постављена на уређај*

8) Када се испитивање заврши скинути посуду и измерити величину ожилјка на куглицама

4.8 Резултати испитивања

AW Тест

Услови испитивања:

Температура: 75 °C

Оптерећење: 400 N

Брзина ротирања куглице: 1200 $\frac{^\circ}{min}$

Временски период: 1 сат

Резултати испитивања:

Табела 4. Величине зареза на куглама у милиметрима за AW тест

Куглица 1	1,4 x 1,3
Куглица 2	1,4 x 1,3
Куглица 3	1,4 x 1,3

Средња вредност зареза се добија тако што се саберу величине зареза са три куглице и поделе са осамнаест. Средња вредност зареза код овог испитивања је 0,45 mm.

EP Тест

Услови испитивања:

Температура: собна

Оптерећење: 4000 N

Брзина ротирања куглице: 1760 $\frac{^\circ}{min}$

Временски период: 10 s

Резултати испитивања:

Табела 5. Величине зареза на куглама у милиметрима за EP тест

Куглица 1	2,9 x 2,4
Куглица 2	3,1 x 2,5
Куглица 3	3,1 x 2,5

Средња вредност зареза се добија тако што се саберу величине зареза са три куглице и поделе са шест. Средња вредност зареза код овог испитивања је 2,75 mm.

Код овог испитивања и при овим условима дошло је до тоталног заваривања куглица (слика 30).



Слика 30. Тотално заварене куглице

4.9 Four ball уређај RANZI U. M. 112

Ротирајућа челична куглица притиска се на три челичне куглице чврсто држане заједно и потопљене у мазиво. Оптерећење теста, трајање, температура и брзина ротације подешавају се у складу са стандардним методама испитивања.

Величина ожиљака показује способност мазива да спречи хабање. Већи пречник указује на слабу заштиту од хабања, док мањи показује супериорну заштиту од хабања [10].



Слика 31. Four-ball RANZI U.M. 112

У тестовима екстремног притиска (EP) мазиво се подвргава оптерећењу које се повећава у наведеним корацима након сваког рада. Ово повећање оптерећења се наставља све док не дође до заваривања куглица. Неуспех мазива је назначено заваривањем доње три куглице за горњу куглицу.

Овај уређај има асинхрони мотор „ENRICO BEZZI“ који има снагу од 1,5 kW, ради на фреквенцији од 50 Hz, максимална брзина обртања куглице је $1450 \frac{\text{°}}{\text{min}}$ (слика 32).



Слика 32. Спецификације електромотора



Слика 33. *Полуга и тег за подешавање оптерећења*

Код овог уређаја недостају неки делови због којих се не могу вршити испитивања на овом уређају, а то су: глава, доњи носач куглица, капа и оловка повезана са уређајем која оцртава дијаграм испитивања.



Слика 34. *Место на уређају где недостају делови*

5. Закључак

Мазиво је средство које се наноси на контактне површине са циљем ублажавања основних триболошких феномена, односно трења и хабања. Подмазивање је основна активност превентивног одржавања техничких система и дефинише се као примена одређеног средства са циљем да се смањи сила трења, а самим тим и хабање и оштећење клизних површина. Материјал на клизним површинама којим се постижу ти ефекти представља мазиво.

Правилно и добро подмазивање зупчаника у зупчастим преносницима представља један од основних фактора који обезбеђују нормалну експлоатацију и поузданост. Подмазивање је од суштинског значаја за поуздано функционисање опреме. Генерално је прихваћено да је 60% механичких отказа у техничким системима директно повезано са неадекватном праксом подмазивања, док добро подмазивање може и три пута продужити век трајања трибомеханичког система.

Тест са четири куглице се користи за мерење карактеристика мазива *AW* и *EP* тестом. Интерфејс контактне тачке се добија ротирањем челичне куглице пречника 12,7 mm под оптерећењем на три стационарне челичне кугле уроњене у мазиво. Брзина ротације, нормално оптерећење и температура могу се прилагодити у складу са објављеним ASTM стандардима. Да би се процениле карактеристике мазива, мери се дијаметар ожиљка.

Питинг је доминантан механизам трошења код котрљања, а да би се он смањио потребан је добар избор материјала који има задовољавајућу динамичку издржљивост површине и избор одговарајућег уља. У раду су приказане методе експерименталног одређивања карактеристика мазива методом „четири куглице“. Код овог испитивања три доње куглице су у додиру, док се на њих одређеном силом ослања горња куглица која се ротира у држачу.

У претходном поглављу приказани су резултати испитивања који су урађени у фабрици ФАМ Крушевац.

6. Литература

- [1] Др. Слободан Митровић: „Трибомеханички системи“ – подмазивање и мазива
- [2] <http://www.maziva.org/podmazivanje/teorije-podmazivanja/> , приступљено 2.9.2017.
- [3] http://www.tehnis.privreda.gov.rs/sw4i/download/files/article/PRAVILNIK_MAZIVA.pdf?id=715 , приступљено 5.9.2017.
- [4] Др. Иван Замберлин: „Мазива уља и сличне текућине“
- [5] Владимир Савић: „Трибологија и подмазивање“
- [6] <http://file.yizimg.com/175706/2012062821134493.pdf> , приступљено 10.9.2017.
- [7] <http://www.shxf17.com/pdf/ASTMD2783-2003.pdf> , приступљено 17.9.2017.
- [8] Institute for Sustainable Technologies, Department of Tribology, Radom, Poland, 2010.
- [9] https://www.google.rs/search?rlz=1C1GGRV_enRS751RS751&biw=1366&bih=588&tbm=isch&sa=1&q=famhipo+90+ulje&oq=famhipo+90+ulje&gs_l=psy-ab.3...131901.132164.0.132720.2.2.0.0.0.103.194.1j1.2.0.dummy_maps_web_fallback...0...1.1.64.psy-ab..0.0.0....0.-u5HGmMtj9I#imgrc=btQWQ6ax0EQPYM:
- [10] http://www.ins-thai.com/download/BrochureInS-4Balls-Eng%20update_InSThai.pdf , приступљено 29.9.2017.