

**Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу**



**Назив студијског програма: Машинско инжењерство**

**Ниво студија: Дипломске академске студије**

**Модул: Машинске конструкције и механизација**

**Предмет: Трибологија машинских система**

**Број индекса: 36/2002**

**Ненад Р. Илинчић**

**Анализа трибомеханичког система клип-клипни  
прстенови-цилиндар  
дипломски рад**

**Комисија за преглед и одбрану:**

**1. Др Блажа Стојановић, доцент-ментор**

**2. \_\_\_\_\_**

**3. \_\_\_\_\_**

Датум одбране: \_\_\_\_\_

Оцена: \_\_\_\_\_

У оквиру овог дипломског рада кандидат треба да изврши анализу трибомеханичких система клип-клипни прстенови-цилиндар. Такође треба да идентификује главне трибомеханичке системе како са аспекта кретања, тако и са аспекта врсте хабања. Наиме, клипно-цилиндрична група представља врло одговоран и триболошки захтеван технички систем. Кандидат треба да изврши анализу триболошких процеса у клипно-цилиндричној групи и и предложи одговарајуће мере за смањење хабања у погледу избора материјала, начина и врсте подмазивања.

#### Препоручена литература:

- [1] Танасијевић С., Триболошки исправно конструисање, Машински факултет Крагујевац, 2004.
- [2] Танасијевић С., Основи трибологије машинских елемената, Научна књига, Београд, 1983.
- [3] Веиновић С., Пешић Р., Петковић С., Погонски материјали моторних возила, Бања Лука-Крагујевац, 2000.

Крагујевац, 28.03.2014

ментор:

Блажа Стојановић, доцент

---

## Резиме

У оквиру дипломског рада извршена је анализа трибомеханичких система клипне групе мотора СУС. Тежиште рада се односи на склоп клип-цилиндар-клипни прстенови. Извршена је детаљна анализа процеса трења, хабања у овом трибомеханичком систему као и поступци за њихово спречавање. Извршена је и анализа триболошких превлака за алуминијумске легуре и поступка плазма депозиције. Такође је обрађен и проблем примене уља за подмазивање мотора у циљу смањења трења и хабања у цилиндарско-клипној групи.

**Кључне речи:** трибомеханички систем, клип, цилиндар, клипни прстенови, трење, хабање, подмазивање

## Summary

Within the thesis an analysis of tribo-mechanical system of IC engine piston group. The focus of the work is related to the piston-cylinder assembly piston rings. A detailed analysis of the process of friction, wear this tribomehanička systems and methods for their prevention. The analysis of tribological coatings for aluminum alloys and plasma deposition process. It also shows the problem of the application of the lubricating oil in the engine to reduce friction and wear in a cylinder-piston group.

**Keywords:** tribomechanical system, piston, cylinder, piston rings, friction, wear, lubrication

**Садржај:**

|                                                                                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. УВОД.....</b>                                                               | <b>5</b>  |
| <b>2. ТРИБОЛОГИЈА МОТОРА СУС.....</b>                                             | <b>6</b>  |
| 2.1.УВОД У ТРИБОЛОГИЈУ МОТОРА.....                                                | 6         |
| 2.2. РАСПОДЕЛА ГУБИТАКА НА ТРЕЊЕ КОД МОТОРА СУС.....                              | 7         |
| 2.3. ОСНОВНИ ЕЛЕМЕНТИ ЦИЛИНДАРСКО КЛИПНЕ ГРУПЕ.....                               | 8         |
| <b>3. ТРИБОМЕХАНИЧКИ СИСТЕМИ (ТМС).....</b>                                       | <b>16</b> |
| <b>4. ТРИБОМЕХАНИЧКИ СИСТЕМИ КЛИПНО-ЦИЛИНДРИЧНЕ ГРУПЕ..</b>                       | <b>23</b> |
| 4.1. АНАЛИЗА УТИЦАЈА ПРОЦЕСА ХАБАЊА НА РАД МОТОРА<br>СУС.....                     | 25        |
| 4.2.ХАБАЊЕ УСЛЕД ПОГРЕШНЕ ПОПРАВКЕ ЦИЛИНДАРСКО- КЛИПНЕ<br>ГРУПЕ.....              | 32        |
| 4.3.ТРИБОЛОШКЕ ПРЕВЛАКЕ ЗА АЛУМИНИЈУМСКЕ<br>ЛЕГУРЕ.....                           | 35        |
| 4.4.ТРЕНДОВИ У РАЗВОЈУ ТРИБОЛОШКИХ ПРЕВЛАКА<br>ЦИЛИНДАРСКО-КЛИПНЕ ГРУПЕ.....      | 36        |
| 4.5.ПРЕВЛАКЕ ЗА АЛУМИНИЈУМСКЕ ЦИЛИНДРЕ.....                                       | 37        |
| 4.6.ПОСТУПАК ПЛАЗМА ДЕПОЗИЦИЈЕ.....                                               | 38        |
| 4.7.ТРЕЊЕ КАО ФАКТОР РАЦИОНАЛНОСТИ<br>ЕКСПЛОАТАЦИЈЕ.....                          | 41        |
| 4.8.УТИЦАЈ КВАЛИТЕТА МАЗИВА И ДРУГИХ ФЛУИДА НА<br>ФУНКЦИОНАЛНОСТ РАДА МОТОРА..... | 43        |
| 4.8.1. УТИЦАЈ ПРИМЕНЕ УЉА РАЗЛИЧИТОГ<br>КВАЛИТЕТА.....                            | 43        |
| 4.9.СИСТЕМ ЗА ПОДМАЗИВАЊЕ.....                                                    | 45        |
| 4.10. ПОДМАЗИВАЊЕ ЦИЛИНДАРА МОТОРА.....                                           | 48        |
| <b>5. ЗАКЉУЧАК.....</b>                                                           | <b>49</b> |
| <b>6. ЛИТЕРАТУРА.....</b>                                                         | <b>50</b> |

## **1. УВОД**

Трењем се данас назива отпор који се јавља при релативном померању два тела у додиру или тела у средини која га окружује. То је дисипативни процес сложене природе, праћен низом појава: механичких, физичко-хемијских, електричних, металуршких, топлотних карактеристика које доводе до хабања и разарања спрегнутих тела.

Трење је неодвојив процес који прати рад практично сваког механизма. Његово значење у техници је двојако. У лежајевима, зупчаницима, ланчаним преносницима и сл., трење доводи до хабања површина и енергетских губитака па је тако некористан (штетан фактор). Код кочница и појединих спојница трење је користан процес, па се зато увећава до одређеног степена, водећи при томе рачуна да се не пређе граница допуштене отпорности на хабање.

Интернационални назив трибологија изведен је од грчке речи  $\tau\rho\iota\beta\omicron\sigma$ , што значи трење, трошење, ударање и речи  $\lambda\omicron\chi\omicron\varsigma$  што значи наука. Тако да би термин трибологија значио наука о трењу.

Оваква дефиниција трибологије као науке је веома уска и не обухвата све домене њеног интересовања.[1]

Трибологија се сврстава у једну од новијих технологија, која у великој мери утиче на развој, пројектовање и израду механизма свих врста нових машина, уређаја и транспортних средстава. Напори које развијене земље чине, ради смањења утrophка енергије и материјала, као и за смањење еколошких проблема, не могу да доведу до већих резултата без додатних истраживања у свим областима трибологије.

Процес трења, хабања и подмазивања, као основни елементи трибологије, присутни су у животу човека од његовог постанка. Потреба за смањивањем трења појавила се оног тренутка када је човек почео нешто да гради и да користи оруђе у свом свакодневном животу.

Триболошки проблеми у савременим индустријским и транспортним системима су веома велики и веома разноврсни, због великог броја трибомеханичких система преко којих функционишу транспортна средства, производна и друга опрема. Међутим, триболошки проблеми могу да се сврстају у две основне групе.

У прву групу сврставају се триболошки проблеми, који настају због расипања енергије при остваривању релативног кретања два тела у додиру (чврстих елемената трибомеханичког система). Расипање, односно губитак енергије настаје у зони додира два елемента трибомеханичких система, као последица потребе за савлађивањем силе трења, која се супроставља њиховом релативном кретању.

Од укупне енергије која се троши у производним процесима у индустрији, на савлађивање силе трења троши се 30-50% у зависности од врсте производње. Највећи део ове енергије претвара се у топлоту, која може да изазива бројне негативне последице на елементима производне опреме, на пример, као и на производима производних процеса.

Друга група триболошких проблема односи се на последице које процес кретања и расипања маса (процес хабања) у трибомеханичким системима оставља на његовим елементима. Утоку остваривања контакта појављују се промене на контактним површинама елемената трибомеханичких система, које се односе како на промену њихове храпавости тако и на промену њиховог облика или димензија. Развој процеса хабања доводи до појаве критичне величине похабаности једног или више елемената трибосистема, при којој његово функционисање није више могуће.

Ово значи да борба против трења и хабања почиње при пројектовању производа и технологије израде. Савремени прилаз смањењу трења и успоравању процеса хабања заснивају се на коришћењу превлака различитих врста, које се наносе на контактну површину критичног елемента трибосистема, или се користе методе побољшања триболошких карактеристика контактних слојева основних материјала.[1]

## 2. ТРИБОЛОГИЈА МОТОРА СУС

### 2.1 Увод у трибологију мотора

До пре неколико година је век за коректну употребу возила био делом слика власника, а делом питање угледа фирме. За наредни миленијум развијене земље прописују њихов век и налажу очување еколошких карактеристика као критеријум ваљаности. Зато век не одређује механичка већ еколошка исправност возила.

Енергетска и еколошка дејства возила на околину су добила алармантне размере. Будуће конструкције мотора СУС морају бити радикално усавршене по термодинамичким и триболошким спознајама. Термодинамички учинци данашњих мотора *-на номиналним режимима рада-* су близу зенита, међутим, на делимичним режимима резерве су око 50%.

Други пут за повећање економичности је смањење механичких губитака у моторима СУС, оптимизацијом њихових триболошких карактеристика и то опет највише на делимичним режимима рада. Механички губици у мотору деградирају племенити део укупне енергије горива који називамо ексергијом. Свако смањење тих губитака значи њихово директно преливање у користан рад и смањење потрошње горива и укупне емисије продуката сагоревања.

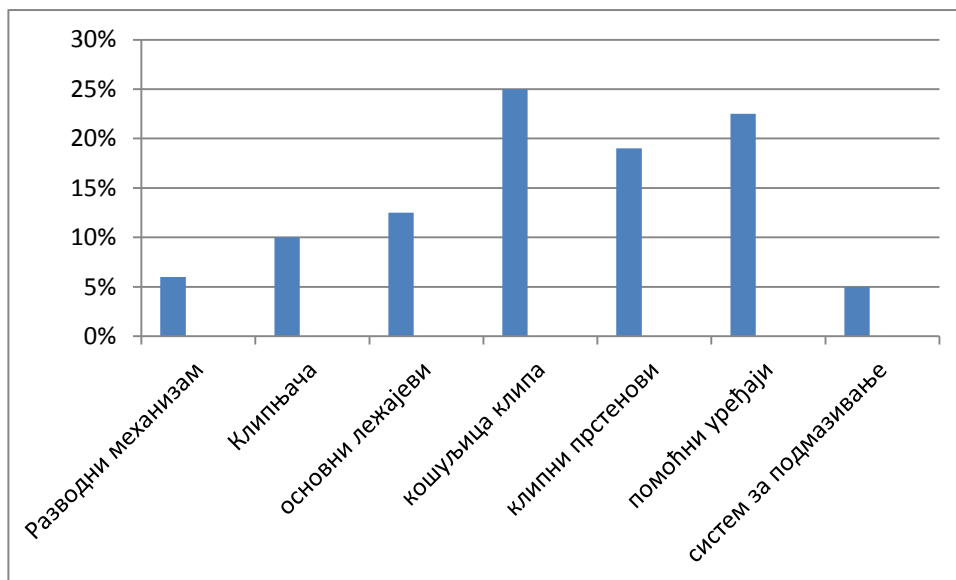
Мотори СУС су компликоване машинске композиције које имају бројне радне машине (пумпе за гориво, мазиво и воду, вентилаторе), спојнице, редукторе и мултипликаторе, кривајне и брегасте механизме итд. У збирном поправљању триболошких квалитета мотора сваки тај део мора бити посебно у центру пажње. Избор мазива и свих техничких решења је усмерен на минимализацију сила трења и хабања материјала.

Ако се вратимо аутомобилској техници онда можемо констатовати да у њој има места за примену трибологије као целовите научне гране у:

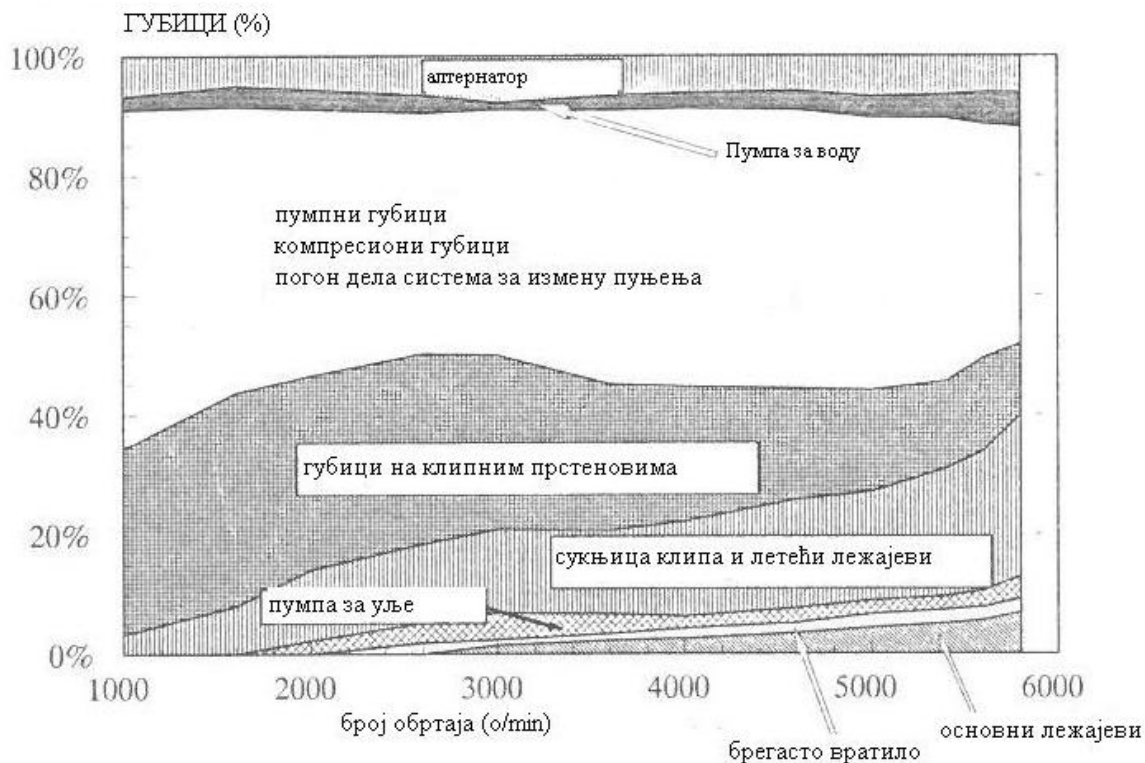
- Технологији производње,
- Пројектовање мотора и возила,
- Формулацији и избору погонских материјала и
- Организацији експлоатације и логистике током целог животног века возила.

## 2.2. Расподела губитака на трење код мотора СУС

Високи механички губици захтевају детаљну анализу у циљу утврђивања узрока и свођење трења на најмању меру. На слици 1 имамо начелну расподелу механичких губитака у серијским моторима а на слици 2 су снимљене вредности на домаћем мотору ДМБ 1000.



Слика 1. Расподела губитака у мотору [2].



Слика 2. Расподела губитака у пољу рада [2]

Клипна група овог мотора заузима 40-45% укупних губитака. Губици на трење сукњице клипа на нижим бројевима обртаја износе 10% а на вишим 25%. Губици на клипним прстеновима износе од 30% на ниским бројевима обртаја до 15% на високим бројевима обртаја, односно апсолутна вредност им не зависи од броја обртаја, него углавном од радијалног притиска о зид цилиндра. Ако се зађе у структуру тих губитака онда 50-60% тих губитака отпада на уљни клипни прстен а на I и II компресиони клипни прстен по 20-25% равноправно. Види се да је за погон агрегата мотора потребно око 10% (алтернатор 5-6%, пумпа за воду 4-5%, разводник паљења и пумпа за гориво испод 1%). Погон пумпе за уље захтева 2-3% снаге, погон брегастог вратила мање од 2% а само коленасто вратило 6-7%. Из ове анализе појединих губитака можемо закључити да код данашњих мотора постоје релативно велики губици на клипној групи (клипни прстенови и сукњица клипа) и у лежајевима коленастог вратила. [2]

### 2.3. Основни елементи цилиндарско клипне групе

Моторни или клипни механизам се користи да праволинијско кретање клипа у цилиндру (после експанзије смеше) претвори у обртно кретање коленастог вратила. Моторни механизам код моторних возила се користи за претварање топлотне енергије у механички рад моторног возила.



Слика 3. Покретни делови мотора (клипна група + клипњача) [3]

Елементи склопа су:

### Клип

Основни задаци клипа су:

- да преноси силе гасова на радилицу мотора
- да учествује у кружном процесу мотора, а код двотактних мотора да учествује и у измени радне материје
- да истовремено прихвата велике промене притиска и температуре
- да помаже при заптивању компресионог простора
- код мањих и средњих мотора да има улогу укрсне главе
- да прими инерционе силе од клипних прстенова
- да врши одвођење одређене количине топлоте да се не би прекорачила највећа дозвољена температура
- да има хабање у разумним границама
- да се помоћу њега утиче на смањење специфичне потрошње горива и смањи емисија штетних компоненти у продуктима сагоревања.

Клипови се најчешће израђују од легура алуминијума. То су у првом реду легуре:

- AlSi25CuNi,
- AlSi21CuNi,

- AlSi18CuNi,
- AlSi12CuNi.

Поред легура алуминијума, за клипове се користи и сиво ливено гвожђе и нодуларни сиви лив.

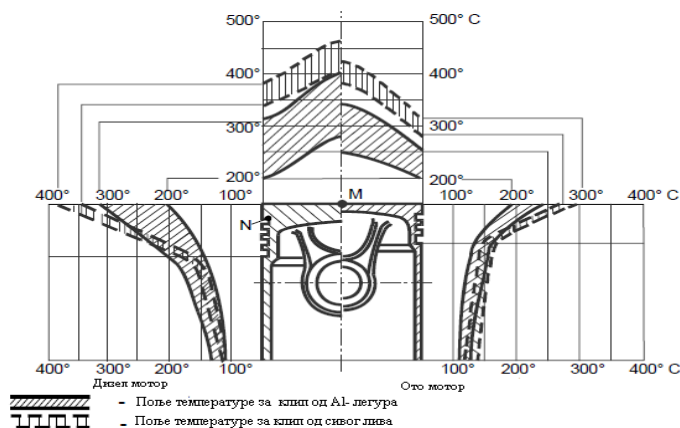
Основне предности легура алуминијума су:

- мале инерционе силе,
- добар пренос топлоте.

Лоше стране су:

- велики коефицијент топлотног ширења
- опадање механичких особина са порастом температуре.

Због тога је врло важно познавати распоред температура по контури клипа. Слика распореда температура на клипу, види се на слици 4, где је на десној половини слике приказан клип ото мотора, а на левој половини клип од дизел мотора.



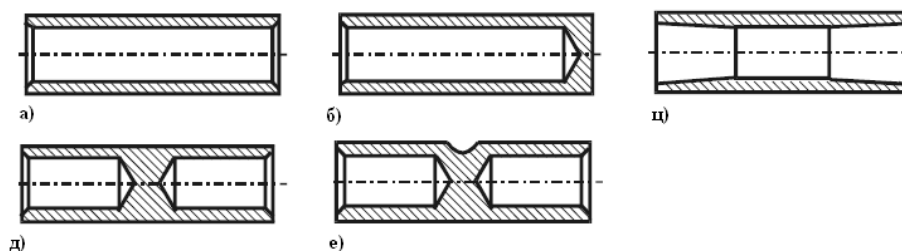
Слика 4. Распоред температура на клиповима код ОТО и Дизел мотора [3]

Поред важности температура клипа за механичке особине материјала, оне су важне и због :

- термичког напрезања
- зазора у склопу клип-клипни прстен-кошуљица
- коксовања уља.

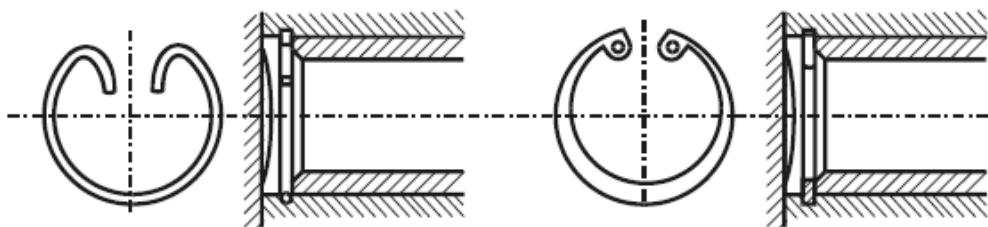
### Осовиница клипа

Основни задатак јој је да оствари зглобну везу клипа са клипњачом. Најчешће се користе тзв. “пливајуће” осовинице, које слободно пливају у малој песници клипњаче и ушицама клипа. Постоје и друге конструктивне варијанте, које ће бити приказане код клипњаче. Облици осовинице клипа приказани су на слици 5.



Слика 5. Конструкциони облици осовинице [3]

На слици 5. дат је облик, који се најчешће користи. На слици 5.б) приказана је осовиница за двотактне моторе. Због смањене тежине, а задржавања крутости сусрећу се и осовинице као на слици 5.ц) и д). На слици 5. е) дата је осовиница која се причвршћује за клипњачу. Изглед бочних осигурача осовинице види се на слици 6.



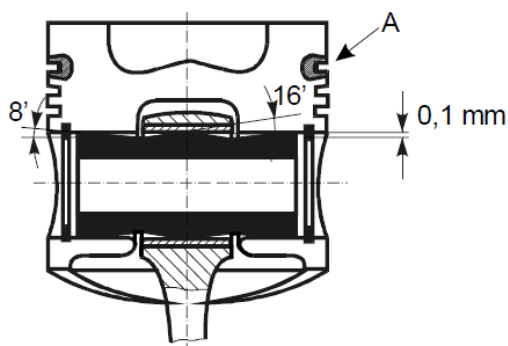
Слика 6. Изглед бочних осигурача осовинице [3]

Осовинице се раде од челика за цементацију и то:

- за ОТО моторе Č1220 и Č1221 (C15, Ck15)
- за дизел моторе (високолегирани челици) Č4120; Č4320 и Č4720. (15Cr3, 16MnCr5, 15CrMo5)

Спољна површина осовинице треба да има велику тврдоћу, која се прописује и износи од  $62 \pm 2$  HRC. Због веома малих толеранција између осовиница- ушица у

клипу и мале песнице клипњаче, а истовремено великог оптерећења овог склопа, у новије време се појављују тзв. профилисане осовинице (слика 7).



Слика 7. Профилисана осовиница клипа [3]

### Клипни прстенови (карике)

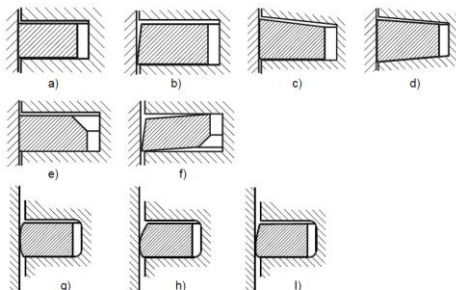
Основни задаци клипних прстенова су:

- заптивање простора сагоревања
- учествовање у одвођењу топлоте од клипа на кошуљицу цилиндра
- регулисање уљног филма за мазање

Ове задатке клипни прстенови обављају:

- налегањем спољном (радном) површином на зид цилиндра одређеним притиском
- ударним налегањем на бочне површине жлебова услед аксијалног убрзања под дејством сила гасова, сила трења и сопствене инерционе силе.

Клипни прстенови се деле на компресионе и уљне. Конструктивни облици компресионих клипних прстенова дати су на слици 8.

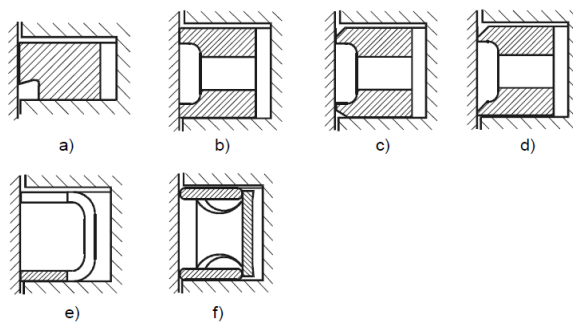


Слика 8. Облици компресионих клипних прстенова [3,]

Ту се сусрећу:

- a) правоугаони клипни прстен,
- b) минутни клипни прстен( $30^\circ$  до  $50^\circ$  нагиб),
- c) једнострано трапезни клипни прстен,
- d) двострано трапезни клипни прстен,
- e) клипни прстен са одсеченим горњим рубом,
- f) реверзно- торзиони клипни прстен,
- g) нормално буричасти клипни прстен,
- h) асиметрично буричасти клипни прстен,
- i) асиметрично буричасти клипни прстен растерећен по притиску.[3,36]

Уљни клипни прстенови најчешће имају изглед као на слици 9.

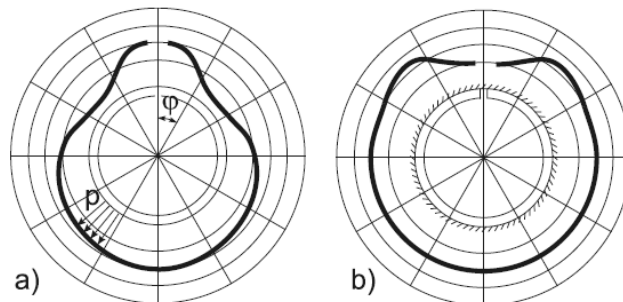


Слика 9. Конструктивни облици уљних клипних прстенова [3]

На слици 9 су приказане:

- a) уљни клипни прстен са носом,
- b) уљни клипни прстен са каналом,
- c) уљни клипни прстен са торзионим деловањем,
- d) уљни клипни прстен са форсираним стругањем уља,
- e) U-fleks уљни клипни прстен,
- f) Barflex уљни клипни прстен. [3,36]

У циљу обезбеђивања основне улоге- заптивања клипни прстен са цилиндарском кошуљицом, у клипним прстеновима је приликом израде уведен преднапон по обиму, који производи притисак клипних прстенова на кошуљици према слици 10.



Слика 10. Уобичајене форме распореда притисака у клипним прстеновима [3]

На слици 10 а) приказан је распоред притиска у клипним прстеновима, које се користе код четворотактних мотора(тзв. "крушкасти" дијаграм), где је највећи притисак на споју клипних прстенова. На слици 10 б) дат је распоред притиска у клипним прстеновима, које се користе код двотактних мотора (дијаграм притиска у облику " јабуке"), где је важно да је на споју клипних прстенова притисак минималан, да не би долазило до запињања клипних прстенова у каналима у кошуљици.

Због неповољних услова у којима раде, клипни прстенови се раде од материјала, који треба да испуни следеће услове:

- Да има довољну механичку чврстоћу на повишеним температурама,
- Да буде отпоран на хабање при повишеним температурама,
- Да има мали коефицијент трења и при повишеним температурама и при недовољном подмазивању.

Ове услове најбоље испуњава сиво ливено гвожђе следеће структуре:

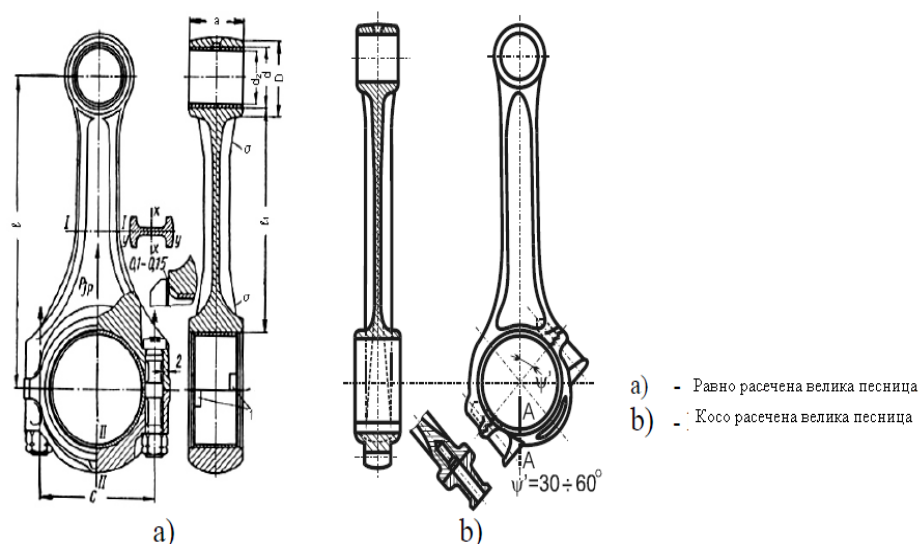
- равномеран распоред графита ASTM тип 5-6,
- основна структура перлит-сорбит,
- присутност ферита до 5%,
- фосфидна мрежа фино распоређена.

Код високо напрегнутих клипних прстенова користи се сиво ливено гвожђе легирано са: Mn, Cr, Mo, V, Cu и Ni. Због обезбеђења бољих услова клизања,

радна површина клипних прстенова се најчешће пресвлачи са мрежастим слојем хрома (Cr) или молибдена (Mo).

## Клипъача

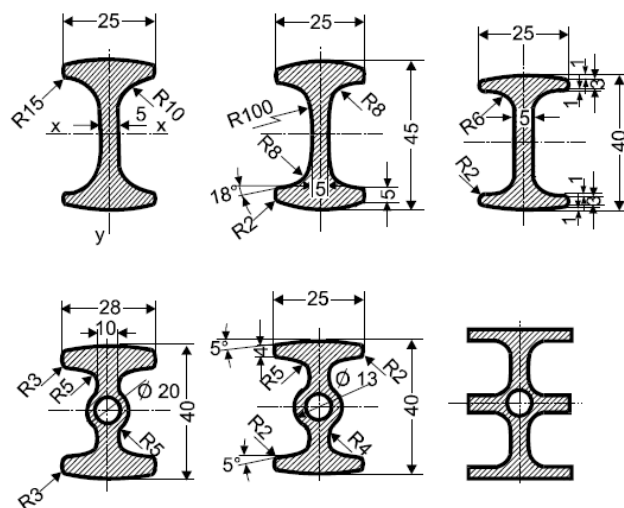
Клипњача је елемент који повезује клип и радилицу мотора и врши претварање праволинијског у кружно кретање. Састоји се од мале песнице, тела и велике песнице клипњаче са поклопцем велике песнице. У малој песници налази се једноделни клизни лежај, а у великој песници дводелни клизни лежај. Изглед клипњаче са равно разрезаном и косо разрезаном песницом дат је на слици 11.



Слика 11. Конструктивни облици клипњаче [3]

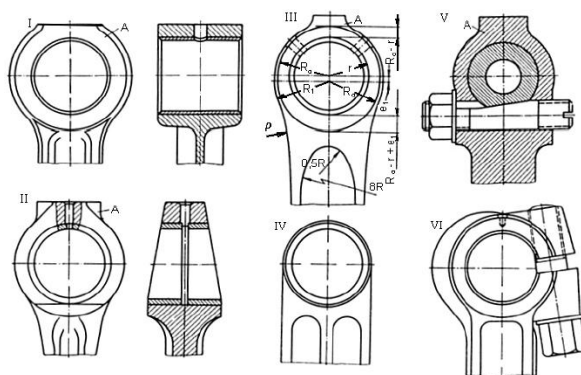
Предност се даје клипњачама са косо разрезаном великом песницом, због могућности лакше демонтаже клипа и клипњаче (без вађења радилице из мотора). Због велике одговорности клипњаче у раду мотора, мора се обезбедити висока крутост уз минималну тежину исте.

Због тога се тело клипњаче прави са врло различитим формама попречног пресека(слика 12).



Слика 12. Разни облици пресека тела клипњаче [3]

На слици 13 дато је неколико конструктивних решења форми мале песнице где су решења V и VI (слика13) са чврстом везом клипњаче са осовиницом, а код остали изведби је тзв. пливајућа осовиница. Клипњаче се раде углавном ковањем од високолегираних челика за побољшање. Углавном су то хром – молибден челици (Š4730-Š4733).[3]



Слика 13. Разни облици мале песнице клипњаче [3]

### 3.ТРИБОМЕХАНИЧКИ СИСТЕМИ (ТМС)

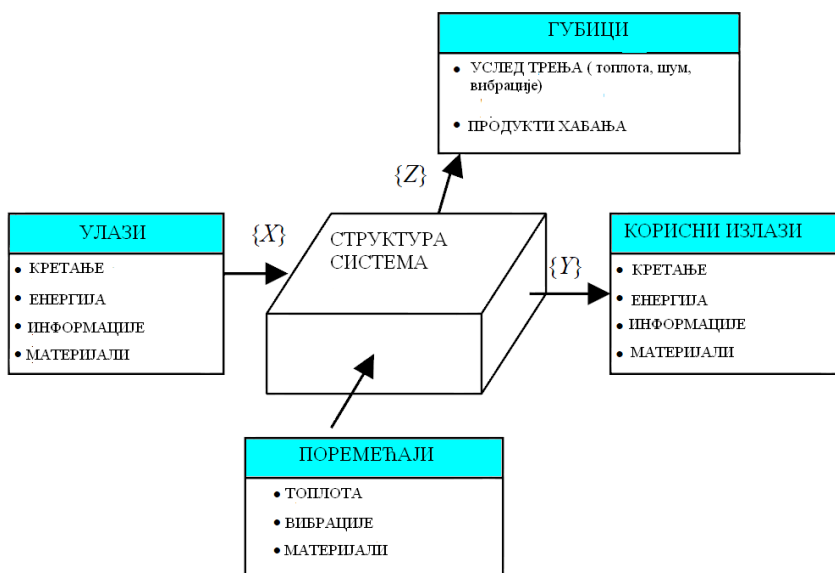
У теорији система системом се назива целина у којој је ред елемената везан структурно и функционално међусобно одређеним релацијама. Таква дефинициона основа опредељује трибомеханичке системе као целине чије је

функционално установљење везано са узајамно контактним деловањем површина у релативном кретању. Сам назив “трибомеханички систем” упућује на присуство триболошких процеса у елементима система, али и на механичко успостављање функционалних структура.[4]

У техничким, а посебно механичким системима функција система састоји се у преображају улазних  $\{X\}$  у излазне  $\{Y\}$  величине.

У апстрактном и јако упрошћеном опису, функција различитих трибомеханичких система састоји се углавном у преображају (трансформацији) улазних величина, на пример: кретање, механичка енергија и материјал, у корисне и употребљиве излазне величине. Функционални узрочно – последични однос између улаза и излаза праћен је губицима механичке енергије и материјала идентификованим као губици на трење и хабање.

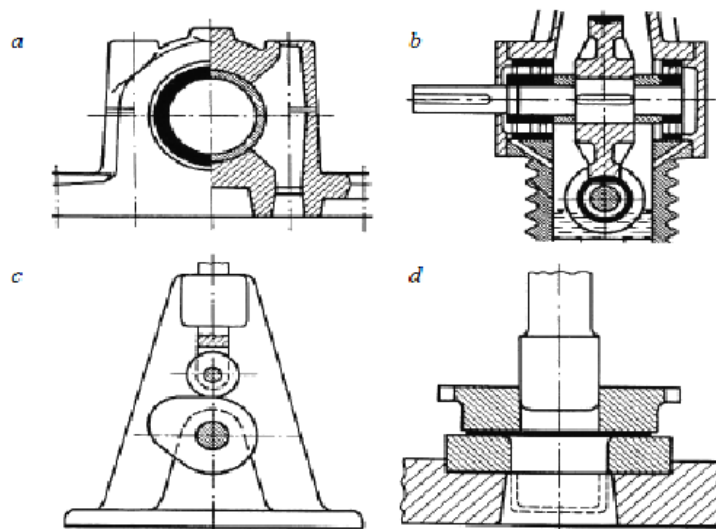
Користећи основну кибернетску и системску методу за истраживање непознатих или врло сложених динамичких система, трибомеханички систем се може разматрати као “ црна кутија” са улазним и излазним величинама. слика14.



Слика 14. Трибомеханички систем као “ црна кутија” [4]

Функција као једна од главних карактеристика трибомеханичких система често се може изразити као однос улазних и корисно излазних величина. Не могу сви улази бити пожељни као што ни сви излази нису пожељни. Поједини улази се могу разматрати као поремећаји који на излазу репродукују и стварају губитке, који не припадају увек истом типу величина као на улазу или корисном излазу.

Са аспекта квалитетног реализовања елементарних функција нама су посебно значајни губици у трибомеханичким системима, а нарочито губици на трење и хабање. Трење као процес супростављања кретању елемената система посебно утиче на механички степен корисног дејства који је најважнији параметар оцене способности трибомеханичког система да очува транспортовану енергију. Хабање као облик одвођења материјала са контактних површина утиче на измену техничких параметара и промене у функционисању система.



Слика 15. Основне групе трибомеханичких система а) пренос кретања, б) пренос снаге, с) пренос информација, d) обрада материјала [4]

Деловање поремећајних величина ствара таласно кретање чији се ефекти манифестују у виду вибрације и буке. Вибрације могу бити у виду периодични померања елемената ТМС са већом или мањом учесталосту, или у виду променљивих еластични деформација елемената. Енергија ових таласања преноси се на околину, а део енергије одговарајуће учестаности и амплитуде померања преноси се на акустичну средину, стварајући шум вишег или нижег интензитета.

Чињеница да механичка енергија при трењу не ишчезава већ прелази у топлоту успоставља везу између топлотних процеса и трибологије, посебно уколико температурне промене мењају утицај на трење и хабање. На тај начин успоставља се однос између утицаја топлоте као поремећајне величине на процесе вибрације, трења и хабања.

Кретање је најважнија улазна величина сваког трибомеханичког система. Кретање прати и пренос снаге, материјала или информација. У остваривању задатих елементарних функција, трибомеханички системи могу мењати брзину кретања или је потпуно искључити. Могу ограничавати кретање, тј. смањити број могућих

степени слободе елемената конструкције. У другим случајевима материјал не само да се креће већ мења структуре или облик. Трибомеханички системи се користе и за стварање и преображај информација. За истину ваља рећи да је све већа примена уређаја за стварање информација са минималним бројем механичких елемената (замена механичких елемената часовницима, нпр).

Техничка примена елемената у контакту и кретању обухвата широки дијапазон од аерокосмичких објеката до биомеханичких састава. У том смислу је и велики број трибомеханичких система који се користе у процесу конструисања и реализовања конструкције. Колико само трибомеханичких система садржи једна алатна машина, аутомобил или индустријски систем? Да би се трибомеханички системи лакше препознавали и лакше користили као динамички извршиоци елементарних функција при конципирању и обликовању конструкције потребно их је најпре разврстати у основне групе. У зависности од функције коју врше и излазних величина које трансформишу, могућа је подела на трибомеханичке системе за (слика 15):

- a. пренос кретања,
- b. пренос снаге,
- c. пренос информација,
- d. пренос и обраду материјала.

Очигледно да је учињена подела општа и да је сврсисходно разгледати је даље, Тако, на пример, трибомеханички системи могу преносити кретање у попречном правцу (лежајевима), уздужном правцу (спојнице), праволинијском правцу (вођице) или могу заустављати кретање (кочнице). Информације се могу производити, а и репродуковати. Материјали се могу преносити, обликовати, обрађивати, али и прекидати.

Даљом анализом трибомеханички системи се могу класификовати још детаљније. Лежишта могу бити клизна и котрљајна, али и радијална и аксијална. Преносници преносе снагу обликом, али и трењем.

На основу претходних класификација састављена је табела трибомеханичких система који се често користе у конструисању (табела1). Она не претендује на потпуност и коначно побројавање, већ више указује на широку примену трибологије у машинским системима.

Треба подвући да су набројани трибомеханички системи базни и хијерархијски “једноставнији”, јер углавном служе за реализовање елементарних функција.

Груписање у системе вишег реда реализују парцијалне и општу функцију, односно конципирају приборе, машине, транспортна средства...

Набројани трибомеханички системи нису једнаки ни по својој структури ни по својој хијерархијској припадности. За њих важе следећа правила:

- 1) Системи припадају класама различитих нивоа сложености,
- 2) Све законитости (логичке и емпиријске) система нижег нивоа, примењиве су такође за сваки систем вишег нивоа, насталог обједињавањем више система ниже класе,
- 3) Са порастом нивоа система расте и број непознатих елемената и неоткривених законитости које опредељују рад конкретних система.

Са аспекта проучавања триболошких процеса и формирања систематизованих информација нама су посебно значајни основни трибомеханички системи. Триболошки процеси одвијају се у основним трибомеханичким системима које чине два елемента у контакту у присуству мазива као трећег елемента. Окружење као четврти елемент употпуњује структуру основног трибомеханичког система.

Зупчасти преносник је основни трибомеханички систем јер у својој структури садржи два зупчаника раздвојена мазивом. Ланчани преносник је по својој структури сложенији, јер садржи више основних трибомеханичких система: осовиница-чаура-мазиво; чаура-ваљак-мазиво; ваљак- зуб ланчаника- мазиво. Основни ТМС у обради метала резањем је резни алат- предмет обраде- средство за хлађење и подмазивање итд.

Анализа основних трибомеханичких система је посебно значајна у фази формирања конструкције где се формирају и димензионишу облици склопова и делова. Квалитетно конструисање, конструисање са аспекта триболошки исправне конструкције обезбеђује анализу, обликовање и димензионисање сваког основног трибомеханичког система који улази у састав трибомеханичког система вишег нивоа сложености. Ово је посебно значајно за трибомеханичке системе вишег степена оригиналности код којих је, најчешће, количина познатих триболошких информација недозвољено мала. [4]

Табела 1: Трибомеханички системи често коришћени у конструисању

| Главне улазне величине   | Главна излазна величина | Основна функција система                         | Трибомеханички систем (ТМС)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| КРЕТАЊЕ<br>+<br>ЕНЕРГИЈА | КРЕТАЊЕ                 | <i>Пренос обртног кретања у попречном правцу</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Клизна лежашта</li> <li>• Куглични и ваљчасти лежаји</li> <li>• Игличасти лежаји</li> <li>• Упорни лежаји</li> <li>• Жироскопски лежаји</li> <li>• Вођични лежаји</li> <li>• Куглично –навојни механизми</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                          |                         | <i>Пренос обртног кретања у уздужном правцу</i>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Прирубнице</li> <li>• Озубљени спојеви</li> <li>• Ожљебљени спојеви</li> <li>• Полигонални спојеви</li> <li>• Конусни спојеви</li> <li>• Колутни спојеви</li> <li>• Тракасти спојеви</li> <li>• зглобови</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                          |                         | <i>Пренос праволинијског кретања</i>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• клизне вођице</li> <li>• котрљајне вођице</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                          |                         | <i>Заустављање кретања</i>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• папучасте кочице</li> <li>• тракасте кочице</li> <li>• кочице са добошем</li> <li>• фрикциони пригушивачи</li> <li>• бравасте спојеви</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                          | СНАГА                   | <i>Пренос снаге</i>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Равни цилиндарски зупчасти преносници</li> <li>• Цилиндрични зупчасти преносници</li> <li>• Конични зупчасти преносници</li> <li>• Хипоидни зупчасти преносници</li> <li>• Планетарни зупчасти преносници</li> <li>• Ланчани преносници</li> <li>• Каишни преносници</li> <li>• Ремени преносници</li> <li>• Фрикциони преносници</li> <li>• Планетарни фрикциони преносници</li> <li>• Зупчасти каишни преносници</li> <li>• Навојни преносници</li> <li>• Кардански преносници</li> <li>• Варијатори</li> <li>• Еластична вратила</li> <li>• Ужни погон</li> <li>• Дизалице са навојним вretenом</li> <li>• Хидраулични преносници</li> </ul> |

Наставак табеле 1.

|                           |             |                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------|-------------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| КРЕТАЊЕ<br>+<br>ЕНЕРГИЈА  | ИНФОРМАЦИЈА | Производња информација     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Сатни механизам</li> <li>• Брегасти механизам</li> <li>• Кривајни механизам</li> <li>• Ексцентарски механизам</li> <li>• Малтешки механизам</li> <li>• Склопови штампарских машина</li> <li>• Склопови рачунарских машина</li> <li>• Електро-контактни механизам</li> </ul>                                                             |
|                           |             | Репродуковање информација  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Рачунарске магнетне главе</li> <li>• Уређаји са контактним прстеновима</li> <li>• Скидачи звука</li> <li>• Скидачи видео сигнала</li> </ul>                                                                                                                                                                                             |
| КРЕТАЊЕ<br>+<br>МАТЕРИЈАЛ | МАТЕРИЈАЛ   | Премештање материјала      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Точак-шина</li> <li>• Гума-пут</li> <li>• Цевоводи</li> <li>• Склопови конвејера</li> <li>• Ведрице роторних багера</li> </ul>                                                                                                                                                                                                          |
|                           |             | Регулисање тока материјала | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Заптивке</li> <li>• Филтри</li> <li>• Вентили</li> <li>• Клипни склопови</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                           |             | Обликовање материјала      | <p>Алат-предмет обраде са :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Извлачење жице</li> <li>• Дубоко извлачење</li> <li>• Ваљање</li> <li>• Пробијање</li> <li>• Ливење</li> <li>• Просецање</li> <li>• Ливење под притиском</li> <li>• Савијање</li> <li>• Делови предионица</li> <li>• Екструзија</li> <li>• Делови ткачница</li> <li>• Ковање</li> </ul>                 |
|                           |             | Прекид материјала          | <p>Разни елементи за :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• одвајање руба</li> <li>• бушење бушотине</li> <li>• површински откоп</li> <li>• дробљење</li> <li>• копање тла</li> </ul>                                                                                                                                                                                    |
|                           |             | Обрада материјала          | <p>Алат – предмет обраде за:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• сечење</li> <li>• обрада раздвајањем</li> <li>• унутрашње стругање</li> <li>• одсецање</li> <li>• брушење</li> <li>• стругање</li> <li>• леповање</li> <li>• глодање</li> <li>• полирање</li> <li>• рендисање</li> <li>• хоновање</li> <li>• бушење</li> <li>• пескарење</li> <li>• фарбање</li> </ul> |

**4.ТРИБОМЕХАНИЧКИ СИСТЕМИ КЛИПНО-ЦИЛИНДРИЧНЕ ГРУПЕ**

За сваки трибомеханички систем потребно је дефинисати потенцијалне механизме хабања и режим подмазивања. Потребно је, даље, означити најдоминантније метале у легурама контактних површина и последице које могу настати у случају евентуалних нефункционалности у систему. Илустрације ради у табели 2. приказан је преглед триболошких процеса у трибомеханичком систему мотора СУС [5].

| Назив ТМС                      | Метали у легурама контролисаних површина | Механизам хабања                                       | Режим подмазивања                     |
|--------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Клип-клипни прстенови-цилиндар | Гвожђе,алуминијум, хром, молибден, никал | Адхезија, абразија,корозија, замор материјала, фретинг | Гранично и хидродинамичко подмазивање |

Табела 2. Триболошки процеси у трибомеханичком систему (ТМС) мотора СУС

Ако се склопови мотора сагледају са аспекта трибомеханичких система (нпр. склоп клип-клипни прстен- цилиндар) дефинисаног триболошким процесима, произилази да одређивање садржаја продуката хабања, садржаја контамината, стања мазива и услова подмазивања има значајан утицај на реализацију одржавања поменутих система.

Имајући у виду поменути трибомеханички систем (склоп клип-клипни прстен-цилиндар) могуће је направити класификацију врста кретања у мањим трибомеханичким системима који се налазе у оквиру горе поменутог система (табела 3.):

|   | Трибомеханички систем           | Врста кретања |
|---|---------------------------------|---------------|
| 1 | Клип-клипни прстен              | Клизање, удар |
| 2 | Клипни прстен-кошуљица цилиндра | Удар, клизање |
| 3 | Клипни прстен-уље               | Клизање, удар |
| 4 | Клип-гориво                     | Удар,         |
| 5 | Клип-осовиница клипа            | Удар, клизање |

Табела 3. Трибомеханички системи и врсте кретања у њима

Посебно треба нагласити значај мониторинга уља за подмазивање склопова трибомеханичких система мотора СУС, који омогућава да се у раној фази функционисања система идентификују евентуални узрочници и појаве који воде ка оштећењу и отказу. Прогнозирање, односно откривање потенцијалних и/или тренутних оштећења и кварова у систему, као и провера функционалности уља и одређивање века уља су главни фактори реализације мониторинга уља.

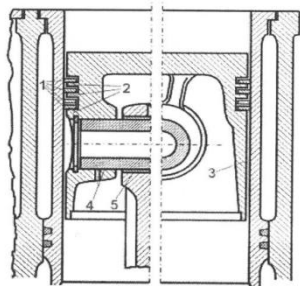
Хабање, при нестационарним режимима рада, је интензивније од хабања при стационарним режимима.

Узрок томе су:

- Неповољни услови подмазивања,
- Интензивнија промена топлотног стања делова мотора при промени оптерећења и броја обртаја,
- Повећање слоја горива на зидовима цилиндра,
- Повећање силе притиска гасова, као и повећање допунских инерцијалних сила услед постојања угаоног убрзања коленастог вратила.

Хабање делова је главни узрочник неисправности у процесу експлоатације механичких склопова возила. За хабање је карактеристична промена облика и димензија делова радних површина. Због трења долази до хабања додирних површина, што се одражава кроз повећање зазора покретних спојених делова и промене међусобних односа, а то има за последицу нарушавање прописаних међусобних односа, како склопова тако и возила у целини.

Хабање додирних контактних површина склопа цилиндар-клип приказано је на слици 16.



Слика 16. Додирне- хабајуће површине склопа клип- цилиндар:[5]

- 1.-Клипни прстен-цилиндар, 2.- клипни прстен – клип,  
3. –цилиндар-клип, 4. – осовиница-клип и 5.- осовиница- клипњача

Са повећањем хабања додирних површина нарушава се херметичност радног простора мотора, што за последицу има опадање вредности ефективних параметара мотора (снага и обртни момент мотора). Интензивније од клипа и цилиндра хабају се клипни прстенови, јер су услови њиховог рада изузетно неповољни. Они су изложени топлотном деловању и деловању корозије чији узрок су продукти сагоревања и деловање високих притисака из истовремено недовољно подмазивање додирних површина. Последице хабања су повећање зазора између прстенова и бочне површине жлеба клипа, као и смањење њихове еластичности.

То узрокује продор уља у радни простор мотора, а исто тако продор сагорелих гасова у картер мотора.

Услед продирања продуката сагоревања у картер мотора долази до испирања уља са зидова цилиндра, повећавање температуре уља, убрзања процеса деградације и старења уља, повећање температуре мотора и бржег хабања зидова цилиндра.

Повећање зазора између клипа и цилиндра има за последицу интензивирање хабања делова мотора и клипне групе, лежајева и рукаваца коленастог вратила, зупчаника брегастог вратила, брегова брегастог вратила и друго.

#### **4.1. АНАЛИЗА УТИЦАЈА ПРОЦЕСА ХАБАЊА НА РАД МОТОРА СУС**

На поузданост рада саставних делова мотора, у великој мери, утиче процес њуховог хабања. Ова чињеница указује на потребе одређивања показатеља радне способности мотора који зависи од степена похабаности његових делова и утврђивања њихове дозвољене величине. Ово, утолико пре што је познавање ових величина неопходно како за дијагностику техничког стања мотора, као и возила у целини, упућује на потребу истраживања узрока њиховог оштећења и последица неисправности и застоја у раду[6].

Досадашња истраживања показују да су триболошки процеси, у највећем броју случајева, основни узрочници оштећења делова мотора и возила у целини. Хабање делова мотора директно утиче на век његовог трајања. Неједнаки услови коришћења мотора и његовог одржавања узрок су различитог века трајања истих типова мотора истог произвођача.

Са развојем мотора и његовим усавршавањем дошло је и до смањења интензитета хабања његових делова, захваљујући примени адекватне конструкције делова у контакту, адекватних средстава за подмазивање, квалитетних материјала отпорних

на хабање и адекватне технологије одржавања, као и примене адекватне технологије израде и монтаже тих делова.

Склоп клип-клипни прстенови- цилиндар је један од виталних у сложену систему погонског мотора и возила. Са аспекта поузданости и функционалности, критични делови овог склопа су клипни прстенови.[6]

Узроци отказа клипних прстенова најчешће су :

- Неадекватно подмазивање и хлађење (36%),
- Присуство абразивних честица из атмосфере или продуката хабања (29%),
- Неправилна монтажа (4%),
- Повећање зазора између клипних прстенова и цилиндра (17%).

Хабање је најизраженије код првог клипног прстена, с обзиром да је изложен највећим притисцима и температурама, као и директном утицају горива и продуката сагоревања.

За исте услове експлоатације, код дизел мотора, постоји веће хабање него код бензинских мотора. Разлог за то треба тражити првенствено у вредностима притиска у њиховом радном простору. Истовремено дејство свих механизма хабања присутно је код склопа клип-клипни прстенови-цилиндар. Интензитет хабања овог склопа зависи од више фактора али најутицајнији су: конструкција, материјал примењен за израду делова овог склопа, технологија израде као и услови коришћења.

Молекуларно-механичко хабање присутно је у горњем делу цилиндра, близу спољне мртве тачке, где због мале брзине кретања клипа, високе температуре и притиска, као и због недовољне количине мазива долази до спајања површина у контакту. Велику улогу у спречавању појаве оваквог хабања има примена адекватног мазива.

Фактори, који највећој мери утичу на хабање клипне групе, и то :

- Непроменљиви (цилиндар, клип, уљни и компресиони клипни прстенови) и непроменљиви (радни параметри : број обртаја, температура и притисак у цилиндрима),
- Конструктивни параметри: број прстенова, облик прстенова, квалитет обрађене површине, радијална сила притиска прстенова на цилиндар).

Корозионо-механичко хабање јавља се при узајамном дејству метала контактних површина и корозионо агресивних материјала (продукти сагоревања горива, оксидација уља и воде). Издувни гасови имају велику оксидациону способност. Зависно од температуре површине, са којом долазе у контакт, могу да изазову суву, гасну или влажну-електрохемијску корозију.

Цилиндри и клипни прстенови углавном су изложени *електрохемијској корозији* а издувни вентили и њихова седишта *гасној корозији*. Овај вид хабања одвија се у две фазе које се циклично понављају. То су: корозионо деловање агресивних материјала и образовање слоја оксида који се у другој фази скида услед трења. Скинуте честице оксидног слоја имају већу тврдоћу од основног материјала тако да делују абразивно.

Интензитет корозионо- механичког хабања повећава се са повећањем садржаја сумпора у гориву и са смањењем топлотног режима мотора. Максимално хабање цилиндра мотора, због овог механизма хабања, јавља се у његовом горњем делу. Абразивно хабање склопа клип-клипни прстенови-цилиндар изазивају углавном честице минералног порекла које продиру у мотор различитим путевима. Пракса је показала да се максимално хабање цилиндара налази на месту првог компресионог клипног прстена, при положају клипа у спољној мртвој тачци. При томе, хабање у правцу нормалне силе је нешто веће од хабања у правцу осе коленастог вратила. Хабање цилиндара мотора највеће је у зонама највећег притиска гасова, где је и подмазивање најслабије, што доводи до промене облика цилиндра (цилиндар се претвара у конус а уместо кружног настаје елиптични попречни пресек). У случајевима неправилног подмазивања цилиндар добија бачvasti облик јер у близини тзв. мртве тачке најјачи је утицај постојања зазора у склопу клип- клипни прстенови – цилиндар, које доводи до тзв. "клаћења" клипа, чиме се процес хабања цилиндра неравномерно одвија. Хабање првог компресионог прстена, у поређењу са осталим клипним прстеновима, је највеће првенствено због дејства високе температуре и притиска, оно углавном дефинише век исправног рада цилиндарског склопа. Из тог разлога се конструкцији, материјалу и технологији израде овог прстена придаје посебна важност. Век трајања клипа одређује величина похабаности жлеба овог прстена.[6]

Под дејством силе притиска гасова, инерције и трења, долази до хабања бочних површина клипних прстенова и њихових жлебова. Са повећањем зазора између њих интензитет хабања нагло расте. Од клипова мотора захтева се да имају што мању масу јер се тиме појава трзања, при промени смера кретања, своди на најмању могућу меру. Уколико не постоји паралелност оса чаура, мале и велике песнице клипњаче, клип има неправилно вођење, што доводи до интензивног хабања клипа, зидова цилиндара и лежачева клипњаче. Хабање клипова, клипних прстенова и цилиндара мотора доводи до смањења снаге мотора. При том део

радне смеше пролази у корито мотора што доводи до повећане потрошње горива и до мешања уља и горива а самим тим и до лошијег подмазивања мотора. не треба изгубити из вида да при томе долази и до продирања уља у простор за сагоревање, што доводи до повећане потрошње уља и стварања гаражи која и те како негативно утиче на рад мотора. Уз то рад мотора праћен је карактеристичним звуком.

Карактеристична места интензивног хабања мотора су и лежишта коленастог вратила, механизам за напајање горивом и механизам за паљење. Стање похабаности површина, међусобно покретних делова разводног механизма мотора, пресудно утиче на век његовог трајања. Услед хабања делова овог механизма долази до пада снаге мотора, повећања нивоа буке, повећања потрошње горива итд. На величину сваког од ових показатеља и карактер њихове промене у већој мери утиче хабање делова главног моторног механизма, тј. цилиндарске кошуљице и клипне групе.

Процес хабања лежишта мотора је још интензивнији уколико је његово подмазивање неадекватно. Похабаност лежишта доводи до појаве карактеристичног звука (лупања). У том случају неопходно је утврдити узрок његовог настанка. Да би се спречило интензивно хабање лежишта мотора (а тиме смањили и трошкови одржавања), примењују се различите конструктивне и технолошке мере при њиховој изради. Однос похабаности главних и летећих лежишта мотора зависи од оптерећења. Код линијских мотора веће је хабање летећих, а код мотора са V- распоредом цилиндара, главних лежишта. Без обзира на распоред цилиндара, горња лежишна шоља у телу клипаче, код свих клипних мотора се више хаба од доње. Код главних лежишта више се хаба доња у поклопцу, лежишна шоља од горње, у блоку. Летећи рукавац се хаба највише на страни која је окренута према оси коленастог вратила, код свих клипних мотора СУС. Разлоге за то, као и у претходном случају треба тражити у природи радног циклуса. Појава губитка уља, пада притиска у мотору и продор гасова у картер, настају као резултат похабаности делова мотора и доводе до пада снаге мотора, повећања потрошње горива и мазива, погоршања стартних карактеристика мотора, погоршања квалитета издувне емисије у погледу токсичности и димности, погоршања нивоа буке и вибрација. Уколико дође до интензивног смањења количине уља у мотору, може се са великом сигурношћу тврдити да је дошло до похабаности склопа клип- клипни прстенови – цилиндар. Појава губитка уља праћена је продором горива у картер и појаве притисака у њему као и појавом интензивног димљења.

Одвођење продуката сагоревања и уљних пара из корита мотора, и поред исправности његове вентилације, у овом случају, није могуће. Услед тзв. ефекта пумпања уља највећи утицај на губитак уља има величина бочног зазора клипних прстенова. Губитак уља се углавном прати у зависности од величине зазора првог

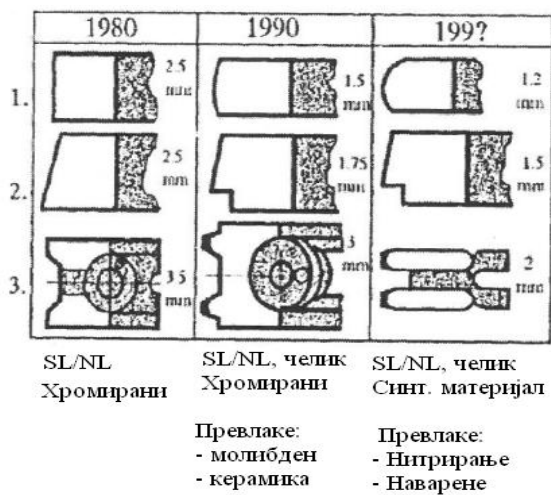
компресионог прстена, јер је он изложен дејству највећих температура и притисака продуката сагоревања, па се самим тим и највише хаба. После одређеног времена рада услед хабања делова цилиндарског склопа долази до повећања губитка уља. Бројна испитивања [6] су показала да притисак уља у главној магистрали приближно линеарно зависи од зазора у лежиштима коленастог вратила. Величина зазора главних лежишта има пресудан утицај на вредност овог притиска. Пад снаге мотора, који се јавља директно услед похабаности делова је релативно мали. Велика похабаност делова мотора може индиректно, преко поремећаја рада његових система, да доведе до великог па и потпуног губитка снаге. Ова тврдња може се поткрепити следећим примером :

Због похабаности делова мотора долази до продирања гасова у картер мотора. У том случају, кроз његову одушну цев долази већа количина уља у кућиште пречистача што изазива замашћивање улошка пречистача који зато губи порозност и способност пропуштања ваздуха. Због тога у уписној цеви влада потпритисак услед чега је коефицијент пуњења цилиндра мали. Постојање потпритиска у уписној грани мотора доводи до истицања из картера веће количине уља због чега долази до потпуног замашћења пречистача за ваздух, што значи и прекид довода ваздуха, тако да мотор прекида свој рад.

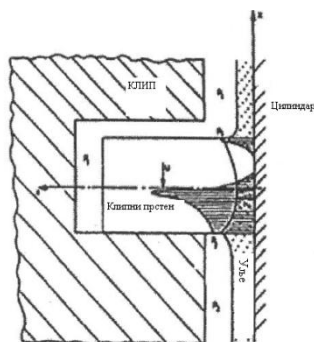
До пад снаге мотора може доћи и услед поремећаја у систему за напајање мотора горивом (неадекватан притисак убризгавања, неадекватна расподела горива по цилиндрима, неадекватан угао предпаљења итд.). Током свог рада техничко стање моторног возила се мења. Те промене настају углавном услед хабања. Интензитет хабања материјала делова моторних возила у контакту углавном зависи од конструктивног извођења делова који су у контакту, својства примењених материјала, квалитета обраде површина које су у контакту, режима кретања и оптерећења, путних и климатских услова, начина подмазивања и квалитета мазива.

Савремене методе делова моторе СУС морају да узимају у разматрање триболошке процесе који се јављају током њиховог коришћења.

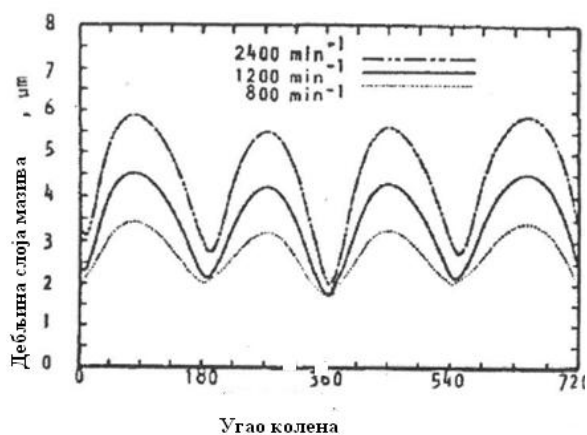
Радови објављени задњих година везани за трибологију клипног прстена обухватају нова конструкцијска решења и материјале, математичко моделирање трења, прорачун подмазивања и разматрање проблема везаних за смањење трења, као и потрошња уља [7].



Слика 17. Развој конструкције клипног прстена [7]



Слика 18. Геометрија прстена и притисак слоја у мазиву [7]

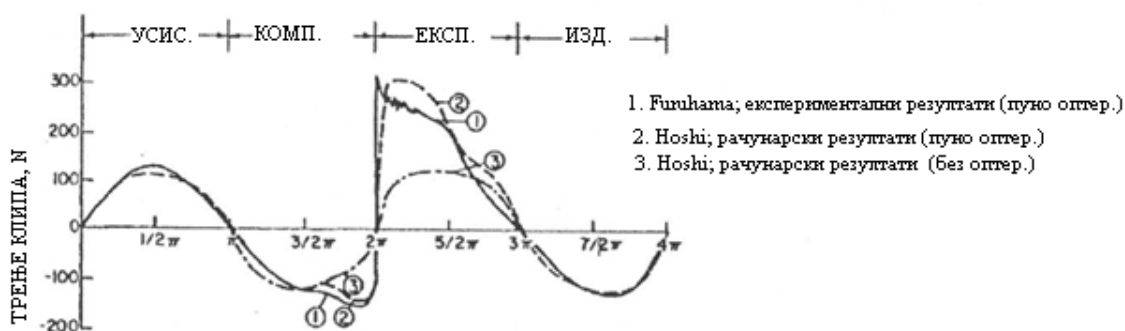


Слика 19. Промена дебљине слоја мазива код клипног прстена за различите учестаности обртаја мотора [7]

Развој клипних прстенова са гледишта материјала и конструкције мењао се са општим тенденцијама да се смањи маса мотора и осцилујуће масе. Због тога је видљиво смањење димензија али и промена облика радне површине клипног прстена (слика 17). При томе се постављају захтеви да се смањи трење и хабање без губитака на ефикасност заптивања. Истовремено се исказује тенденција смањења зазора и смањења потрошње уља, што резултује и у смањењу штетне емисије мотора.

У односу на материјале доминантна је употреба сивог лива [8,9], али је све присутније и коришћење челичних прстенова са одговарајућим превлакама и то посебно код савремених мотора великих снага [10,11].

Губици услед трења код цилиндарско- клипне групе су неминовно повезани са условима подмазивања клипног прстена и цилиндра. Како клипни прстен може да ради у области потпуног и непотпуног подмазивања, математички модели за прорачун везани су за хидродинамичко и гранично подмазивање [12,13,14]. Теоријска анализа хидродинамичког подмазивања клипних прстенова значи примену Рејнолдсове једначине [15]. Са анализом притиска у слоју мазива (слика 18) и прорачуном дебљине слоја мазива (слика 19). Смањење трења клипне групе је одлучујуће за повећање механичког степена корисности мотора. Због тога није зачуђујуће да су истраживања у тој области интензивна. Посебно треба указати на резултате математичког моделирања трења [16,17], који показују добро слагање са експерименталним истраживањима (слика 20), што омогућује да се у фази пројектовања мотора оцени величина трења и механички губици [18].



Слика 20. Сила трења клипног прстена (Дизел мотор) [18]

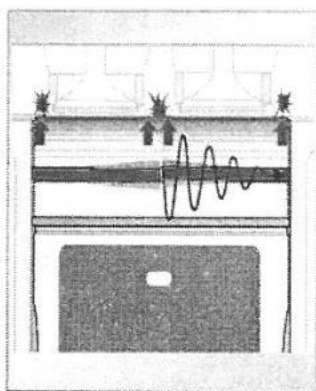
#### 4.2. ХАБАЊЕ УСЛЕД ПОГРЕШНЕ ПОПРАВКЕ ЦИЛИНДАРСКО- КЛИПНЕ ГРУПЕ

Погрешно извођење поправки може да доведе до интензивног хабања делова цилиндарско-клипне групе а које настаје услед [19]:

- Ударања клипа о главу цилиндра
- Сувише малог зазора у прорезу клипног прстена,
- Сувише великог зазора у прорезу клипног прстена,
- Косог кретања клипа,
- Неправилног облика цилиндра,
- Похабаности цилиндра.

Ударање клипа о главу цилиндра (слика 21) код дизел мотора настаје ако се површина блока мотора накнадно обради и ако се угради неки клип са стандардном висином главе. Исто то се дешава ако се уграде заптивачи главе цилиндра погрешне дебљине. Клипни прстенови почињу да вибрирају због снажних удараца и нису више у стању да заптивају правилно.

Решење: Одржавање исправне висине клипова, коришћење одговарајућих заптивача главе цилиндра.

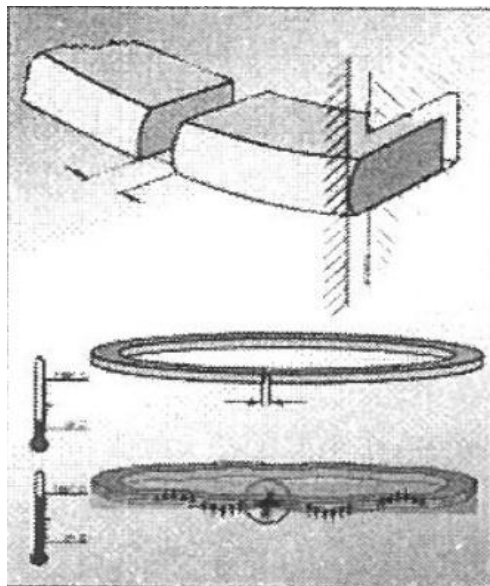


Слика 21. Ударање клипа о главу цилиндра [19]

Сувише мали зазор у прорезу клипног прстена (слика 22) може да се упореди са вентилским зазором. Приликом загревања делова долази до топлотног ширења

саставних делова и до промене њихових дужина. Чеоним зазором код машине у хладном стању обезбеђује се да не дође до заглављивања клипних прстенова у цилиндру када је машина врућа. Ако је чеони зазор врло мали када је машина хладна, у врућем стању мотора долази до сувише јаког хабања клипног прстена, до проблема у заптивању и до оштећења мотора.

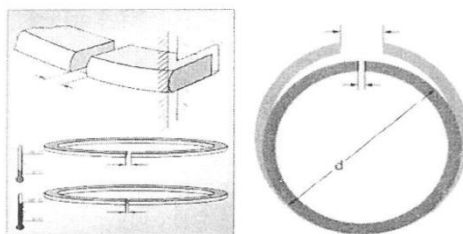
Решење: Обавезно одржавање минималног чеоног зазора јер смањење чеоног зазора у {радионици} није дозвољено.



Слика 22. Мали зазор у прорезу клипних прстенова [19]

Сувише велики зазор у прорезу клипног прстена (слика 23) ствара се после дужег радног века и јаким хабањем цилиндра и клипних прстенова. Сувише велики зазор постоји када је он већи у односу на његово ново стање. Проширење зазора до 0.3 мм је незнатно. Он не изазива значајан губитак снаге, нити велику потрошњу уља. Благо проширени зазор у прорезу клипног прстена врло често се процењује.

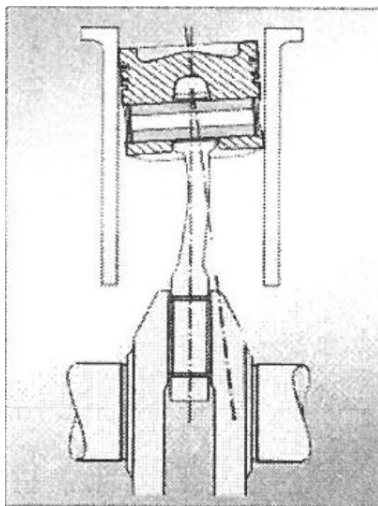
Решење: Замена похабаних клипова и цилиндара.



Слика 23. Велики зазор у прорезу клипних прстенова[19]

Косо кретање клипа (слика 24) настаје услед деформисаних клипњача, које често настају као последица оштећења мотора. Клипни прстенови због тога добијају неправилан елиптични облик и више се не окрећу на клипу. Долази до неравномерног хабања и вибрације прстенова.

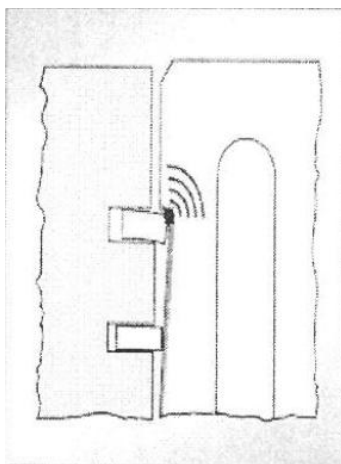
Решење: Пре монтаже испитати у каквом је стању клипњача.



Слика 24. Косо кретање клипа [19]

Похабаност цилиндра (слика 25) не јавља се уколико се у похабани цилиндар уграде нови клипни прстенови, па често долази до ударања клипних прстенова о горњу похабану ивицу цилиндра. Услед тога долази до вибрација клипних прстенова, па онда више нису у стању да заптивају правилно.

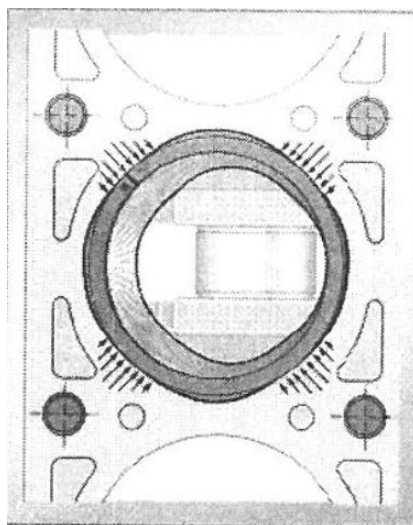
Решење: Замена истрошених цилиндара пре постављања нових делова.



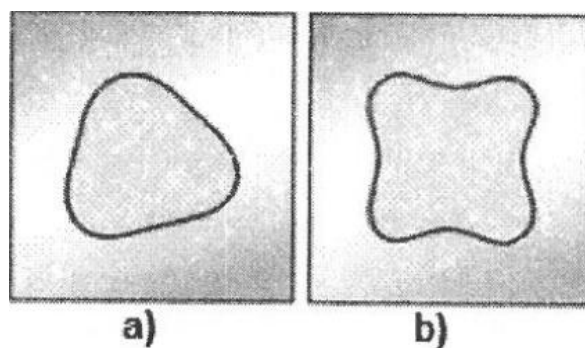
Слика 25. Похабани цилиндар [19]

Неправилни облик цилиндра (слика 26) односи се на то да цилиндар није округлог облика те се приликом обраде отвора цилиндра мора пазити на перфектну геометрију. Клипни прстенови могу да заптивају још само благо овалне цилиндрице. Неокругли облици 3. и 4. (слика 27) реда тешко могу да се заптивају. Они често настају напрезањем завртња главе и цилиндра услед истезања. Неокруглим облицима између клипног прстена и цилиндра ствара се процеп у облику српа и он води до пропуштања.

Решење: Обратити пажњу на прописе о притезању главе цилиндра.



Слика 26. Неокругли облик цилиндра [19]



Слика 27. Неокругли облици а) 3. реда, б) 4. реда [19]

#### 4.3. ТРИБОЛОШКЕ ПРЕВЛАКЕ ЗА АЛУМИНИЈУМСКЕ ЛЕГУРЕ

Алуминијумске легуре налазе све већу примену у производњи мотора СУС, било за израду његових компоненти или целих блокова мотора. Коришћење AlSi легура као замена за блок мотора од сивог лива, поред позитивних страна као што је

смањење масе мотора, има и својих недостатака који се огледају, пре свега, у неодговарајућим триболошким својствима тог материјала. Због тога се, у тим случајевима поставља захтев за побољшање отпорности алуминијумских легура на хабање тј. обезбеђење најмање таквих триболошких својстава каква има сиви лив или и бољих [20].

Једна од често коришћених метода за побољшање триболошких карактеристика алуминијумских легура је наношење превлака тј. модификовање површина цилиндарско-клипне групе. Те превлаке морају да задовоље услове великих термичких напрезања и отпорности на хабање, јер у супротном може да дође до одвајања материјала превлаке и катастрофалног оштећења. Због тога је наредни преглед фокусиран на триболошке аспекте материјала за превлаке које могу да задовоље захтеве савремених мотора СУС.

#### **4.4. ТРЕНДОВИ У РАЗВОЈУ ТРИБОЛОШКИХ ПРЕВЛАКА ЦИЛИНДАРСКО – КЛИПНЕ ГРУПЕ**

С обзиром да су у мотору СУС највећи механички губици код цилиндарско-клипне групе (близу 40% свих губитака), потпуно је разумљиво да се овим деловима постављају и одговарајући захтеви, чијим испуњењем треба да се обезбеди одговарајућа уштеда у потрошњи горива, висока поузданост мотора, а тиме и конкурентна цена на тржишту. Ти захтеви се могу исказати као:

- Мало трење цилиндарско- клипне групе,
- Мало хабање цилиндарско – клипне групе,
- Отпорност на заривање цилиндарско клипне групе и
- Смањење потрошње уља за подмазивање.

Интеракција кошуљице клипа и површине цилиндра је стога од посебне важности, јер битно утиче како на трење, тако и на буку и вибрације, али и на појаву заривавања површина.

Због тога је коришћење алуминијумских клипова повољније од клипова израђених од сивог лива. Као лакши, алуминијумски клипови смањују укупну масу мотора, али и инерцијалне силе што смањује вибрације мотора. Боља термичка проводљивост алуминијумских легура омогућује боље одвођење топлоте. Основни недостатак је већи коефицијент термичког ширења алуминијума у односу на сиви лив, што захтева разматрање адекватног зазора на радној температури.

Решење за минимизирање зазора на радној температури обухватају коришћење превлака на клипу од никл- керамичких композита или молибдена, превлака на бази гвожђа, али и других материјала, што обезбеђује смањење трења између кошуљице клипа и цилиндра. Истовремено, превлаке на клипу, најчешће на плашту клипа и жљебовима, треба да обезбеде релативно мало адхезионо хабање.

У том правцу, истраживања извршена у GM-у (General Motors) показују да клипови израђени од алуминијумских легура (табела 3), са превлакама на бази гвожђа, Ni-P-BN и NiW, а у контакту са сличним материјалом цилиндра имају повољна триболошка својства [21].

|          | Si    | Cu   | Mg   | Mn   | Ti   | Cr   | Zn   | Fe   | Ni   | Al      |
|----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| клип     | 18,14 | 1,21 | 1,11 | 0,18 | 0,17 | -    | 0,16 | 0,68 | 0,27 | остатак |
| цилиндар | 19,19 | 2,05 | 0,58 | 0,17 | 0,03 | 0,30 | 0,26 | 0,78 | 0,03 | остатак |

Табела 4. Хемијски састав алуминијумске легуре A390, %

Наведена истраживања су вршена на трибометру и мотору СУС на пробном столу (динамометарска испитивања). Она су потврдила, да симулациона испитивања на трибометру дају одговарајуће резултате и да се као таква могу успешно користити за брза и јефтина истраживања триболошких својстава материјала.

Цилиндарски блок је традиционално израђиван од сивог лива. Међутим, већ наведени разлози за високу економичност мотора услови су различите замене материјала. Алуминијумске легуре су свакако употребљива алтернатива. На жалост, већина алуминијумских легура, посебно оних које су погодне са техно-економског становишта за масовну продукцију, немају задовољавајућу отпорност на хабање тј. триболошка својства су им релативно неповољна. Због тога је, данас, инжењеринг површина цилиндарско – клипне групе мотора СУС у жижи интересовања већине произвођача мотора од легура алуминијума [22].

#### 4.5 ПРЕВЛАКЕ ЗА АЛУМИНИЈУМСКЕ ЦИЛИНДРЕ

Производња много лакшег и јефтинијег блока мотора СУС од легура алуминијума, захтева да се површина цилиндра посебно третира ради побољшања, пре свега, триболошких карактеристика. Различите технике су у том правцу истражене. Међу њима, превлаке заузимају значајно место и у овом тренутку издвајају се поступци плазма депозиције и ласерско третирање површина. При томе се као материјали превлака најчешће користе оксиди гвожђа и различите композитне превлаке. Због тога се овде даје преглед постигнутих резултата коришћењем наведених метода.

#### 4.6. ПОСТУПАК ПЛАЗМА ДЕПОЗИЦИЈЕ

Коришћен је за истраживање композитних превлака [23]. Пројекат, чији су резултати објављени у наведеном раду, финансијски је потпомогнут од Комонвелт организације CSCIRO. Наведени поступак омогућава депоновање макропревлака од 3 до 5 мм дебљине, што значи да је утицај основе на триболошке карактеристике занемарљив. Као основни материјал на који су нанете композитне превлаке коришћен је алуминијум 5083, чији је хемијски састав приказан у табели 4.

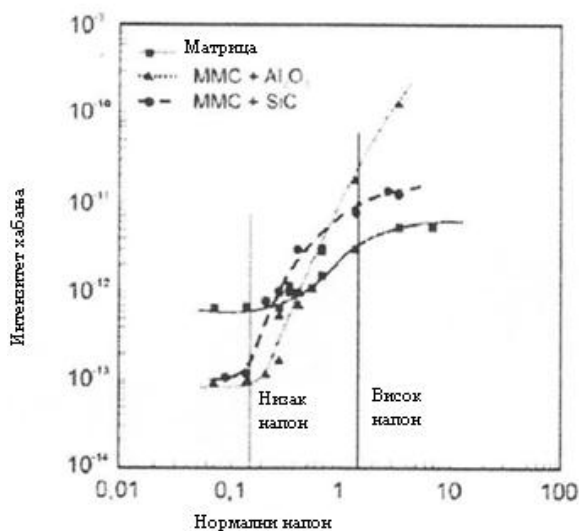
| Mg   | Mn   | Si   | Fe   | Zn   | Cr   | Cu   | Ti   | Al      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| 4,15 | 0,47 | 0,35 | 0,23 | 0,19 | 0,16 | 0,09 | 0,01 | остатак |

Табела 5. Хемијски састав алуминијумске легуре 5083, %

Материјал превлаке је у суштини био прах алуминијума и никла, комерцијалне чистоће, измешан тако да се добије AL-2%Ni матрица. Никл је додат ради побољшања отпорности на хабање структуре.

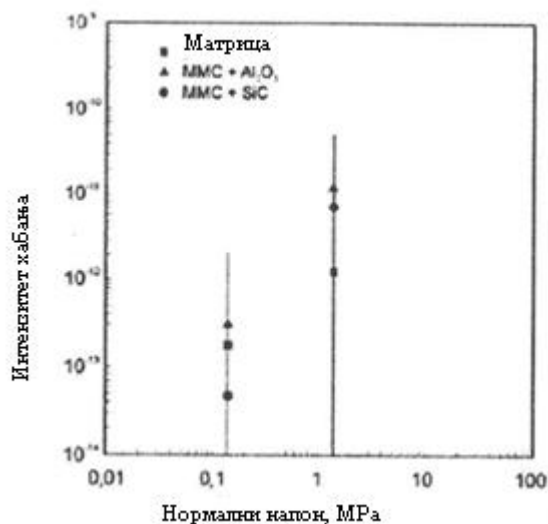
Керамички прахови  $Al_2O_3$  и SiC су појединачно мешани, тако да је добијена серија композитних прахова. Карактеризација нанетих превлака вршена је у односу на механичка својства и карактеристике микроструктуре. Са триболошко-механичког аспекта од значаја су тврдоћа, храпавост површина и адхезија за основу. За испитивање хабања композитних превлака коришћен је трибометар епрувета на диску (pin on disc). Карактеристике хабања су истраживане у функцији оптерећења и/или температуре [24].

Тестови су спроведени на собној и повишеној температури од 523° K у условима трења сувих површина. Брзина клизања је била 0,2 m/s, а пут клизања износио је 720 м. Интензитет хабања у функцији нормалног напона при собној температури указује да са порастом вредности напона долази и до пораста интензитета хабања (слика 28). При том за мале вредности напона (0,14 МПа) композит са  $Al_2O_3$  показује најмање хабање, али при напону од 1,42 МПа наведени композит показује највеће хабање. То се објашњава слабом везом  $Al_2O_3$  делића, који се лако издвајају из матрице превлаке при великом напону и даље делују као абразивне честице.



Слика 28. Интензитет хабања у функцији од нормалног напона на собној температури [24]

На повишеним температурама за изабране величине напона, интензитети хабања су слични оним који су добијени на собној температури, што указује на релативно мали утицај температуре (слика 29).



Слика 29. Интензитет хабања за два нормална напона при повишеној температури (523 ° K) [24]

Различити механизми хабања су утврђени за различите услове испитивања. При малом напону и собној температури јавља се, превасходно, абразивно и оксидационо хабање. При великим напрезањима и собној температури настаје деламинационо хабање, што значи да је у тим условима од посебног значаја јачина

међуповршинске везе. На повишеној температури и малом напону који делује на композитну превлаку настаје абразивно и деламинационо хабање, док при великим напонима поред деламинације, настаје и адхезионо хабање.

Плазма спреј депозицију, као поступак наношења превлака на алуминијумску легуру, развила је фирма Шулцер Метко (Sulzer Metco) и то до степена комерцијалне употребе [25]. За превлаке, предлажу се два материјала: један на бази гвожђа и оксида гвожђа, док се други састоји од челика, Борон- нитрида и никла. Превлаке добијене од ова два материјала поседују добра триболошка својства и не захтевају никакву посебну и претходну припрему површине алуминијума на који се наносе.

Како наводи фирма Шулцер Метко заостала порозност, након наношења превлаке од гвожђа, помаже значајно да се смањи трење, јер микрошуљине служе као резервоар за мазиво, што омогућује да се побољшава процес подмазивања. Отпорност на хабање је боља у поређењу са цилиндрима од сивог лива. Поступак се назива рота-плазма 500 и развијен је специјално за потребе аутомобилске индустрије. Систем се може интегрисати и у производну линију блока мотора [26].

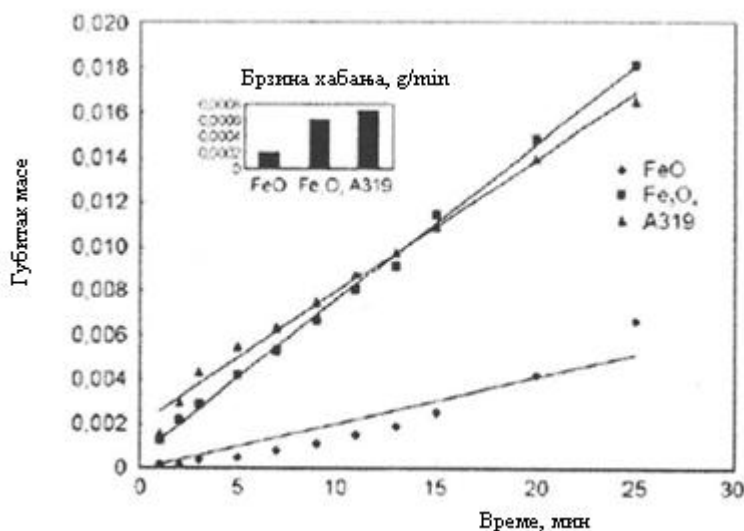
Ласерско третирање материјала превлаке нанете на алуминијумску легуру је, такође, техника која се интензивно развија. Оксиди гвожђа се могу сматрати одговарајућим избором за материјал превлаке због тога што, као и сиви лив, обезбеђују одговарајућа механичка и триболошка својства.

Извршена истраживања показију да превлаке од оксида гвожђа или магнетита, када се ласерски третирају, дају превлакама значајну отпорност на хабање [27],[28]. Испитивања су реализована помоћу трибометра блок на диску (bloc on disc) при брзини клизања од 4,4 m/s. При томе је блок израђен од алуминијумске легуре А319 са превлаком, док је диск био од челика. Укупно време испитивања и хемијски састав основног материјала дати су у табели 5. Оксид гвожђа, магнетит с били комерцијални прахови 99,5 % чистоће и величине мање од  $\mu\text{m}$ . Микротврдоћа превлаке је одређена по Кнор методи, док је за утврђивање карактеристика структуре коришћен спектрометар са X-зрацима.

| Si      | Cu      | Mn   | Fe   | Mg   | Zn   | Ti    | Ni    | Al      |
|---------|---------|------|------|------|------|-------|-------|---------|
| 5,5-6,5 | 3,0-4,0 | <0,5 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,25 | <0,35 | Остатак |

Табела 6. Хемијски састав алуминијумске легуре А319, %

Током испитивања мерен је губитак масе блока. Добијени резултати су приказани на слици 30. Из добијених података лако се може закључити да ласерски третирана превлака од оксида гвожђа даје најмање хабање.



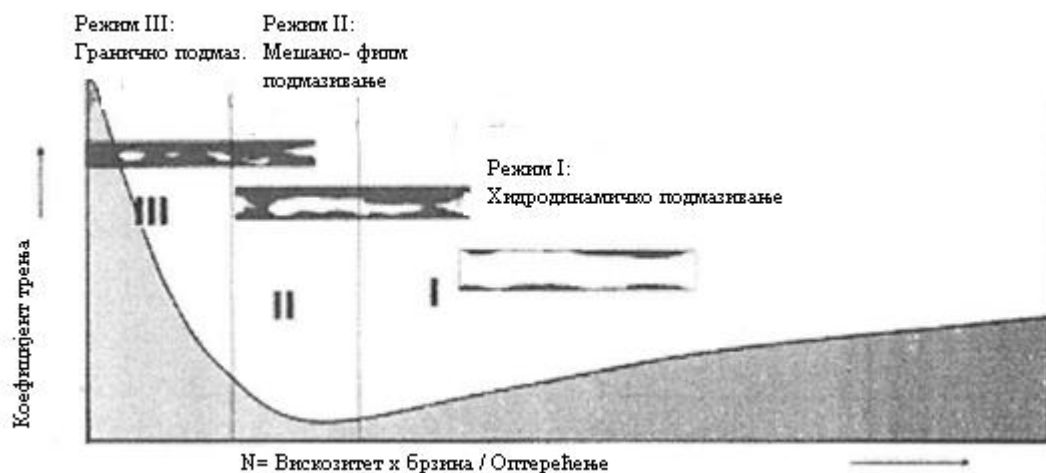
Слика 30. Зависност губитка масе од времена испитивања [27], [28]

#### 4.7. ТРЕЊЕ КАО ФАКТОР РАЦИОНАЛНОСТИ ЕКСПЛОАТАЦИЈЕ

На рационалност експлоатације и потрошњу уља мотора утиче велики број параметара, као што су: конструкционе карактеристике компонената, избор и карактеристике спрегнутих материјала, квалитет обрађене површине, зазор спрегнутих елемената, градијент међусобне температуре, квалитет уља и квалитет самог подмазивања, међусобно уравнотежење, интензитет ротационих и праволинијских инерцијалних сила [29].

Сама идентификација трења односно механичких губитака, веома је комплексна област, која захтева студиозна и опсежна истраживања уз примену одговарајућих метода и уређаја.

Један општи приказ коефицијента трења приказан је Стрибековим дијаграмом на слици 31. Када су у питању реални услови подмазивања појединих склопова мотора, они се углавном одвијају у режиму II, односно мешовитом подмазивању (склоп клип- цилиндар- клипни прстенови, вентили, брегови брегастог вратила и други).



Слика 31. Врсте подмазивања [29]

На коефицијент трења може се утицати променом следећих параметара:

- Брзине- (радни параметри),
- Вискозитета-(избор мазива- дебљина уљног филма),
- Оптерећења-(радни параметри - избор различитих пакета адитива, у зависности од оптерећења и врсте остварљивог начина подмазивања),
- Температуре: веома битна са аспекта оксидационе стабилности и промене вискозитета, односно животног циклуса мазива.

У случајевима појединих компонената мотора, где је однос сила за остваривање тангенцијалног кретања и нормалне силе мањи и коефицијент трења је мањи. Повећањем тог односа повећава се и коефицијент трења. У том односу код мотора, најмањи коефицијент трења је на бреговима брегастог вратила, са тенденцијом повећања код вентилског развода, клипних прстенова, клип/цилиндар и највећи код лежаја коленастог и брегастог вратила.

#### **4.8. УТИЦАЈ КВАЛИТЕТА МАЗИВА И ДРУГИХ ФЛУИДА НА ФУНКЦИОНАЛНОСТ РАДА МОТОРА**

##### **4.8.1. УТИЦАЈ ПРИМЕНЕ УЉА РАЗЛИЧИТОГ КВАЛИТЕТА**

Са обзиром на примарну улогу мазива да редукује негативне ефекте триболошких процеса у погледу трења, хабања и раста температуре у трибомеханичким системима, сви видови одржавања укључују подмазивање као веома важан део укупне процедуре.

Са друге стране, мазиво је, као контактни елемент система, носилац информација о стању целог система са аспекта триболошких и других процеса старења [30].

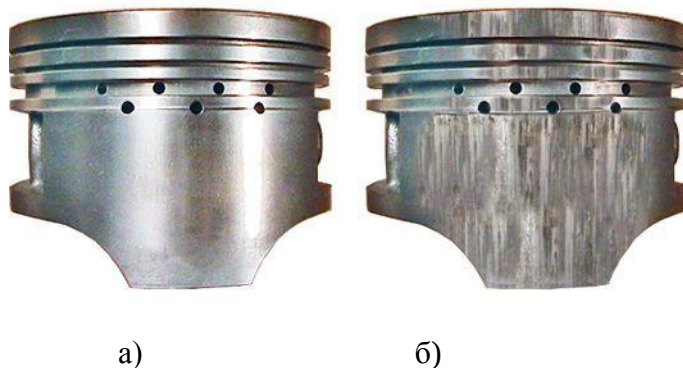
Основни задаци система за подмазивање мотора су:

- Смањење трења између покретних праволинијских и ротирајућих делова мотора,
- Одвођење топлоте са делова клипног склопа,
- Побољшање заптивања уљним филмом између клипних прстенова и цилиндра,
- Амортизација удара, постојањем уљног филма, променљивих радних и инерцијалних сила између покретних делова,
- Чишћење и прање гаражи са делова мотора у простору за сагоревање,
- Заштита од корозије при дејству киселих талоба (сумпорних једињења),
- Обезбеђење хлађења уља,
- Одржавање константности количине уља у систему за подмазивање.

Са обзиром да су услови рада мотора веома сложени, због одвијања многобројних процеса, уз повишене температуре, за његов ефикасан рад морају се обезбедити адекватни услови, пре свега у примени квалитетних уља за подмазивање, као и других радних медиа.

Утицај деградације уља је у директној вези са температуром, што је она виша, век експлоатације је краћи.

Неквалитетно уље или примена уља мимо препорука произвођача мотора може довести до нежељених последица на појединим склоповима и компонентама мотора. На слици 32, приказани су примери неприхватљивог и прихватљивог изгледа клипа једног мотора са применом висококвалитетног (а) и нискоквалитетног (б) уља са повећаним интервалом замене.



Слика 32. Спољашњи изглед клипа примене висококвалитетног а) и нискоквалитетног б) уља [30]

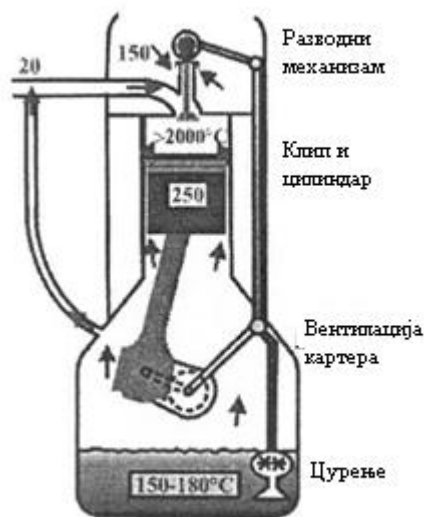
Уље за подмазивање користи се за:

- Смањење трења и хабања клизних делова тако што се ствара уљни филм између додирних површина,
- Уклањање нечистоће са клизних површина клипова и цилиндарских кошуљица,
- Одвођење топлоте са делова који се хладе уљем и клизних површина,
- Заптивање клипних прстенова,
- Неутрализацију киселих продуката сагоревања,
- Рад мотора на ниским и високим температурама,
- Заштиту делова мотора од корозије везивањем воде и неутрализацијом сумпорне киселине,
- Повећавање компресије сваког циклуса сагоревања.

У сасвим очигледне, али и међу најтеже мерљиве критеријуме за губитак погонских и употребних карактеристика возила и мотора спада пораст потрошње уља. У почетном периоду рада новог мотора потрошња уља је повећана. Уље увек

доспева у цилиндар и увек једним делом сагорева и термички се разлаже на зидовима цилиндарске кошуљице.

Током експлоатације, како се узајамно прилагођава рад мотора, тако се и потрошња уља устаљује на једну минималну вредност за тај тип конструкције и ту врсту радних услова. За данашње четворотактне моторе 95% потрошње мазива је у склопу цилиндарско – клипне групе. Преосталих, мање од 5% се троши кроз зазоре вентила, кроз одушку картера, на слабо заптивним местима и ако постоје у турбо-групам. Унутрашња циркулација уља у мотору је приказана на слици 33. На слици су дате просечне температуре у °C како би се приказали услови рада мазива. [30]



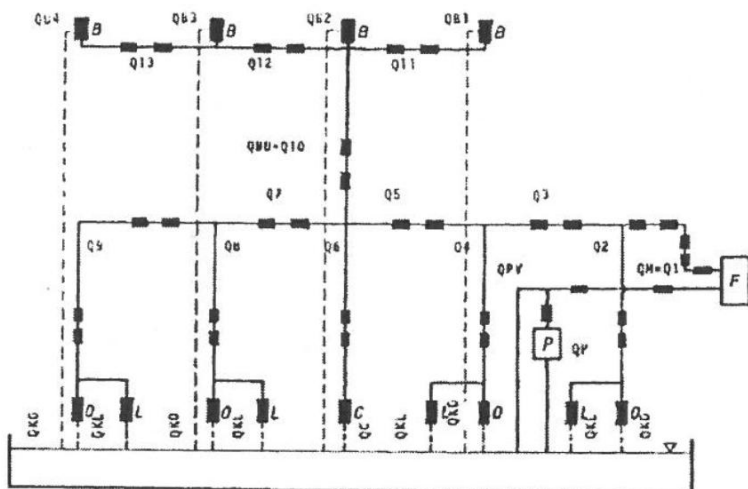
Слика 33. Унутрашња циркулација уља у мотору [30]

#### 4.9. СИСТЕМ ЗА ПОДМАЗИВАЊЕ

Подмазивање виталних делова и механизма мотора укључује и разматрање система помоћу кога се процес подмазивања остварује [31],[32].

Познато је да су у прошлости конструкције система за подмазивање по правилу, биле предимензионисане а како би се осигурала потребна количина уља и у екстремним случајевима, на пример, великом зазору услед хабања лежаја или да се омогући адекватно подмазивање ако се из основног модела производе варијанте већих снага.[33].

Meђutim, danas, kada su svi napori usmereni na povećanje ekonomičnosti motora, takav pristup se može označiti kao neadekvatan. Rešenja se traže u optimizaciji svih elemenata sistema za podmazivanje simulacijom sistema tokom projektovanja motora [34].



Слика 34. Структурна шема система подмазивања мотора СУС [34]

Систем за подмазивање (слика 34) има следеће основне задатке.

- Да обезбеди хидродинамичко подмазивање клизних површина покретних моторних делова, тј. смањење трења између покретних клизних површина и његових штетних последица као што су: пад ефективне снаге и економичности мотора због повећаних механичких отпора, хабање клизних површина елемената мотора, пораст температуре у клизним спојевима због топлоте развијене трењем итд.,
- Заштита од корозије при дејству киселих талоба (сумпорних једињења и сл.) који могу доспети на металне зидове,
- Одвођење топлоте са делова мотора (клипа, клипњаче и сл.) неприступачних расхладном средству,
- Побољшање заптивања радног простора мотора због постојања уљног слоја између клипа и цилиндра,
- Чишћење и спирање гаражи и талоба са делова мотора (цилиндра, клипа, клипних прстенова, жлебова клипних прстенова и сл.) чиме се спречава

њихово прљање и омогућује се њихова нормална функција без зачепљења, заглављивања и сл.,

- Амортизација удара при бурном сагоревању због постојања уљног слоја између клизних површина.

Присилно подмазивање употребљава се код модерних дизел мотора за цилиндри и лежајеве мотора без укрсне главе и код свих мотора са укрсном главом. Код ових задњих, цилиндри се у том случају подмазују посебним системом за подмазивање цилиндара, а лежајеви помоћу циркулацијског уљног система.

Подмазивање распршивањем употребљава се за кошуљице цилиндара малих и средњих мотора без укрсне главе, а каткада се помоћу распршивања подмазују и горњи лежајеви клипњача и клипни прстенови. Уље се набацује на површине цилиндарских кошуљица и унутрашњост клипова. Клип то уље носи према горе, у кошуљицу, и то обично више него што је потребно, те се зато на клипу морају предвидети посебни прстенови за стругање уља натраг према картеру.

Подмазивање распршивањем употребљава се увек у комбинацији са принудним циркулацијским подмазивањем основних лежаја.

Код циркулацијског подмазивања постоје два система, и то:

- Са тзв. ”мокрим “ картером;
- Са тзв. ”сувим“ картером.

Циркулацијски систем са сувим картером је конструисан за подмазивање :

- Основних (темељних) лежаја,
- Ланаца између коленастог и брегастог вратила,
- Лежаја укрсне главе,
- Лежаја брегастог вратила,
- Хидрауличке актуаторе издувних вентила,
- Те служи као хидрауличко уље за отварање издувних вентила.

Запремина танка за смештај уља рачуна се са обзиром на број циклуса уља у једном сату. Број циклуса износи код спороходних и средњеходних мотора од 10 до 20, а код брзоходних мотора од 40 до 60. За све набројане функције уља може постојати само један систем, као и више засебних система.

#### 4.10. ПОДМАЗИВАЊЕ ЦИЛИНДАРА МОТОРА

При подмазивању цилиндара уљем постављају се следећи захтеви [35]:

- Одвајање клизних површина уљним филмом,
- Заптивање између прстенова и кошуљице, те спречавање пропуштања прстенова,
- Неутрализовање киселих продуката сагоревања који настају при температурама топљења водене паре ( $SO_2 + H_2O = H_2SO_4$ ),
- Омекшавање остатака чађи који настају при сагоревању и спречавање абразивног хабања,
- Смањење чађења издувног колектора и гасне турбине, дакле, спречавање зачепљења прстенова и одржавање мотора у чистом стању. Због слабог подмазивања уље коксује и задржава се у мотору то онемогућава обављање основних функција,
- Хлађење загрејаних површина уз минимално сагоревање уља.

При раду мотора део цилиндарског уља сагорева, али количина која се доводи у цилиндар не сме бити превелика, јер због накупљања остатака на челу клипа, смањује се одвођење топлоте услед чега може доћи до прегревања клипова, буке у мотору, а у најгорем случају до зачепљења и заглављивања клипова.

При том температура расхладног медијума расте, изазива зачепљење прстенова и абразију деловањем чврстих остатака. Појава плавичастог дима на издуву индикација је сагоревања превелике количине уља доведене мотору коју треба смањити. Количина уља за подмазивање цилиндара зависи од хода клипа, пречника цилиндра, броја обртаја мотора, оптерећења, температуре у цилиндру, врсте мотора, места постављања мазалица и од врсте горива.

## **5.ЗАКЉУЧАК**

Триболошка истраживања код савремених мотора одређена су, пре свега, захтевима за што мању потрошњу горива и високу поузданост. Ти захтеви намењени су решавању проблема трења и хабања виталних механизма мотора.

Решења се данас, а вероватно и у ближој будућности траже у:

- Побољшању триболошких карактеристика материјала, на првом месту коришћење модификација површина и превлака,
- Развију и коришћењу уља за подмазивање високог учинка,
- Развој аналитичких модела за што тачније предвиђање триболошких карактеристика покретних елемената мотора током пројектовања,
- Оптимизацијом система за подмазивање са тенденцијом интеграције система за подмазивање и хлађење.

При развоју и избору методе и технологије за превлаке алуминијумских цилиндара, треба имати у виду да је неопходно разматрати склоп цилиндар- клип-клипни прстен и извршити оптимизацију материјала и превлака како би се постигле оптималне радне карактеристике система и добио захтевани радни век трајања. Ово произилази из тога што цилиндарско-клипна група представља јединствен триболошки систем и сви параметри морају бити интегрално дефинисани.

Имајући у виду да се покретне компоненте трибомеханичких система мотора СУС неминовно хабају и да се контаминати и продукти хабања сакупљају у уљу за подмазивање, те потребе праћења промене својстава флуида током експлоатације, следи закључак да је од свих техника мониторинга управо мониторинг мазива кључан за одржавање стања и постизање одређених техно- економских ефеката. Данас се за дијагностиковање трибомеханичког система примењују различите физичко – хемијске методе и триболошке методе. Искуства из експлоатације техничких система су показала да је прогнозирање неисправности најефикасније на основу параметара који су поуздани показатељи процеса хабања честица. Мазиво је, као контактни елемент трибомеханичког система, носилац информација о стању целог система са аспекта триболошких и других процеса старења.

Процедура дијагностике стања уља моторних возила са аспекта физичко-хемијских и триболошких карактеристика садржи низ неопходних корака од избора склопова, прикупљања техничких података и информација, триболошке анализе стања, избора методе испитивања узорака уља, па до обраде добијених информација, интерпретације добијених резултата и извођења закључака.

## 6.ЛИТЕРАТУРА

- [1]. *Танасијевић С.*, Основи трибологије машинских елемената, Научна књига, Београд, 1983.
- [2]. *Веиновић С., Пешић Р., Петковић С.*, Погонски материјали моторних возила, Бања Лука-Крагујевац, 2000.
- [3]. *Филиповић Иван*, Мотори и моторна возила, Тузла 2006.
- [4]. *Танасијевић Слободан*, Триболошки исправно конструисање, монографија, Крагујевац 2004.
- [5]. *Troyer.D., Fitch,J.*, “ Oil Analysis Basics”, Noria Corporation, 1999.
- [6]. *Б. Крстић, В. Раичевић, Д. Ђамућ, В. Лазућ*: Possibility for application of same strategies by motor vehicle maintenance, Mobility & Vehicle Mechanics, International Journal for Vehicle Mechanics, engines and Transportation Systems, Volume 35, Number 2, June 2009, p.37-48.
- [7]. *Ting L.*, Rewiew of present information on Piston Ring Tribology, SAE 85235
- [8]. *Рац А.*, Истраживање триболошких карактеристика елемената и механизма мотора СУС, III фаза, подпројекат у оквиру пројекта “ Развој фамилије антитоксичних економичних бензинских мотора”, Машински факултет, Београд 1989, стр.27.
- [9]. *Sunden, H., Schaub, R.*, Piston Rings for slow and medium speed Diesel Engines, Trib. Int.,12,1,1979.3-1,4.
- [10]. *Devon, S. M., Reglitzky, A. A., und Seehausen, W.*, Motorentechnologie verandert das Anforderungsprofil von Motorenolen, Mineralotechnik,5, mai 1992.
- [11]. *Inone, Z., Maeda, Y., Takeda, M. And Nakada, M.*, Dewelopment of Automotive Piston Rings with high Resistance to Wear and Scuffing, Proc., Japan International Tribology Conference, Nagoya, 1990
- [12]. *Todsen, U.*, Untersuchungen an dem Tribologischen System Kolben-Kolbenring-Zylinder, VDI Forschungsh eft, 628,128, 1-52.

- [13]. Kruce, H., Todsen, U., Besherrige Forschungsarbeiten am Tribologischen System Kolben- Kolbenring-Zylinder, Tribologie und Schierungstechnik, 33, 2, 1986, 90-98.
- [14]. Miltosios, G. K., Patterson, D. J. And Papanastasiou L. C., Solution of lubrication Problem and Calculation of the Friction Force on the Piston Rings, Trans. Of ASME, Journal of Tribology, 111, 1989, 635-641.
- [15]. Ruddy, B. L., Dowsort, D. And Economon, P. N., A Review of studies of Piston Ring Lubrication, Proc. Of 9th Leeds- Lion Symposium of Tribology, Butterworth and Co., 1983.
- [16]. Nautiyal, P.G., Singhal, S. And Sarma, P., Friction and Wear Processes in Piston Rings, Trib. Int., 16, 1, 1983, 43-49.
- [17]. Jacobs, R., Zur Reibleistung der Kolben-Ringe bei Personenwagen-Ottomotoren, MTZ. 49, 718, 1988, 309-310.
- [18]. Hoshi, R., Baba, Y., A Study of Piston Friction Force in an Internal Combustion Engine, ASLE Trans., 30, 4, 1987, 444-450.
- [19]. [http://www.ms-motor-service.com/ximages/ks\\_50003928-18\\_web.pdf](http://www.ms-motor-service.com/ximages/ks_50003928-18_web.pdf)
- [20]. Vencl, A. and Rac, A., New Wear resistant Al based materials and their application in automotive industry, MVM.
- [21]. Wang, Z. And Tung, S., Scuffing and wear behavior of Aluminium piston skirt coatings against aluminium cylinder bore, Wear, 225-229, 1999, 110-118.
- [22]. Becker, P. E., Trends in tribological materials and engine technology, Tribology int., 37, 2004, 569-575.
- [23]. Devis, L. R., Yellup, M. J., Subramanian, C., Aluminium composite coatings produced by plasma transferred arc surfacing technique, Materials Science and Technology, 13, June 1997, 511-522.
- [24]. Deuce, L. R. And Subramanian, C., Dry sliding wear behaviour at ambient and elevated temperatures of plasma arc deposited Aluminium composite coating, Materials Science and Technology, 16, Feb. 2000, 2009-219.
- [25]. <http://www.sulzmetco.com>
- [26]. Harrison, K., Improved Performance in Car Engines through Plasma Spray Coatings, IOM, The Institute of Materials.

- [27]. Dahotre, B. N., Nayak, S. And Popoola, O. O., The Laser Asisted Iron Oxide Coating of Cast Al Auto Engines, JOM, Sept. 2001.
- [28]. Dasari, A., Nayak, S., Misra, R., Papoola, O. O. And Dahotre, B.N., Surface characteristics and wear performance of Laser surface engineered iron oxidecoating on Aluminium alloy, Materials Science and Technology, 18, Sept. 2002, 1036-1040.
- [29]. Марковић, Љ., Петровић, П., Радојевић, Н., Разматрање потрошње моторног уља Дизел мотора. IX-научни скуп ДПТ/2005, актуелни проблеми механизације пољопривреде,“ Пољопривредна техника ”, бр. 1, децембар 2005.
- [30]. Колб, М., Баћевац, С., Петровић, П., Марковић, Љ., Анализа уља у циљу утврђивања периода замене у Дизел моторима, XII-ти научни скуп, 02. Децембар 2005, Нови Сад, бр. 5, Вол. 10, часопис ЈУМТО-а “ Трактори и погонске машине”
- [31]. Рац, А., Костић, Ђ. И Балванлиев, А., Могућности прорачуна и оптимирања система за подмазивање мотора СУС, Моторна возила-Мотори, Xfv, 81/82, 1988, 275-284.
- [32]. Рац, А., Костић, Ђ. И Балванлиев, А, и Јапунџић, Љ., Општа карактеристика система за подмазивање мотора СУС, Горива и Мазива, 27, 516, 1989,235-240.
- [33]. Optimierung von Olversorgungs szsystemen in Motoren Minderung der Reibungsleistung, Schmiertechnik un Tribologie, 28, 1, 1981, 3-7.
- [34]. Holland, J., Simulation eines Olverteilungs systems, Tribologie und Schmierrungstechnik, 34, 6, 1987, 346-351.
- [35]. Анте Пажанин, Бродски мотори, Загреб, 1997.
- [36]. Инжењерско-машински прирушник, Завод за уџбенике и наставна средства Београд, књига I, Београд, 1992, 591-595.