

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Трибомеханички системи

Број индекса: 407/2013

Дарко М. Радишић

**Елементи трибомеханичких система рударске
механизације површинских копова угља
Мастер рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Слободан Митровић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да анализира постојеће трибомеханичке системе на површинским коповима угља. Анализа треба да се ослони на свакодневна искустава која је кандидат стекао у служби машинског одржавања у РБ Колубара. Дати изводе из теорије трења и хабања клизних и котрљајних лежаја и зупчастих парова. Описати најчешћа хабања елемената рударске механизације услед трења и примењене карактеристичне системе подмазивања.

Мастер рад треба да садржи следеће целине:

- 1) Уводна разматрања
- 2) Трибологија лежаја и зупчаника
- 3) Хабање елемената техничких система на површинским коповима угља
- 4) Карактеристични системи подмазивања елемената рударске механизације
- 5) Закључак
- 6) Коришћена литература

Препоручена литература:

- 1) Слободан Митровић, *Трибомеханички системи – писана предавања*, Универзитет у Крагујевцу, Факултет инжењерских наука, (2014)
- 2) Владимир Савић, *Трибологија и подмазивање*, Икос, Нови Сад, (1995)

Крагујевац, септембар 2018.

Ментор:

Проф. др Слободан Митровић

САДРЖАЈ

1.0. Увод	1
2.0. Трибологија машинских елемената - лежаји и зупчаници	3
2.1. Трење у клизним лежајима	3
2.2. Хабање у клизним лежајима	5
2.3. Трење у котрљајним лежајима	9
2.4. Хабање котрљајних лежаја	11
2.5. Трење зупчастих преносника	17
2.6. Хабање зупчастих преносника	22
3.0. Хабање елемената техничких система на површинским коповима угља	26
3.1. Анализа трења	26
3.1.1. Заштита од трења.....	26
3.1.2. Корисна дејства трења.....	28
3.2. Анализа последица хабања	29
3.2.1. Хабање клизних лежишта.....	29
3.2.2. Хабање котрљајних лежишта.....	31
3.2.3. Хабање зупчастих преносника	33
3.2.4. Хабање елемената.....	36
3.2.5. Негативне последице људског фактора у одржавању	40
4.0. Прогресивно подмазивање роторног багера	41
4.1. Основе прогресивног подмазивања	41
4.1.1. Опис система	41
4.1.2. Систем рада	43
4.2. Примењено решење подмазивања роторног багера	47
4.3. Проблематика прогресивног подмазивања на роторном багеру.....	49

5.0. Систем подмазивања зупчастог венца роторног багера.....	52	
5.1. Основне карактеристике система подмазивања отворених зупчастих система.....	52	
5.1.1. Врсте система за подмазивање отворених зупчастих преносника.....	52	
5.1.2. Системи за бризгање/распршивање.....	53	
5.1.3. Гравитационо подмазивање или подмазивање капањем	58	
5.1.4. Системи са уљном пумпом (Пљускањем и урањањем међузупчаника).....	58	
5.1.4.1. Ручно, четком или сипањем	58	
5.1.4.2. Дебљина слоја мазива и мерило за избор	58	
5.1.5. Избор врсте система за централно подмазивање зупчастог венца	61	
5.2. Примењена решења система подмази зупчастог венца роторног багера.....	61	
5.2.1. Анализа постојећих система за централно подмазивање зупчастог венца.....	61	
5.2.2. Хабање котрљајних лежишта.....	66	
5.2.3. Одређивање дебљине зида, избор дозатора, мазалица и арматуре.....	67	
5.2.4. Управљачки систем за постројење за подмазивање зупчастог венца.....	67	
5.2.5. Заштитни и сигурносни елементи инсталације	68	
5.3. Утицај спољашњих фактора на хабање у условима површинског копа.....	69	19
6.0. Закључак.....	71	
Литература.....	72	

SUMMARY

This paper analyzes the existing tribomechanical systems in RB Kolubara and points to their shortcomings in terms of maintenance. The paper covers examples of friction and wear of characteristic elements for mining mechanics, as well as a description of the lubrication system of individual subsystems and assemblies. Excerpts from the theory of friction and wear of sliding and roller bearings and toothed pairs are presented. Based on everyday experience in the machine maintenance service, typical breakdowns of these machine elements are described and original photographs are given. A system for central lubrication of the progressive type in the bucket wheel excavator system is shown in detail. Problems in the operation of open toothed pairs are described. The most commonly used types of fats are listed, with quantities and lubrication intervals, taking into account the external influences and conditions that are exposed to technical systems on surface mines. The paper presents some unique solutions applied in RB Kolubara in order to achieve proper lubrication of critical locations in machines. The options for checking the lubrication and monitoring of the function of all components of the lubrication system are shown.

Keywords: tribomechanical systems, mining machines, bucket wheel excavator, friction, wear, lubrication

РЕЗИМЕ

У овом раду се анализирају постојећи трибомеханички системи у РБ Колубара и указује се на њихове недостатке са аспекта одржавања. Рад обухвата примере трења и хабања карактеристичних елемената за рударску механизацију, као и опис система подмазивања појединих подсистема и склопова. Приказани су изводи из теорије трења и хабања клизних и котрљајних лежаја и зупчастих парова. На основу свакодневних искустава у служби машинског одржавања, описана су карактеристична разарања ових машинских елемената и дате су оригиналне фотографије. Детаљно је приказан систем за централно подмазивање прогресивног типа у систему роторног багера. Описана је проблематика у раду отворених зупчастих парова. Наведене су најчешће коришћене врсте масти, са количинама и интервалима подмазивања, при чему су узети у обзир спољни утицаји и услови којима су изложени технички системи на површинским коповима. У раду су приказана нека јединствена решења примењена у РБ Колубара у циљу остваривања одговарајућег подмазивања критичних места у машинама. Приказане су могућности контроле извршеног подмазивања и самог праћења функције свих компонената система подмазивања.

Кључне речи: трибомеханички систем, рударска механизација, роторни багер, трење, хабање, подмазивање

1. УВОД

Технологија континуалне експлоатације угља на површинским коповима подразумева употребу машина које спадају у групу комплексних техничких система. Рударске машине карактеришу велика инвестициона улагања, дуг век употребе, производња у малим серијама или појединачно, рад у различитим атмосферским и температурним условима, прилагодљивост сложеним конфигурацијама транспортних путева и терена, примена за широк спектар рудних лежишта са аспекта његових физичко-механичких особина, итд. Рударска механизација се пројектује за велики број радних сати у току године, при чему сваки застој због прекида рада значајно поскупљује трошкове производње и одржавања. Услед ових разлога од ових техничких система захтева се висока поузданост у раду. Захваљујући дугогодишњем развоју (око једног века), ови машински системи на површинским коповима достигли су висок ниво радних и техно-економских карактеристика.

Одржавање машинских система, као компонента укупне ефективности производних система за откоп и транспорт руде на површинским коповима, је сложен задатак који тражи организован приступ и координацију великог броја извршилаца. Један од основних поступака одржавања је опслуживање, које обухвата активности на снабдевању машинских система средствима за подмазивање. Такође, и остали основни поступци одржавања (надзор, провера функције, оправка, технолошка иновација) у својим доменима се односе и на подмазивање.

Под појмом трибомеханички систем подразумева се машински систем чија се функција одвија кроз интеракцију површина које се релативно крећу. Трибомеханички систем је скуп елемената повезаних структуром, чија се функција одвија кроз интеракцију површина које се релативно крећу. У овом раду се анализирају постојећи трибомеханички системи у РБ Колубара и указује се на њихове недостатке са аспекта одржавања. Рад обухвата примере трења и хабања елемената машинских система на коповима, као и опис система подмазивања појединих карактеристичних подсистема и склопова.

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 мазива у трибомеханичком систему састоји се у раздвајању директног додира контактних површина које се релативно крећу.

У другом поглављу рада приказани су изводи из теорије трења и хабања клизних и котрљајних лежаја и зупчастих парова. Описана су карактеристична разарања ових машинских елемената која су последица трења котрљања и клизања, као и основна напонска стања која се јављају у структури елемената при обављању радних функција.

Треће поглавље обухвата проблематику хабања елемената у површинским коповима са илустрованим примерима. Обухваћена су разарања елемената и разврстани технолошки услови њиховог настанка. На основу искуствених знања за неке од њих предложене су измене техничких решења са аспекта подмазивања.

У четвртном поглављу описан је рад прогресивног система подмазивања на примеру роторног багера, који је најкомплекснији технички систем на површинским коповима. Од више врста примењених решења издвојен је систем за централно подмазивање прогресивног типа. Дата је

детаљна структура компонената и систем рада овог подсистема роторног багера. На основу вишегодишњих искустава вршиоца функције одржавања, указано је на недостатке и проблеме који се јављају у раду. Приказ је употпуњен фотографијама кључних елемената система подмазивања (пумпе, пресмерника, дозатора и цевне инсталације) на местима уградње у структури роторног багера.

Пето поглавље описује проблематику у раду отворених зупчастих парова, који услед екстремних услова представљају један од најугроженијих машинских подсистема роторног багера. Дат је општи теоретски приказ могућих начина подмазивања отворених зупчастих преносника са детаљним техничким описом уградње, прорачуна и контроле елемената ових подсистема. Представљени су поступци одржавања са аспекта подмазивања у систему роторног багера, који се односе на избор врсте масти, количине масти и интервала подмазивања. Обухваћени су спољни утицаји рада отворених зупчастих преносника у условима површинских копова.

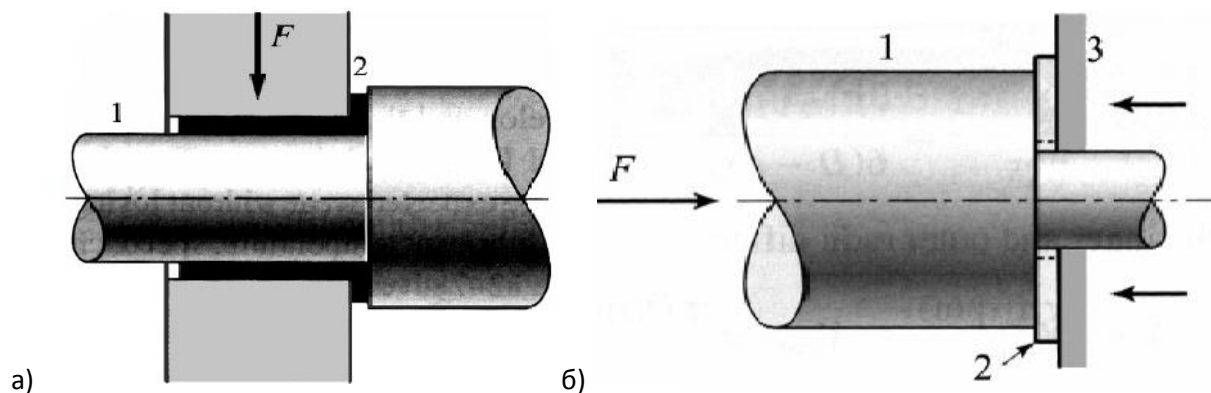
2. ТРИБОЛОГИЈА МАШИНСКИХ ЕЛЕМЕНАТА - ЛЕЖАЈИ И ЗУПЧАНИЦИ

2.1. Трење у клизним лежајима

Трење у клизним лежиштима настаје између рукавца и постељице. Један од основних задатака конструктора је да смањи трење да би се тиме смањили и непроизводни губици енергије, а истовремено смањило и хабање елемената трибомеханичког система.

Основни трибомеханички систем радијалних лежишта чине рукавац (1) и постељица (2) раздвојени мазивим слојем (слика 26 а).

Основни трибомеханички систем аксијалних лежишта чини уздужни или гребенасти рукавац (1) који клиза по контактної површини постељице (2). Контактне површине су раздвојене мазивим слојем.



Слика 2.1. Елементи лежишта а) радијално лежиште: 1 – рукавац вратила, 2 – лежишна постељица; б) Аксијално лежиште: 1 – вратило; 2 – покретни прстен који је везан за вратило; 3 – непокретни прстен [1]

Сила отпора релативном клизању састоји се из отпора условљеног деформисањем танког површинског слоја спрегнутим микронеравнинама и отпора насталог услед међумолекуларних, узајамних деловања довољно зближених делова тврдих тела. На тај начин, спољашње трење је пропраћено интензивним деформисањем површинских слојева мекшег тела у контакту.

Постељица лежишта се обично израђује од меке лежишне легуре, металополимера или гумено-металне конструкције. Материјал рукавца је много тврђи и под дејством радијалних или аксијалних сила, микронеравнине рукавца продиру у површински слој постељице. При релативном клизању, микронеравнине рукавца деформисаће површински слој постељице и тако изазивати силу отпора клизању.

Настала сила отпора клизању, тј. сила трења, биће састављена од силе отпора промени форме (топографије) површинског слоја и силе отпора условљене атомско-молекуларном узајамном деловању на граници раздвајања рукавац-постељница, у зони њиховог стварног додира. Из овога произилази да је сила трења двокомпонентна и има молекуларно-механичку природу. Примећене силе, настале при клизању, зависе од:

- напонског стања у зони стварног контакта рукавац-постељница и
- форме узајамног деловања микронеравнина.

Молекуларна компонента суштински зависи од врсте подмазивања. Деформациона компонента силе трења не зависи од врсте подмазивања.

Губици трења у радијалним клизним лежиштима зависе од:

- напонских стања, а на њих углавном утиче узајамни однос механичких карактеристика материјала постељнице и рукавца и
- конструкционе особености лежишног склопа.

Како се постељница клизних лежишта може правити од меких или чврстих материјала, односно различитих механичких карактеристика, за исправну и што приближнију математичку интерпретацију коефицијента трења, савремена наука уобичава поделу на коефицијент трења лежишта са меком и коефицијент трења са чврстом постељицом.

Клизна лежишта код којих је постељница израђена од полимера или меке антифрикционе легуре типа белог метала (бабита) називају се лежишта са меком постељицом.

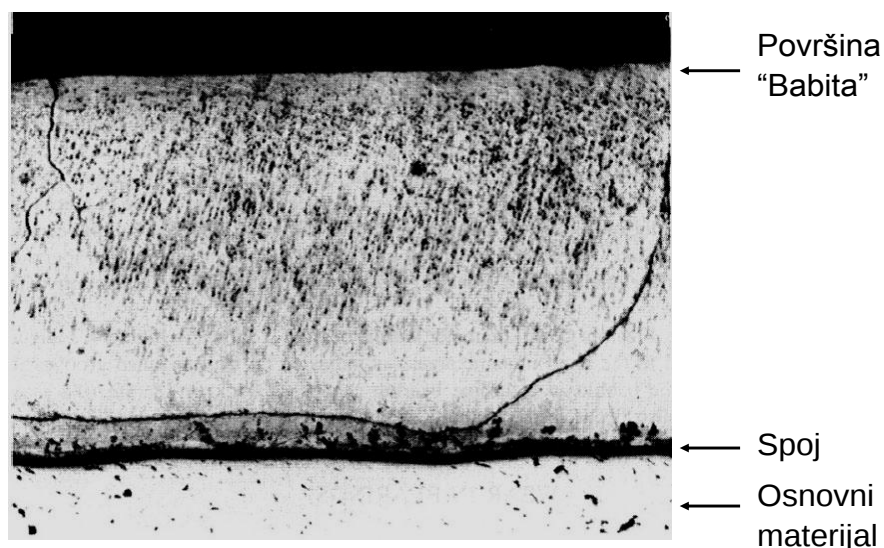
Група лежишта са чврстом постељицом састављена је од челичне основе и нанешеног слоја антифрикционог материјала. Обично је нанешени слој толико танак да је његов утицај на димензије контурне површине додира, па према томе и на величину и распоред нормалних напона занемарљиво мали. Утицај нанешеног слоја је суштински велики на узајамна деловања рукавца и постељнице, у условима спољашњег трења пошто овај процес протиче у површинским слојевима тврдих тела у контакту.

Аксијална клизна лежишта се користе при мањим аксијалним оптерећењима (када је примена аналогних котрљајних лежаја по конструкционим разлозима непожељна) или при веома великим аксијалним оптерећењима (пр. вертикална вратила хидрогенератора) када је коришћење котрљајних лежаја практично немогуће.

2.2. Хабање у клизним лежајима

Клизна лежишта у већини случајева раде у режиму хидродинамичког подмазивања. При томе је хабање радних површина постељице и рукавца занемарљиво мало. Али у периоду пуштања и заустављања, лежишта која у нормалној експлоатацији раде у условима хидродинамичког подмазивања, прелазе на рад у условима граничног подмазивања. У овим периодима остварују се услови спољашњег трења и веома интензивно хабање. Због различитих и карактеристичних услова под којима раде, на клизним лежиштима се могу појавити различите врсте хабања и оштећења.

Заморно хабање је најтипичнији облик хабања клизних лежишта аутомобила, мада се среће и код других типова лежишта у експлоатацији која раде у условима променљивих и неуравнотежених оптерећења. Узрок настајању замора материјала и коначно заморног хабања су променљиви, вишекратно поновљени напони чије деловање проузрокује појаву иницијалне пукотине, која настаје на месту деловања максималног тангенцијалног напона смицања, испод контактне површине. Заморно хабање је самоубрзавајући феномен. Једном настала, иницијална пукотина се непрестано шири. Заморно хабање је веома често потпомогнуто механичким грешкама које су настале у конструисању, изради или монтажи. Тако заморном хабању интензивно потпомаже искошење ексцентрично оптерећење, овални или савијени рукавци, нетачан склоп, загађен мазиви слој, недовољно и неадекватно подмазивање.



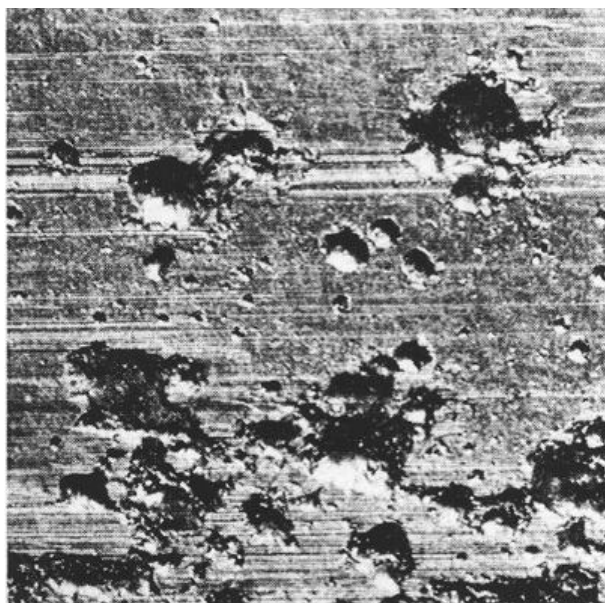
Слика 2.2. Периферијско ширење пукотине дуж споја основног метала и заливка, све до спајања са другом радијалном пукотином [1]

Заморно хабање је самоубрзавајући феномен. Једном настала, иницијална пукотина се непрестано шири. Одвојене честице материјала се често трансферују уљем на друге делове лежишта или чак друга лежишта система. Ове слободне честице могу бити узрок локалне концентрације напрезања и потпомагати даљи развој замора на другом месту. Истовремено, узрок су смањења зазора

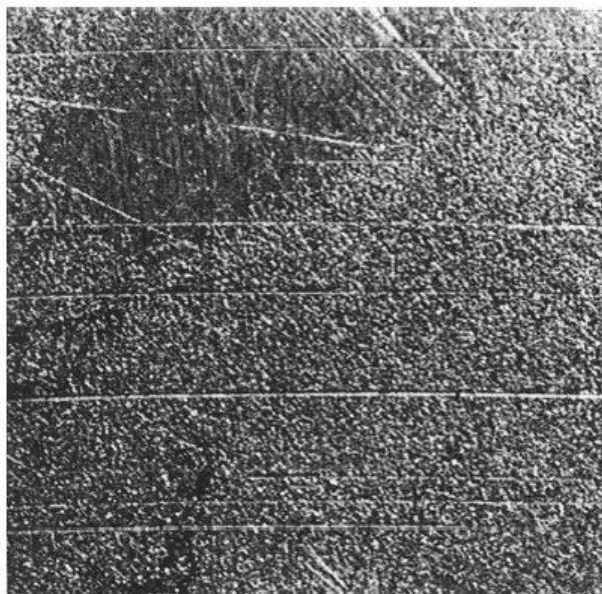
у лежишту, порасту специфичног оптерећења и температуре што доприноси интензивнијем развоју заморног хабања.

Неквалитетно остварени спој унутрашњег заливка и постељице, може бити узрок превременог заморног оштећења лежишта. У таквим случајевима, иницијална пукотина се убрзано шири дуж споја, а као резултат замора јављају се укупне честице одвојене са заливка. Добро остварени спој опстаје и у случајевима појаве заморне пукотине.

Електрични питинг је веома карактеристичан облик хабања клизних лежишта који се среће код лежишта ротационих електричних прибора и уређаја. То је специјална форма питинга настала као резултат протицања електричне струје између постељице и рукавца. Струја јачине изнад 1А и напона преко 1В у свом току изазива варничење контактних површина, а као последица су појаве микроскопских јамица. Јамице се чешће срећу на постељници, али се јављају и на рукавцу где у мањем степену зависе од тврдоће. Варничење проузрокује оштећење и мазива, као и контаминацију мазива и мазивог система.



а)

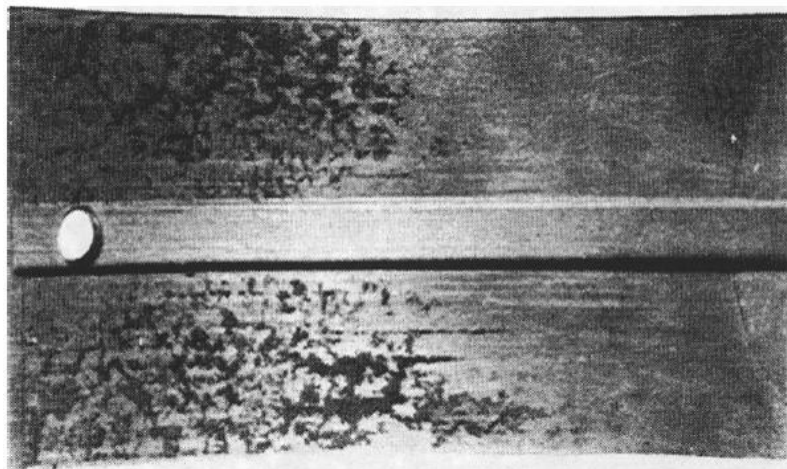


б)

Слика 2.3. Електрични питинг настао при: а) великим јачинама струје, б) малим јачинама струје [1]

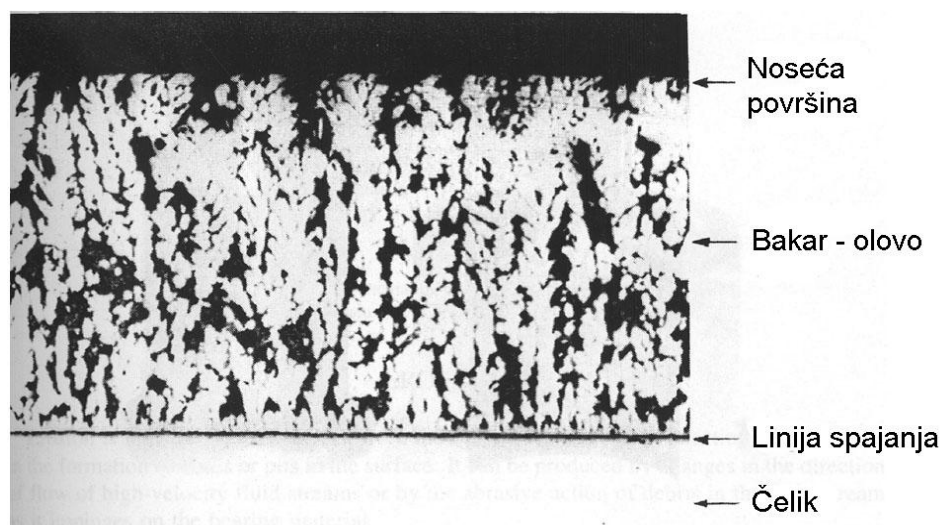
Као што се може запазити на слици 3.3. изглед ове врсте хабања подсећа на форму утиснуте полулопте, глатке и сјајне површине, утиснуте у отопљеном металу.

Корозија је хабање клизних лежишта које настаје као резултат хемијског деловања неких материјала мазивом слоју или околини. За протицање хемијске реакције довољно је присуство метала, кисеоника, воде и само присуство било какве киселине.



Слика 2.4. Корозивно хабање [1]

У борби против корозије највише користе додавања оксидационих инхибитора уљу, заштитни легирајући елементи у оловном белом металу, као 7 или 8% калај, индијумске превлаке преко бакра И периодичне промене уља. Тамо где је појава корозије посебан и тешко одстрањив проблем, примењује се калајни бели метал или алуминијум.



Слика 2.5. Приказ корозивног хабања у пресеку [1]

Абразивно хабање је карактеристичан вид хабања клизних лежишта која раде у условима загађених средина и са високим саставом честица прашина у мазиву. Настаје како због тврђих честица које се крећу међу елементима површина у контакту и изазивају углавном хабање меких површина (белог метала), тако и због металних честица укључених у бели метал које делују као резни алат и изазивају прекомерно хабање рукавца.

Установљено је да у случају да је коефицијент трења између вратила и абразивне честице мањи од коефицијента трења између постелице и абразивне честице, абразивне честице се задржавају и утврђују на површини непокретне постелице и клизе по површини покретног рукавца. На карактер и интензитет абразивног хабања утиче већи број параметара, од којих је веома значајан утицај материјала и карактеристике абразива.

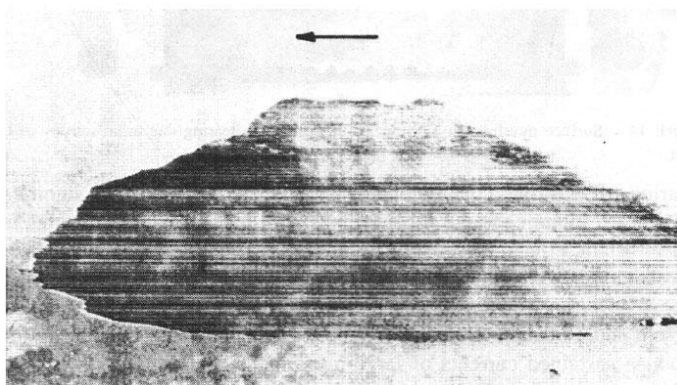
Утицај материјала је непосредно везан за две физичке карактеристике материјала: пластичност и тврдоћу. Пластичност контролише осетљивост материјала на задржавање и утврђивање абразивних честица, а тврдоћа непосредну отпорност на пробијање и разарање абразива.

Утицај тврдоће абразива зависи од узајамног односа тврдоће контактних површина и абразива. Уколико је тврдоћа контактних површина већа, деловање абразива је кратковремено и са незнатним ефектима. Деловање абразива веће тврдоће од тврдоће контактних површина је дужег века и са тежим последицама.

Преоптерећења и прекиди подмазивања, односно разарања уљног филма, доводе до веома интензивног хабања и оштећења контактних површина. Најчешћи облици хабања који се том приликом јављају су *wiping* и *scoring*.

Wiping је врста хабања код које се материјал на једној области контактне површине разлива, одстрањује и трансферује у другу област. Оштећена површина је светле, карактеристичне боје. Најчешће се јавља код мекших материјала, нарочито код заливака од белог метала. Тренутна преоптерећења и тренутни прекид мазивог слоја доводе до веома плитких оштећења у којима радне карактеристике лежишта нису значајно оштећене.

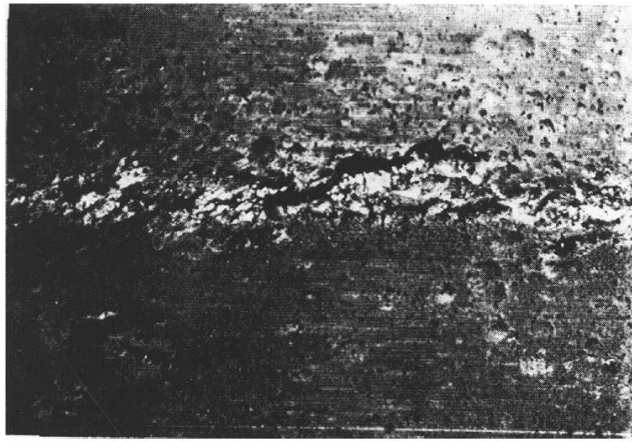
У случајевима већих преоптерећења, дужег прекида уљног филма и тврђих материјала за клизна лежишта, настаје *scoring*, тежа форма повреда лежишта. *Scoring* се карактерише дубоким рисевима и браздама контактних површина. Разликујемо, као и код зупчаника, атхезиони и режући *scoring*.



Слика 2.6. Течење (разливање) белог метала услед *wiping* –а [1]

Ерозија је вероватно најређа врста хабања која се среће код клизних лежишта. Карактерише се појавом удубљења на контактної површини, насталом као резултат одвођења материјала дуготрајним деловањем мазивог флуида. Среће се најчешће у механизмима и апаратурама које раде у условима великих брзина. Настаје и као резултат ударања абразивних честица у флуидном току по контактної површини.

Други тип ерозије је кавитациона ерозија, која је резултат настајања и распадања ваздушних или гасних мехурића у уљу. Њиховим настајањем стварају се екстремно високи локални притисци који су главни узрок локалном замору и настајању питинга. По свом спољашњем изгледу кавитациона ерозија подсећа на питинг разорног стадијума.



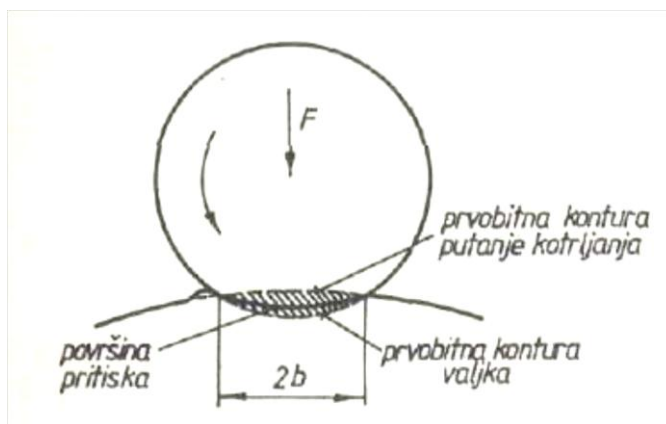
Слика 2.7. Изглед површине изложене ерозионом хабању [1]

2.3. Трење у котрљајним лежајима

Основна преимућства котрљајних лежаја су мало трење и релативно мали захтеви у системуподмазивања. Трење код котрљајних лежаја је тако мало да се најжешће и занемарује у укупном енергетском билансу при пројектовању машина и уређаја. Већи значај добија у случајевима када његовтоплотни ефекат суштински утиче на радне температуре машина.

Трење у лежајима састоји се из три компоненте: трења котрљања, трења клизања и трења умазивом материјалу. Између њих постоји веома сложена и блиско узајамна веза која отежава детаљну анализу сваке компоненте понаособ.

Трење котрљања настаје у процесу кретања котрљајних тела по путањи котрљања. Веома је комплексне природе јер је делимично условљено клизањем у зони контакта котрљајних тела и путањекотрљања, а делимично еластичним хистерезисом.

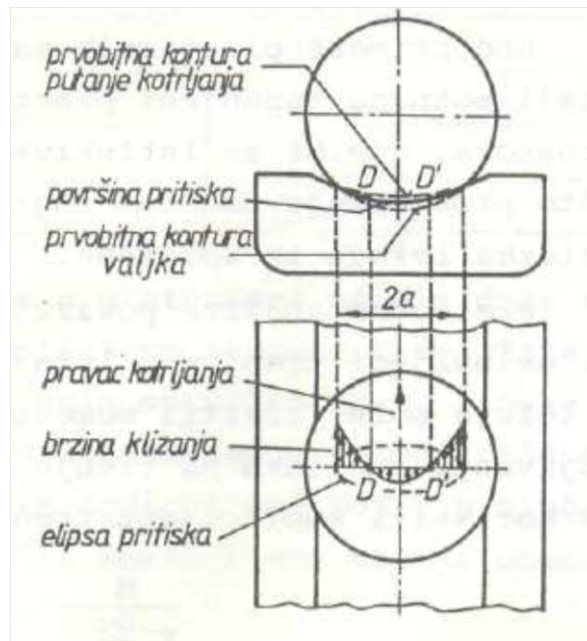


Слика 2.8. Шематски приказ деформације при котрљању ваљка по путањи котрљања [1]

На слици 2.8. шематски је приказана деформација при котрљању ваљка по путањи котрљања. Услед различитих деформација по линији додира, усмерених у правцу кретања, настаје проклизавање, а услед тога и један од компоненти трења. При котрљању, по жљебу (слика 2.9) настаје релативно проклизавање у свим тачкама (осим у тачкама Д и Д'), условљено различитим обимним брзинама. Овако клизање је утолико веће, уколико је веће налегање (однос радијуса куглице и радијуса жљеба) и оптерећење.

Трење котрљања условљено је такође и хистерезисом материјала при котрљању. Делови материјала који долазе у додир са ваљцима лежишта услед оптерећења, при котрљању се деформишу. Добијени рад при растерећењу само се делимично користи за кретање котрљања, а остали део прелази у топлоту. Осим клизања које се реализује као компонента трења котрљања, јавља се и трење клизања као компонента укупног трења у лежају.

Трење клизања се јавља у контакту котрљајних тела и држача, међусобном контакту котрљајних тела (лежаји без држача), као и код контакта чела ваљка и наслона. У нормалним условима, сила која делује на држач је мала а самим тим је и трење незнатно. Али у условима недовољног подмазивања, загађене атмосфере, врло великих бројева обрта, губици на трење се знатно повећавају. Ово се особито јако испољава у условима нарушених кинематских односа, нарочито већег искоришћења прстена.



Слика 2.9. Шематски приказ котрљања по жљебу [1]

2.4. Хабање котрљајних лежаја

На елементима трибомеханичког система котрљајних лежаја могу настати различите врста хабања и повреда. На једном лежају могу настати истовремено више врста хабања, но, као по правилу, једна од насталих врста је доминантна и она ће суштински одредити даљи правац развоја триболошких процеса и коначно век трајања лежаја.

Који ће се облици хабања јавити и који ће облик бити доминантан, зависи од великог броја фактора које је могуће поделити у четири основне групе: експлоатациони фактори, конструкциони фактори, фактори технологичности, фактори субјективних особина оператора.

Заморно хабање питинг карактерише се појавом јамица у почетној фази и разарањем контактне површине у завршној фази процеса. Заморном хабању су изложени сви елементи лежаја: прстени, котрљајна тела, држачи, бочни наслони унутрашњег прстена.

Котрљајни лежаји предају оптерећење са једног прстена на други преко котрљајних тела. Елементи лежаја изложени су у раду виšekратно поновљеним, учесталим променама оптерећења и јаком замарању унутар материјала целог система. Присуство области цикличних напрезања је узрок настајања замора у котрљајним лежајима.

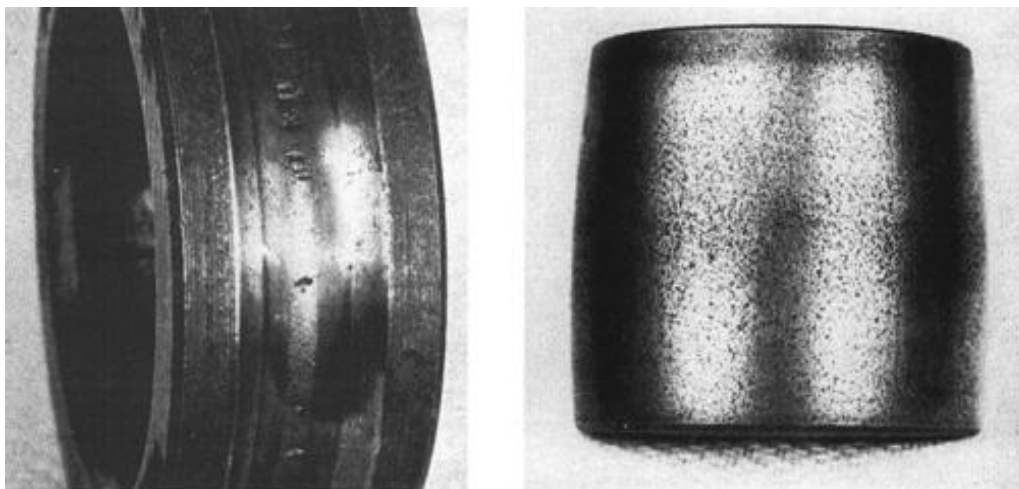
Присуство и деловање променљивих тангенцијалних напона је главни узрок појаве иницијалне пукотине, а променљиви нормални напони истезања изазивају даље ширење и распрострањавање пукотине.

Присуство мазива помаже даљем ширењу пукотине. Када пукотина изађе на површину испуњава се мазивом. При котрљању два тела, контактни напони расту све дотле док притисак уља у пукотини дође до нивоа при коме је раван напонима на површини. Овакво стање напона изазива напоне истезања у основи пукотине, који подпомажу одвајању ситних комадића метала и даљем ширењу пукотине.

Треба рећи да се на елементима трибомеханичких система лежаја јавља и иницијални питинг услед концентрације напрезања на местима изразитијих површинских неравнина. Са порастом стварне површине додир и равнорнернијом расподелом оптерећења престаје појава нових јамица.

Сагласно Kloosk-у и Broszeit -у иницијалне пукотине излазе на површину и прелазе у јамице услед;

1. појаве тангенцијалних напона насталих као резултат деловања сила трења,
2. температурних напона у зони контакта котрљајних тела и путање котрљања,
3. настајања месних, недопустивих пренапрезања у материјалу, услед доспевања тврдих честица на путању котрљања.



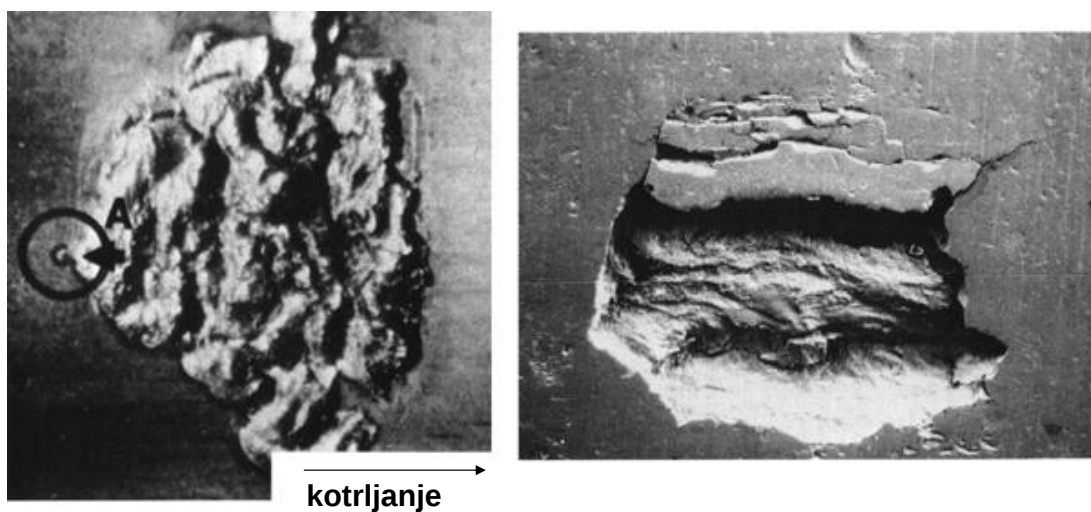
Слика 2.10. Pitting у комбинацији са spallingom (лево), pitting услед корозије изазване киселином (десно) [1]

Поред pittinga, као вид заморног хабања јавља се и peeling, кога карактерише формирање пукотина које са контактном површином заклапа веома оштар угао и даље се шири паралелно са површином на дубинама мањим од дубине максималног номиналног напона.

Peeling се може јавити у замрзнутим областима, јавља се када је велики број неравнина у површинском слоју у директном контакту са другом тврдом површином. Такође, директно зависи од параметара површинске храпавости.

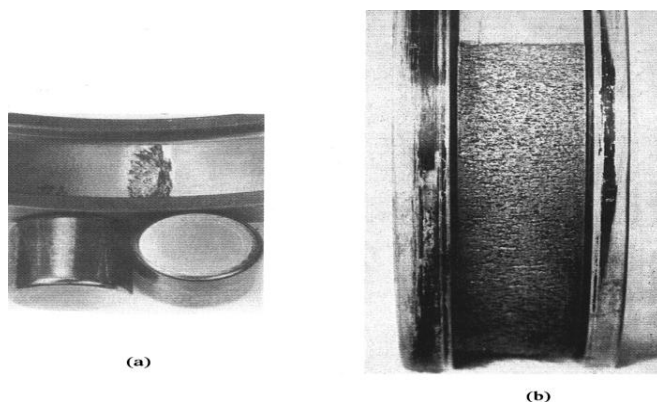
Spalling (љускање) се идентификује као формирање великих и веома дубоких удубљења на оптерећеним површинама. У озбиљнијим случајевима, услед spallingа ова удубљења се могу проширити дуж читаве стазе котрљања и тако проузроковати уклањање велике запремине материјала са контактних слојева. Spalling се сматра најчешћим обликом заморног оштећења.

Spalling може бити зачет на површини или у подповршинском слоју. Овај вид заморног оштећења веома често је у вези са површинским дефектима који се понашају као концентратори напона. Удубљења настала услед контакта површине са продуктима хабања, огреботине и трагови брушења су честа места на којима spalling настаје.



Слика 2.11. Spalling зачет на површини (лево); Spalling зачет под површинском слоју унутар стазе котрљања цилиндричног лежаја (десно) [1]

Напредан вид spallingа се у неким случајевима назива flaking, вид хабања који се идентификује кидањем материјала попречно или дуж стазе котрљања.



Слика 2.12. Flaking а) попречно стазе котрљања, б) Увелико развијен flaking на унутрашњој стази котрљања цилиндричног котрљајног лежаја [1]

Адхезивно хабање карактерише трансфер материјала са једне површине на другу. Најчешће се јавља на крајевима ваљака и одговарајућих бокова стаза котрљања, као и код контакта вратила и унутрашњег прстена и између кућишта и спољашњег прстена. Адхезивно хабање се може јавити и приликом контакта котрљајних елемената и стаза котрљања, када је присутно клизање. Адхезивно хабање се јавља у различитим облицима и у зависности од степена хабања (његове величине) јављају се следећи облици: Scoring, Scuffing, Smearing и Seizing.

Scoring се јавља када дебљина мазивог филма није довољна да раздвоји контактне површине. Јавља се контакт између неравнина и услед великих нормалних оптерећења и тангенцијалних напона, генерисања топлоте неравнине мењају свој облик и димензије. Долази до веома јаких адхезивних или заварених спојева на изолованим местима. Услед релативног кретања неравнина долази до кидања тих спојева што узрокује приметан трансфер материјала са једне површине на другу.

Scuffing је напредан scoring који се јавља на већем нивоу, када се више заварених спојева групишу на одређеном месту. Он се идентификује по израженој површинској храпавости и праћен је високим вредностима трења и температуре.

Smearing у неким случајевима се назива galling. Овај вид хабања се односи на веома изражене пластичне деформације и масиван трансфер материјала са површине на површину. Завршна фаза smearing-а представља разарање различитих површинских филмова и површинских слојева. Такође, може условити промену у топографији површина и резултирати прогресивном scoring-у или scuffing-у.

Seizing је финална фаза адхезивног хабања. Заваривање између врхова неравнина контактних површина је тако изражено да долази до заустављања лежаја и узрокује катастрофално хабање. Seizing се веома ретко среће код котрљајних лежајева.

Абразивним хабањем називамо механичко хабање контактних површина, настало као резултат деловања абразивних честица, доспеле у зону контакта под оптерећењем, котрљајних тела и прстена, могу изазивати разарање контактних површина у виду удубљења, зареза, жљебова и огреботина. По ивицама оштећене површине образују се гребени и гребеници који могу постати концентратори напрезања и извори заморног разарања.

На процес абразивног хабања лежаја утиче велики број фактора: димензија честица, њихова концентрација и тврдоћа.

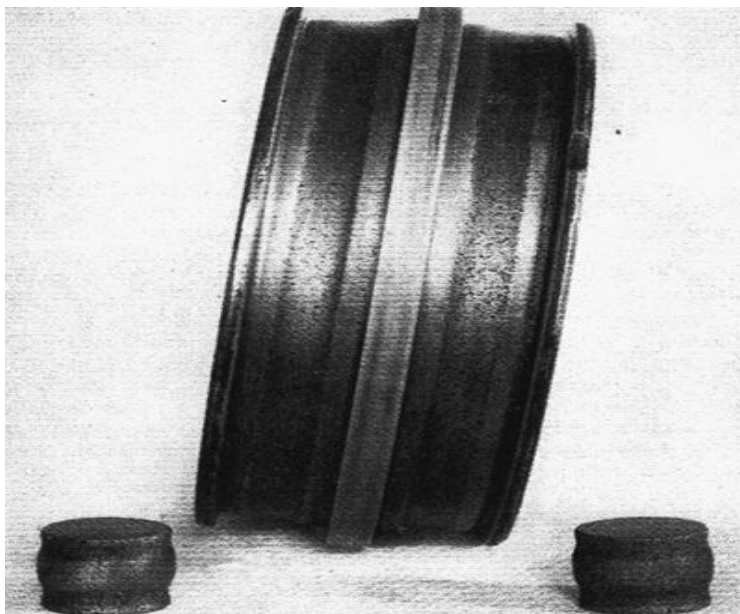
У трибомеханичким системима трења котрљања, абразивно хабање се увећава са порастом проклизавања елемената система једног у односу на други. Број обртаја незнатно утиче на интензитет абразивног хабања.

На крајевима удубљења или огреботина може настати веома висока концентрација напрезања при улазу оштећене површине у контакт.

Зареzi у правцу котрљања далеко више утичу на дебљину мазивог филма од попречних зареза.

Еластохидродинамички слој смањује концентрацију напрезања, пропорционално односу дужине хидродинамичког слоја и његове дебљине на месту контакта. Захваљујући томе, веома мале абразивне честице могу изазвати разарање површине које сасвим или скоро не утиче на радне способности лежаја.

Корозионо хабање је чест вид хабања у лежајима, карактеристичан је за лежаје који раде у условима хемијски активних и маловискозних радних средина. При томе на површини метала образују се нова, мање отпорна хемијска једињења, која се у процесу експлоатације одводе заједно са продуктима хабања.



Слика 2.13. Напредна фаза абразивног хабања и корозије на унутрашњој стази котрљања сферичног котрљајног лежаја [1]

Хабање лежаја у условима појаве корозије зависи од већег броја фактора: врсте средстава за хлађење и подмазивање, физичко-хемијских својстава хемијски активних компоненти, режима рада, материјала, конструктивних карактеристика лежишта, и др.

Fretting корозија је врста хабања која се јавља при мањим осцилаторним померањима једне површине у односу на другу у условима деловања корозионих средина. Услови при којима се она јавља су: мале амплитуде померања спрегнутих елемената (реда неколико десетина микрометара) и везано с тимотежаног одвођења продуката хабања из зоне контакта; мале брзине релативног померања спрегнутих елемената (неколико милиметара у секунди); присутност оксидационе спољне средине (нпр. кисеоника из ваздуха) који хемијским реакцијама изазива оксидацију контактних површина са последицама њиховог разарања.

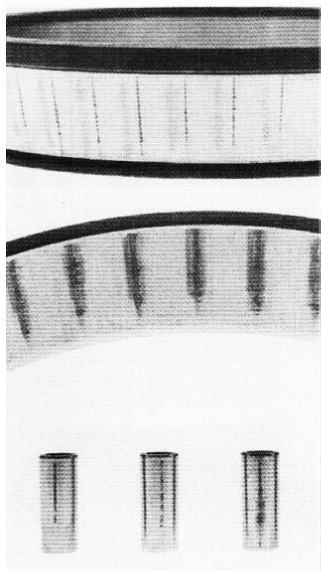
При експлоатацији машина и преносника, fretting-корозија може настати код свих машинских система укључујући и номинално непокретне, у присуству вибрација. Карактеристични случајеви су код:

- жљебних веза (зупчаници и спојнице на вратилу),
- котрљајних лежаја, обртних у обичним условима (спољашња површина спољашњег прстена и унутрашња површина унутрашњег прстена при недовољној чврстоћи склопа у кућишту или на вратилу),
- необртних котрљајних лежаја или лежаја подвргнутих обртно-повратним кретањима малих амплитуда (игличасти лежаји карданских вратила аутомобила и дизел локомотива), аксијални лежаји ротора хеликоптера,
- клизних лежишта,
- брегастих и зглобних механизма.

Разарања од fretting корозије испољавају се у виду ишчупаних јамица димензија неколико десетина микрометара, испуњених као по правилу прашкастим продуктима хабања.

Површина елемената од челика и гвожђа, обухваћена fretting-корозијом обично је покривена превлаком или (у присуству уља) "пастом" црвеног оксида (Fe_2O_3) или црном бојом (Fe_3O_4) или (у присуству влаге) бораксном превлаком пероксида $Fe_2O_3 + H_2O$ (рђом).

Као резултат fretting-корозије смањује се заморна чврстоћа контактних површина, 3-6 пута. При фреттинг-корозији, за разлику од других видова хабања, продукти хабања у својој основној маси не могу изаћи из зоне контакта радних површина елемената машинских система.



(a)



(b)

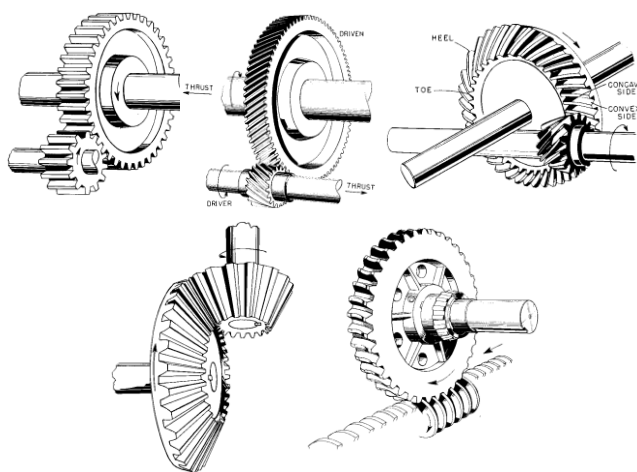
Слика 2.14. Fretting оштећења настала услед а) аксијалног померања ваљака, б) fretting на спољашњем пречнику лежаја настао због неједнаког налегања у отвору кућишта. [1]

Фактори који утичу на хабање котрљајних лежаја

- физичка, хемијска и механичка својства самог материјала
- хемијско-термичке обраде,
- конструкционе карактеристике лежаја,
- режими коришћења лежаја,
- климатски услови рада, радна средина и околина,
- заостали напони,
- састав мазивих материјала,
- микрогеометрија контактних површина и др

2.5. Трење зупчастих преносника

Отпор који се јавља при релативном померању два тела у додиру или тела у средини која га окружује, а који називамо трењем, прати и рад зупчастих преносника. Основне последице трења у зупчаницима су расипање енергије, различити степени искоришћења, хабање и оштећења зупчаника. Параметри којима се најчешће квантифицира трење у зупчаницима су: коефицијент трења и губици енергије у спреси.



Слика 2.15. Примери спрезања зупчастих преносника [1]

Анализа кинематике спрезања, као и услова које зупчаници у спреси морају да испуне, показује да компоненте тренутних брзина неке тачке додира у правцу заједничке тангенте на бокове спрегнутих зубаца, нису нити морају бити једнаке. То значи да бокови зубаца клизају један по другом, а једино када се бокови зубаца додирују у централној тачки нема клизања и настаје котрљање. Трење које се јавља при раду зупчаника је у принципу збир трења клизања и трења котрљања. Како се правци и интензитети брзине клизања и брзине котрљања мењају у периоду спрезања, односно у интервалу времена од уласка зуба у спрегу до његовог изласка из спреге, логично је да се и трење мења у том истом интервалу.

Номенклатура врста хабања и разарања зубаца зупчаника



Слика 2.16. НОРМАЛНО ХАБАЊЕ (ПОЛИРАЊЕ) је споро одвођење метала са контактних површина. Нормално хабање не утиче на рад преносника у интервалу времена за који је преносник конструисан.



Слика 2.17. УМЕРЕНО ХАБАЊЕ је брже одвођење метала са контактних површина. Век зупчаника се не смањује.



Слика 2.18. РАЗОРНО ХАБАЊЕ је повреда, разарање или измена облика површине зуба зупчаника услед хабања. При оваквом хабању знатно се скраћује век и нарушава равномерност рада зупчаника.



Слика 2.19. АБРАЗивно ХАБАЊЕ је врста разорног хабање које се карактерише повредама контактних површина услед деловања прљавштине, механичких примеса у уљу или продуката хабања зупчаника и лежишта.



Слика 2.20. SCRATCHING је тежа форма абразивног хабања које се карактерише огреботинама и кратким зарезима у правцу клизања.продуката хабања зупчаника и лежишта.



Слика 2.21. SCORING је брзо одвођење метала, изазвано кидањем малих делова, заварених при непосредном додиру контактних површина, Карактерише се дубоким браздама у правцу клизања.



Слика 2.22. ПОДСЕЦАЊЕ ЗУБА се јавља услед неправилног или нетачног спрезања. Најчешће се јавља у облику уских трака на којима је приметно интензивније хабање. Ова места су понекад прекривена и јамицама. У тежим случајевима јављају се и изражене бразде.



Слика 2.23. КОРОЗИОНО ХАБАЊЕ је повреда зуба услед хемијског дејства киселих материјала, влаге или примеса садржаних у уљу. Најчешће се карактерише ситним јамицама које се губе током времена, али је при томе хабање врло интензивно.



Слика 2.24. ПРЕГРЕВАЊЕ настаје као резултат дејства врло високих температура. Као последица ове појаве могу настати разни облици интензивног хабања.



Слика 2.25. ИНИЦИЈАЛНИ ПИТИНГ се испољава у облику ситних јамица на додирници или нешто испод ње. Овај питинг није посебно опасан будући да га је лако одстранити, а осим тога практично је непрогресиван.



Слика 2.26. РАЗОРНИ ПИТИНГ се обично јавља испод додирнице. Број јамица, као и њихове димензије се непрекидно увећавају, што коначно доводи до повлачења зупчаника из употребе.



Слика 2.27. SPALLING се карактерише љуспањем врха и бокова ивица зупчаника. Образоване прскотине су веће и дубље од јамица разорног питинга.



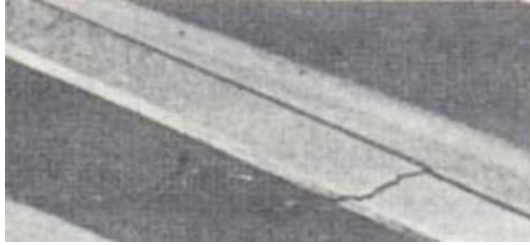
Слика 2.28. ВАЉАЊЕ И ОЈАЧАЊЕ се скоро увек јављају истовремено. Карактеришу се појавом гребена на врху и бочним ивицама зуба, деформисањем заобљења врха зуба, образовањем удубљења на погонском и гребена у зони додира гоњеног зупчаника



Слика 2.29. ТАЛАСАЊЕ се испољава у образовању таласастих гребена под правим углом на правац клизања. Јавља се углавном код цементираних, хипоидних погонских зупчаника гребена у зони додира гоњеног зупчаника



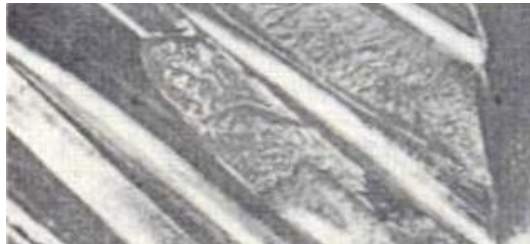
Слика 2.30. ОБРАЗОВАЊЕ ГРЕБЕНА (БРАЗДАЊЕ) је чести случај пластичног течења. Карактерише се појавом гребена распоређених по дијагонали контактне површине. У неким случајевима повреде имају стреласти облик у правцу клизања.



Слика 2.31. ЗАМОРНИ ЛОМ је најраспрострањенији вид лома зуба. Испољава се у виду пукотине на оптерећеној страни зуба, обично у области ивице попречног пресека. Пукотина се шири дуж ноге зуба по дијагонали, све до



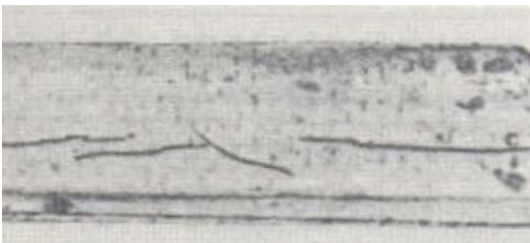
Слика 2.32. ЛОМ УСЛЕД ПРЕВЕЛИКОГ ХАБАЊА може настати као резултат интензивног питинга, љуспања или абразије.



Слика 2.24. ЛОМ УСЛЕД ПРЕОПТЕРЕЋЕЊА најчешће настаје при деловању изненадних, веома високих оптерећења. Код тврдих и кртих метала, лом има изглед свиласте нити, а за жилаве метале изглед



Слика 2.25. КАЉЕНА ПУКОТИНА настаје као резултат концентрације унутрашњих напона при термичкој обради. Обично су изгледа капиларних пукотина које пресецају главу зуба или су смештене по радијусу заобљења ноге зуба.



Слика 2.26. ПУКОТИНЕ УСЛЕД БРУШЕЊА настају услед неправилне технологије брушења или нарушеног режима термообrade пукотине су узрок разорног лома, а у неким случајевима проузрокују разарање само контактне површине прањено љуспањем.

Напомена:

Пластично течење - Деформације површинског метала услед великог оптерећења

Лом - Под ломом се подразумева потпуни прелом зуба или прелом његовог већег дела

Заморно хабање - питинг је најчешћа, а истовремено и најкарактеристичнија врста хабања зупчастих преносника.

У зависности од начина настајања, развоја, облика и утицаја на век трајања и поузданост зупчастих преносника, разликујемо иницијални и разорни питинг.

Иницијални питинг се јавља у периоду уходавања, најчешће код зупчаника од мекших материјала и термички необрађених. Испољава се у облику појаве малог броја јамица на додирници или испод ње. Узрок настајања иницијалног питинга је концентрација напрезања на местима изразитијих површинских неравнина. Број јамица расте све дотле док се врхови изразитих неравнина не одстране, локална преоптерећења активних површина не смање, а стварна површина додира постане довољно велика да може пренети оптерећење без оштећења. Порастом стварне површине додира долази до равномерније расподеле оптерећења и до престанка појаве нових јамица. Настанак иницијалног питинга није могуће увек спречити, али се зато може знатно смањити корекцијом спрезања и тачнијом израдом зупчаника.

Процес разорног питинга може се описати на следећи начин: У почетку, на нози зупца зупчаника око подеоног круга појављују се мале јамице, величине главе чиоде, понекад и крупније. Број јамица не- прекидно расте при истовременом повећању неких од њих, услед чега се непрекидно смањује стварна површина додира. Смањењем контактне површине, расту контактни напони који по достизању критичних вредности изазивају пластичне деформације или интензивно хабање.

2.6. Хабање зупчастих преносника

При већим оптерећењима, на контактним површинама активних површина зуба, настају посебни услови подмазивања. У слојевима мазива настају веома високи притисци услед чега вискозност уља нагло порасте. Оптерећење се једним делом преноси преко хидродинамичког слоја, а другим делом преко неравнина површинског слоја. Истраживања показују да при оваквом оптерећењу, дебљина мазива може бити мања од збира висина неравнина спрегнутих површина зато што се под оптерећењем неравнине еластично деформишу.

Између хидродинамичког подмазивања, када су спрегнуте површине у нормалним условима раздељене релативно дебелим слојем уља и граничног подмазивања када су површине раздељене адсорбованим слојем (из једног или неколико редова оријентисаних молекула) постоји низ прелазних фаза.

Разарање целовитости граничног мазивог слоја доводи до непосредног додира активних површина зуба зупчаника, а као резултат таквог спрезања настају оштећења зуба, различита по интензитету, испољавању и утицају на даљи рад зупчаника.

Различити су узроци нарушавања целовитости мазивог слоја, а основни би били:

- високо загревање уља у његовом површинској слоју,
- примена непогодних уља (на пр. недовољног вискозитета),
- недовољна количина уља при подмазивању,
- недовољни квалитет радних површина зуба,
- велика оптерећења.

Као последица разарања слоја мазива могу настати различите врсте хабања, од којих је најкарактеристичнија и истовремено и најопаснија сцоринг. Сцоринг се може појавити у више различитих облика, који су у литератури енглеског језичког подручја познати под именом: cold welding, scuffing, seizing, galling, itd.

Scoring је врста хабања коју карактерише веома брзо одвођење метала са активне површине зуба, са знатним оштећењима зуба у облику пруга, бразда, кидања метала, итд., орјентисаних у правцу клизања. У почетном стадијуму сцоринг има форму мањих рисева који прелазе у огреботине, а у даљем стадијуму појављују се бразде, пруге и кидање метала. Настала оштећења покривају целу активну површину или поједине делове ове површине. Scoring се може стабилизovati у свом почетном облику, уколико се благовремено и успело елиминишу узроци настајања scoringa, у противном он постаје прогресиван.

У зависности од радних услова, а према механизму настајања и развоја, scoring може бити атхезиони и режући.

Scoring адхезионог типа се може поделити у две групе:

1. У случају малих брзина клизања и релативно ниских температура, сцоринг носи карактер искиданих дубоких бразда. Ова врста scoringa позната је у литератури и као хладни scoring или cold welding,
2. При средњим и вишим брзинама, праћеним релативно високим температурама активних површина, јавља се scoring у облику равномерних малих бразда, често са траговима отапања метала. У литератури енглеског језичког подручја, овакав scoring се назива и scuffing.



Слика 2.16. Пример адхезионог *scoringa* [1]

Режући *scoring* је карактеристичан за цементиране и каљене зупчанике великих тврдоћа и релативно меког основног материјала, а настаје у условима доброг подмазивања уљима и формираног отпорног уљног слоја. Режући *scoring* настаје као резултат великих сила трења и пластичних деформација активних површина. При оваквим условима спрезања настаје издвајање кртих, веома тврдих честица каљеног цементираног слоја. Овако издвојене честице, смештене у зони контакта, дејствују као оштра абразивна зрна. Са развојем скоринга издвајају се честице све већих димензија које у почетном стадијуму изазивају зарезе на активним површинама, а затим све дубље и шире бразде. При режућем *scoring*-у, дубина оштећења је знатно већа него при атхезионом *scoring*-у, где се оштећења локализују у танком површинском слоју.

Прегревање може довести до веома интензивног хабања и повреда активних површина зуба, услед смањења тврдоће под дејством високих температура. До прегревања долази услед деловања веома високих температура од спољашњих извора загревања или повишеног трења услед преоптерећења, рада при веома високим брзинама клизања или услед подмазивања недовољном количином уља и уљем, неодговарајућег квалитета.

При прегревању долази до промене боје активних површина зуба слично као код брушења неодговарајућим режимима. Осим тога, у зависности од степена и места прегревања, оно се може одразити и на превремену појаву заморног хабања.

Таласање спрегнутих површина је резултат површинског течења метала при раду преносника са проклизавањем, услед неодговарајућег подмазивања, преоптерећења или појачаних вибрација. Испољава се у образовању таласастих гребена под правим углом у односу на правац клизања. Уколико таласање није прогресивно, често не изазива оштећења, те га неки аутори и не сматрају хабањем. Ова појава је обично последица прекомерног оптерећења зупчаника и неадекватног подмазивања. Бразде су стреластог облика или облика рибљег репа са оштрицом у правцу клизања. У случају недовољног каљења, овај облик хабања може довести до потпуног лома зуба.

Абразивно хабање се испољава у зарезивању и делимично у резању активних површина тврдим абразивним честицама. Абразивне честице, честице блата, прашине, песка, доспевају на површину зуба, мазивом или из ваздуха, мада могу бити и продукти других врста хабања.

Абразивно хабање је типично за отворене преноснике, мада се у мањем броју јавља и код затворених преносника који раде у атмосфери пуној прашине (преносници пољопривредних, рударских, грађевинских, путних и других машина).

Хабање зупчастих преносника зависи од великог броја различитих фактора: физичких, хемијских и механичких својстава самог материјала, хемијско-термичке обраде, карактеристика подмазивања, агресивности средине, температуре, топографије контактних површина, радних услова (брзине и оптерећења), типа преносника, механичке обраде (претходне и завршне) и др.

Велики број фактора као и њихова комплексна повезаност отежавају квантифицирање њихових утицаја. Веома често промена и само једног параметра изазива ланчану промену и многих других.

3. ХАБАЊЕ ЕЛЕМЕНАТА ТЕХНИЧКИХ СИСТЕМА НА ПОВРШИНСКИМ КОПОВИМА УГЉА

3.1. Анализа трења

На површинским коповима сусрећемо се са великим бројем примера трења. Зна се да трење може бити понекад корисно, а у већини случајева има негативну конотацију. У самом функционисању површинских копова је то јако изражено. Постоје случајеви када је трење императив (систем заустављања багера, систем брисања транспортне траке, усмеравање транспортне траке итд.), мада је много више случајева када трење задаје велике проблеме у одржавању техничких система.



Слика3.1. Транспортни ваљци траке за транспорт јаловине

На слици 3.1. су приказани транспортни ваљци, који су ротирајући елементи чија је функција ослањање транспортне траке транспортера. Тешки услови рада ових елемената, под чиме се првенствено мисли на претерано нагомилавање просутог материјала из покретне траке, проузрокују блокирање њиховог окретања. Тиме трење котрљања, које се јавља између ваљка и покретне траке у нормалним условима рада, прелази у трење клизања које изазива интензивно хабање.

3.1.1. Заштита од трења

Конус радног точка роторног багера (слика 3.2) служи да се ископани материјал који се истресе из кашике усмери ка пријемном трачном транспортеру.



Слика 3.2. Конус радног точка роторног багера

Током извршавања технолошког процеса, присутно је трење услед перманентног абразивног деловања материјала на површину док клиза низ конус. Конус је обложен антихабајућим плочама чија је функција минимизација трења. Плоче су израђене од материјала који имају велику отпорност на хабање (vautid, cdp, hardoks итд.).



Слика 3.3. Ужад дизања и спуштања стреле радног точка роторног багера

Ужад приказана на слици 3.3. морају бити подмазана из два разлога. Први је смањење трења између ужета и ужетњаче, а други је спречавање настанка корозије.

3.1.2. Корисна дејства трења

Функција усмеравања коју обавља склоп приказан на слици 3.4. је да проузрокује трење котрљања између ваљака и транспортне траке, и уз могућност подешавања положаја и правца деловања, усмери траку у жељеном правцу .



Слика 3.4. Усмеривач повратног дела транспортне траке

Брисач траке за транспорт (слика 3.5.) остварује трење са површином траке и брише налепљени материјал са траке, како би била чиста док се котрља преко повратних ваљака. Када овај брисач не би био уграђен, систем трачног транспортера би брзо био запрљан и дошло би до интензивног хабања елемената и опреме услед нагомилавања материјала.



Слика 3.5. Брисач траке за транспорт угља и јаловине

Кочиони механизам редуктора транспорта багера у овом случају је пример корисног аспекта примене трења. Помоћу две кочионе облоге, механизам зауставља погонско вратило и држи га у стању мировања (слика 3.6.).



Слика 3.6. Кочиони механизам редуктора транспорта багера

3.2. Анализа последица хабања

Рударска механизација спада у комплексне техничке системе које карактерише дуг век експлоатације и производња у малим серијама. Када се узму у обзир изузетно неповољни услови рада као што су присуство изузетно хабајућих материјала (кварцни песак) око елемената техничких система мора се строго водити рачуна о заптивкама које не дозвољавају контаминацију истих. Такође, једна од битних ствари је одржавање подручја око елемената чистим. Јако важно је и подмазивање, тј. да маст не дозволи продирање контаминената у сам елемент.

3.2.1. Хабање клизних лежишта

На слици 3.7. (а) је приказан клизни лежај погонског вратила гусеничног механизма. Због изосталог подмазивања, услед запушености канала за подмазивање, дошло је до продирања честица прљавштине у простор лежаја, што је узроковало абразивно хабање лежаја, чак и оштећење самог вратила (слика 3.7.(б)).



Слика 3.7. Клизни лежај погонског вратила гусеничног механизма(а, б)

Код лежаја приказаног на слици 3.8. било је гранично подмазивање које је временом постало непотпуно, дошло је до интензивног хабања лежаја, његовог хабања, истискивања и на крају лома.



Слика 3.8. Клизни лежај вертикалног вратила кружног кретања

3.2.2. Хабање котрљајних лежишта

Заједничко лежајима са слике 3.9. је недовољно подмазивање уз продирање нечистоћа, које су допринеле бржем хабању лежаја.



Слика 3.9. Разни котрљајни лежаји на површинским коповима

Услед великог оптерећења и много часова рада дошло је до оштећења лежаја и испадања котрљајућих елемената. То је узроковало хабање осовине и кућишта ролне (слика 3.10.).



3.10. Ролна транспортне траке

Тип лежаја на месту уградње са слике 3.11. одликује се малом покретљивошћу (свега 15°). Са четири мазајућа места нема довољну подмазаност, јер маст не долази до свих котрљајућих елемената. Због слабе покретљивости уграђено је више мазајућих места, чиме је спречено поновно јављање описане проблематике.



3.11. Радиоаксијални лежај ослонца багера

У раду пумпе за подмазивање лежаја на овом бубњу дошло је до престанка рада једног вода, који је водио на лежај са слике 3.12. Проблем није био лако уочљив јер је пумпа трошила маст, подмазивајући супротни лежај. Једини начин провере цевне инсталације био је да се она демонтира и провери проток кроз цев. У неком тренутку дошло је до прекида подмазивања и, као што се види са слике, до катастрофалног хабања лежаја.



3.12. Лежај повратног бубња траке 1

Приликом монтаже лежаја најбитнија је правилна монтажа и чишћење канала за подмазивање да би лежај несметано радио. Треба напоменути да је цена овог лежаја 44000€ што додатно изискује да се води рачуна о правилном монтирању и одржавању овог лежаја, да би његов радни век био што је могуће дужи (3.13).



3.13. Лежај вратила радног точка

3.2.3. Хабање зупчастих преносника

На слици 3.14. се види корозионо хабање зупчаника, а каснијом провером је утврђено да је до овога дошло јер је грана која подмазује ове зупчанике била запушена.



Слика 3.14. Зупчаници у редуктору великог транспорта одлагача

Пример лома услед преоптерећења. Зупчаници су претрпели нагло преоптерећење, а у тренутку дешавања, редуктор је постао бучан (слика 3.15.).



Слика 3.15. Зупчаници редуктора – улазни парови

Не зна се тачан узрок појаве spalling-a, подмазивање није изостало, после замене зупчаника, нови су трајали дуже него ови оштећени, па се дошло до закључка да је узрок оштећења био у материјалу зупчаника са слике 3.16.



Слика 3.16. Оштећени зуби зупчаника редуктора погона траке

На слици 3.17. видимо да је дошло до абразивног хабања зуба зупчаника услед продирања нечистоћа између зубаца. Код ових зупчаника подмазивање се врши ручно, слаба је приступачност површинама за подмазивање и тешко је обезбедити површине од уласка прљавштине.



Слика 3.17. Зупчаник за покретање кружног кретања одлагача

Услед прекомерног оптерећења и неактивирања сигурносне спојнице дошло је до ломљења зуба на зупчаницима редуктора(слика 3.18.).



Слика 3.18. Конусни и тањирасти зупчаник редуктора копања

3.2.4. Хабање елемената

На левој слици видимо функцију ролнице, а на десној похабаност ролнице услед заривања лежаја (због великог радијалног оптерећења лежаја које је изазвала трака приликом искошења).



Слика 3.19. Ролница за усмеравање траке за пренос материјала

Пошто је онемогућено окретање ролнице дошло је до трења и клизања траке преко ролнице, као резултат тога настало је усецање траке у материјал ролнице (слика 3.19.).



Слика 3.20. Тркач гусеничног возног механизма багера

Услед лошег подмазивања због запушености канала дошло је до заустављања окретања тркача. С обзиром да више није имао функцију окретања него само клизања, дошло је до атхезионог и абразивног хабања тркача које се види на слици 3.20.

Као последица великог оптерећења на овај тркач који изазива тежина багера и продирања земље на његову стазу кретања дошло је до престанка његове ротације и преласка у клизање које је узроковало хабање тркача.



Слика 3.21. Носећи тркач возног механизма багера

Пошто је изгубио кружни облик и дошло је до заравњења на једном месту, извршено је наваривање као прва помоћ и оспособљавање подмазивањем, да би тркач опет имао функцију окретања до наредног сервиса када ће се заменити (слика 3.21.).



Слика 3.22. Кашика радног точка багера са зубима

Зуби кашике су истрошени од константног абразивног хабања услед ископавања јаловине и песка. Највише се хабају најистуренији зуби на кашици, као што је приказано на слици 3.22.

Услед укошења траке и њеног константног трења о стуб чланка дошло је до усецања (хабања) стуба траком.



Слика 3.23. Стуб чланка транспортне траке

Овим примером се види колико је непрестано трење штетно, јер је у овом случају трака од гуме пресекла метални стуб дебљине зида 5mm, а да при том сама није оштећена (слика 3.23.).



Слика 3.24. Погонски сегменти за гусенички механизам багера

При јаком трењу у току кретања долази до атхезионог хабања сегмената погонског точка о сегмент гусенице. Кад је превелика исхабаност врши се наваривање да би се спречило потпуно пропадање сегмента (слика 3.24.).

Услед зарибаности лежаја (продирањем абразивних честица прашине) на ролни и заустављања ролне дошло је до трења између транспортне траке и ролне, самим тим и хабање кућишта ролне (слика 3.25.).



Слика 3.25. Челична ролна транспортне траке трачног транспортера

Интензивно трење траке (слика 3.26.) о елементе система који је покреће, доводи до интензивног адхезионог хабања (о елементе транспортера) и абразивног хабања (услед продирања песка и јаловине).



Слика 3.26. Транспортна трака за растресити материјал

4. ПРОГРЕСИВНО ПОДМАЗИВАЊЕ РОТОРНОГ БАГЕРА

4.1. Основе прогресивног подмазивања

У машиноградњи посебан сегмент чине места која су изложена трењима и за које је потребно извести адекватно подмазивање да се она у свом раду не би брзо похабала. У том смислу су развијени посебни системи који остварују одговарајуће подмазивање критичних места у машинама по основу трењем угрожених парова са могућношћу контроле извршеног подмазивања и самог праћења функције свих компонената у систему.

Овакви системи са великом поузданошћу извршавају своју функцију и о свом раду дају информацију, тако да се евидентира и прати њихов рад, те кроз квалитетно праћење овог процеса не може да дође до настанка оштећења на постројењу односно на месту где се врши регулисано подмазивање трењем угрожених триболошких парова.

4.1.1. Опис система

Систем за централно подмазивање прогресивног типа у основи се састоји од следећих компонената:

- 1) Електромоторне пумпе, која обухвата: клипну пумпу, електромотор, резервоар и регулационе уређаје. Намењена је за централно подмазивање прогресивног типа, а могуће је употребити је и за појединачна подмазивања. Пумпа је константног протока, клипног дејства и опремљена је, између осталог, уређајима за сигнализацију нивоа мазива у резервоару (ROLLO пумпа), док је МЛП пумпа интегрално решена са управљачком јединицом (VIP controller-ом) за аутоматизацију циклуса подмазивања.

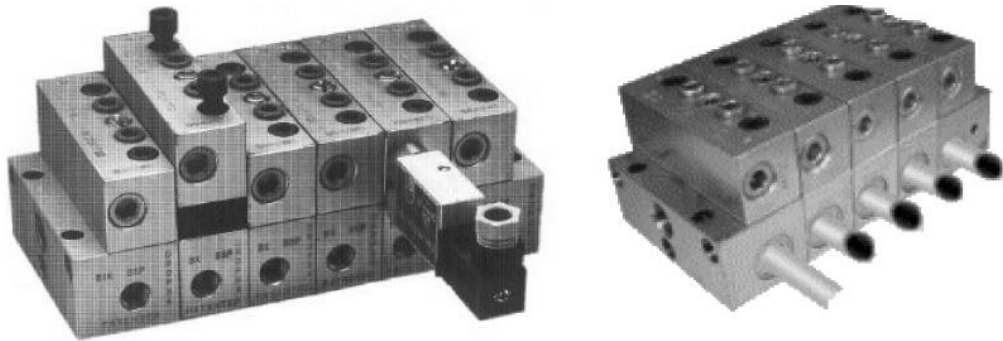
При томе се уређај за сигнализацију минималног нивоа мазива има вишеструку функцију, зависно од изабраног режима рада:

- Заштиту електромоторне пумпе. Искључује погонски електромотор када мазиво у резервоару достигне минимални ниво, у режиму рада са „ручном“ допуном резервоара електромоторне пумпе мазивом.
- Врши укључење агрегата за претакање мазива (опциона варијанта). Укључује погонски мотор када мазиво у резервоару достигне минимални ниво, у режиму рада са „аутоматском“ допуном резервоара електромоторне пумпе мазивом.

Уређај за сигнализацију максималног нивоа мазива (опциона варијанта), без обзира на изабрани режим рада система за допуну резервоара мазивом, служи за искључење погонског мотора агрегата за претакање масти, када ниво мазива у резервоару електромоторне пумпе достигне максимални ниво.

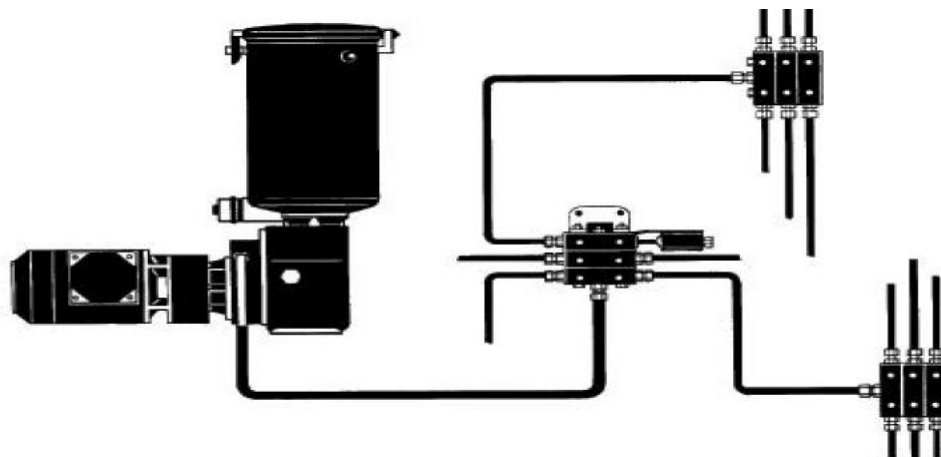
- 2) Прогресивних дозатора, који су као извршни уређаји у систему намењени за централно подмазивање триболошки угрожених парова унапред одређено количином мазива у прогресивним аутоматским или ручним системима централног подмазивања.

Блок прогресивног дозатора је опремљен уређајем/индикатором намењеним за контролу одвијања, односно индикацију завршеног циклуса подмазивања триболошки угрожених парова.

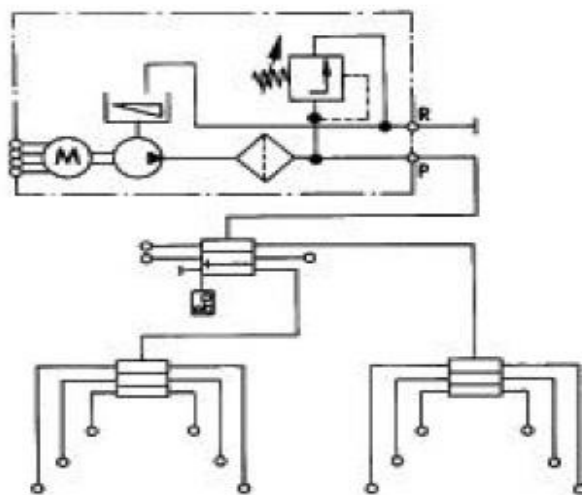


Слика 4.1. Прогресивни дозатори [2]

- 3) Примарних водова система за централно подмазивање прогресивног типа, намењених за напајање прогресивних дозатора средством за подмазивање.
- 4) Секундарних водова система за централно подмазивање прогресивног типа, намењених за напајање триболошки угрожених парова средством за подмазивање.
- 5) Управљачко-регулационе јединице (VIP controller-a) намењене за аутоматизацију радног циклуса система за централно подмазивање прогресивног типа подмазиваног постројења.
- 6) Агрегата за претакање (опциона варијанта), који је намењен за претакање средства за подмазивање (масти) из једног резервоара (транспортне амбалаже) у други (резервоар електромоторне пумпе). Агрегат за претакање, у зависности од варијанте (ручна, пнеуматска или електромоторна пумпа), сачињавају: пумпа, погонски мотор, вентил за ограничење притиска и тег за потискивање средства за подмазивање. Агрегат је предвиђен за уградњу на буре са мазивом, стандардног облика и запремине 200 dm^3 .



Слика 4.2. Концепција система [2]



Слика 4.3. Функционална шема система [2]

На слици 4.2. приказан је начин конципирања инсталације за централно подмазивање прогресивног типа, док је сликом 4.3. приказана функционална шема система за централно подмазивање прогресивног типа.

4.1.2. Систем рада

Систем за централно подмазивање прогресивног типа, који се формира уградњом прогресивних елемената за дозирање у инсталацију за централно подмазивање, спада у групу система за подмазивање са одливом/губитком средства за подмазивање – уља или масти, тзв. „total loss lubrication system“. Са друге стране, с обзиром на конструктивну концепцију и радне карактеристике прогресивних дозатора, системи за централно подмазивање формирану уградњом елемената за

дозирање овог типа, зависно од концепције и принципа рада, могу бити сврстани и у групу проточних система за централно подмазивање циркулационог и total loss lubrication типа.

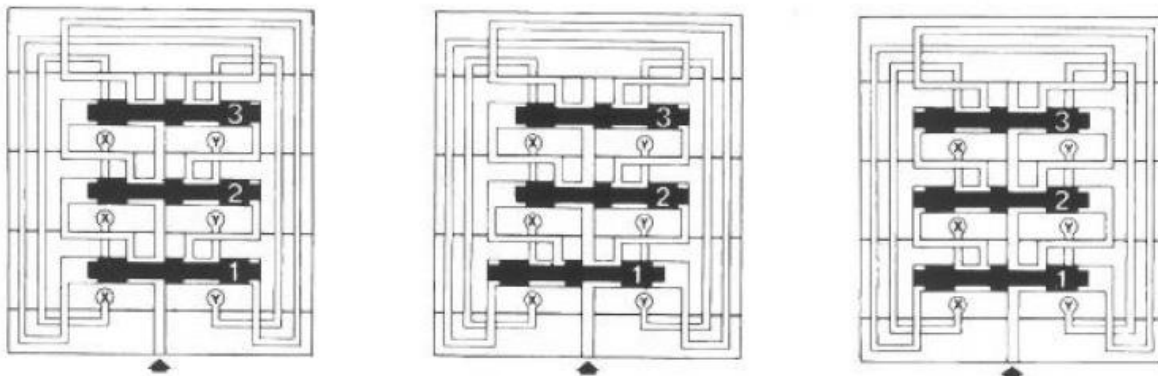
Принцип рада прогресивних елемената за дозирање, односно система за централно подмазивање прогресивног типа, заснива се на следећем:

Агрегат за централно подмазивање прогресивног типа, односно електромоторна пумпа, као извор енергије, која напаја систем за централно подмазивање радним медијумом, потискује средство за подмазивање, уље или маст, примарним водом прогресивног система за централно подмазивање до елемената за дозирање прогресивног типа. Са порастом притиска у потисном воду инсталације за централно подмазивање прогресивног типа, постепено се савлађују отпори настали као последица:

- 1) Силе трења покретних елемената прогресивних дозатора
- 2) Локалних отпора струјања у секундарним водовима инсталације а за централно подмазивање
- 3) Отпора на самом месту подмазивања (триболошки угроженом пару) и друго.

Након савладавања свих отпора, потискује се одређена количина мазива која се налази у комори цилиндра испред дозирајућег клипа у дозатору. Сам циклус подмазивања, односно потискивања дозираних количина средства за подмазивање одвија се под притиском радног медијума у потисном воду инсталације за централно подмазивање реда величине 15 до 250 бара, зависно од интензитета отпора у систему.

Ради објашњења принципа на којима се заснива рад прогресивних дозатора, као почетна (старт) позиција посматра се случај када се сви клипови сегмента прогресивног дозатора налазе у крајњем десном положају.



Слика 4.4. Принцип рада прогресивних дозатора [2]

Фаза 1

Средство за подмазивање под притиском, доводи се централним отвором блока прогресивног дозатора преко леве прстенасте коморе дозирајућег клипа 3 у десну комору дозирајућег клипа 1 и потискујући клип 1 потискује капацитетом сегмента 1 дефинисану количину радног медијума преко десне прстенасте коморе клипа 3, ка десном излазу Y сегмента 1.

Фаза 2

Средство за подмазивање под притиском, доводи се централним отвором блока прогресивног дозатора преко десне прстенасте коморе дозирајућег клипа 1 у десну комору дозирајућег клипа 2 и потискујући клип 2 потискује капацитетом сегмента 2 дефинисану количину радног медијума преко леве прстенасте коморе клипа 1, ка левом излазу X сегмента 2.

Фаза 3

Средство за подмазивање под притиском, доводи се централним отвором блока прогресивног дозатора преко десне прстенасте коморе дозирајућег клипа 2 у десну комору дозирајућег клипа 3 и потискујући клип 3 потискује капацитетом сегмента 3 дефинисану количину радног медијума преко леве прстенасте коморе клипа 2, ка левом излазу X сегмента 3.

Фаза 4

Средство за подмазивање под притиском, доводи се централним отвором блока прогресивног дозатора преко десне прстенасте коморе дозирајућег клипа 3 у леву комору дозирајућег клипа 1 и потискујући клип 1 потискује капацитетом сегмента 1 дефинисану количину радног медијума преко леве прстенасте коморе клипа 3, ка левом излазу X сегмента 1.

Фаза 5

Средство за подмазивање под притиском, доводи се централним отвором блока прогресивног дозатора преко леве прстенасте коморе дозирајућег клипа 1 у леву комору дозирајућег клипа 2 и потискујући клип 2 потискује капацитетом сегмента 2 дефинисану количину радног медијума преко десне прстенасте коморе клипа 1, ка десном излазу Y сегмента 2.

Фаза 6

Средство за подмазивање под притиском, доводи се централним отвором блока прогресивног дозатора преко леве прстенасте коморе дозирајућег клипа 2 у леву комору дозирајућег клипа 3 и потискујући клип 3 потискује капацитетом сегмента 3 дефинисану количину радног медијума преко десне прстенасте коморе клипа 2, ка десном излазу Y сегмента 3.

Информација о завршеном циклусу подмазивања (обављене фазе 1,2,3,4,5 и 6), добија се од индикатора уграђеног у оквиру блока прогресивног дозатора. Поменути сигнал (електрични сигнал) користи се у оквиру аутоматског система управљања системом за централно подмазивање прогресивног типа, као иницијални и прекида рад погонског електромотора електромоторне пумпе.

Наредни циклус подмазивања триболошки угрожених парова почиње да се одвија у зависности од изабране опције управљања, притиском на тастер за ручно стартовање циклуса подмазивања, након унапред задате временске паузе између два узастопна циклуса подмазивања или укључењем, односно стартовањем било којег од погона подмазиваних група градње подмазиваног постројења.

Овим је практично завршен комплетан радни циклус прогресивног дозатора односно система за централно подмазивање прогресивног типа и извршено подмазивање трењем угрожених места подмазиваног постројења.

У циљу аутоматизације циклуса подмазивања, односно обезбеђења опције аутоматског управљања, систем за централно подмазивање прогресивног типа је опремљен управљачко-регулационом јединицом (VIP controller-ом) широког дијапазона регулације, са свим неопходним сигурносно-контролним функцијама које осигуравају подмазивано постројење, а и сам систем за централно подмазивање, од могућих хаварија у току експлоатације.

С обзиром на радне и конструктивне карактеристике трењем угрожених парова као и експлоатационе услове рада подмазиваног постројења, подмазивање је реализовано системом за централно подмазивање прогресивног типа, машћу као средством за подмазивање при чему може бити извршен избор степена аутоматизације, односно начин одвијања радног циклуса система за централно подмазивање, и то:

а) Ручно

Ручно активирање, односно стартовање циклуса подмазивања, потпуно аутоматско одвијање истог, као и његово праћење, у режиму рада који није условљен режимом рада подмазиваног постројења (подмазивање се врши независно од тога да ли је подмазивано постројење у реду или не). При томе, сам циклус подмазивања може да се одвија у два изборна режима рада

- Континуалном режиму рада – подмазивање се одвија аутоматски, у непрекидном наизменичном циклусу подмазивања триболошки угрожених парова
- Временски програмираном режиму рада – подмазивање се одвија аутоматски, а програмски дефинисаном/изабраном паузом између два узастопна циклуса подмазивања.

б) Аутоматско

Аутоматско активирање односно стартовање циклуса подмазивања, потпуно аутоматско одвијање истог, као и његово праћење, у режиму рада који је условљен режимом рада подмазиваног постројења (подмазивање се врши само кад је подмазивано постројење у раду). При томе, сам циклус подмазивања може да се одвија у два изборна режима рада:

- Континуалном режиму рада – подмазивање се одвија аутоматски, у непрекидном наизменичном циклусу подмазивања триболошки угрожених парова
- Временски програмираном режиму рада – подмазивање се одвија аутоматски, а програмски дефинисаном/изабраном паузом између два узастопна циклуса подмазивања.

Допуна резервоара електромоторне пумпе радним медијумом неопходно је вршити периодично, односно према потреби. За ту сврху предвиђен је агрегат за претакање масти. Агрегат за претакање мазива се урања у буре за маст (оригинално транспортно паковање радног медијума) и путем гумене савитљиве цеви прикључене на пумпу агрегата за претакање, прикључује на резервоар електромоторне пумпе.

Допуна резервоара електромоторне пумпе се врши искључиво прописаним радним медијумом (мазивом), до достизања максималног нивоа мазива у резервоару. Индикација о достигнутом

максималном нивоу добија се од уређаја за аутоматску контролу нивоа мазива (опционо) који је уграђен у оквиру електромоторне пумпе.

4.2. Примењено решење подмазивања роторног багера

На роторним багерима у површинским коповима једну од најважнијих ствари за сигурну експлоатацију свакако представља грана подмазивања. Да би рад било ког машинског елемента био што дуговечнији, пре свега он мора бити добро подмазан на местима где долази до трења између два елемента. Ако се то подмазивање врши константно, ако се не дозволи да се делови међусобно додирују, поједини делови могу премашити свој животни век и то вишеструко.

Системи подмазивања који се примењују на роторним багерима су разнолики.

Што се подмазивања густом масти тиче разликује се:

- Ручно подмазивање
- Линијски систем подмазивања
- Прогресивни систем подмазивања

Ручно се подмазују места која ретко врше кретање или је брзина тог кретања изузетно мала.

Линијски систем подмазивања се углавном примењује код лежаја који су изузетно велики и којима је потребан сталан доток масти. Линијски систем не подразумева чињеницу да се користи искључиво за такве врсте лежаја, већ се може користити и тамо где су делови слабо покретљиви, а мала количина мазива која је потребна успоставља се преко аутоматског рада пумпе за подмазивање.

Према вишедеценијским искуствима одржаваоца машинских система на коповима, прогресивни систем подмазивања се показао као најусавршенији. Са једном уљном пумпом може се подмазивати на стотине места, а да се при томе сваком месту допреми потребна количина мазива.



Слика 4.5. Прогресивни систем подмазивања возног механизма багера

На багеру постоји 20 пумпи од којих 14 ради на принципу прогресивног система.

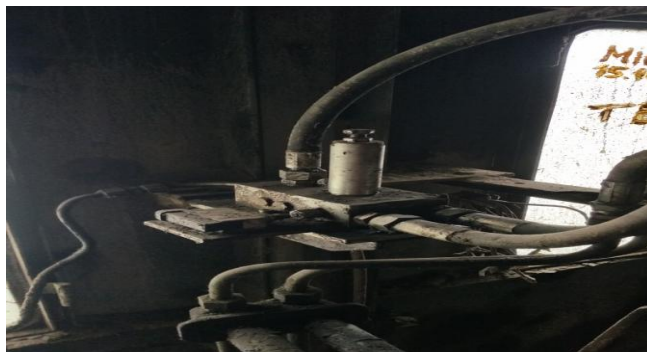
Прогресивни систем се састоји од пумпе, пресмерника, дозатора и цевне инсталације. Пумпа има свој електромотор који је покреће и резервоар за складиштење мазива.



Слика 4.6. Пумпа за прогресивно подмазивање

На слици 4.6. је приказана пумпа која има два клипа за потискивање мазива. У питању је Делимонова пумпа типа ZP 12. Притисци за остваривање подмазивања иду и до 400 bar-а.

Пумпа потискује маст ка оба вода наизменично преко пресмерника и тиме на свако мазајуће место допреми се две дозе масти, чиме се завршава циклус и започиње нови.



Слика 4.7. Пресмерник прогресивног система подмазивања

Пресмерник служи да после успостављања притиска на једном воду и давања једне дозе на потребна места, пребаци на други вод како би други вод одрадио исту функцију и тиме завршио циклус подмазивања.



Слика 4.8. Дозатор прогресивног система подмазивања

Дозатори су инсталирани близу места која се подмазују и примају мазиво преко два вода, па на вентиле у самом дозатору и преко излаза допремају маст до крајње тачке. У самом дозатору постоје мали вентили који служе да отворе и затворе одређене канале у самом дозатору и тиме успоставе сам циклус рада.

4.3. Проблематика прогресивног подмазивња на роторном багеру

Прогресивно подмазивање је јако захвалан систем за одржавање, затвореног је типа, тако да прљавштина које на роторном багеру има у изобиљу, не може доћи у контакт са елементима система у

унутрашњости. Али као и све остало у машинству има своје недостатке. Кварови су разни: квар мотора, пумпе, самих склопова у пумпи, зарибаност пресмерника, заглављивање дозатора и запушености самих инсталација кроз које се допрема мазиво. Кварови на прогресивном подмазивању нису чести, али на роторном багеру има много мазајућих елемената, тако да некад делује да их у ствари има много.

Прогресивни систем ради као што је објашњено у поглављима 4.1. и 4.2. Његово време рада је одређено временом рада елемента који подмазује. Када накупи извесно време рада тог елемента, пумпа се укључи одређени временски период, затим се искључи и опет скупља време када ће се укључити. Када је време рада пумпе предуго долази до беспотребног трошења масти и преобимног подмазивања.



Слика 4.9. Аксијални лежај кружног кретања роторног багера

На првој слици приказано је нормално подмазивање, док друга показује преобимно подмазивање.

Мотор пумпе за мазање после електро квара остао је у сталном раду, што је допринело већем изливању масти (слика 4.10.).



Слика 4.10. Клизни лежај на улежиштењу траке три



Слика 4.11. Возни механизам транспорта багера

Чести проблеми су пуцања црева услед великог притиска, а нарочито у зимским условима када је маст чвршће конзистенције. Ако се проблем јавља константно, уместо црева уграђују се цеви (слика 4.11.).

Један од сигнала да маст не иде на потребно место је и када један вентил остане у горњем положају, док су остали у доњем, радном положају (слика 4.12.).



Слика 4.12. Распоредник система за подмазивање

Услед лоших услова рада долази до продора прљавштине у мазајуће елементе чиме се изазивају поједини кварови. На слици 4.13. видимо како је земља условно речено залепљена на дозаторе. Зато је неопходно околинду дозатора одржавати чистом.



Слика 4.13. Низ распоредника на транспорту багера

5. СИСТЕМ ПОДМАЗИВАЊА ЗУПЧАСТОГ ВЕНЦА РОТОРНОГ БАГЕРА

5.1. Основне карактеристике система подмазивања отворених зупчастих парова

5.1.1. Врсте система за подмазивање отворених зупчастих преносника

Проблем подмазивања је двострук:

1. проблем избора мазива и
2. проблем средства, односно начина подмазивања.

При избору мазива за отворени зупчаник важно је узети у обзир врсту система за подмазивање који користи то мазиво, односно начин којим се мазиво наноси на отворени зупчаник.

У литератури и код произвођача се могу наћи различите поделе врста система за подмазивање отворених зупчаника. Подела типичних система који се користе за подмазивање отворених зупчастих преносника:

- Системи за бризгање/распршивање,
- Гравитационо подмазивање или подмазивање капањем,
- Подмазивање запљускивањем или системом уроњеног међузупчаника,
- Ручно, четком или сипањем.

Уопштено говорећи, ако мазиво на отворени зупчаник треба да се нанесе системом капања, системом подмазивања под притиском или системом за бризгање оно мора бити довољно течно да би могло да протиче кроз опрему система за подмазивање. За наношење четком мазиво мора бити довољно течно да би се подједнако нанело на зубе. У сваком случају, током рада мазиво мора бити довољно вискозно и лепљиво да би се одупрло истискивању из зуба зупчаника. Када се отворени зупчаници подмазују капањем или употребом система за прскање или уроњеног међузупчаника, мазиво не сме бити толико густо да издубљује зубе док урањају у њега. На крају треба истаћи да када се отворени зупчаници подмазују, постојаност или врста мазива и његова лакоћа проточности морају омогућити лако наношење у преовлађујућим радним условима.

Произвођач Delimon не узима у обзир ручну методу, као превазиђену, а у подели ових система наводи још и

- дволинијске системе,
- једнолинијске системе са позитивним померањем,
- једнолинијске прогресивне системе.

Заправо ови системи се подводе под системе за бризгање, као што ће даље бити објашњено.

Од савремених начина подмазивања отворених зупчаника на сајту произвођача помињу се и:

- подмазивање уз помоћ зупчаника за подмазивање, који се израђује од челика или од скора и од полиуретана,
- подмазивање безваздушним системом бризгања.
-

5.1.2. Системи за бризгање/распршивање

Најуобичајенији тип система за бризгање/распршивање који се користи за подмазивање отворених зупчаника је дисконтинуални механички систем за бризгање. Његов начин употребе зависи од мазива отвореног зупчаника које остаје на зубцима након неколико обртаја. У дисконтинуалним системима са бризгаљкама се употребљавају дозатори, који усмеравају мазиво у мазалицу за ваздух и маст, која распршује мазиво на отворени зупчаник уз помоћ ваздуха под притиском. Основни делови овог типа система су пумпа, управљачки систем (контролер), дозатор, разводна грана и бризгаљке.

Начин рада овог типа система је веома јасан. Сигнал из управљачког система укључује пумпу, која снабдева мазивом разводник са позитивним померањем. Разводник може бити *прогресивни*, *дволинијски* или *инјекторског* типа. Одређена количина мазива се водом допрема до разводне гране, одакле се усмерава у бризгаљку. Други вод ваздуха под притиском (обично у опсегу од 80 до 120 фунти по инчу) се усмерава у исту бризгаљку. Овај ваздух под притиском издувава мазиво из бризгаљке на отворени зупчаник. Пошто се унапред одређена количина мазива ослободи, и систем за ваздух и пумпа се искључују до наредног циклуса. Обично постоји кашњење при искључењу ваздуха да би се осигурало да се мазиво очистио из бризгаљке. Сврха је уклонити мазиво из врха бризгаљке да би се спречило да се мазиво осуши и бризгаљка зачепи.

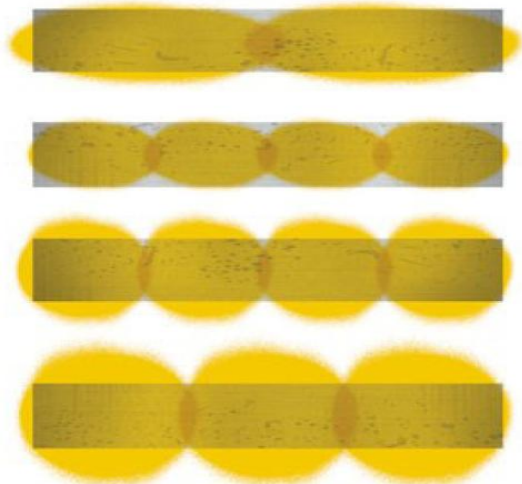
Време бризгања треба да буде једнако времену које је потребно за један или два обртаја да би се обезбедила потпуна покривеност. Периодично посматрање се мора вршити да би се осигурало да се довољна количина мазива наноси да би се обезбедила одговарајућа заштита. Два сата је максимални допуштени интервал времена између наношења према препорукама AGMA 9005-D94.

Количина мазива за отворени преносник зависи од примене у којој се отворени зупчаник употребљава (фабрике, циглане, дреглајни, итд.), брзине на подеоном кругу преносника, номиналне снаге електромотора која погони зупчасти преносник, типа преносника, типа мазива за отворени зупчаник, које ће се применити. У многим применама, добављач може препоручити почетну количину за употребу. Ове стопе наношења су изражене у грамима по сантиметрима ширине зупчаника по сату. Уместо почетних препорука датих од добављача мазива **AGMA** (American Gear Manufacturers Association- Америчко удружење произвођача зупчаника) је издало препоруке за количине мазива дате у стандарду **AGMA 9005-D94**, које се могу искористити у примени дисконтинуалних система за подмазивање.

Пречник зупчаника у метрима (стопама)	¼ Часа					1 Час					2 Часа				
	Ширина зупчаника у метрима (инчима)					Ширина зупчаника у метрима (инчима)					Ширина зупчаника у метрима (инчима)				
	0.2 (8)	0.4 (16)	0.6 (24)	0.8 (32)	1.0 (40)	0.2 (8)	0.4 (16)	0.6 (24)	0.8 (32)	1.0 (40)	0.2 (8)	0.4 (16)	0.6 (24)	0.8 (32)	1.0 (40)
3.0 (10)	5.9	8.9	11.8	14.8	17.8	23.7	35.5	47.3	59.2	71	59.1	88.8	118	148	178
3.7 (12)	8.9	8.9	11.8	14.8	17.8	35.5	41.4	53.3	65.1	76.9	88.8	104	133	163	192
4.3 (14)	8.9	11.8	14.8	17.8	20.7	41.4	47.3	59.2	71.0	82.8	104	118	148	178	207
4.9 (16)	11.8	14.8	17.8	20.7	23.7	47.3	59.2	71.0	82.8	94.7	118	148	163	207	237
5.5 (18)	14.8	17.8	20.7	23.7	26.6	59.2	71.0	82.8	94.7	107	148	178	207	237	266
6.1 (20)	17.7	20.7	23.7	26.6	29.6	71.0	82.8	94.7	107	130	178	207	237	266	325
6.7 (22)	20.7	23.7	26.6	29.6	32.5	82.8	94.7	107	118	142	207	237	266	296	355
7.3 (24)	23.7	26.6	29.6	32.5	35.5	94.7	107	118	130	154	237	266	296	325	385
7.9 (26)	26.6	29.6	32.5	35.5	38.5	107	118	130	142	166	266	296	325	355	414
8.5 (28)	29.6	32.5	35.5	38.5	41.4	118	130	142	154	178	296	325	355	385	444
Табела 1 – Препоруке за количину мазива за дисконтинуалне методе наношења [4]															

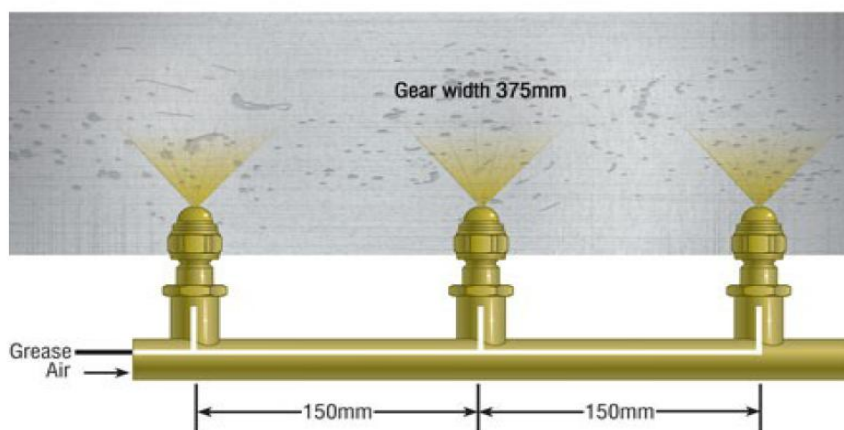
- 1) Време бризгања треба да буде једнако времену потребном за један или пожељно два обртаја зупчаника да би се обезбедила потпуна покривеност мазивом. Периодично посматрање се мора вршити да би се осигурало да се довољна количина мазива наноси да би се обезбедила одговарајућа заштита
- 2) Два сата је максимални допуштени интервал времена између наношења мазива (два бризгања). Чешћа наношења малих количина су пожељнија. Међутим, тамо где се разређивачи користе да би се олакшало распршивање мазива интервал мора бити довољно кратак да би се спречило испаравање разређивача.

Да би се осигурало да се довољна количина мазива наноси и да се одржава поузданост операције, важно је одржати савршену слику бризгања без шупљина. Расподелити мазиво подједнако преко целе висине и ширине бока зуба на оптерећеној страни зупчаника. Број бризгаљки које се користе у датом случају је одређен ширином зупчаника. Типично, четири до шест бризгаљки је потребно. Морају бити смештене тако да обезбеде покривање мазивом дуж целе главе зупца.

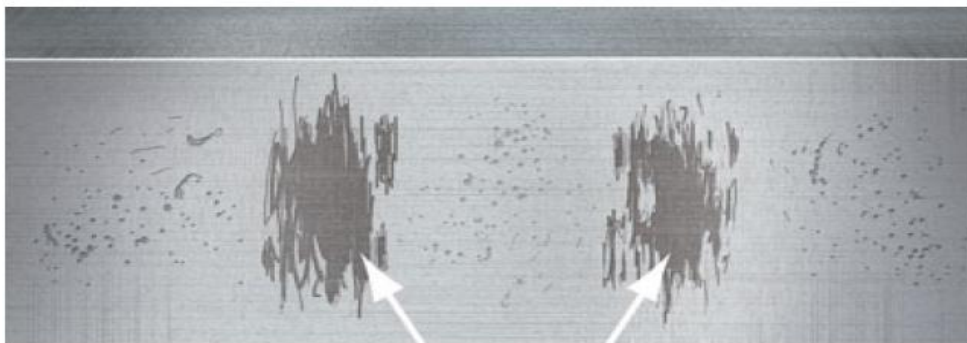


Слика 5.1. Исправна слика мазања на боковима зуба.[3]

Као препорука, за споре отворене зупчанике, који достижу брзину до 10 m/s крајње бризгаљке треба да буду смештене 50 до 65 mm од ивице главе зупчаника са преосталим бризгаљкама смештеним 130 до 180 mm од центра. Позиција бризгаљки је такође у зависности од слике бризгања. Бризгаљке су обично смештене да усмеравају мазиво на оптерећени профил зуба (не погонски) на максималном растојању од 150 до 200 mm од зупца. Исправна слика бризгања на боковима зубаца и илустрација исправног распореда бризгаљки дате су на сликама 5.1 и 5.2.



Слика 5.2. Положај бризгаљки Пример са носачем од три бризгаљке размакнуте међусобно по 150 mm.[3]

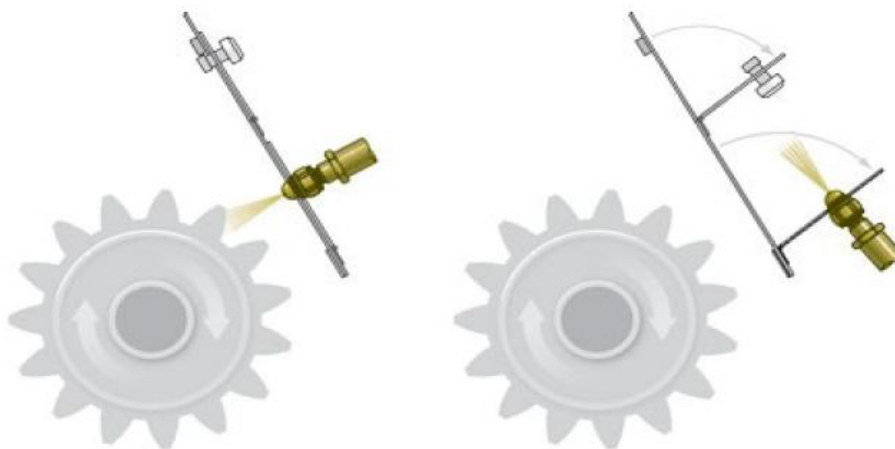


Слика 5. 3. Неправилна слика бризгања на боку зуба.[3]

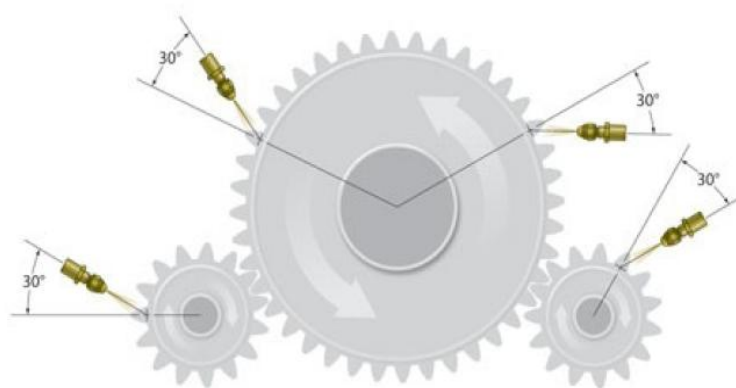
Неодговарајуће слике за подмазивање обично воде хабању на осветљеним површима. Да би се побољшао слој подмазивања потребне су додатне бризгаљке правилно смештене и виши притисак ваздуха.

Ваздух под притиском у цеви за распршивање такође мора бити правилно подешен, иначе мазиво неће бити исправно распршено у капљице. Превисе слаб притисак ваздуха ће резултирати влакнастим изгледом, као на слици 3, док ће превисок притисак ваздуха тежити да издува мазиво са зупчаника. За већину мазива отворених зупчаника притисак ваздуха не сме бити подешен испод 5 bar и изнад 6 bar.

Чак и када би се бризгаљке надзирале помоћу механизма за контролу протока, периодичне провере слике бризгања се препоручују као начин одржања одговарајуће и равномерне покривености отвореног преносника на глави зупчаника.



Слика 5.4. - Препоручена констрикција носача бризгаљки да би се обезбедила лака провера слике распршивања [3]



Слика 5.5. Носачи брызгалки могу бити смештени у четири различита правца ротације [3]

Да би се осигурало да се довољна количина мазива наноси, пошто су цеви за брызгање и слике распршивања подешени, препоручљиво је да се количина мазива, која се избацује из сваке брызгалке измери. Током времена, брызгалке не испоручују одговарајућу количину мазива по циклусу за коју су изведене да испоручују. Превише нанесеног мазива може изазвати штету, док недовољно подмазивање води ка повећаном хабању и на крају до отказа рада дела. Количина мазива, коју је потребно избацити из сваке појединачне брызгалке може се добити од произвођача аутоматског система за подмазивање. На пример, LINCOLN SL-1 тип брызгалке типично избацује 1,31 g мазива по циклусу подмазивања.



Слика 5.6. Исувише подмазани отворени зупчаник [3]

Временска подешавања на аутоматском систему за подмазивање треба на крају да буду подешена на најкраћу учестаност у зависности од врсте мазива које се користи за отворени зупчаник.

5.1.3. Гравитационо подмазивање или подмазивање капањем

Гравитационо подмазивање или подмазивање капањем се могу наћи у млиновима, цигланама, дреглајнима и багерима. Ови системи се састоје од једног или више мазалица за уље, каскадних посуда, напојних водова под притиском или точкова за наношење. Они обезбеђују да мазиво отвореног зупчаника капа у спрегу зуба подешеном брзином. Овај начин подмазивања је ограничен на отворене преноснике са брзинама од 7.5 m/s или мање.

За ове типове система обично се користе асфалтна, синтетичка уља велике вискозности. Ако се користе напојни водови под притиском или точкови за наношење у овим системима се могу користити полутечна маст или гел/ полимер врста мазива отвореног преносника.

5.1.4. Системи са уљном купком (Пљускањем и урањањем међузупчаника)

Системи са уљном купком су најједноставнији начин подмазивања отворених преносника. Зупчаник или међузупчаник у спрези са зупчаником се урања у мазиво, носећи га у спрегу. Системи са урањањем међузупчаника су обично ограничени на отворене преноснике са брзинама испод 1.5 m/s . Неки системи могу садржати пумпе са рецикулацијом и системе за филтрацију. Ови системи се могу наћи у фабрикама и цигланама.

Као уобичајена препорука у овим системима могу се користити асфалтна, високо вискозна синтетичка уља, полутечне масти и гел/полимер врсте мазива отворених преносника. Ако се употребљавају полутечне масти и гел/полимер врсте мазива, мазиво отвореног зупчаника мора бити полутечне или течне конзистенције. Ако је мазиво отвореног зупчаника асфалтно или високо вискозно са синтетичким базним флуидом, вискозност флуида мора бити минимум 1000 cSt на 40

5.1.4.1. Ручно, четком или сипањем

Овај начин подмазивања је један од најстаријих и најопаснијих начина наношења мазива. Коришћен је за подмазивање отворених преносника у фабрикама, цигланама, на дреглајнима и багерима. Овом методом употребљавају се асфалтне и изразито вискозне синтетичке врсте мазива.

Последица може бити не само недовољна количина мазива, већ и уношење загађења у преносник. Наношење мазива за време рада преносника може за последицу имати повреду или чак и смрт мазача.

5.1.4.2. Дебљина слоја мазива и мерило за избор

Примарни режим подмазивања, који је потребан да би се подмазао отворени преносник је еластохидродинамичко (ЕХД) подмазивање.

Према теорији еластохидродинамичког подмазивања пресудан чиниоц је дебљина слоја мазива отвореног зупчаника. Дебљина слоја мазива отвореног зупчаника зависи од динамичке вискозности мазива отвореног преносника, при радним температурама, просечној обимној брзини зупчаника,

оптерећења и геометрије преносника, итд. Утврђено је да услов подмазивања, који постоји код већине зупчаника је претежно еластохидродинамички. Зуби зупчаника су изложени огромним додирним притисцима на релативно малим површинама (могуће великих 30000 bar или 435000 psi), а ипак су успешно подмазани са веома танким слојем мазива. Постоје два разлога:

- Високи притисак изазива да се површине еластично деформишу и да се оптерећење прошири на ширу површину.
- Вискозност мазива значајно расте са притиском, чиме се повећава способност носивости мазива.

Када се дебљина слоја одреди, следећи важан параметар који се мора израчунати је λ коефицијент. Овај коефицијент је дефинисан као коефицијент ЕХД дебљине слоја мазива на храпавост сложене површине металних површина у додиру. Како се λ коефицијент приближава 1 (тј. дебљина слоја је истог реда као и површинска храпавост), може се очекивати да ће бити повећан додир између два зупчаника у спрези.

Треба приметити да је овај прорачун заснован само на вискозности базног уља мазива отвореног зупчаника и не узима у обзир било какав допринос дебљине слоја, који може да потиче од угушћивача мазива или његових чврстих мазива. Поред тога, неке врсте мазива отвореног зупчаника, као што су масни и гел полимер врсте могу садржати слабо вискозне базне флуиде. Ови слабовискозни базни флуиди се користе за смањење изазито вискозних базних флуида присутних у формулацији да би се повећала проточност мазива при условима ниских температура средине. Лако вискозни базни флуиди су испарљиви и троше се у радним условима. Према томе вискозност базног флуида ових мазива отвореног зупчаника се повећава, стварајући лепљив, трајан, слој мазива који се задржава на преносницима.

Поред разматрања дебљине слоја мазива у зависности од изабраног мазива отвореног зупчаника мора се при препоруци одговарајућег типа, врсте и количине која ће се нанети узети у обзир и:

- Захтеви OEM (Original Equipment Maker- произвођач оригиналне опреме)
- Место примене на отвореним зупчаницима: млинови, циглане, дреглајни, багери, итд.
- Температура околине у којој машина ради.
- Климатски услови у којој машина ради: лед, снег, влага, прашина.
- Начина на који се мазиво наноси.
- Ако се наноси брызгањем или аутоматским системом подмазивања, тип система подмазивања који је инсталиран- Farval, Lincoln, Worner, Droppsa, Delimon, итд.
- Врста и карактеристика пумпе која се користи у аутоматском систему подмазивања.
- Ширина погонског зупчаника.
- Број погонских зупчаника.
- Номинална снага електричног мотора.
- Место и број брызгаљки.

Када су сви ови услови познати, одговарајуће мазиво отвореног зупчаника за дату примену може бити изабрано у зависности од методе примене и карактеристика претходно изложених до сада.

Конечно, при замени мазива мазивом отвореног зупчаника или његовом употребом на новој опреми, где претходно није било употребљено никакво мазиво, треба следити следеће поступке:

Поступак који треба следи на новој опреми:

Очистити зупчанике од опиљака и осталих нечистоћа

Обложити погонски и гоњени зупчаник са лаким слојем мазива отвореног зупчаника неком врстом методе бризгања.

Поступак покретања:

Покренути опрему полако без оптерећења да би се потврдило да постоји мазиво дуж целе зоне оптерећења.

Постепено повећати брзину и оптерећење при укључивању аутоматског система подмазивања.

Надзирати непрекидно док се не обезбеди довољно облагање.

За системе са бризгањем:

Пре покретања система подмазивања, прочистити водове за подмазивање и проверити да ли је покривеност потпуна уз помоћ слике бризгања.

Подесити притисак ваздуха и запремину према потреби.

За системе са капањем:

Већина мазива за отворене зупчанике су направљена тако да се задржавају тамо где се нанесу. Мазалице треба да буду одвојене не више од 2 инча.

Поступак који треба следи при преласку са једног на другу врсту мазива:

Прочистити водове за подмазивање темељно.

Почетно временско подешавање повећати за 50 % више у односу на радно да би се осигурало да су сви водови прочишћени и да су остварили довољну покривеност слојем мазива, пре него што се смањи стопа потрошње мазива на радна подешавања.

Поново подесити време да би се одржао прописани слој мазива. Количина мазива не треба да буде смањена нагло, већ у петоминутним интервалима у периоду од 150 до 200 сати за фабрике и 100 до 150 сати за утовариваче, багере, булдозере, дреглајне, роторне багере.

Треба пратити учинак система.

Када се смањује потрошња количине на управљачкој јединици система за бризгање, треба је подесити тако да се осигура да су интервали између циклуса бризгања што је могуће краћи.

Кратки и чести циклуси бризгања обезбеђују да се мазиво наноси равномерно на део. Ово повећава функционалну поузданост.

Подесити притисак ваздуха и запремину према потреби.

Надзирање система подмазивања, стања бокова зуба и слике распршивања је потребно да би се осигурао поуздан рад. Систем бризгања треба редовно одржавати у складу са препорукама произвођача.

5.1.5. Избор врсте система за централно подмазивање зупчастог венца за кружно кретање горње градње багера

Уопштено говорећи, најбоље је изабрати систем централног подмазивања са бризгањем за подмазивање зупчастог венца за кружно кретање горње градње багера и то у зависности од ширине зупчастог венца, ако на багеру постоји компресорско постројење. На мањим багерима, компресорско постројење не постоји, а увођење би било или скупо или немогуће због недостатка простора. У том случају најбоље је изабрати систем подмазивања са међузупчаником. Такав систем подмазивања би се на пример могао применити на Г-IV малом, типа SchRs $\frac{350}{5} \cdot 12$

5.2. Примењена решења система подмазивања зупчастог венца роторног багера

5.2.1. Анализа постојећих система за централно подмазивање зупчастог венца за кружно кретање горње градње багера у РБ Колубара

У РБ Колубара су у употреби различити начини подмазивања зупчастог венца за кружно кретање горње градње. На пољима „Б“ и „Д“ користе се следеће врсте подмазивања:

- *ручно подмазивање* код: глодара I, и III-VI типа SRs 1200, глодар VII типа SchRs, глодар VIII типа SRs 1300.26/5.0(900kW)+VR 10, глодар X типа SRs 1300.24/25.0(400kW), као и код глодара IV малог типа Sch Rs $\frac{350}{5} \cdot 12$, одлагачи O-I O-II типа –B3500.60 BRs, одлагача O-III типа ARs, одлагач O-IV типа BRs/ARs, одлагач O-V типа ARs 1600/37x60x18, одлагач O-VI типа ARs, самоходни транспортер BRs 1200.29/32
- *подмазивање са међузупчаником* код глодара III малог типа C-700s,
- *подмазивање са бризгаљкама* код глодара II типа SRs 1201.24/4-VR, код глодара IX типа SchRs $\frac{1760}{5} \times 320$, као и код „новог банда“ типа BRs .

У Тамнави Западно поље користе се:

- *ручно подмазивање* код: глодара I и IV типа SchRs 630, глодара II типа SRs 2000, ведричара типа ERs 1000, старог одлагача типа BRs 8500, самоходног транспортера BW3 типа BRs $\frac{1600}{17.5+32.5} \times 15$ и BW4 типа BRS 1400.37/50.1
- *подмазивање са међузупчаником* код новог одлагача типа BRs 8500
- *подмазивање са бризгаљкама* код глодара III типа SchRs $\frac{1600}{3} \times 25$.

Као што се види највећи број багера има ручно подмазивање зупчастог венца за кружно кретање горње градње багера. Багери са овим начином подмазивања би требало да се подмазују на сваких 15 дана.

По неким истраживањима оштећења бокова зуба отворених зупчаника са системом за подмазивање са брызгаљкама су у 18 % случајева последица неисправног система за подмазивање, недовољног подмазивања и лошег квалитета мазива.

На терену се може видети да се наношењем мазива ручно не обезбеђује задовољавајућа подмазаност озубљеног венца.



Слика 5.7. Озубљени венац за кружно кретање горње градње Г-4, SRs 1200, са поља „Д“

На сликама 5.7. и 5.8. се може уочити присутност блата на озубљеном венцу и погонском зупчанику и потпуни недостатак слоја мазива. Зуби су зашиљени, оштећени и са питингом.



Слика 5.8. - Стање погонског зупчаника и озубљеног венца Г-4, SRs 1200

За мали број система за централно подмазивање или не постоји документација или је непотпуна.

У овом поглављу, из већ наведених разлога од интереса су централни системи за подмазивање са бризгањем. Следи опис рада појединих карактеристичних система у РБ Колубари и њихова анализа.

Глодар II и глодар IX са поља „Д“ имају сличан систем подмазивања. Систем за подмазивање глодара II није активан већ две године, јер се чека набавка дозатора. Подмазивање се врши 2 пута недељно. Шема подмазивања овог система за глодар II се даје у додатку. Слична таква је и за глодар IX. Основна разлика код ова два глодара када је у питању кружно кретање је та што глодар II има три погонска зупчаника, за разлику од глодара IX, који има два погонска зупчаника. Због тога се разликује и број бризгаљки на овим постројењима. Глодар II има 6 бризгаљки, а глодар IX 4 бризгаљке.

Опис рада система

Постројење је вишеводно са пнеуматском пумпом и буретом и прогресивним дозатором са иглицом, као детектором краја циклуса.

Свако место подмазивања је преко прогресивног дозатора повезано са пумпом за подмазивање. Прогресивни дозатор унутар једног циклуса узастопце снабдева места за подмазивање са мазивом. Иглица контролише и прекида радно време пумпе након што су сви клипови унутар прогресивног дозатора предали своју количину мазива. Ако постоји блокада или ако је резервоар за мазиво празан, иглица више не може да региструје покретање клипова, а сигнал за искључење преко рачунара (SPS) багера на пумпу за подмазивање изостаје. Преко рачунара се трајање циклуса подмазивања ограничава на 2 минута. Ако се након укључивања пумпе за подмазивање у току тог времена ниједан од два пнеуматска прекидача није укључио, онда постројење за подмазивање треба искључити и сигнализирати сметњу.

Додатно је постављен један вентил, који довод компримованог ваздуха отвара само онда, ако је укључено учвршћено обртно постоље.

Замишљено је да се када се маст потроши буре замени новим, пуним буретом. Пројектант је избор овог типа пумпе образложио потребом да се овим начином спречи контаминација приликом досипања масти, која се раније дешавала код претходног система са вишелинијском пумпом LINCOLN TYP 115. Ово међутим представља проблем с обзиром да буре од 200 l треба довозити камионом и подићи дизалицом. На Г-9 мазачка просторија није приступачна за дизалицу. На терену се може видети да се буре отвара и маст у њега досипа, чиме употреба овог типа пнеуматске пумпе са буретом губи свој смисао.



Слика 5.9. Пнеуматска пумпа са буретом на Г-2 са поља „Д“

Глодар 9 троши 200 l масти недељно. Неопходно је смањити интервал подмазивања.

Глодар 3 са Тамнаве Западно поље, као и „Нови Банд“ са поља „Д“ имају потпуно исти систем подмазивања. И овде је неопходно смањити количину мазива.



Слика 5.10. Претерано подмазивање погонског зупчаника Г-3 на Тамнави Западно поље

Опис рада система

Систем се састоји од: пумпе са резервоаром од 60, филтером и сигурносним вентилом, која се погони електромотором, 3/2 разводника, електромагнетно активираних са опругом, два прогресивна дозатора са индуктивним давачем сигнала краја циклуса рада дозатора и протоком од 0,50 по излазу, 4 прогресивна дозатора са протоком од 0,17 по излазу, компресора, ручног вентила, припремне групе за ваздух, два 2/2 електромагнетно активираних разводника са опругом и 12 брызгалки са неповратним вентилима, управљачким системом, који је повезан са главним багера, цевоводом, цревима и арматуром.

Разводник 3/2 у једном положају шаље маст на један дозатор, који даље расподељује маст на два дозатора, који подмазују оба погонска зупчаника, при обртању зупчаника у једном смеру

Подмазивање погонског зупчаника за кружно кретање Одлагача О-8500 врши се уз помоћ посебног зупчаника за подмазивање са отворима за маст дуж бокова зубаца. Зупчаник је израђен од челика. Исти систем подмазивања погонског зупчаника за кружно кретање користи се и код глодара Г-3 малог на пољу „Б“.



Слика 5.11. Подмазивање уз помоћ зупчаника за подмазивање одлагача О-8500



Слика 5.12. Неравномерно подмазивање зубаца услед запушености отвора зупчаника за подмазивање

5.2.2. Избор врсте масти, количине масти и интервала подмазивања (прорачуни и препоруке)

Са мастима уобичајене тврдоће 0, 1, 2, али са побољшаним својствима пријањања подмазују се отворени зупчаници системима за бризгање масти. То су зупчаници веома великих габарита, пречника 2 и више метара, као што је и озубљени венац за кружно кретање горње градње багера.

Масти које се бирају треба да обезбеде задовољавајуће подмазивање у условима малих брзина, а великих оптерећења. У том случају одговарају гушћа, вискознија, тврђа мазива.

На постројењима у Колубари се користи мазиво фабрике мазива Крушевац ФАМГЕН 10 из групе ФАМГЕН мазива за зупчасте преноснике следећих карактеристика:

	задовољава спецификације	Тачка капања (°C)	Пенетрација на 30 °C (mm/10)	Окисидациона стабилност 100h/100°C(kPa)	Апарат са 4 кугле		Област примене производа
					Тачка сваривања (N)	Средњи пречник хабања (mm)	
ФАМГЕН 0	ISO L-XBCHB 0	188	1200	80	6000	0,6	Подмазивање отворених зупчаника, озубљених венаца и летви, које раде на отвореном простору у индустријама неметала и металургији (дробилнице ротационих пећи, млонови, навојне пресе), на рударској, грађевинској (багери, витла) и транспортној механизацији (обртна постоља разних дизалица).
ФАМГЕН 4	ISO L-XBCHB 3 FAM IS 01 602	193	-	40	3150	0,65	
ФАМГЕН 10	FAM IS 01 602 ISO-L-XBDHB 3	350	180	10	8000	0,6	

Табела 2. Карактеристике мазива за зупчасте преноснике, из каталога производа ФАМ [4]

Количина мазива се одређује емпиријски, полазећи од препорука, које је издаје AGMA (American Gear Manufacturers Association- Америчко удружење произвођача зупчаника). У табели 1. дата је таква препорука у зависности од ширине зупчаника. У литератури постоје и изрази за прорачун

количине мазива и интервала бризгања, али се показује да су оне добре само у илустративном смислу. Њима се може показати од чега све количина мазива зависи.

5.2.3. Одређивање дебљине зида цеви, избор дозатора, мазалица и арматуре

Цеви и цевни водови су елементи за транспорт флуида (флуидних материјала) као што су вода, водена пара, гас, нафта, уље, маст, итд. Цевни системи се састоје од спојених цеви у низу и потребне опреме за остваривање функције. Опрема цевовода као што су цевни затварачи компензатори деформација, ослонци цевовода, елементи за одвајање кондензата и испуштање ваздуха, елементи за редукцију притиска, сигурносни елементи итд. спада у групу машинских склопова који се заједничким именом зову арматура. Цеви су цилиндрични, издужени облици, на крајевима обликовани тако да се могу остваривати везе у дуге водове за транспорт флуидних материјала. Величина унутрашњег пречника зависи од потребног протока и брзине струјања тј.

$$d = \sqrt{\frac{4q}{\pi v}},$$

где је q — запремински проток флуида, v — брзина струјања флуида.

Дебљина зида цеви зависи од пречника, притиска флуида p и од дозвољеног напона у зиду цеви. Ако се зид цеви сматра танким, што је најчешћи случај, потребна дебљина зида је

$$s = \frac{dp}{2\sigma_{doz}} + c_1 + c_2$$

$$\sigma_{doz} = \frac{(R_{p0,2})_g \xi}{S}$$

Напон течења $(R_{p0,2})_g$ материјала цеви односи се на одговарајућу радну температуру, а утицаји који доприносе слабљењу зида цеви обухватају се корекционим фактором $\xi \leq 1$. Степен сигурности S , осим утицаја расипања критичног и радног напона, укључује и одређена поједностављења у прорачуну. Смањење дебљине зида услед корозије и услед одстипања при изradi, обухвата се додацима c_1 и c_2 . Дебљина зида цеви се повећава са повећањем пречника, при непромењеном притиску. За веће притиске потребне су цеви дебљих зидова.

5.2.4. Управљачки систем за постројење за подмазивање зупчастог венца

Уопштено говорећи постоје три начина да се постројењу за подмазивање обезбеди управљање:

- релејно, најстарији начин
- уз помоћ индустријског рачунара, који служи само за то постројење, уз могућност прослеђивања његових излаза главном индустријском рачунару багера.

- уз помоћ главног индустријског рачунара багера.

Глодари SRs 1200 имају релејно управљање целог багера, односно немају главни индустријски рачунар, па се предлаже да се у овом случају примени управљање уз помоћ засебног индустријског рачунара. Предности оваквог начина управљања би биле лако подешавање интервала циклуса подмазивања и могућност надзирања рада постројења за централно подмазивање.

5.2.5. Заштитни и сигурносни елементи инсталације

Електричне инсталације

Заштита од рада пумпе без масти решена је нивостатом, који контролише минимални ниво масти.

Заштита од рада пумпе у колико на цевоводу за маст додђе до оштећења, решена је временским релејима, који контролишу време за које се један комплетан циклус рада пумпе обави. Уколико систем за радно време не обави комплетан циклус, значи да је дошло до неконтролисаног цурења масти и систем се искључи и алармира.

Сви наведени заштитни системи делују на искључење система из рада, укључење светлосног сигнала аларма на ормарићима и укључење светлосног и звучног аларма на командном месту машинисте. По отклањању узрока кvara систем се враћа у радно стање притиском на тастер ИСКЉУЧЕЊЕ АЛАРМА.

Заштита од додира делова под напоном решена је правилним избором електро опреме, у довољној заштити од случајног додира, као и закључавању разводних ормана.

Заштита од превисоког напона додира решена је у складу са усвојеним заштитним системом машине, системом заштитног вода. Сва електро трошила повезана су међусобно и са конструкцијом заштитним водом. Напајање трошила електро енергијом врши се са трансформатора изолованим звездиштем. У главном разводном орману багера, предвиђени су системи за контролу отпора изолацији инсталацији, па заштита задовољава захтеване услове.

Остале заштите

Уграђени цевоводи и арматуре су одабрани тако да могу издржати притиске који се јављају у нормалном раду.

У случају повећања притиска у инсталацији, а у случају да контролни систем откаже пумпе су осигуране вентилима сигурности подесивим у опсегу 0÷ 400 bara и заменљивим распрскавајућим плочицама.

5.3. Утицај спољашњих фактора на хабање у условима површинског копа

Највећи проблем отворених зупчаника је њихова константна изложеност спољашњим утицајима. Не постоји стопостотна заштита која би их трајно заштитила, те се зато и зову отворени зупчаници. Поред наведеног у претходним поглављима, везано за подмазивање, мора се обратити пажња на проблеме које ствара продор контаминената из окружења. Приликом продирања контаминената у само међузубље, долази до абразивног хабања зупчаника, а у додиру са масти доводи до њене запрљаности чиме се угрожава нормалан и неометан рад зупчаника. Након запрљаности, враћање у првобитно стање изискује застоје у систему, и превелики рад како би се све то очистило. Сама чињеница да је зупчани пречника приближно 10м довољно говори о сложености посла.



Слика 5.13. Зупчаници кружног кретања багера

На слици 5.13. се види колико има земље у додиру са зупчаницима, која може да изазове хаварије великих размера и доводи до интензивног хабања зуба на зупчаницима. Због малог броја извршилаца који обављају чишћење багера, често се не очисти у потпуности предео око зупчаника кружног кретања, и у том стању се багер пушта у рад како не би било превеликог застоја, не слутећи да ће током времена доћи до хабања зуба на зупчаницима, и тиме до већих застоја због замене истих и излагања превеликим трошковима који су неминовни.

На приложеној слици 5.14. се види катастрофална похабаност зуба зупчаника услед продора земље у међузубље. После дужег временског периода рада зупчаника у овим условима, дошло је до потпуног скидања масти од стране земље што је и изавало убрзану похабаност зуба.



Слика 5.14. Зуби зупчаника кружног кретања багера

6. ЗАКЉУЧАК

Поред квалитетне организације процеса и поступака одржавања рударске механизације, за квалитетан рад ових машинских система у савременим условима неопходан је правилан избор конструкцијских решења са аспекта трибологије. Екстремно отежани услови рада техничких система на површинским коповима захтевају специфичне приступе у поступцима опслуживања, међу којима се нарочита пажња посвећује трибомеханичким системима. Укупна ефективност система машинског одржавања у високом степену је условљена правилним избором средстава и метода за спречавање сувог трења. Најзахтевнији машински технички систем у овом смислу је роторни багер, основна и најкомплекснија машина на површинским коповима.

У раду су издвојени примери трибомеханичких система на овим машинама, уз приказ актуелних теоријских знања у овој области. Паралелно су представљена искуствена знања на бази дугогодишњих искустава вршилаца функције одржавања.

Детаљно је обрађен систем за подмазивање прогресивног типа на роторном багеру, који се с обзиром на радне и конструктивне карактеристике широко примењују техничким системима овог типа. Намењен је отежаним условима површинских копова, за подмазивање клизних и котрљајних лежаја и зупчастих парова, као и других триболошки захтевних елемената у систему роторног багера.

Вишегодишњом експлоатацијом рударских машина и опреме, радом су обухваћена нека јединствена решења која су развијена употребом специфичних система, који остварују одговарајуће подмазивање критичних места у машинама. Приказане су могућности контроле извршеног подмазивања и самог праћења функције свих компонената система. Рад представља сублимацију свакодневних искустава са трибомеханичким системима.

7.ЛИТЕРАТУРА

- [1] Слободан Митровић, *Трибомеханички системи – писана предавања*, Универзитет у Крагујевцу, Факултет инжењерских наука, (2014)
- [2] Мирослав Меденица, Душан Шотра, *Прогресивни систем за централно подмазивање - стручни рад*, Универзитет у Београду, Висока техничка школа Београд, (2010)
- [3] Владимир Савић, *Трибологија и подмазивање*, Икос, Нови Сад, (1995)
- [4] В. Савић, О. Ковач, *Подмазивање мастима*, Југона, Загреб, (1981)
- [5] Милосав Огњановић, *Машински елементи*, Универзитет у Београду, Машински факултет, (2008)