

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Милан М Дашић

**Карактеризација резних уља
примењених у обрадним CNC
центрима у Компанији Слобода
Чачак**

Мастер рад

Крагујевац, 2020.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Трибомеханички системи

Број индекса: 399/2018

Милан М Дашић

**Карактеризација резних уља
примењених у обрадним CNC центрима
у Компанији Слобода Чачак**

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Слободан Митровић

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА
Катедра за: Производно машинство
Предмет: Трибомеханички системи

МАСТЕР РАД

са темом:

Карактеризација резних уља примењених у обрадним CNC центрима у Компанији Слобода Чачак

За кандидата: Дашић Милан, број индекса: 399/2018

У оквиру мастер рада кандидат треба да изврши прикупљање и систематизацију података о резним уљима и њиховој триболошкој карактеризацији. У експерименталном делу рада извршити испитивање одабраних резних уља и одредити њихове триболошке карактеристике.

Мастер рад треба да садржи следеће целине:

1. Уводна разматрања
2. Основе трибологије
3. Примена резних уља
4. Обрадни центри
5. Експериментално испитивање
6. Закључци
7. Литература

Крагујевац, _____

Ментор:

Проф. др Слободан Митровић

РЕЗИМЕ

Тема овог рада је испитивање резних уља помоћу одговарајуће опреме. Испитују се триболошке карактеристике резних уља, тј. мерена је вредност коефицијента трења и ширина трага хабања и одређују се површина и запремина зоне хабања. Опрему за испитивање чине трибометар TR-95, контактни пар на трибометру (плочица и диск), универзални мерни микроскоп UIM-21, оптички микроскоп MT8500 и уље које се испитује. Резна уља која се испитују су MOL POLIMET ME 20, REZOIL NEP 22 DB, SG 32 N EKO и SG 42. Ради добијања што тачнијих података, за испитивање сваког од ових уља се на плочици прави по три трага хабања, а средња вредност ширине тих трагова се узима као меродавна за одговарајуће уље.

Циљ оваквог испитивања је упоредна анализа горе наведених уља и одређивање уља са најбољим карактеристикама – најмањи коефицијент трења и најмања ширина трага хабања за ову контактну геометрију на трибометру. За испитивање ће бити коришћена константна вредност нормалног оптерећења на контактни пар од 30N, која се занемарљиво мења у току експеримента.

Кључне речи:

резно уље, трибометар, обрада резањем, хабање, трење

ABSTRACT

The topic of this paper is the testing of cutting oils using appropriate equipment. The tribological characteristics of cutting oils are examined, the value of the friction coefficient and the width of the wear trace are measured and the area and volume of the wear zone are determined. The test equipment consists of a tribometer TR-95, a contact pair on the tribometer (plate and disk), a universal measuring microscope UIM-21, an optical microscope MT8500 and the oil being tested. The cutting oils to be tested are MOL POLIMET ME 20, REZOIL NEP 22 DB, SG 32 N EKO and SG 42. In order to obtain the most accurate data possible, three traces of wear are made on the plate for testing each of these oils, and the mean width of these traces are taken as authoritative for the corresponding oil. The aim of this test is a comparative analysis of the above oils and the determination of oils with the best characteristics - the lowest coefficient of friction and the smallest width of the wear trace for this contact geometry on the tribometer. A constant value of the normal load on the contact pair of 30N, which changes negligibly during the experiment, will be used for the test.

Keywords:

cutting oil, tribometer, cutting, wear, friction

Захвалност

Свом ментору, др Слободану Митровићу, редовном професору на саветима и смерницама у изради мастер рада.

Својим родитељима на стрпљењу и подршци,

својим колегама из Компаније Слобода на разумевању.

Садржај:

1. Уводна разматрања	1
2. Основе трибологије	3
2.1 Трење.....	7
2.2 Хабање.....	10
2.2.1 Адхезионо хабање	10
2.2.2 Абразивно хабање	12
2.2.3 Заморно хабање	14
2.2.4 Трибохемијско хабање	15
2.3 Подмазивање.....	15
2.3.1 Састав уља за подмазивање	16
2.3.2 Адитиви	17
2.3.3 Карактеристике уља за подмазивање	20
3. Примена резних уља	22
3.1 Врсте резних уља	24
3.2 Уљне емулзије	25
3.3 Чиста уља за резање	26
3.4 Препоруке за избор средства за хлађење	27
4. Обрадни CNC центри	28
4.1 Структура нумерички управљаних машина	29
4.1.1 Погонски систем.....	30
4.1.2 Мерни систем.....	31
4.1.3 Управљачки систем	32
4.1.4 Носећи и ослони елементи.....	33
4.1.5 Систем за измену алата	33
4.1.6 Систем за хлађење и подмазивање	35
4.1.7 Нумеричка управљачка јединица.....	35
4.1.8 Командна табла.....	36
4.2 RAIS ST 32 GS	38
4.3 TAJMAC - MORY-SAY TMZ 842.....	39

5. Експериментално испитивање	41
5.1 Опрема за испитивање	42
5.1.1 Трибометар TR-95	42
5.1.2 Мерни микроскоп	44
5.1.3 Оптички микроскоп MT 8500.....	45
5.1.4 Контактни пар	46
5.2 УЉА КОРИШТЕНА У ИСПИТИВАЊУ И ЊИХОВЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ	48
5.2.1 SG 42	48
5.2.2 SG 32 N ЕКО	50
5.2.3 REZOIL NEP 22 DB.....	51
5.2.4 MOL POLIMET ME	52
5.3 Резултати експеримента	54
6. Закључак	63
7. Литература.....	64

1. Уводна разматрања

Одлуком Владе ФНРЈ од 10. јула 1948. године донето је решење о оснивању Предузећа „Слобода“ Чачак, са задатком да производи предмете наоружања и војне опреме за потребе војске. За почетак рада „Слободе“ усваја се 6. октобар 1948. године, а новембра 1949. године почиње званично производња. Седам деценија било је сасвим довољно да Слобода постане једна од највећих компанија металског комплекса у овом делу Европе. Поседује модерну производну опрему, квалитетне стручњаке у свим фазама развоја и производње од планирања до пројектовања. Поседује изузетно опремљене лабораторије и центре за испитивање и тестирање, технолошко и пословно повезане са водећим светским фирмама које се баве истом делатношћу.

Компанија Слобода је познато и признато име на светском тржишту, име које је било и остало синоним квалитета производа и услуга, квалитета укупне вредности. Од некадашње једноставне производње реализоване на старим струговима, данас стручњаци компаније Слобода захваљујући знању и искуству већ доказаном на тржишту, пружају услуге из области инжењеринг послова.

У периоду од 1995. до данас развијено је више од 150 нових артикала, што је довољан показатељ развоја и укупне пословности. Код појединих технологија заступљене су веома савремене технолошке методе. У области обраде деформацијом, хладно истискивање на вишестепеним пресама, дубоко извлачење са редукацијом дебљине зида на аутоматским хоризонталним пресама. Затим у обради резањем, заступљена је савремена CNC опрема, а у преради експлозива опрема је на нивоу савремених светских достигнућа [4].



Слика 1. Асортиман производа компаније "Слобода" а.д. – Чачак [4]

У току обраде резањем, на контакту радног предмета и резног алата се ствара висока температура која изазива хабање ивице резног алата и друге неповољне утицаје који смањују продуктивност алата. Такође, услед адхезионих сила, материјал се лепи за ивицу и ствара додатне проблеме у раду. Ове негативне појаве код обраде резањем се смањују или у потпуности уклањају употребом одговарајућег резног уља у зависности од материјала и геометрије. Ресна уља која се испитују су MOL POLIMET ME 20 које је заменило уље SG 32 N EKO на обрадном центру RAIS ST 32 GS у, REZOIL NEP 22 DB које је заменило уље SG 42 примењивано на MORI-SAY TMZ842. Циљ оваквог испитивања је упоредна анализа горе наведених уља и одређивање уља са најбољим карактеристикама – најмањи коефицијент трења и најмања ширина трага хабања за ову контактну геометрију на трибометру.

У другом поглављу су скромно описани основни термини из Трибологије, као што су трење, хабање и подмазивање. Дата је подела основних врста трења, објашњени основни принципи хабања, док основним терминима и методама подмазивања није поклоњена већа пажња.

У трећем поглављу описана на улога и значај резних уља у обради резањем, врстама резних уља, као и њихова основна подела.

У четвртном поглављу су приказани и скромно описани обрадни CNC центри који су окосница обраде резањем у Компанији Слобода у Чачку. Уља која су примењивана на тим обрадним центрима, касније њихове замене биле су повод за испитивање резних уља и проналажења најбољег резног уља.

У петом поглављу је приказано експериментално испитивање претходно поменутих резних уља. Приказана је и описана сва неопходна опрема која је коришћена у току испитивања у циљу одређивања најбољег резног уља од укупно четири која су се испитивала.

На крају рада, дати су закључци и преглед коришћене литературе.

2. Основе трибологије

Према основној дефиницији, трибологија је наука и технологија о узајамном дејству контактних површина при релативном кретању. У пракси је присутна и дефиниција према којој је трибологија наука и технологија о процесима трења, хабања и подмазивања. Последњих година, трибологија се схвата све више као интердисциплинарна наука и технологија о проблемима преноса и расипања маса и енергије у механичким системима, са посебним нагласцима на процесе трења, хабања и подмазивања [1].

Трибологија се сврстава у једну од новијих технологија, која у великој мери утиче на развој, пројектовање и израду механизма свих врста нових машина, уређаја и транспортних средстава. Напори које развијене земље чине, ради смањења утrophа енегрије и материјала, као и за смањење еколошких проблема, не могу да доведу до већих резултата без додатних истраживања у свим областима трибологије[1].

Са развојем трибологије долази до нових триболошких термина који се односе на поједине уже области ове широке интердисциплинарне науке. Све више се користе следећи термини [1]:

- Трибоанализа - део трибологије који се односи на сакупљање и систематизацију научних информација о фундаменталним аспектима процеса трења и хабања. Проучавања суштине ових процеса врше се применом физичких, хемијских и математичких метода.
- Трибоматеријали - део трибологије који се односи на развој нових материјала са триболошког аспекта и одређивање триболошких карактеристика постојећих материјала. Овим делом трибологије су обухваћени развој и методе одређивања триболошких карактеристика мазира свих врста (чврстих, течних и гасовитих)
- Триботехнологија - део трибологије који обухвата обрадне процесе свих врста (резање, деформацију, неконвенционалне поступке), којима се формирају контактне површине и методе за побољшање њихових триболошких карактеристика (превлаке, јонска имплементација, отврдњавање и слично.
- Триботехника - део трибологије који се односи на пројектовање и израду трибосистема и његових елемената у свим врстама индустрије, уз коришћење знања садржаних у трибоанализи, трибоматеријалима и триботехнологији.
- Трибометрија – део трибологије којим су обухваћена средства и методе мерења сила трења у зонама контакта, хабање елемената трибосистема, температура, храпавости површина, величина контурне и реалне површине контакта, контактна деформација и друго.
- Трибодијагностика – део трибологије који се односи на методе и средства за непрекидну контролу триболошких параметара трибосистема и његових елемената у току процеса рада производне и друге опреме.

- Трибоинформатика – посебна област трибологије, која се развија последњих година, због неопходности систематизације све већег броја триболошких информација и потребе за побољшањем ефикасности његове размене између научних институција и других могућих корисника триболошких знања.
- Трибобиологија – део трибологије који се бави проучавањем процеса трења и хабања у трибо-механичким системима садржаним у телу човека (зглобови и слично).

Триболошки проблеми у савременим индустријским и транспортним системима су веома велики и веома разноврсни, због великог броја трибо-механичког система преко којих функционишу транспортна средства, производна и друга опрема. Међутим, триболошки проблеми могу да се поделе у две основне групе [1]:

У прву групу сврставају се триболошки проблеми, који настају због расипања енергије при остваривању релативног кретања два тела у додиру (чврстих елемената трибо-механичких система). Расипање, односно губитак енергије настаје у зони додира два елемента трибо-механичких система, као последица потребе за савлађивањем силе трења, која се супротставља њиховом релативном кретању. Од укупне енергије која се троши у производним процесима у индустрији, на савладавање силе трења троши се 30 до 50 % у зависности од врсте производње. Највећи део ове енергије претвара се у топлоту, која може да изазива бројне негативне последице на елементима производне опреме, на пример, као и на производима производних процеса.

Друга група триболошких проблема односи се на последице које процес кретања и расипања маса (процес хабања) у трибомеханичким системима оставља на његовим елементима. У току остваривања контакта појављују се промене на контактним површинама елемената трибомеханичких система, које се односе како на промену њихове храпавости, тако и на промену њиховог облика или димензија. Развој процеса хабања доводи до појаве критичне величине похабаности једног или више елемената трибосистема, при којој његово функционисање није више могуће. Последице потребе за заменом похабаних појединих елемената трибомеханичких система или трибомеханичким система у целини новим, по производне процесе су бројне и често веома скупе.

Триболошки проблеми у индустријским и транспортним системима могу да се решавају на више начина. Пут ка смањењу трења и хабања води, пре свега, преко избора материјала у додиру (коефицијент трења зависи и од врсте материјала од кога су елементи израђени) и избора оптималних услова обраде контактних површина. Ово значи да борба против трења и хабања почиње при пројектовању производа и технологија израде. Савремени прилази смањењу трења и успоравању процеса хабања заснивају се и на коришћењу превлака различитих врста, које се наносе на контактну површину критичног елемента трибосистема, или се користе методе побољшања триболошких карактеристика контактних слојева основних материјала. Један од најстаријих и врло ефикасних начина смањења трења и успоравања процеса хабања, заснива се на раздвајању контактних површина трећим елементом (мазивом), који може да се користи у свим агрегатним стањима. Поступци раздвајања контактних површина, ради смањења трења и успоравања процеса хабања, мазивом припадају области трибологије која се назива "Мазива и подмазивање"[1].

Триболошки процеси одвијају се у основним трибомеханичким системима које, по правилу, чине два чврста елемента у додиру уз присуство мазива као трећег елемента. На развој триболошких процеса у основним трибомеханичким системима може, али не мора, да има утицај и околина у којима они егзистирају. Продуктивност и поузданост производних процеса у индустријским системима, трошкови одржавања производне и друге опреме, трошкови енергије и трошкови производње у целини, зависе и од величине трења и интензитета хабања у зонама контакта бројних основних трибомеханичких система. Карактеристике основних трибомеханичких система, у којима се одигравају процеси трења и хабања, за време трајања производних процеса, зависе од врсте материјала сва три елемента система и услова под којима се контакт у њима остварује (брзина релативног кретања, спољашње оптерећење, режим подмазивања и слично) [1].

Контакт у основним трибомеханичким системима може бити остварен између чврстих елемената изграђених од металних или неметалних материјала, уз или без присуства трећег елемента – мазива. Могуће су три врсте контакта: метал – метал, метал – неметал и неметал – неметал [1].

У индустријској пракси сусрећу се и основни трибомеханички системи у којима се остварује контакт између једног чврстог елемента и другог течног или гасовитог елемента. Код обрадних процеса, без обзира на врсту обраде (резање, деформисање), основне трибомеханичке системе чине увек предмет обраде, алат и средство за хлађење и подмазивање. Разлике постоје у природи материјала елемената система, у оптерећењима зоне контакта и релативним брзинама. Велике разлике постоје и у топографијама контактних површина и температурама зоне контакта. На Слици 2.1 приказани су примери трибомеханичких система који су тема овог рада [1].



Слика 2.1 Трибомеханички системи обраде резањем [3]

Управљање триболошким процесима у индустрији своди се на управљање процесима трења и хабања у основним трибомеханичким системима. Без обзира којој групи трибомеханичких система припадали, циљеви управљања процесима трења и хабања у основним трибомеханичким системима су увек исти. Да би се смањио утрошак енергије у основном трибомеханичком систему, неопходно је стварати услове за појаву мање силе трења, односно мањег отпора кретању једног елемента по другом [1].

Да би се смањио губитак масе материјала у систему неопходно је стварати услове за спорији развој процеса хабања појединих елемената система. Успоравањем процеса хабања, стварају се услови за продужења века трајања елемената трибомеханичких система, а тиме и за смањење трошкова са којима производна и друга опрема оптерећују производе индустријског система. Као што је познато, потпуно заустављање развоја процеса хабања, као и потпуно уклањање трења у зонама контакта није могуће остварити [1]. Структуру основног трибомеханичког система чине елементи система, карактеристике система и врста интеракције између елемената система [1]:

$$S = \{ E, K, I \}, \text{ где је}$$

- E – елементи система,
- K – карактеристике система,
- I – врста интеракције између елемената система

Елементе основних трибомеханичких система, који се налазе садржани у производној и другој опреми у индустрији, чине најчешће два чврста тела (метална или неметална) и мазиво било које врсте. У литератури се може наћи и став да основне трибомеханичке системе чине четири елемента. Четврти елемент чини средина у којој се основни трибомеханички систем егзистира. Средина може бити тако агресивна (хемијска индустрија) и да веома утиче на понашање на понашање остала три елемента система. У већини индустријских и транспортних система нема агресивних средина које могу да утичу на триболошке процесе у основним трибомеханичким системима, тако да је могуће прихватити став да структуру основних трибомеханичких система чине три елемента [1].

Карактеристике елемената система ове врсте деле се обично у две групе [1]:

- карактеристике, које се односе на геометријски облик, физичко-хемијску природу и структуру материјала елемената система,
- карактеристике, које се односе на микрогеометрију контактних површина и структуру контактних слојева чврстих елемената система.

Међу величинама са којима се најчешће дефинишу карактеристике чврстих тела налазе се номинална површина контакта, хемијски састав, тврдоћа, модул еластичности, структура материјала, основни и допунски параметри храпавости контактних површина, дебљина и структура контактних слојева. Највише коришћене величине за одређивање карактеристика мазива као трећег елемента система ове врсте су кинематска вискозност при различитим температурама, индекс вискозитета, релативна густина, тврдоћа, NLGI број, пенетрација, температуре капљања, стињавања и паљења и слично. Поред уобичајених величина са којима се одређују карактеристике елемената основних трибомеханичких система, користе се и друге величине које могу да их још ближе одреде [1].

Претварање улазних у излазне величине система, као и обим изгубљених величина зависе и од врсте интеракције између његових елемената. Под врстама интеракције између елемената система подразумевају се врста контакта (клизање, котрљање, удар и друго), врсте трења (трење клизања, трење котрљања), врста механизма хабања (адхезивно, абразивно, заморно или трибохемијско) и врста подмазивања (континуално, прекидно, хидродинамичко, гранично и слично) [1].

Да би се створили услови за управљање процесима трења и хабања у основним трибомеханичким системима, неопходно је познавати и услове под којима они функционишу. Основне величине са којима су се идентификују услови остваривања контакта су брзина релативног кретања, спољашње оптерећење и температура зоне контакта. За управљање процесима трења и хабања у трибомеханичким системима од изузетне је важности је познавање триболошких карактеристика свих елемената система. Познавање триболошких карактеристика елемената трибомеханичких система и њихово одређивање, међутим, захтева познавање основа трибологије [1].

Триболошки проблеми у индустријским системима, чијим се решавањем повећавају продуктивност и поузаност производних процеса и смањују трошкови одржавања производне и друге опреме и производње у целини, јављају се, пре свега у бројним основним трибомеханичким системима. Због тога су за њихово решавање неопходна знања о свим процесима који се развијају у зонама контакта елемената основних трибомеханичких система [1].

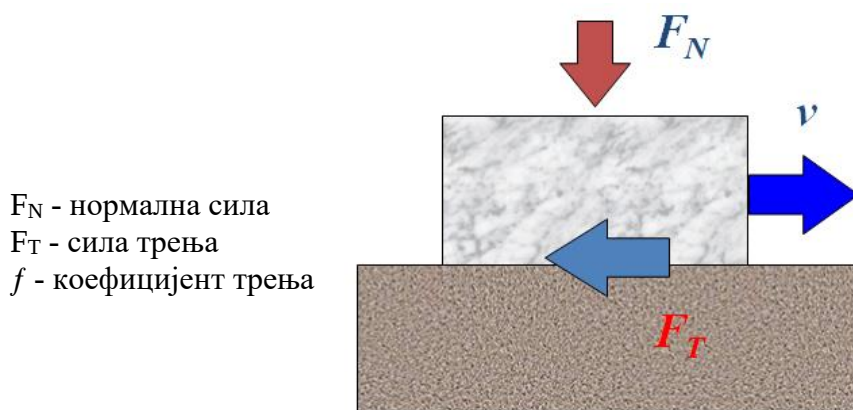
2.1 Трење

Трење представља отпор релативном кретању површина у додиру. Као дисипативан процес, оно узрокује значајно губљење енергије у трибомеханичким системима, смањење степена корисног дејства, промену параметара њихове структуре услед хабања, па чак резултира и губитком радне способности. Међутим, у бројним техничким системима повећано трење је неопходан услов за обављање њихове техничке функције [2].

Зависно од врсте релативног кретања разликује се [2]:

- Трење клизања
- Трење котрљања
- Комбиновано трење

Трење клизања је трење које настаје када се брзине у тачкама додира контактних површина разликују по величини, смеру или по величини и смеру. Величина трења се изражава силом трења (F_t) и коефицијентом трења (f), који се дефинише као однос силе трења и нормалне силе притиска у конатку (Слика 2.2) [2].



Слика 2.2 Параметри спољашњег трења [2]

На микро нивоу трење клизања се одвија кроз интеракцију микронеравнина реалних храпавих површина. Природа овог процеса може се анализирати на упрошћеном моделу интеракција у елементарном конатку две микронеравнине материјала различитих дебљина (Слика 2.3). При томе се условно могу издвојити три фазе њиховог релативног кретења, које су неопходне за разумевање свих механизма настајања силе трења [2].



Слика 2.3 Интеракција микронеравнина и три фазе контакта микронеравнина [2]

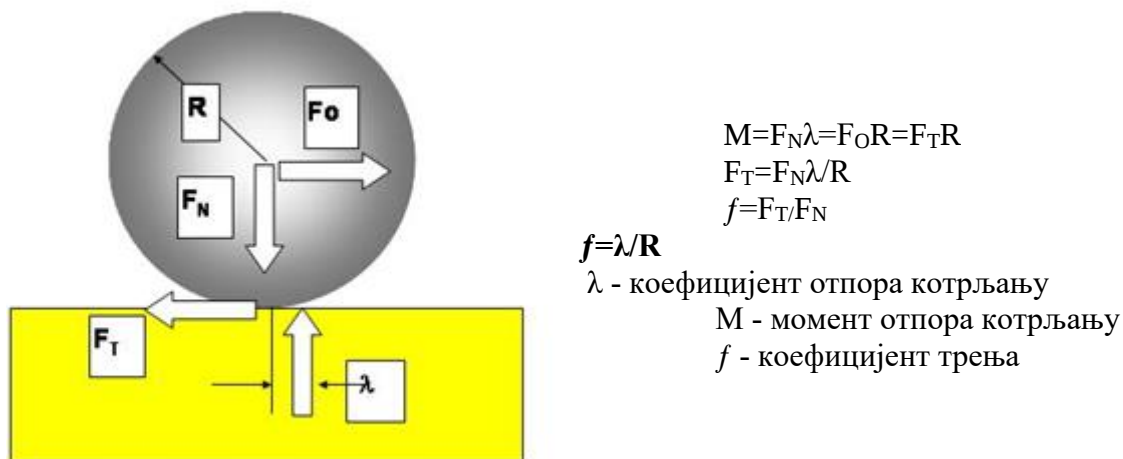
У првој фази микронеравнине успостављају контакт, који је Hertz – ове природе. У тим условима долази до појаве деформација која, за разлику од претпоставки на којима се базира Hertz – ова теорија, поред еластичних могу бити и пластичне. С обзиром да су вредности индекса пластичности типичних трибоматеријала изнад један и да су реални контактни притисци веома високи, пластичне деформације су присутне у скоро свим реалним трибомеханичким системима. У складу са тим у првој фази контакта, јваљају се деформације које могу бити [2]:

- Еластичне
- Еласто-пластичне
- Пластичне

У другој фази одвијања елементарног контакта блиско налегање контактних материјала у зонама реалног контакта ствара услове за појаву адхезоних веза између материјала у контакту, које могу бити различите природе зависно од остварених растојања површина. С обзиром да у реалним условима степен приближавања површина може бити веома велики (растојања мања од 1mm), адхезија има природу металних веза, а то се практично манифестује формирањем микрозаварених спојева [2].

У трећој фази услед релативног кретања долази до раскидања контакта две микронеравнине и успостављања нових парова, што подразумева поново процесе деформисања и успостављања и кидања адхезионих веза. Уобичајено је да се из триболошких разлога трибопарове сачињавају елементи од материјала различитих тврдоћа. У таквим условима на нивоу елементарног контакта на реалној површини контакта кретање тврђе микронеравнине при реалном притиску изазива појаву задирања у мекши материјал и његово браздање при релативном кретању [2].

Трење котрљања је спољашње, динамичко трење које се јавља при кретању котрљањем. Под котрљањем се подразумева релативно кретање тела која се номинално додирују по линији или у тачки, при чему су им брзине у тачкама додира једнаке по интензитету и смеру, тј. нема релативне брзине у контакту. Овакав вид трења остварују тела која ротирају око сопствених сталних или привремених оса обртања, а додир се остварује увек преко нових парова тачака, односно површина. У реалним условима котрљања, услед појаве еластичних, па чак и пластичних деформација, контакт тела се остварује увек по одређеној површини контакта, на којој се јавља отпор котрљања услед трења. Укупан отпор котрљању представља резултат адхезије, микроклизања у зони контакта, еластичног хистерезиса и пластичних деформација [2].



Слика 2.4 Параметри трења котрљања [2]

Трење котрљања генерално је мање од трења клизања и због тога се у конструкцији трибомеханичких система тежи замени трења клизања трењем котрљања и најтипичнији пример трибомеханичких система са трењем котрљања контактних елемената свакако су различити типови котрљајних лежја, који се због малог нивоа трења котрљања називају и лежјама без трења [2].

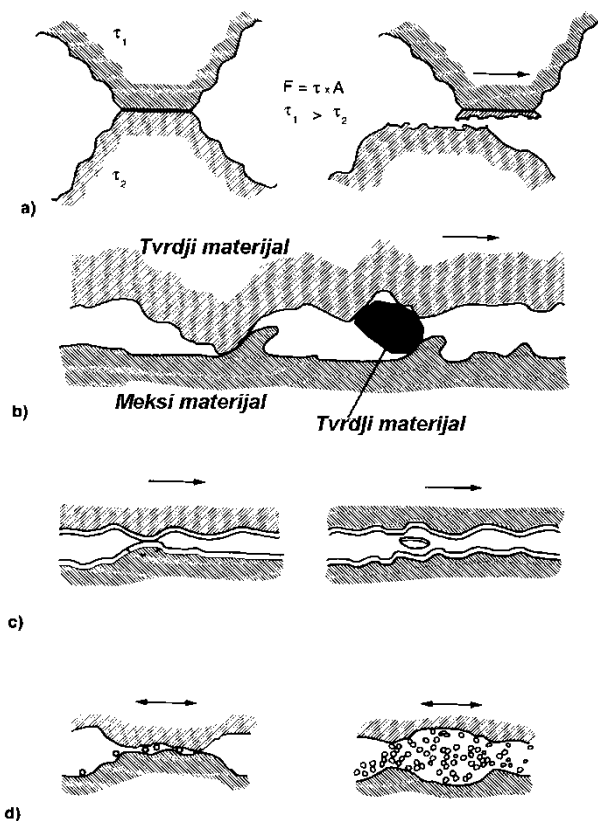
Трење котрљања има комплексну природу, јер представља сумарни ефекат деловања микроклизања на површини контакта, еластичног хистерезиса, микропластичних деформација у зони контакта, молекуларних интеракција површина или површина и мазива и коначно, механичких губитака у мазиву [2].

Комбиновано трење је динамичко трење између два тела у додиру када постоји истовремено трење котрљања и трење при клизања на месту додира. Овај тип трења се најчешће среће у зупчастим паровима [2].

2.2 Хабање

Трење клизања праћено је неизбежним комплексним процесом хабања, који резултира прогресивним губитком материјала површинских слојева контактних елемената у структури трибомеханичког система. Природа процеса хабања, независно од врсте и облика хабања, детерминисана је основним механизмима који базирају на појавама [2]:

- Адхезије
- Абразије
- Замора
- Трибохемије



Слика 2.5 Основни механизми хабања а) адхезионо хабање, б) абразивно хабање, с) заморно хабање, д) трибохемијско хабање [2]

2.2.1 Адхезионо хабање

Појава адхезије на местима контакта микронеравнина, објашњена са аспекта трења, одговорна је и за појаву адхезионог хабања. У процесу тангенцијалног релативног кретања контактних површина долази до разарања микрозаварених спојева (Слика 2.5/а) насталих између микронеравнина услед јаких адхезионих сила. Раскидање се одвија у зони мекшег материјала у контакту, чиме се остварује процес преноса материјала са једне на другу контактну површину. Адхезионо хабање не узрокује стварање продуката хабања, већ се манифестује само на нивоу преноса материјала са једне на другу површину. Пренети материјал се у виду продуката хабања уклања услед дејства абразивног и заморног хабања [2].

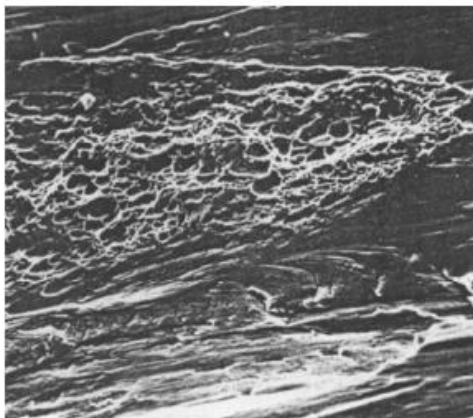
Адхезионим хабањем није могуће објаснити низ појава у реалним трибомеханичким системима, па чак и оне најелементније, као што су хабање контактеног елемента веће тврдоће, утицај храпавости на интензитет хабања и формирање продукта хабања. Сматра се да се адхезионо хабање јавља у највећем броју случајева трења, али да нема пресудну улогу како се то традиционално прихватало. Доминација овог вида хабања присутна је само у одређеним условима карактеристичним за трење у вакууму, у атмосфери инертног гаса, или при генерисању веома високих локалних контактних температура на местима микроконтакта [2].

У анализи одвијања процеса адхезионог хабања у реалним контактним условима свакако је неопходно имати у виду да структура реалних система неминовно укључује појаву жељених и нежељених спољашњих контактних слојева насталих у интеракцији материјала са окружењем и мазивом, којима се у одређеној мери предупредује контакт основних материјала. С обзиром на то адхезионо хабање се одвија кроз неколико основних корака [2]:

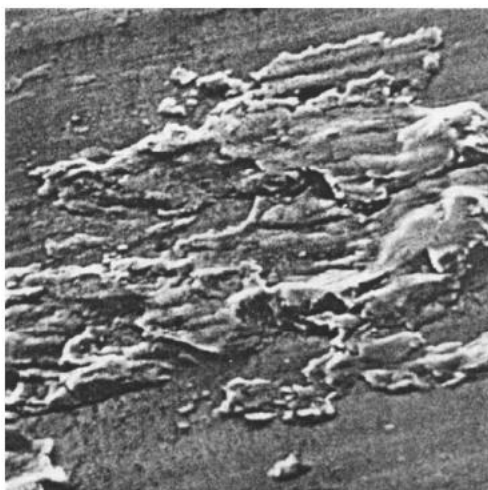
- Деформисање контактних микронеравнина,
- Разарање и уклањање површинских филмова,
- Стварање адхезионих спојева,
- Разарање спојева и трансфер материјала,
- Модификација пренетих фрагмената,
- Одвијање пренетих фрагмената и формирање продукта хабања.

Важна улога припада процесима контактеног замора и настајања пукотина. С обзиром на адхезију и контактни замор велики утицај има стање контаминираности површина, јасно је да је изузетно тешко успоставити релације између карактеристика основног материјала и адхезионог хабања. То је могуће једино за услове вакуума, у коме се реализује директна триболошка интеракција основних материјала. На бази истраживања у таквим условима утврђено је [2]:

- Металне адхезионе везе се остварују при трењу у контактном пару елемената од било којих метала,
- Велики утицај на адхезионо хабање имају тип кристалне структуре и кристална оријентација,
- Мали садржај легирајућих елемената као што су угљеник и сумпор доприносе да се предупреди процес адхезије и минимизира процес адхезионог хабања.



Слика 2.6 Површина са које су адхезијом ишчупане честице [6]



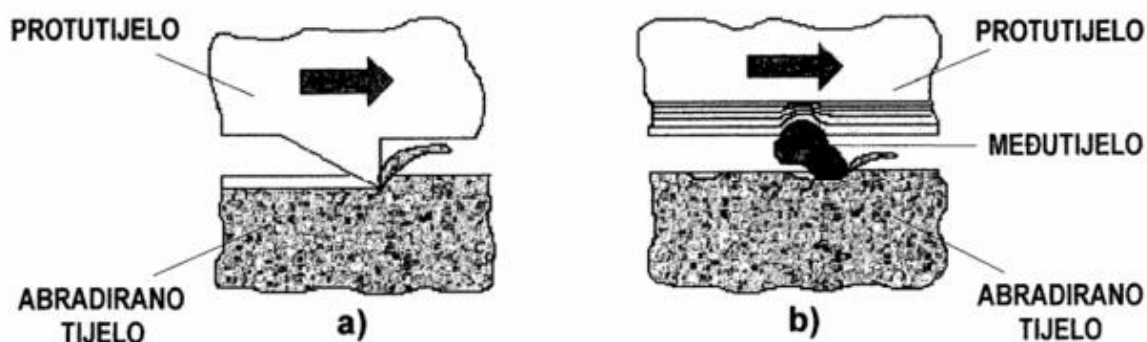
Слика 2.7 Честице адхезијом спонтано наварене на површину [6]

Честице ишчупане са једне површине остају привремено или трајно заварене на другу клизну површину. Изглед површине са које су ишчупане честице и честице спонтано наварене на супротну површину, приказане су на претходним сликама (Слика 2.6, Слика 2.7) [5].

Отпорност на адхезионо хабање зависи о склоности стварању микрозаварених спојева клизног пара и јачине успостављених адхезионих веза. Основни критеријум за оцену отпорности на адхезионо трошење материјала трибопарова је њихова триболошка компатибилност [5].

2.2.2 Абразивно хабање

Абразионо хабање се одвија при процесу трења елемената од материјала чије су тврдоће значајно разликују или при присуству абразива и зони контакта. Тврђе микронеравнине се под дејством спољашњег оптерећења утискују у мекшу површину, што резултира пластичним течењем мекшег материјала око места утискивања. При тангенцијалном кретању настаје браздање и микрорезање мекше површине. Овако абразивно хабање познато је као *two body* абразија (Слика 2.8/а). Уколико се хабање одвија због присуства абразива између контактних површина, онда се ради о *three body* абразији (Слика 2.8/б) [5].



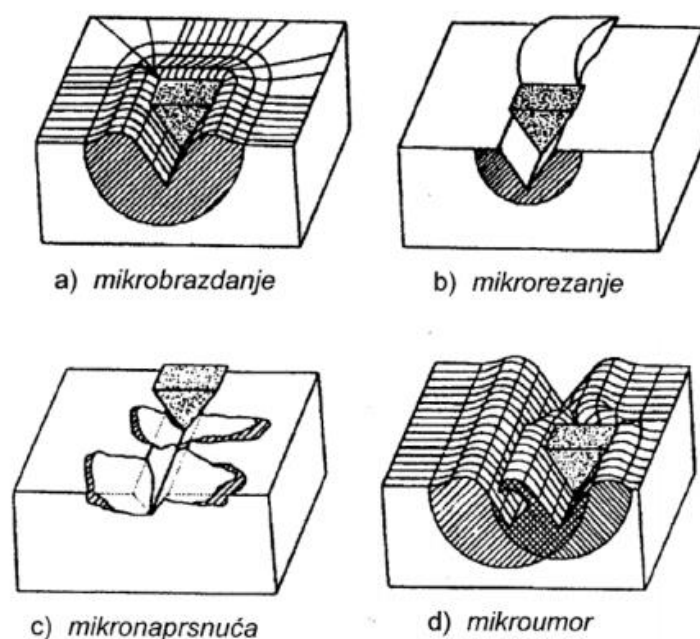
Слика 2.8 Абразија у додиру два тела (а) и три тела (б) [5]

Абразионо хабање представља доминантан вид хабања и представља основни триболошки узрок отказа критичних елемената трибомеханичких система. Процењује се да у укупном хабању абразионо хабање учествује са око 50%. Постоје два принципијелна разлога за овакве ефекте абразије [2]:

- Коефицијент хабања (запремина похабаног материјала по јединици нормалног оптерећења и пута трења) 1000 пута је већи него код других врста хабања,
- Абразионо хабање је често проузроковано контаминацијом абразивним честицама система који иначе нису пројектовани за рад у условима абразије, па их велики коефицијент хабања брзо одводи у стање отказа.

Зависно о међусобном деловању између абразивних честица и похабане површине разликују се [5]:

- Микробраздање (Слика 2.9/а) – одношење материјала пропорционално волумену бразде настале пластичном деформацијом при проласку једне абразивне честице, уз услов да се рубови бразде одвоје од површине у облику продуката хабања. У идеалном случају микробраздања, једна абразијска честица неће произвести продукте хабања, већ ће материјал бити потиснут у страну у облику бочних гребена,
- Микрорезање (Слика 2.9/б) – одношење материјала је једнако волумену зареза насталог проласком абразивне честице.
- Микропрслине (Слика 2.9/с) – одношење материјала са крпе површине механизмом настанка и ширења микропукотина. При томе се са површине односе велики делићи материјала.
- Микроумор (Слика 2.9/д) – одношење материјала механизмом замора површине насталог учесталим изменљивим оптерећењем. Материјал је изложен тренутним деформацијама услед чега настају микропукотине које се затим шире и које на крају узрокују одвајање делова материјала похабане површине.



Слика 2.9 Шематски приказ микромеханизма трошења материјала [5]

2.2.3 Заморно хабање

У условима цикличног оптерећења и растерећења контактне површине услед површинског замора, јављају се пукотине које се шире и временом долази до одвајања материјала и стварања продуката хабања. Овакав механизам настајања продуката хабања представља заморно хабање и може се генерално испољавати на макро и микро нивоу [2].

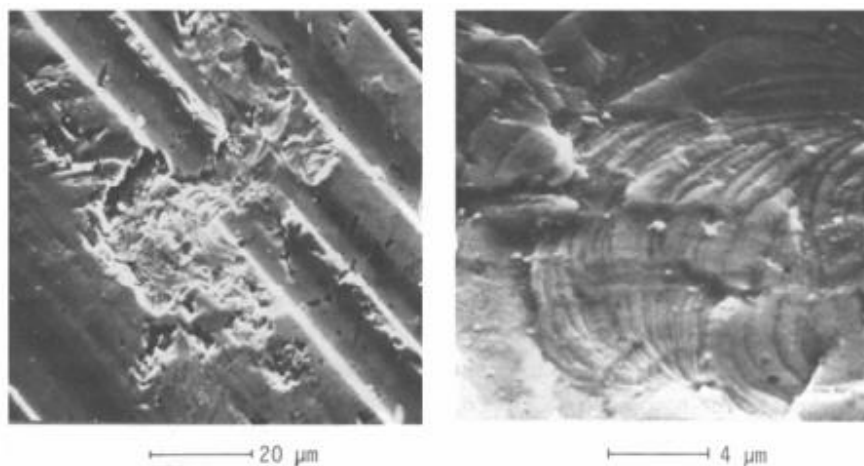
Процес заморног хабања приказан је на Слици 2.10 који се одвија у три фазе [5].



Слика 2.10 Процес заморног хабања [5]

У првој фази настаје подповршинска пукотина, јер је највеће смицајно напрезање код концентрисаног додира (*Hertz-ovo* напрезање) увек испод саме површине. Ово је фаза инкубације, јер практично нема никаквог одвајања продуката хабања. У другој фази подповршинска пукотина избија на површину. Од тог тренутка из пукотине настају ситни продукти хабања [5].

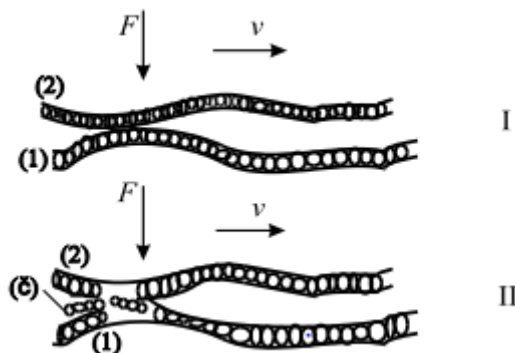
У трећој фази заморног хабања долази до испадања продуката хабања, што на површини оставља оштећење облика рупице. Зато се овај облик трошења уобичајено назива "*pitting*" (рупичење) [5].



Слика 2.11 Изглед површине оштећене замором материјала [6]

2.2.4 Трибохемијско хабање

Док се механизми адхезионог, абразионог и заморног хабања могу разумети као процеси деформисања и адхезионих интеракција између две контактне површине (тела 1 и 2), у трибохемијском хабању је присутан и трећи елемент – мазиво [2].



Слика 2.12 Шематски приказ трибохемијског хабања [5]

У реалним условима на контактним површинама стварају се танки спољашњи оксидациони слојеви као продукти хемијске интеракције са окружењем. У процесу релативног кретања ови слојеви се уклањају механизмима заморног и абразивног хабања и поново формирају. Пошто је основни материјал контактних површина садржан у продуктима реакције са окружењем, са њиховим уклањањем уклања се и основни материјал. При томе, сам процес трења на рачун генерисања повишених контактних температура доприноси повећању површинске активности, односно интензивирању генерисања површинских слојева, али истовремено порасту њихове кртости, што погодује развоју трибохемијског хабања [2].

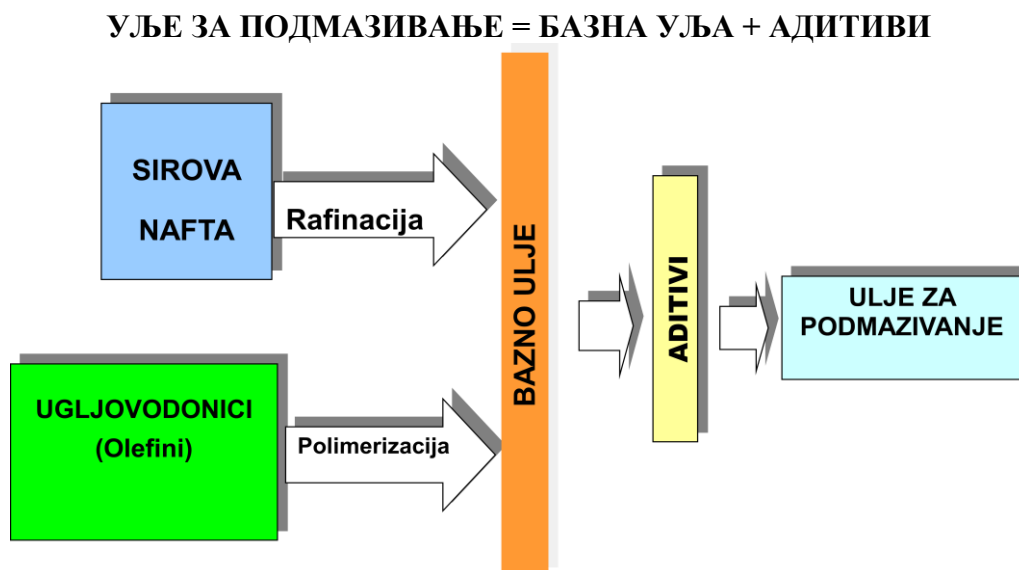
2.3 Подмазивање

Подмазивање је основна активност превентивног одржавања техничких система и дефинише се као примена одређеног средства са циљем да се смањи сила трења, а са тим и хабање и оштећење клизних површина, а материјал на тим клизним површинама којим се постужу ти ефекти представљају мазиво. Иако су подмазивање и мазива на овај начин дефинисани само са триболошког аспекта, њихова примарна улога је много шира и различито се испољава у широком спектру техничких система. Свака од улога захтева специфичне карактеристике мазива, односно њихових адитива [2].

Основна функција уља за подмазивање у трибомеханичком систему је триболошке природе и састоји се у раздвајању директног додира контактних површина које се релативно крећу. Међутим, уље као елемент система има и друге функције које су везане за заштиту елемената од других утицаја. Компоненте трибомеханичког система изложене су дејству топлоте генерисане трењем, али и апсорбују топлоту која се ствара процесима унутрашњег сагоревања горива или компресије радног медија. Мазиво има улогу да апсорбује топлоту са покретних елемената и пренесе је на кућиште система или одведе из трибомеханичког система захваљујући континуалном кретању кроз циркулациони систем подмазивања [2].

2.3.1 Састав уља за подмазивање

Састав мазива се може исказати веома једноставном формулом, иза којих стоје сложене технологије добијања компоненти и финалних производа [2]:



Слика 2.13 Поступак добијања уља за подмазивање [2]

По свом саставу, уља за подмазивање представљају мешавине основних, базних уља и различитих адитива којима се унапређују својства уља релевантна за одређену намену (Слика 2.13). Зависно од порекла и начина добијања, базна уља могу бити [2]:

- минерална
- синтетичка

Већина базних уља су **минерална уља**, што значи да представљају деривате сирове нафте. Генерални принцип производње ових уља базира се на коришћењу низа корака намењених унапређењу жељених карактеристика, као што су индекс вискозности, отпорност према оксидацији, стабилност на високим и ниским температурама. Производе се екстракцијом растварачима (солвентна рафинација) или хидрорафинацијом. Оба поступка се састоје од низа процеса (атмосферска дестилација, вакуумска дестилација, рафинација, деасфалтација, деваксација) намењених сепарацији других деривата (бензина, керозина, дизела), уклањању непожељних компоненти (ароматични и поларни угљоводоници, киселине, једињења сумпора и восак) и унапређењу жељених карактеристика [2].

Квалитет добијених минералних базних уља зависи од сирове нафте и технологије производње. Зависно од врсте нафте поступцима рафинације добијају се две врсте базних уља, парафинска минерална базна уља и нафтенска минерална базна уља. Највећи део минералних уља за подмазивање (око 80%) базира се на парафинским базним уљима. Понекад се користе и нафтенска базна уља и то за специјалне намене, посебно када је потребно обезбедити течење уља на ниским радним температурама. Ароматска минерална уља се генерално не препоручују за производњу уља за подмазивање [2].

Синтетичка базна уља се производе хемијском синтезом у веома сложеним технолошким процесима и у основи представљају синтетизоване угљоводонике или огранска полимерна једињења (полиалфаолефини, естри, алкилбензени, полигликоли, полиизобутени, силиконска уља). С обзиром да се добијају синтетички, ова уља обично имају конзистентнију и униформнију структуру у односу на минерална. Намењена су условима у којима нормална минерална базна уља не могу обављати функцију успешно [2]:

- Не садрже восак синтетичка уља се могу користити на веома ниским температурама,
- Синтетичка уља се могу користити на знатно вишим температурама него минерална,
- Синтетичка уља имају бољу оксидациону стабилност. Због тога је на вишим температурама мање присутна појава генерисања киселина и муља,
- Синтетичка уља имају стабилнији индекс вискозности, што им омогућава већу стабилност при раду у ширим температурским распонима,
- Синтетичка уља имају дужи интервал замене,
- Синтетичка уља обезбеђују рад система на нижим радним температурама, што доприноси штедни енергије.

Током разматрања могућности употребе синтетичких уља поред ових добрих својстава треба имати у виду и следеће недостатке [2]:

- Синтетичка уља су скупља у односу на минерална. Однос цена је пет и више пута,
- Многа синтетичка уља су некомпатибилна са заптивкама, превлакама и бојама,
- Синтетичка уља одликује и потенцијална токсичност.

Поред претходно наведених предности и недостатака, пожељно је знати да је недопустиво међусобно мешање различитих синтетичких уља, као и њихово мешање са минералним уљима [2].

2.3.2 Адитиви

Представљају материје које се додају мазивима у циљу побољшања или обезбеђивања неких нових особина мазива, чиме се повећавају експлоатационо-техничка својста. То су синтетичке материје које су растворљиве у базном уљу, термички стабилне и врло ниске испарљивости. Без обзира на позитивне ефекте адитива, не може се очекивати да се њиховим додавањем постигне напредак од лошег квалитета рафинисаног уља до уља високог квалитета. Постоје ограничења у погледу количине адитива која се може додати базном уљу [2].

Генерално се адитиви користе за [2]:

- Унапређење постојећих карактеристика базних уља,
- Сузбијање нежељених карактеристика базних уља,
- Обезбеђивање нових карактеристика базних уља

Најчешће присутни адити у различитим врстама уља су антиоксиданти, односно инхибитори корозије, инхибитори рђе, дисперзанти и детерџенти и антихабајући адитиви [2].

Побољшивачи тачке течења - Депресанти- Да би се омогућио рад на нижим температурама, мазивим уљима се додају материје које снижавају тачку течења. Механизам деловања ових адитива се заснива на обмотавању микроскопски ситне кристале парафина при чему се онемогућава њихово груписање и таложење, тако да уље остаје дуже течљиво. Немају способност спречавања кристализације и не утичу на тачку замућења уља [8].

Побољшивачи индекса вискозности - Импрувери - Једна од најважнијих карактеристика неког мазива је стабилност вискозности са променом температуре, односно вискозно-температурна својства. На ниским температурама ови адитиви готово не дејствују, а на високим температурама је пад вискозности мањи услед њиховог угушћивачког деловања. Импрувери индекса вискозности су адитиви за побољшање индекса вискозности уља и користе се за производњу мултиградних уља. Најпознатији полимерни додаци за побољшиваче индекса вискозности су [8]:

- Полиметакрилати (РМА) - полимери на основу дуголанчаних естера метакрилне киселине настали слободно-радикалском полимеризацијом одговарајућих мономера,
- Олефински кополимери (ОСР) - кополимери етилена и пропилена,
- Хидрогеновани стирен-диенски кополимери - разликују се стирен-бутадиенски (SBC) и стирен-изопренски (SIP) кополимери.

Антипенушавци - Стварање пене настаје продирањем ваздуха у уље или услед деловања детерџентних и антиоксидационих адитива. Пена је врло непожељна нарочито у хидрауличним и редукторским уљима, погоршава подмазивање и узрокује губитак преноса снаге у хидрауличним системима. Антипенушавци спречавају образовање стабилне пене у уљу. Делују тако да смањују површински напон мехурића ваздуха и тако доприносе брзој разградњи пене [8].

Адитиви за заштиту од хабања - Смањују хабање спрегнутих контактних површина брегасте осовина, подизача вентила, радилице, лежајева и др. Најширу примену имали су адитиви на бази цинка. Међутим све се мање користе у производњи уља за савремене моторе због некомпатибилности са катализаторима за догоревање несагорелог горива [8].

Адитиви за заштиту од високих притисака и ударних оптерећења - Да би се побољшала отпорност уљног филма мазивима се додају посебни адитиви који се према условима примене деле на три основне групе [8]:

- адитиви за побољшање мазивих својстава (поларни адитиви),
- адитиви за смањење процеса хабања (AW адитиви),
- адитиви за подношење екстремно високих притисака (EP адитиви)

Адитиви за заштиту од оксидације - Антиоксиданти су адитиви који повећавају постојаност уља према дејству кисеоника и представљају најчешће коришћене адитиве. Како су продукти оксидације корозивни, инхибирањем оксидације аутоматски се инхибира и корозија. Ови адитиви врше пасивизацију металне површине и на тај начин смањују каталитичко деловање метала на процес оксидације [8].

Адитиви за заштиту од корозије - Инхибитори корозије (антикорозивни адитиви) штите металне делове машинских елемената који су изложени дејству рђе и корозије. Корозија је електрохемијски процес и настаје агресивним деловањем киселих хемијских продуката, а рђа је вид корозије када ваздух или вода делују агресивно на металну површину. Основни механизам деловања антикорозивних адитива заснива се на формирању заштитног слоја на површини метала физичком и хемијском адсорпцијом. Антиоксиданти и детерџенти (базни адитиви) су такође инхибитори корозије [8].

Детерџентни адитиви - Представљају материје које спречавају таложење нечистоћа на деловима мотора који се налазе под утицајем високих температура. Механизам деловања ових адитива заснива се на њиховој способности да [8]:

- чисте металне површине од производа оксидације и не допуштају да се акумулирају и таложе по површинама и
- захваљујући свом алкалном својству могу да неутралишу хемијски агресивне киселе продукте настале сагоревањем горива са повећаним садржајем сумпора. Параметар за ово је Тотални Базни Број (TBN).

Као детерџенти највише се користе сулфонати, фенати и силицилати, од којих фенати и силицилати дају боље резултате. У одређеним случајевима ови адитиви истовремено показују нека својства инхибиције корозије и рђања, па се сврставају у групу вишефункционалних адитива [8].

Дисперзантни адитиви - Они имају улогу да држе у дисперзији продукте настале оксидацијом уља (смоле, чађ) у условима ниских и средњих радних температура. Ови продукти настају у моторима у условима “стани-крени” градске вожње на кратким релацијама и у условима подхлађеног мотора. Дисперзанти су безбедна једињења а механизам деловања састоји се у опкољавању молекула нечистоћа у уљу, одржавају их у дисперзном стању, односно спречавају груписање честица, њихово таложење и зачепљење циркулационих путева. Осим тога, ови адитиви морају имати и одређена детерџентна својства, односно својства растварања смоласто-асфалтних једињења и уљног муља [8].

Деактиватори метала - Ови адитиви редукују каталитички утицај метала (металних опилака) на оксидацију уља. Честице се облажу заштитним слојем који прекида или умањује каталитичко деловање на процес оксидације. Осим тога, они разлажу продукте оксидације и прекидају штетне реакције [8].

Адитиви емулгатори - То су најважнији додаци емулзионим уљима која са водом граде емулзије. Због великих површинских напона у граничним слојевима уље и вода се не мешају. Задатак емулгатора је да смање површински напон и обезбеде стварање стабилне емулзије [8].

Адитиви деемулгатори - Функција деемулгатора је да спречи стварање емулзије у случају продора воде у систем. Механизам деловања се своди на повећање површинског напона између молекула уља и воде и спречавања процеса стварања емулзије [8].

2.3.3 Карактеристике уља за подмазивање

Најчешће се говори о физичко - хемијским карактеристикама, које обухватају физичке карактеристике и неке функционалне карактеристике, за које се сматра да су физичке или хемијске природе. Хемијске карактеристике се односе на хемијски састав уља за подмазивање, односно конституената и хемијску реактивност мазива у експлоатацији. Експлоатационе карактеристике презентују различите аспекте понашања мазива и представљају основу за одређивање нивоа квалитета [2].

Вискозност - Представља основну физичку величину уља и представља меру унутрашњег отпора, тј. трења течењу флуида. Исклазује се као динамичка или кинематска вискозност. Вискозност је веома значајна карактеристика, јер има пресудан утицај на способност раздвајања контактних површина. То је посебно изражено у условима потпуног подмазивања, где се директно одражава на остварену дебљину слоја мазива у зони контакта, пораст температуре и губитке услед трења. Због тога су све спецификације уља за подмазивање дизајниране тако да упућују на вискозност [2].

Индекс вискозности - Представља емпиријски неименовани број који показује како се вискозност уља за подмазивање мења са променом температуре. Већи индекс вискозности показује мању тенденцију за променом вискозности са променом температуре [2].

Густина - Дефинише се као запреминска маса и ова карактеристика се користи за међусобно прерачунавање динамичке и кинематске вискозности, односно масе и запремине [2].

Температура паљења - Температура паљења се дефинише као најнижа температура (°C) на којој се под одређеним експерименталним условима паре уља, формиране изнад течне фазе и помешане са ваздухом, упале принетим отвореним пламеном. Ова карактеристика одражава испарљивост и запаљивост уља те је релевантна са аспекта опасности од пожара и експлозије [2].

Тачка течења - Подразумева најнижу температуру (°C) на којој при хлађењу под одређеним условима уље још увек показује извесну тенденцију течења. Снижавањем температуре уље се потпуно ститњава и престаје да тече и та температура представља тачку стињавања [2].

Неутрализациони број - Основни показатељ киселости или базности уља који се дефинише као број милиграма регенса потребног да у прописаним условима неутрализује грам узорка уља [2].

Садржај пепела - Садржај пепела мазивих уља представља минерални остатак који остаје након сагоревања у стандардизованим процедурама и изражава се у масеним процентима [2].

Коксни остатак - Повишени коксни остатак се користи као показатељ неодговарајуће дубине рафинације базних уља, затим његове термичке нестабилности, а код коришћених уља указује на степен деградираности у експлоатацији [2].

Хидролитичка стабилност - Односи се на отпорност адитива у мазиву да ступају у реакцију са евентуално присутном водом. Хидролитички нестабилни адитиви у реакцији са водом се разлажу на продукте који могу бити корозивни или се могу депоновати на контактним површинама у облику талога [2].

Окидациона стабилност - Веома важна карактеристика квалитета уља за подмазивање и дефинише се као отпорност мазива према деградационом дејству кисеоника. Одређује се у контролисаним условима различитим стандардизованим методама и обично се исказује бројем сати до достизања дефинисаног броја вискозности или достизања дефинисаног пораста тоталног киселинског броја [2].

Корозивност - Карактеристика мазива која одређује склоност мазива ка изазивању корозије метала са којим остварује контакт. Одређује се у односу на бакар и бакарне легуре, па се због тога назива корозивност на бакру. С обзиром да минерална уља не делују корозионо на бакарне материјале, одређени адитиви, укључујући и ЕР адитиве, који садрже сумпор могу бити корозивни [2].

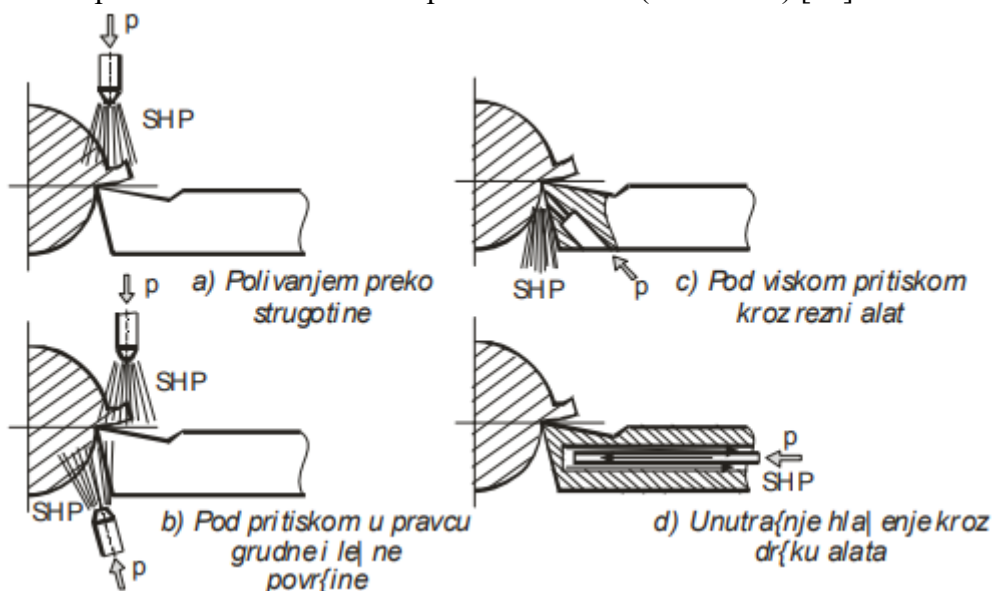
Пенушање - Пенушање је резултат формирања ваздушних мехура на површини уља за подмазивање и може бити узрок озбиљних механичких оштећења система. Минерална уља имају благу тенденцију ка пенушању, али присуство адитива, контаминација водом и другим страним материјалима и промене површинског напона могу узроковати почетак пенушања [2].

Деемулзивност/емулзивности - Представља способност сепарације уља од воде. Веома је важна карактеристика за производе као што су турбинска уља, која су изложена деловању одређене количине кондензоване паре. Уколико се вода лако и брзо не уклања долази до рђања металних површина и убрзавања оксидације уља [2].

3. Примена резних уља

Анализом великог броја отказа сложених трибомеханичких система, може се закључити да је код система код којих је дошло до отказа, такође и код мазива дошло до одређених промена, што значи да отказ трибомеханичког система може наступити услед промене својстава за подмазивање или промена карактеристика уља за подмазивање може доћи услед отказа појединих осталих елемената трибомеханичког система. Како се у највећем броју случајева промена функционалности сложеног трибомеханичког система огледа у променама карактеристика уља за подмазивање, то се може промена физичко - хемијских и триболошких карактеристика уља усвојити као параметар за оцену стања трибомеханичког система [9].

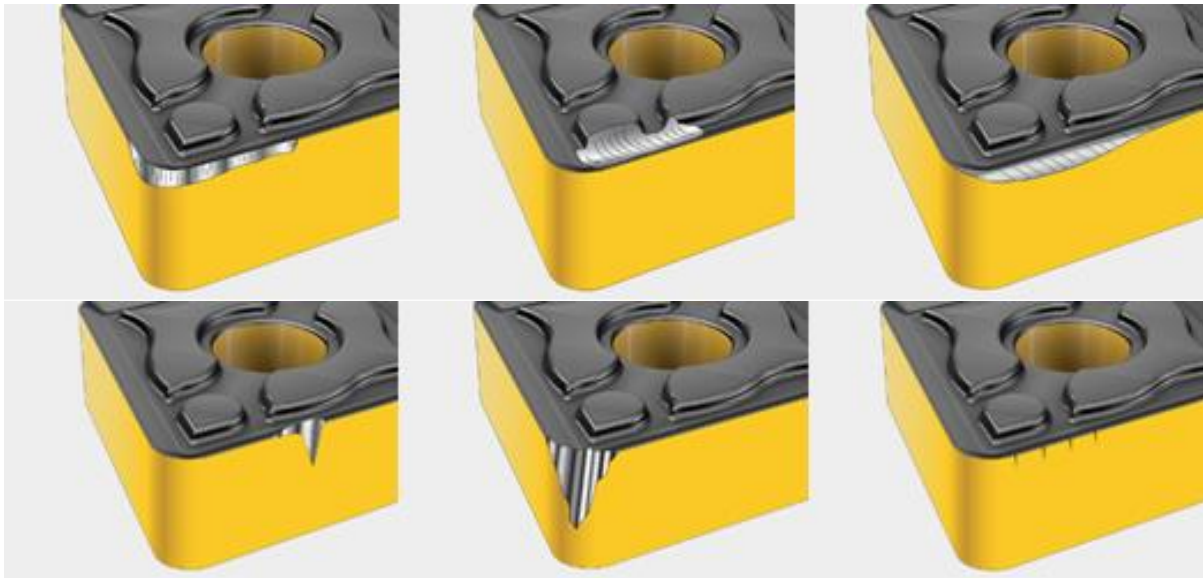
Средства за хлађење и подмазивање (резна уља ии емулзије) представљају трећи елемент трибомеханичког система у обради резањем. Примена резних уља почела је још у раним фазама развоја процеса обраде метала резањем са циљем да се обливањем простора у коме се изводи процес резања првенствено одведе генерисана топлота, а затим смањи трење на контактним површинама алата (Слика 3.1) [10].



Слика 3.1 Довођење резног уља и хлађење алата и предмета обраде [10]

Уклањање вишка материјала са предмета обраде без обзира на врсту обраде метала резањем, остварује се у условима које карактеришу високе температуре резања и високи притисци на контактним површинама алата и предмета обраде. Триболошки процеси који се у оваквим условима развијају доводе до интензивног трошења алата и појаве великих неравнина на обрађеној површини. Интензитет развоја триболошких процеса је функција, поред осталог и количине генерисане топлоте која се развија у зони резања и притиска између контактних површина. Зато су основни задаци, механизми дејства и улога резног уља [10]:

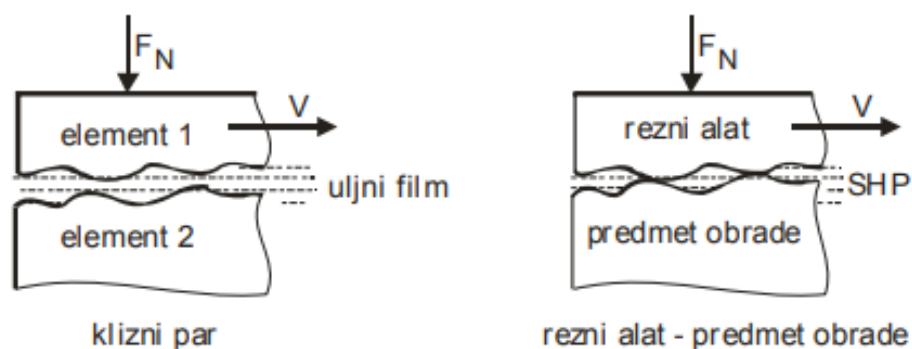
- способност хлађења - топлотна проводност
- способност подмазивања - способност смањења трења
- заштитна способност - спречавање нежељених појава у процесу обраде



Слика 3.2 Врсте хабања плочице које су изазване лошим одабиром резног уља [11]

Обливајући струготину, алат и предмет обраде, резно уље одводи део генерисане топлоте у зони резања, смањујући температуру резања. Ефекат хлађења зависи од начина довођења резног уља, као и врсте и самог квалитета [10].

Механизам подмазивања контактних површина алата, при примени средства за хлађење није још увек прецизно разјашњен. Смањење трења формирањем носећег (уљног) филма неког флуида између контактних површина обезбеђује се код већине клизних парова (Слика 3.3). Експериментална испитивања су показала да се при веома малим брзинама резања може формирати носећи филм резног уља и да се у тим случајевима интензитет трења смањује и до 80%. Међутим, при порасту брзине резања могућности формирања носећег филма су сведене на минимум, због појаве високих температура и контактних притисака при којима се разара носећи филм и остварује се директни контакт алата и предмета обраде [10].



Слика 3.3 Носећи уљни филм у условима трења клизања и обраде резањем [10]

Средства за хлађење и подмазивање имају и значајну заштитну улогу, која зависи од њихове заштитне способности. Резна уља треба да спрече појаву корозије на елементима технолошког система, садрже стабилност у процесу обраде (образовање пене, разлагање), спрече стварање отровних пара и негативне реакције на кожи радника, не поседују непријатан мирис, не растварају средства за подмазивање (мазива) и не доводе до других негативних реакција [10].

Функције резног уља су [7]:

- да се смањи прегревање алата тамо где су тврдоћа алата и отпорност на хабање смањена
- да одржи константну температуру у процесу резања, јер промена температура и хабање алата утиче на димензијску стабилност
- да се спречи хабање алата и стварање топлоте приликом резања, јер на чеоној страни алата је највећа концентрација топлоте
- да се обезбеди добра завршна обрада
- да обезбеди одвођење топлоте заједно са струготином
- одвођење струготине са резног дела

Пожељна својства резних уља су [7]:

- висока топлотна проводност за хлађење
- добре особине хлађења
- висока тачка паљења, како не би дошло до пожара
- не сме да ствара талог на уобичајеним радним температурама
- да буду стабилна против оксидације
- не смеју да подстичу корозију, нити промену боје радног комада
- не сме се појавити непријатан мирис у току експлоатације
- не сме да изазива иритацију коже
- вискозност која ће омогућити капање са радних делова машине и алата

3.1 Врсте резних уља

Развој средства за хлађење заснива се на стварању флуида који може ефикасно да хлади зону резања, ефективно да подмазује контактне површине алата и предмета обраде и да при свему томе не утиче негативно на радника, елементе технолошког система и околину. Ефикасно хлађење обезбеђује вода, јер има високу термичку проводност и специфичну топлоту, међутим, вода има изузетно слаба подмазујућа својства, испира средства за подмазивање елемената и склопова, изазива корозију и слично [10].

Минерална уља имају изванредна подмазујућа својства, делују антикорозионо на елементе технолошког система, подмазују и клизне парове. Међутим, њихова термичка проводљивост и специфична топлота су изузетно ниске, тако да је ефекат хлађења изузетно мали. Решавање ова два супротна захтева, довело је до развоја низа средства за хлађење, која се могу разврстати у три групе [10]:

- уљне емулзије
- хемијска - синтетичка средства
- чиста уља за резање

3.2 Уљне емулзије

Уљне емулзије су мешавина минералних уља, емулгатора и воде. Користе се у производним операцијама које се изводе великим брзинама резања, при релативно ниским вредностима отпора резања [10].

За течности које се мешају са водом, квалитет воде има велики утицај на расхладно средство. Тврда вода (висок садржај минерала) може проузроковати мрље и корозију машина и радних предмета. Вода се може дејонизовати како би се уклониле нечистоће и минерали, јер вода је најбоља течност за хлађење због тога што има најбољу способност одвођења топлоте, међутим, вода је као мазиво врло лоша и изазива корозију [7].

Уље је одлично за подмазивање, али врло слабо за сечење, а такође је и запаљиво. Што значи да са становништва подмазивања вода и уље имају добре особине, поред тога и неке лоше стране. Када се вода и уље комбинују, слабости се минимизирају да би добра својства била уравнотежена, како би се добила пожељна крајња својства за хлађење. Развијене су течности растворљиве у води које имају добре особине подмазивања, способност хлађења и отпорност на корозију и такве течности су обично помешане на лицу места. Кључан фактор у успешном искоришћењу таквог средства за подмазивање је концентрација мешања [7].

Водарастворна средства за хлађење и подмазивање су по правилу компликованија по саставу од неемулзионих уља за обраду метала, због тога што присуство воде доноси додатне проблеме попут стабилности емулзија, понашање на корозију, дејство микроорганизама и друго. Емулзиона и у води растворна средства се користе при обради метала где је у односу на подмазивање, примарно хлађење и испирање стругорине. Основна подела је извршена према садржају минералног уља, односно синтетичких компонената на следећи начин [12]:

- производи са више од 60% минералног уља,
- производи са мање од 60% минералног уља
- производи на основу синтетичких сировина (без минералног уља)
- производи на основу растворљивих аноrganских и органских соли и алкохола (без минералног уља)

Производи са више од 60% минералног уља дају приликом мешања са водом емулзије млечно беле боје. Уз минерално уље она садрже емулгаторе, бактерициде, а могу да садрже и ЕР адитиве. Њихове особине у великој мери зависе од састава воде, а користе се у концентрацијама од 3 до 10% [12].

Производи са мање од 60% минералног уља у примени се најчешће називају полисинтетичке течности, а разликују се од прве групе по мањем садржају минералног уља (најчешће 30-60%) и већем садржају емулгатора. Емулгатори су обично синтетичке основе, па су због тога добили назив полусинтетички производи. Како су емулгатори најчешће добра подлога и храна за развој микроорганизама, развијени су биостабилни синтетички емулгатори који онемогућавају развој микрoорганизама. На тај начин су развијени полусинтетички биостабилни производи стабилни на микробиолошку разградњу, што омогућује дуготрајну употребу без потребе за

додатком бактерицида. Могу се додати и ЕР адитиви при чему имају могућност да се користе за тешке операције обраде. Користе се у концентрацијама од 3 до 5% [12].

Производи на основу синтетичких материја не садрже минерално уље. То су органска и анорганска хемијска једињења, са додатим адитивима за снижење површинског напона воде, инхибитора корозије, по потреби и ЕР адитива. Транспарентног су изгледа и имају веома дуготрајну употребу. Имају читав низ предности у погледу повећања ефекта хлађења и подмазивања тако да је квалитет обрађене површине висок [12].

Производи на основу органских и анорганских соли користе се углавном у процесима обраде брушењем, код којих мазиве карактеристике нису од битног значаја. Они задовољавају захтеве хлађења, испирања и антикорозивне заштите. То су транспарентни водени раствори који могу да садрже најчешће и поларне адитиве [12].

Припремање емулзије

Велики значај на стабилност емулзије има начин њихових припремања. Зато се код припремања емулзије треба придржавати [12]:

- увек треба додавати концентрат у воду - никада не воду у концентрат,
- интензивно мешати за време доливања, а концентрат додавати у танком једноликом млазу,
- концентрат пре мешања мора имати собну температуру, а ако се ради о дужем складиштењу концентрата, неопходно га је претходно промешати,
- воду за намештање емулзије испитати и по потреби омекшати, филтрирати, уклонити микроорганизме или јој повећати тврдоћу,
- придржавати се препорученог односа уље/вода и избегавати мешање различитих концентрата,
- емулзију не намештати у самом резервоару машине,
- посуде и резервоари у којима се емулзија намештава морају бити чисте и повремено их треба дезинфиковати,
- емулзију треба припремати непосредно пре употребе и испитати концентрацију

Поступак и квалитет припреме средства за хлађење задатог састава и карактеристика одређује век трајања и технолошку ефективност средства за хлађење у процесу обраде. Као што је претходно речено, емулзије се припремају од концентрата растварањем у води или од водених раствора различитих компонената. Резна уља су најчешће већ припремљена за употребу [10].

3.3 Чиста уља за резање

Чиста уља за резање су минерална уља са или без адитива. У ову групу спадају и масна уља. Користе се у производним операцијама у којима је битна способност подмазивања и антикорозиона стабилност средства за подмазивање. Деле се на [10]:

- активна са ЕР адитивима
- неактивна са ЕР адитивима

Активна резна уља се производе на бази рафината минералних уља у више градација. Примењују се при обради челика и његових легура, где због своје изразите активности дају добре резултате. Поред инхибитора оксидације и корозије садрже одговарајуће адитиве на бази сумпора, фосфора и хлора у активној форми који хемијски реагују већ на нижим температурама и неповољно утичу на обојене метале [12].

Неактивна резна уља се производе на бази рафината минералних уља и то такође у више градација. Садрже поред инхибитора оксидације и корозије одговарајуће адитиве у неактивној форми на бази сумпора, фосфора и хлора, који не утичу корозивно на обојене метале и њихове легуре. Ова уља се могу, по препоруци произвођача алатних машина, користити за подмазивање саме машине и за пуњење хидрауличних система исте машине. Због тога су добили назив - тронаменска уља [12].

3.4 Препоруке за избор средства за хлађење

У току избора средства за хлађење треба потражити оптимални избор узимајући у обзир све потребне факторе као што су врста и облик алата, стање алата који се користи, стања саме машине, специфичне услове режима обраде (брзина резања, дубина резања, пресек струготине, квалитет обрађене површине). Чиста уља за резање се користе у производним операцијама где је примарно подмазивање, односно у којима се процес резања изводи са релативно малим брзинама резања уз појаву великих отпора резања. Уљне емулзије се користе у производним операцијама где је потребно хлађење, односно у којима се процес резања изводи великим брзинама резања уз појаву малих отпора резања. Синтетички раствори представљају алтернативу уљним емулзијама, а због својих изузетних својстава налазе све већу примену у свим врстама обраде [12].

Код обраде стругањем, већи део топлоте се односи преко струготине, а да би се смањило трење, неопходно је обезбедити добро подмазивање. Зато се код ове врсте обраде најчешће користе емулзиона и водорастворна средства са побољшаним особинама подмазивања. Обрада на аутоматским струговима, због опасности мешања средства за хлађење са другим уљима (хидраулично) условљава се употреба чистих неактивних уља за резање која се користе вишенаменски [12].

Код обраде глодањем за лаке радне услове захтева полусинтетичка емулзиона и синтетичка водорастворна средства са већим садржајем ЕР адитива, док се за теже услове рада (одвално глодање) користи чисто уље за резање са великим садржајем ЕР адитива. Код обраде бушењем се појављује проблем отежаног изношења струготине што условљава појаву већих притисака и трења, а са тим и велика количина топлоте. Због бољег одвођења топлоте и бољег испирања струготине, код ове обраде се користе уљне емулзије и полусинтетичка средства, чија концентрација зависи од врсте материјала предмета обраде [12].

Резање навоја захтева употребу средства са одличним способностима спирања струготине и адитивима који спречавају појаву наслаг на сечиву алата. За ову операцију се користе полусинтетичка средства или лака резна уља обogaћена ЕР адитивима.

4. Обрадни CNC центри

У данашње време машинска индустрија је незамислива без савремених CNC (Computer Numerical Control) машина. CNC машине имају мање-више исте делове као и старе, конвенцијалне машине алатке. Битна разлика је додаток контролне (CNC) јединице и серво мотора на све осовине. CNC рачуна координате где која осовина треба да буде и контролише серво моторе кроз куглични вијак. CNC технологија је веома прецизна технологија, могућности грешке сведене су на минимум и углавном су последица људског фактора, али у много мањем обиму неко код ручне контроле машина. CNC машине омогућују велику прецизност израде и обраде, као и стандардизованост квалитета. Разлике које се могу уочити међу производима су мале и углавном настају због трошења алата и делова машине. Маchine су исплативе и брзо враћају уложени новац. Оне могу бити у погону 24 часа дневно, 365 дана у години уз повремено искључивање ради одржавања. На овај начин значајно се смањују трошкови производње. Заправо, CNC машина је најисплативији радник у машинској индустрији. Такође, једна особа може надгледати више CNC машина што такође утиче на смањење укупних трошкова [13].

Предности CNC машина [13]:

- Флексибилност обраде
- Висока тачност и код понављања
- Смањени губитци производње услед шкарта
- Висока продуктивност и квалитет
- Подешавање машине је једноставно, као и манипулативни рад на њој, што захтева нижу квалификацију оператера
- Могуће је подесити више операција истовремено, што скраћује време обраде
- Програм се може позвати брзо и једноставно, као и послати нови програм на обраду

Недостаци CNC машина [13]:

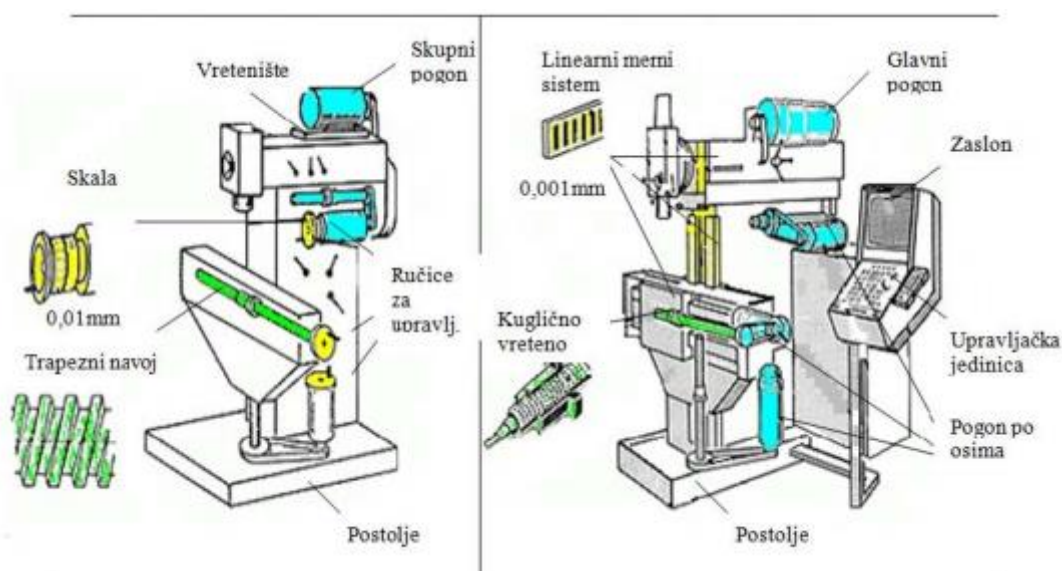
- Релативно високи почетни трошкови улагања у опрему
- Комплексна припрема
- Трошкови израде програма
- Захтевно одржавање (високо квалификована радна снага)
- Потреба за превентивним одржавањем, јер су трошкови застоја велики

Савремено тржиште и његова глобализација поставља захтеве за све сложенијим производима и великим бројем различитих варијанти пројектних решења, а све то како би се задовољили специфични захтеви крајњег купца. Конкуренција на глобалном светском тржишту посебно је изражена у машиноградњи, аероиндустрији, аутоиндустрији, електронској и осталим индустријама, при чему се као један од приоритета поставља захтев за сталним повећањем квалитета производа уз незаобилазан притисак за смањењем цене, као и за скраћењем времена потребног за излазак производа на тржиште, што је немогуће остварити без флексибилних производних система [14].

4.1 Структура нумерички управљаних машина

Разлике између класичних машина и нумерички управљаних машина су следеће [15]:

- **Погон машине** - код класичних машина ради се о заједичком погону, тј. један мотор погони и главно вретено и остала кретања радног стола, док код CNC машина постоји један главни мотор за погон главног вретена, а кретање по осама се остварује посебним моторима
- **Управљање машином** - код класичних машина се изводи ручно или машински преко ручица за управљање, док CNC машине имају управљачку јединицу и раде аутоматски преко програма
- **Мерни систем машине** - састоји се од скале на нонијусом (класична машина) или прецизнијег линеарног система за мерење код CNC машине.
- **Помак радног стола** - остварује се трапезним навојем или кугличним навојним вретеном као код CNC машине.



Слика 4.1 Разлике између класичних и CNC машина [15]

Програмирање обрадних процеса на нумерички управљаним машинама обухвата низ активности на систематизацији обрадних информација, њиховом исписивању одређеним редоследом према правилима програмског језика у форми управљачког програма. Преко управљачког програма нумерички управљана машина добија, на одређени начин кодиране, све потребне информације за аутоматску обраду неког елемента. То су информације о потребним кретањима (главним и помоћним), информације за аутоматску измену алата, податке о режимима обраде и др. Управљачки програми се уносе у нумеричком облику у нумерички управљачку јединицу. Управљачка јединица тако припремљене информације обрађује и према степену приоритета саопштава извршним органима машине. На тај начин се остварује управљање процесом обраде ради остварења потребне конфигурације издатка [14].

4.1.1 Погонски системи

Погонски систем има задатак да реализује наредбе добијене од управљачке јединице. Он покреће радне органе машине брзинама и посмацима према програму, води их и доводи у радне положаје. При томе треба да омогући [14]:

- остварење безтрзајног покретања, промену смера и заустављање,
- линеарну зависност између улазног и излазног сигнала,
- висок степен реаговања на управљачке сигнале,
- висок степен искоришћења,
- мале габаритне величине,
- поузданост у раду

У процесу обраде, у обрадном систему, долази до губитка енергије. У преносницима снаге, лежајевима, вођицама и у другим елементима део енергије се троши на савладавање отпора трења. Погонска снага машине и степен корисног дејства су важне карактеристике обрадног система. У општем случају, погонска снага машине алатке, као улазна снага у обрадни систем, састоји се од корисне снаге резања као излазне снаге и снаге која се троши на савладавање отпора у целом систему. Параметри за избор погонског система код NU машина су следећи [14]:

- захтевана снага за процес обраде,
- расположива снага
- динамичке карактеристике погонског система

Погонски системи код нумерички управљаних машина у зависности од извора енергије могу бити: електромотори једносмерне и наизменичне струје, корачни мотори, хидраулични мотори, пнеуматски мотори и други, а према функцији коју обављају могу бити: за главна и помоћна кретања. У примени су најчешће електромотори једносмерне струје (DC мотори Direct Current), електромотори наизменичне струје (AC мотори Alternate Current) и корачни мотор (Stepping)[14].

Преносници за главна и помоћна кретања су посебне целине NU машине чији је задатак пренос снаге на извршне огране. Главно кретање код машина алатки омогућује остваривање самог процеса обраде, а изводи га алат или обрадак и може бити кружно или праволинијско. Помоћно кретање може бити више и могу бити такође кружна и праволинијска. Преносник за помоћно кретање, без обзира ко врши помоћно кретање, обрадак или резни алат, треба да обезбеди кружно или праволинијско кретање. Уколико обезбеђује праволинијско кретање, онда се за трансформацију кружног у праволинијско кретање користи склоп навојног вретена и рециркуларне навртке, која је у чврстој вези са покретним делом машине. За погон помоћног кретања најчешће се користе мотори једносмерне струје или корачни мотори [14].

Управљање главним или помоћним кретањем врши се из управљачке јединице помоћу одговарајућих наредби у програму. Код NU машина главно кретање може се остварити обртањем у смеру казаљке на сату или супротно смеру од кретања казаљке на сату, гледано из правца главног вретена. Електромотор заједно са преносником прима од управљачке јединице наредбу за једно или друго обртање. Наредба зависи од конструктивних карактеристика машине и од саме врсте обраде [14].

4.1.2 Мерни системи

Основни задатак мерног система NU машине је да брзо и прецизно измери одговарајуће померање извршних органа машине и да ту измерену величину у одређеном облику и на адекватан начин проследи управљачкој јединици. Приликом управљања механичким системима најважнија су мерења дужине или угла међусобног померања покретних делова система и мерење брзине ових померања. Како је управљачка јединица електронски уређај, то је потребно да се информација о измереној величини прикаже у облику електричног сигнала може лако да се обради. Због тога се код нумеричких управљаних машина углавном користе електронски мерни системи или системи који као излазну величину имају електрични сигнал. Мерни уређаји мора да раде у такозваном online режиму. То значи да измерену величини одмах шаљу у управљачку јединицу како би се она упоредила са задатом, јер се управљање изводи на основу разлике задате и остварене координате померања [14].

Тачно вођење и довођење радних органа у задате положаје од посебног је значаја за облик, тачност и квалитет издатка. Захтеви које треба да испуне мерни системи су [14]:

- осетљивост треба да одговара траженој тачности машине
- треба да буду осетљиви на промену смера кретања - обртања
- фреквенција слања сигнала треба да одговара захтевима управљачке јединице
- поузданост у раду

Савремени мерни системи могу да раде и као вишестепени, прво као мерни системи за грубо и средње fino позиционирање у близини задате тачке, а затим и као мерни системи за fino и врло fino позиционирање, тј. за довођења алата у задату тачку са високом тачношћу [14].



Слика 4.2 Угаони и линеарни енкодери [14]

Данас се најчешће користе мерни системи са фотоелектричним читавањем оптичких решетке код лењира или дискова (Слика 4.2).



Слика 4.4 Ласерски енкодер за вишеосно позиционирање [14]

Мерење померања извршних органа нумерички управљане машине, може да се врши и помоћу ласерских интерферометара (Слика 4.4). Овакав начин је веома погодан код великих померања извршних органа машине (10м и више), када друге методе не дају довољну тачност због сумарне грешке услед великих померања [14].

4.1.3 Управљачки систем

Део обрадног система под називом машина алатка је једна или више машина алатки са пратећим уређајима као посебним целинама и са одговарајућим инсталацијама. Машина алатка треба да оствари програмом задате наредбе, тј. на њој се врши непосредна обрада материјала. Да би она остварила технолошку функцију обраде у оквиру ње се налазе извршни органи, прибори, алати као и полазни материјал за обраду, припремак. Извршне органе машина алатки покрећу погонски системи и то на основу наредби добијених од управљачке јединице. Повратне информације о постигнутим положајима и текућим позицијама извршних органа управљачкој јединици шаљу мерни системи који се такође налазе на машини алатки [14].

Алат и припремак изводе релативно кретање, један у односу на други. Ово кретање може да изводи [14]:

- алат
- само обрадак
- истовремено и алат и обрадак

Релативно кретање изводи се у правцу једне или више оса истовремено - у зависности од врсте машине и жељене конфигурације обратка. Обрадак је ограничен површинама, а обрада се изводи по тим елементарним површинама, односно захватима који формирају одређене елементарне површине. Логичан редослед захвата је радни програм који обухвата све геометријске и технолошке информације потребне машини алатки за обављање радног задатка [14].

4.1.4 Носећи и ослони елементи

Постоља, кућишта, стубови и попречне греде су носећи и ослони елементи структуре машине алатке. Димензије, облик и крутост зависе од улоге коју елементи имају у процесу обраде материјала, од тежине припремка и од величине сила које се јављају при обради. Елементи структуре могу бити статички и покретни. Статички елементи обликују део структуре која може да буде отвореног или затвореног типа (рам, постоља и кућишта). Покретни елементи су носач алата и/или носач обратка.

Статички елементи структуре спајају се елементима чврсте развојиве везе и формирају рам машине. Покретни делови структуре, који могу померљиви током процеса обраде или пре и после обраде, ослањају се и воде помоћу вођица на структури. Код вођења се користе принципи клизања, котрљања или пливања, од чега зависи облик конструкције вођице. У наведеним случајевима захтеви статичке и динамичке крутости, као и геометријске тачности, морају да буду остварени [14].

Сви елементи структуре, покретни и непокретни у целину, заједно са алатом и обратком, затварају ток сила и напрезања унутар структуре, а на темељ се преноси само тежина машине и обратка, у режим случајевима и инерцијалне силе. Елементи структуре машине изводе се ливењем и заваривањем од сивог лива и у комбинацији разних материјала, који су природним или вештачким путем, ослобођени напона унетих у материјал током процеса ливења, заваривања и процеса обраде.

Решења могу бити различита, а каква ће конструкција бити зависи од намене машине алатке. При томе треба водити рачуна о статичком и динамичком оптерећењу машине алатке, која се понаша као еластични систем који има одређену статичку и динамичку крутост. Како се конфигурација нумерички управљане машине алатке битно разликује од конфигурације конвенционалне, поставља се проблем брзог и ефикасног одвођења струготине из зоне резања. Тако се израђују постоља под углом и вертикална, која омогућују да се стругодина удаљава из зоне обраде слободним падом и допушта се послужиоцу лакши приступ обратку и алатима. Конфигурација хоризонталног постоља обезбеђује бољи ослонац за клизаче и носач алата, али теже одвођење струготине [14].

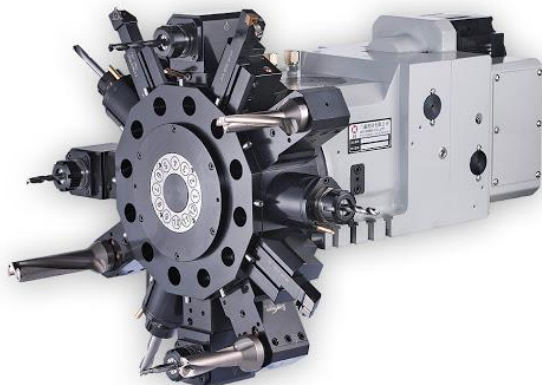
4.1.5 Системи за измену алата

Системи за измену алата у аутоматизацији процеса обраде имају битну улогу. Све већи захтеви за тачношћу и сложенијом конфигурацијом делова намећу потребу обраде из једног радног положаја - једног стезања, а са друге стране се захтева употреба више различитих алата. Смањење помоћног времена доноси одговарајуће уштеде и директно оправдава увођење система за измену алата.

Резне алате може да замени и оператер на машини ручно. У пракси таква измена је код неких NU глодалица и бушилаца. Ово је могуће зато што су њихови носачи резних алата лако приступачни. Међутим, стругови и обрадни центри за потребе аутоматизоване производње по правилу поседују аутоматске уређаје за измену резних алата, који зависно од конструкције, могу да приме различит број резних алата [14].

За аутоматску измену алата у примени су [14]:

- револверске главе (Слика 4.5)
- магацин алата (Слика 4.6)



Слика 4.5 Револверска глава [16]



Слика 4.6 Магацин алата [17]

Револверска глава је посебна целина машине (Слика 1.8). Она омогућује аутоматску измену алата. Већина нумерички управљаних стругова има једну или две револверске главе које могу бити хоризонталне или вертикалне. Да би се повећала продуктивност у употреби су конструкције са два или више независно управљаних револвера који раде симултано. Држачи алата су стандардизовани и произвођачима револверских глава намећу се захтеви у односу на системе стезања, односно чауре за прихват алата. Могућност причвршћивања резних алата у револверу је различита. На пример, сваки алат има своју касету, касетни систем или може бити револвер са директним стезањем и спајањем са измењивим стандардизованим држачима [14].

Магацин алата је посебан функционални систем код нумерички управљаних машина. Сложенији израдак захтева већи број различитих алата за обраду. Револвери са великим бројем алата постају гломазни, захтевају више простора и отежавају приступ радном простору машине. Због тога се за смештај већег броја алата код сложенијих машина користе магацини алата. Примена им је код сложених обрадних система, обрадних центара. Магацин има најчешће чланкасти облик, тј. облик гусенице (Слика 1.9). Кретање им је управљиво. Конструктивно решење је такво да елиминише проблеме судара алата и обратка при измени алата [14].

Магацини алата захтевају посебан прибор за манипулацију алатима. То је манипулатор-хватач, такође управљани, који има улогу да у току извођења операције, између два захвата из стезног прибора извади претходно коришћени алат, а да из магацина узме други и постави га у исти стезни прибор ради остварења новог захвата. У току новог захвата, хватач ће оставити претходни алат у магацин [14].

4.1.6 Системи за хлађење и подмазивање

За добар и поуздан рад нумерички управљане машине потребно је исправно подмазивање свих покретних склопова. Подмазују се све клизне површине, преносиоци и вретеништа, рециркуларне навртке, као и сви други витални елементи машине. Подмазивање може бити ручно и аутоматско [14].

Основни задатак система за хлађење је довођење средстава за хлађење и подмазивање у зону резања (Слика 4.7). Нумеричке машине у односу на конвенционалне имају веће врзине резања, резне алате од новијих материјала и захтеви за хлађењем су већи. Тачност за хлађење и подмазивање циркулише помоћу пумпе која је смештена испод нивоа решетке за скупљање течности. У резервоару се течност цеди, таложи, хлади и филтрира. Укључивање и искључивање система за хлађење може се активирати програмски, наредбом управљачке јединице или тастером на командној табли. За правилно функционисање система неопходно је редовно одржавање, попут чишћења резервоара, промена средстава за хлађење у одређеном временском интервалу, контрола нивоа и одржавање филтера [14].



Слика 4.7 Довођење средстава за хлађење у зону резања[18]

4.1.7 Нумеричка управљачка јединица

Нумеричка управљачка јединица је посебна целина обрадног система и има три основна задатка [14]:

- пријем
- обраду
- издавање података

Оспособљена је да прими податке у виду готовог програма, информације од машинског система, као и друге инструкције. Програм се може саопштити на више начина преко посебног њеног дела за пријем података и то се чини на следеће начине [14]:

- ручно помоћу тастатуре
- помоћу бушене траке (уколико постоји читач траке)
- помоћу магнетне траке (уколико постоји касетна јединица)
- помоћу дискете или преносиве USB меморије (уколико постоје портови)
- директно каблом, везаним директно за неки рачунар

Управљачкој јединици задаје се програм у симболичком језику који она преводи на свој машински језик. Програм се декодира и обрађује. Машински језик је у виду инструкција, импулса који се прослеђују извршним органима - погонским системима и другим органима машине. Осим што прима инструкције, управљачка јединица приказује послужиоцу машине информације о тренутном положају алата, броју обртаја, евентуалној грешци у програму, квару у неком подсистему и тако даље. Управљачка јединица је окренута оператеру командном таблом и разним прикључцима за периферну опрему. Другим делом, управљачка јединица је окренута машини алатки делом за прилагођавање и укључивање осних кретања и делом за напајање енергијом [14].

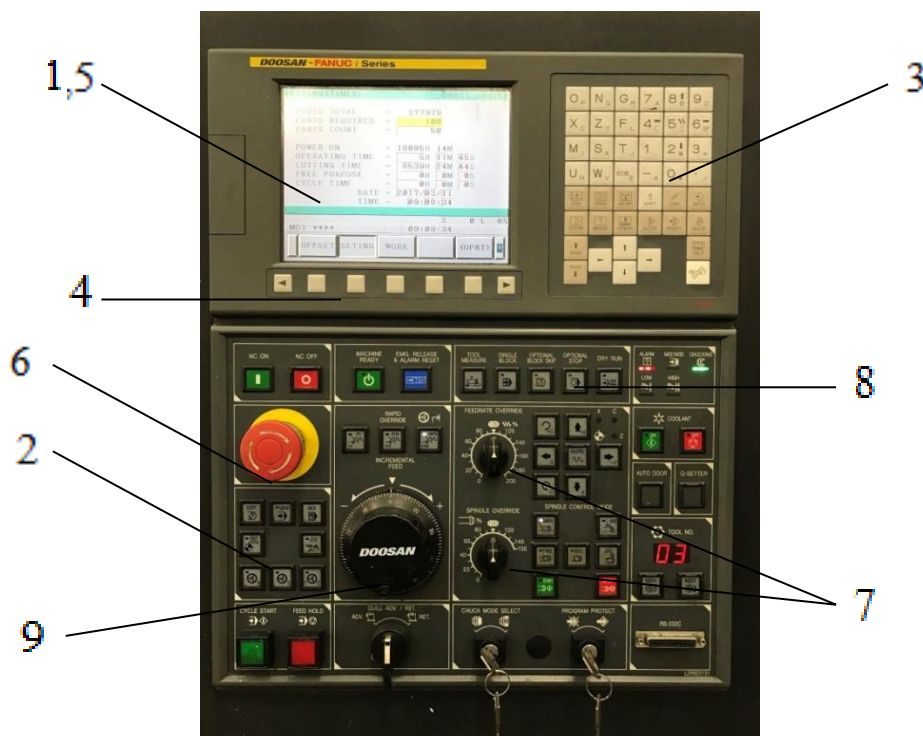
Са аспекта развоја електронике управљачких јединица, разликују се следећи системи [14]:

- NC систем - хардверски базиране управљачке јединице које читају споља сачињене програме (екстерно)
- CNC системи - софтверски базиране управљачке јединице, располажу рачунаром који омогућује послужиоцу да стартује, коригује и прекида програм

Једном сачињен управљачки програм могуће је пренети и архивирати помоћу различитих носача података. На пример: бушена трака, магнетна трака, дискета или новији носачи информација попут USB [14].

4.1.8 Командна табла

Командна табла управљачке јединице може бити обликована на више начина. Њени елементи могу се грубо поделити на следећи начин. Једна од командних табли је приказана на Слици 4.8.



Слика 4.8 Контролни панел машине DOOSAN PUMA 1800SY [19]

Елементи контролног панела су следећи [7]:

1. елементи за показивање и праћење
2. прекидачи за избор начина рада
3. елементи за програмирање (тастери)
4. тастери за конекцију и скраћени унос података
5. показивач оптерећења мотора
6. елементи за управљање машином (тастер стоп)
7. укључивачи броја обртаја и корака
8. тастери за активирање одређених функција машина
9. точкић за ручно активирање помоћних кретања машине

Елементи за показивање и праћење: екран, дигитална поља или разне сигналне сијалице. Контролни панели новије генерације имају могућност симулације програма на екрану, при чему на погодан начин приказују свако померање алата. Прекидачи за избор начина рада, који се бира у зависности од решења командне табле окретањем укључивача или притиском одговарајућег тастера. Информација о начину рада добија се преко одређене сигналне лампице или по приказаном тексту и бројевима на екрану односно дигиталном пољу. Начин рада машине грубо се може поделити на [14]:

- **AUTO** - аутоматски рад, у којем се реализује написани програм
- **JOG** - ручни режим рада (попут конвенционалног управљања
- **MDA** - задавање мера резних алата у односу на референтну тачку носача алата, као и одступања мера резних алата насталих као последица хабања у процесу обраде
- **Ref.Point/Teach in** - задавање података машини алатки у којем се дефинише референтна тачка обратка или задавање параметара чија је улога значајна при реализацији циклуса обраде у параметарском програмирању

Елементи за програмирање су тастери помоћу којих оператер машине уноси и коригује програм и задате податке (помоћу алфанумеричке тастатуре). Елементи за управљање машином су намењени за директно активирање одређених функција машина алатки (укључивање расхладног средства, промена броја обртаја који је дао програмер, корекција програмираних вредности помака и слично). Рачунар командог панела не може на машини директно да активира све функције. За то је потребан посредник. Задатак посредника је да струјне импулсе из управљачке јединице трансформише за потребе машине алатке и то тако да она реагује на сваки струјни импулс који јој задаје програм или послужилац. Примајући информације командни панел прима задатак релативног вођења алата и обратка по задатом програму ради остварења потребне конфигурације изратка. Да се обави овај одговорни задатак треба да постоје упоређивачи, појачавачи и претварачи. Примера ради, ниво сигнала може бити недовољан за управљање моторима машине и сигнале треба појачати, а неки сигнали се не могу упоредити и треба их претворити угодне за упоређење [14].

4.2 RAIS ST 32 GS

Са почетком рада 1994. године у Пазарцику, компанија је започела пословање рециклажом старих CNC машина. Постепено, његове активности су усмерене на производњу нових машина и компанија је данас једини произвођач вертикалних обрадних центара величина од 300 до 800 мм, са брзинама вретена од 8000 до 15000 o/min, као и CNC стругове са максималним пречником обратка од 200, 250, 500 и 700мм [9]. Такође, компанија пружа интегрисана решења путем избора машина, набавке, процене производње за време, алата, пуштања у рад, обуке и сервиса након продаје свих врста машина. Последњих година асортиман компаније је значајно обогаћен и до 2011. године у производном сету постоји пет модела стругова и десет модела глодалица. Сви су опремљени поузданим управљачким системима компанија Siemens, Heidenhain и Fanuc [20].



Слика 4.9 Представник бугарске фирме RAIS [20]



Слика 4.10 Радни простор машине [20]

Неке од карактеристика машине [20]:

- главно вретено
- помоћно вретено
- радно светло
- систем за хлађење
- фиксни алати
- погоњени алати
- хватач комада
- А - 6 попречних погоњених алата
- В - 4 стационарна алата
- С - 3 предња погоњена алата
- D - 4 задња погоњена алата
- Е - 4 задња стационарна алата/погоњена алата
- G - 6 носача алата за стругање
- максимални пречник обраде - 20мм
- максимална дужина обраде 240мм
- брзина обртаја 200-8000 о/min
- брзина брзог хода 30m/min
- димензије машине 2500×1280×1780

4.3 ТАЈМАС - MORI-SAY TMZ 842

Осмовретени аутоматски струг MORI-SAY TMZ842 представља вишевретену алатну машину са ротацијом бубња по хоризонталној оси. Машина дозвољава аутоматску, високо продуктивну и комплексну машинску обраду посебних ротационих компоненти направљених и од шипки и од полупроизвода као што су прецизни одливци и откивци. Машина удружује предности високе продуктивности брегастих вишевретених аутоматских машина и комплексне машинске обраде компоненти на стандардним струговима уз минимизирање захтева за окупирањем подручја. Машина значајно продужава технолошке могућности машинске обраде. Велика пажња је посвећена комплексној машинској обради компоненти укључујући и руковање компонентама. Машина испуњава захтеве за флексибилношћу, брзим подешавањем за производњу других компоненти и побољшава радне услове за оператере [21] [22].



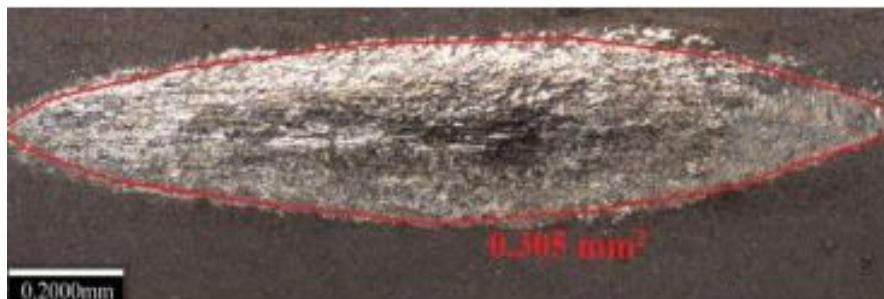
Слика 4.11 Осмовретени аутоматски струг MORI-SAY TMZ842 [21]

Неке од карактеристика машине [22]:

- Кружни попречни пресек - 42 mm
- Шестоугаони попречни пресек - 36 mm
- Максимална дужина шипке - 3000 mm
- Осе вретена - 8 kom
- Максимална брзина - 4500 o/min
- Уздужни помични супорт W осе - 8 kom
- Ход W осе - 425 mm
- Помични супорт са носачем алата X , Z осе - 7 kom
- Ход X осе - 80 mm
- Ход Z осе - 200 mm
- PISK - UP помични супорт једноставног алата U8 оса - 1 kom
- Димензије машине - 6983x4538x3238 mm
- Тежина машине: 16600 kg

5. Експериментално испитивање

Приликом обраде метала резањем, на контакту радног предмета и резног алата се ствара висока температура. Та висока температура изазива хабање ивице резног алата и друге неповољне утицаје који смањују продуктивност алата. Такође, услед адхезионих сила, материјал се лепи за ивицу и ствара додатне проблеме у раду. Ове негативне појаве код обраде резањем се смањују или у потпуности уклањају употребом одговарајућег резног уља у зависности од материјала и геометрије. Употреба резног уља у спреју, које се наноси на резни алат као заштитни филм, у великој мери повећава отпорност тог алата на хабање, одржава почетну геометрију резних ивица алата и спречава лепљење материјала који се обрађује за алат и на тај начин пружа адекватну заштиту алата приликом резања. Коришћење резног уља је посебно важно код алата који имају сложену геометрију, као што су нарезнице у урезнице, јер је овај алат веома тешко наоштрити ако се похаба [23].



Слика 5.1 Контактна површина резне ивице у условима рада без подмазивања [23]

Истраживање *Sterle L.* и *Kalin M.* [22] заснивало се на шест различитих метода подмазивања хлађењем. За свако појединачно мерење је коришћена нова резна плочица. На претходној Слици 5.1, приказано је контактном подручје резне ивице где материјал обратка остаје прилепљен за резни део у условима без подмазивања. У условима где је примењено резно уље, примећено је значајно мање прилепљеног материјала на резном делу плочице.

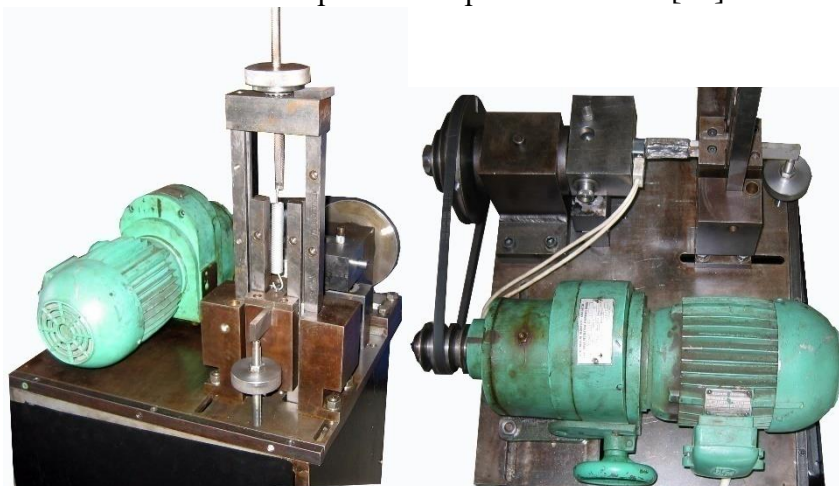
Резна уља која се испитују су MOL POLIMET ME 20 које је заменило уље SG 32 N ЕКО на обрадном центру RAIS ST 32 GS у, REZOIL NEP 22 DB које је заменило уље SG 42 примењивано на MORI-SAY TMZ842. Ради добијања што тачнијих података, за испитивање сваког од ових уља се на плочици прави по три трага хабања, а средња вредност ширине тих трагова се узима као меродавна за одговарајуће уље.

Циљ оваквог испитивања је упоредна анализа горе наведених уља и одређивање уља са најбољим карактеристикама – најмањи коефицијент трења и најмања ширина трага хабања за ову контактну геометрију на трибометру. За испитивање ће бити коришћена константна вредност нормалног оптерећења на контактни пар од 30N, која се занемарљиво мења у току експеримента.

5.1 Опрема за испитивање

5.1.1 Трибометар TR-95

Компјутерски подржан трибометар TR-95 је намењен за триболошка испитивања одређивања силе и коефицијента трења за одговарајуће контактне услове – нормално оптерећење и брзину клизања, према ASTM G77 стандарду. Испитивања се могу вршити у условима са подмазивањем и без подмазивања. Овакав трибометар омогућава варирање услова контакта триболошког пара са аспекта облика, димензија и материјала, нормалног контактног оптерећења и брзине клизања [24].



Слика 5.1 Трибометар TR-95 [24]

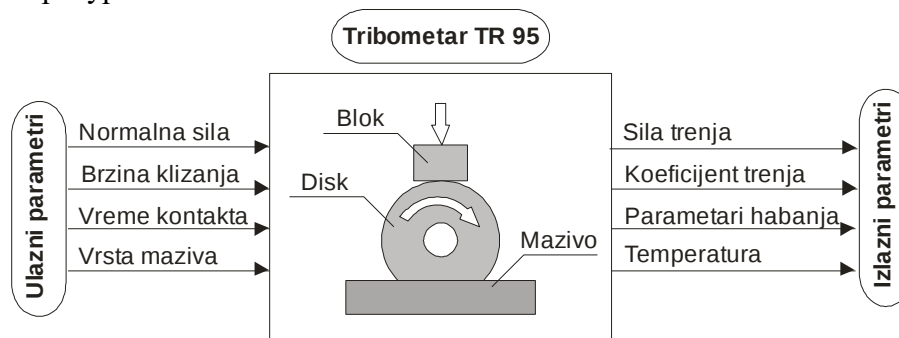
Триболошки пар који се испитује сачињавају ротациони диск и стационарни блок (block-on-disc контактна геометрија).

Улазни параметри трибомеханичког система су [24]:

- Нормална сила,
- Брзина клизања,
- Време контакта,
- Врста мазива.

Изразни параметри су:

- Сила трења,
- Коефицијент трења,
- Параметри хабања,
- Температура.



Слика 5.2 Трибомеханички систем са улазним и излазним параметрима [24]

На трибометру је могуће мерити коефицијент трења и силу трења. Основну конфигурацију трибометра чине [24]:

- погонски систем,
- систем за оптерећење,
- систем за вођење,
- систем за подмазивање,
- систем за самоподешавање блока и
- мерни систем.

Погонски систем се састоји од електромотора са ременицама, каишем и варијатором, који омогућавају варирање бројева обртаја од 100 до 1200 o/min. На главном вратилу се налази ротациони диск. Систем за оптерећење помоћу тегова или навојним паром омогућава оптерећење контактних парова од 0 до 50 daN. Вођење се остварује помоћу линеарних ваљкастих лежачева, код кога нема зазора услед преднапрезања. Систем за подмазивање чине посуде за мазиво или систем за довод уља у зону контакта. Систем за самоподешавање блока и диска има улогу да у сваком тренутку обезбеди преношење нормалног оптерећења у правцу осе диска и контакт целом дужином блока на диску. То омогућава специјални ротирајући носач блока [25].



Слика 5.3. Ротирајући носач блока на трибометру TR-95 [24]

Мерни систем за испитивање се састоји од [25]:

- динамометара (са мерним тракама које су повезане у пун Wheaston-ов мост),
- мерног појачавача,
- прикључног панела,
- AD претварача,
- РС рачунара.

Мерни систем омогућава мерење нормалне силе и силе трења. Елиминисање утицаја тежине покретних елемената врши се посебним системом опруга. Мерни сигнали са давача сила се појављују и уводе у рачунар помоћу двоканалног мерног места, појачавача и А/D картице. Пре мерења је неопходно извршити калибрацију динамометара [25].

Коефицијент трења као рачунски сигнал се добија преко нормалне силе (F_n) и силе трења (F_t), које се добијају АD конверзијом. Аналогни сигнали сила F_n и F_t доводе се са динамометара (мерних давача), преко појачавача на прикључни панел, који служи као интерфејс између рачунара и уређаја. Са прикључног панела се сигнали доводе на АD конвертор или претварач, који је израђен у виду модула - картице и смештен у слот рачунара [25].

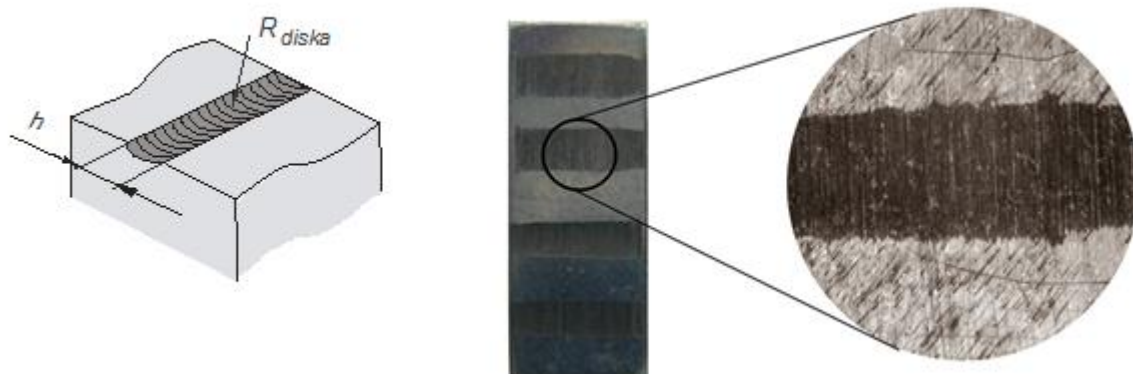


Слика 5.3 Мерни појачавач

Подаци са AD конвертора се прикупљају помоћу посебног софтвера о вредностима мерених величина, а то су нормална сила и сила трења. Овај софтвер омогућава да се врши креирање нових података на бази мерених вредности. Сила трења (f) се добија аутоматски помоћу математичке операције дељења тренутних вредности нормалне силе и силе трења. Поред тога, формирају се и средње вредности нормалне силе и силе трења - $F_n(sr)$ и $F_t(sr)$. То се постиже на тај начин што се уместо сваке реалне измерене величине неке временске серије узима аритметичка средина низа података у коме је она средња. Ако нпр. се током експеримента користи аритметичка средина 5 тачака, то значи да се првом аритметичком средином замењује трећа тачка, потом аритметичком средином од друге до шесте тачке замењује се четврта тачка итд. Оваква метода има за циљ уједначавање линија трења. Подаци се заједно са подацима о мереним силама приказују на екрану монитора. Софтвер пружа графички приказ сигнала мерене величине и тренутну нумеричку вредност величине [25].

5.1.2 Мерни микроскоп

Као основни параметар хабања кориштена је ширина трага хабања на контактну површину блока. Мерење је вршено на више места, а затим је израчунавана средња аритметичка вредност која је узимана као меродавна за поређења ширине трагова хабања. Мерење ширине трага хабања на контактним површинама блока вршено је на универзалном мерном микроскопу UIM-21 [25].



Слика 5.4 Трагови хабања на диску [24]

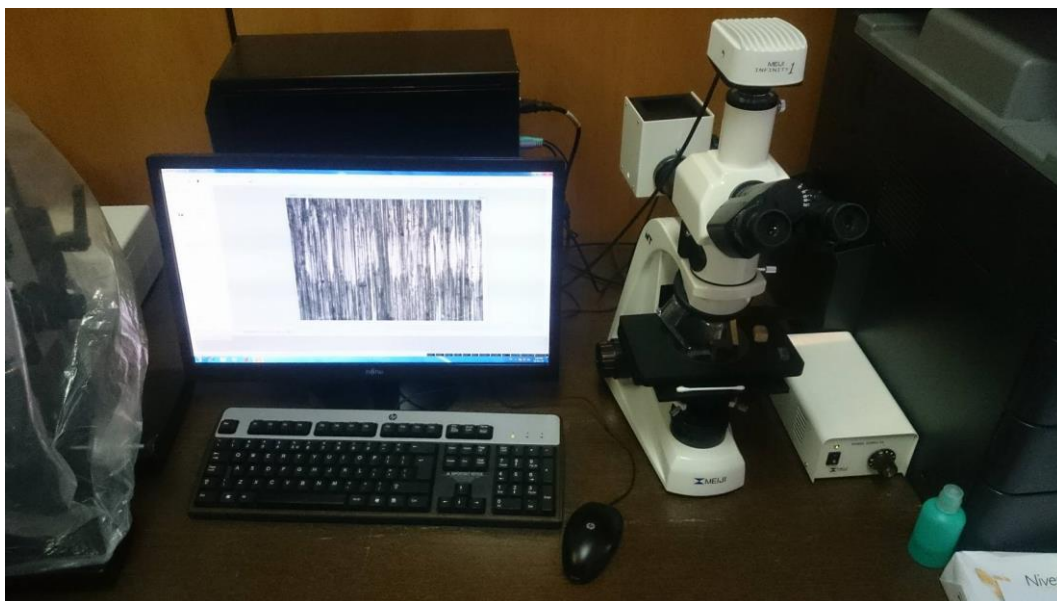
Универзални мерни микроскоп UIM-21 намењен је и за мерење дужина, углова, параметара спољашњих и унутрашњих завојница, контролу алата и објеката сложене геометрије.



Слика 5.5 Универзални мерни микроскоп UIM-21

5.1.3 Оптички микроскоп MT8500

Како би се добила слика трагова хабања, користи се оптички микроскоп MT8500 произвођача „MEIJI Techno”. То је компјутерски подржани микроскоп и опремљен је сопственим илуминатором и камером која има високу резолуцију. Микроскоп је опремљен објективима различитих увећања ($5\times$, $10\times$, $20\times$, $50\times$ и $100\times$). Такође, поседује филтере, који се могу применити за бољи приказ испитиваних површина [25].



Слика 5.6 Оптички микроскоп „MEIJI Techno“ MT8500

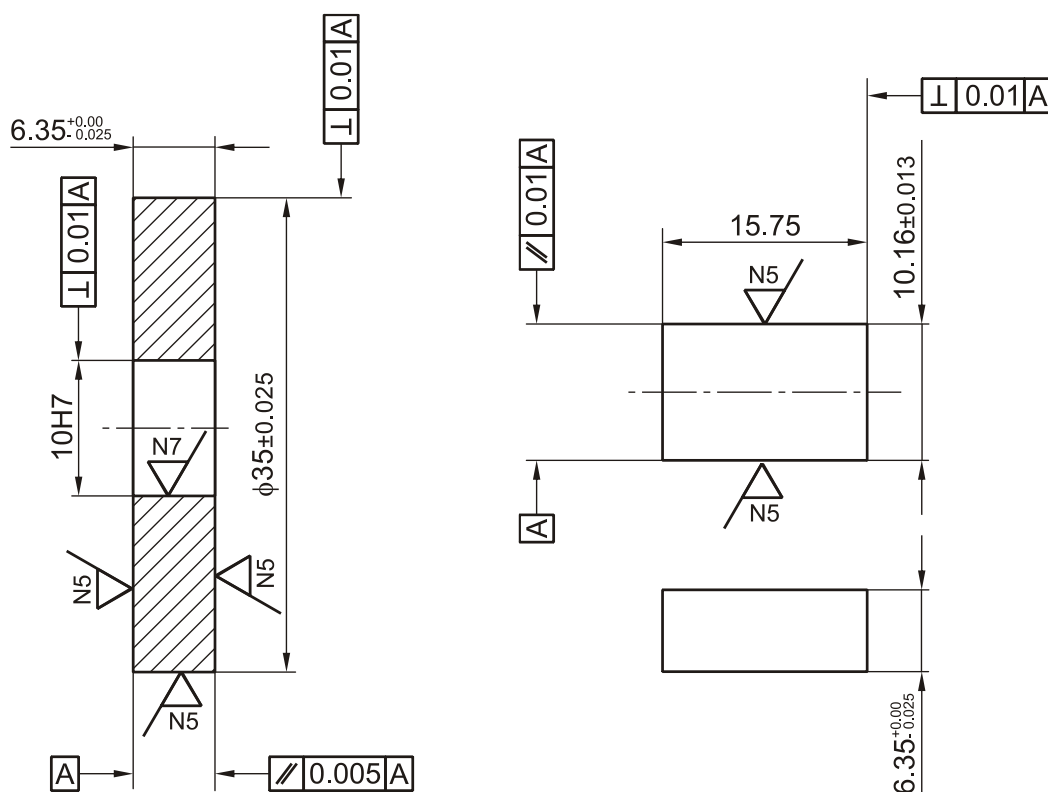
Претходном калибрацијом микроскопа одговарајућем објективу пружа се могућност мерења разних металуршких феномена. Пратећи софтвер нуди велики број могућности за обраду и анализу направљених снимака. Мерења могу бити у виду линијских и површинских димензија, при чему је могуће извршити мерења површина неправилног облика. Има могућност осветљавања узорака са доње стране.

5.1.4 Контактни пар

Испитивани контактни пар одговара захтевима ASTM G 77 стандарда. Контактни пар чине ротациони диск и блок (плочица) - block-on-disk контактна геометрија. Пречник ротационог диска је $D_d=35\text{ mm}$, а ширина $b_d=6.35\text{ mm}$. Блок је ширине $b_b=6.35\text{ mm}$, дужине $l_b=15.75\text{ mm}$ и висине $h_b=10.16\text{ mm}$.

Контактна геометрија	Block on disk
Нормална сила	0-500 N
Брзина клизања	0.2-2.5 m/s
Димензије блока	6.35×15.75×10.16 mm
Димензије диска	$D_d = 35\text{ mm}$, $b_d = 6.35\text{ mm}$

Табела 1. Основни подаци испитивања на трибометру TR-95



Слика 5.7 Димензије диска и блока према ASTM G 77 стандарду

Диск је израђен од челика Š 3840, тврдоће 63 HRC са брушеним површинама, а блокови од челика Š 4732, са тврдоћом 48 HRC у радној јединици Алатница 1240 у Компанији Слобода.



Слика 5.8 Приказ триболошког пара плочице од челика Š 4732 и диска Š 3840

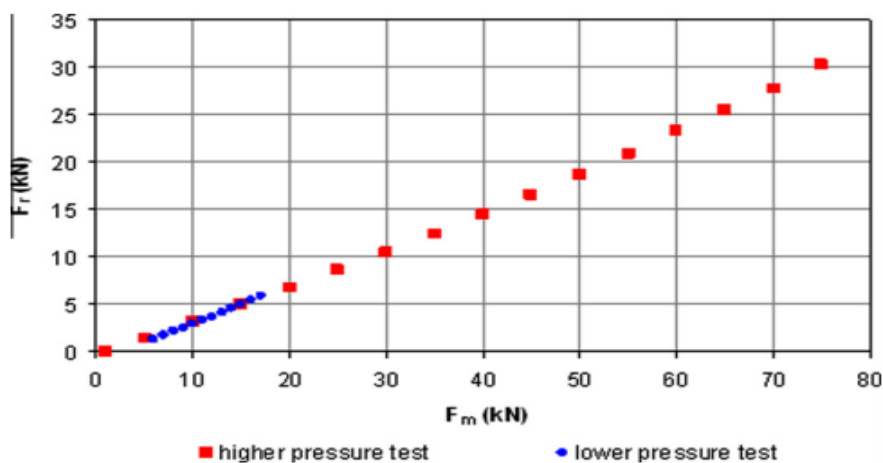
У зону контакта се током испитивања континуално доводи уље које се испитује, на тај начин што је диск доњим делом уроњен приближно до дубине 3 mm у суд у који се сипа уље, а који има запремину 30 ml. Диск приликом ротације континуално доноси раствор у зону контакта.



Слика 5.9 Довођење мазива у зону контакта ротацијом диска

Као предмет испитивања помоћу овог триболошког пара су била резна уља. Резна уља представљају супстанце које се користе при операцији резања.

Сила која се остварује у зони контакта је пропорционална нормалној притисној сили која делује на плочицу [26].



Слика 5.10. Линеарна зависност нормалне силе која делује на елемент блока и силе која се остварује у зони контакта (мерења су вршена за веће и мање вредности притисне силе експерименталном методом [26])

5.2 УЉА КОРИШТЕНА У ИСПИТИВАЊУ И ЊИХОВЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ

Помоћу наведене опреме (трибометар TR-95, геометрије „Block on disk“ и мерних инструмената) је вршено испитивање четири врсте уља, и то:

- MOL POLIMET ME – први блок (плочица),
- REZOIL NEP 22, SG32 – друга плочица (обострано),
- SG42 – трећа плочица.

5.2.1 SG 42

Овај тип уља спада у чиста резна уља. Намењено је за операције сечења, стругања, бушења, глодања и рендисања, те за обраде на аутоматима. Употребљава се за обраду свих врста челика, сивог и темпер лива, обојених и лаких метала и њихових легура при лаким и средњим режимима обраде [27].



Слика 5.11 Уље SG 42 у паковању од 20L фабрике за мазива „FAM“ [27]

Вискозност на 40 °C(mm ² /s)	35
Густина на 20 °C (g/mL)	0,880
Тачка паљења (°C)	185
Паковање	20L, 180kg

Табела 2. Основне карактеристике SG 42 уља [27]

SG 42 садржи рафинисано минерално уље, мазиве додатке, високопритисне (EP) адитиве, инхибиторе корозије и антихабајуће (AW) адитиве. Овакво уље има бројне предности [27]:

- Употреба напредних адитива омогућава мазивост при високим притисцима и смањено хабање алата,
- Одлична подмазујућа и EP својства,
- Добро пријања за металне површине,
- Минималан губитак уља услед одношења са струготином,
- Добро одвођење струготине из зоне резања,
- Добра оксидациона стабилност продужава век трајања,
- Ниска тенденција за димљење и стварање магле,
- Добра својства антикорозионе заштите.

Уље SG 42 се такође препоручује за обраду зупчаника, ожљебљених вратила и навојних вретена.

Врста обраде	Сиви лив	Нисколегирани челици	Високолегирани челици	Обојени метали и легуре	Лаки метали и легуре
Глодање	***	**	*	***	***
Одвално глодање	***	**	*	***	***
Сечење	***	**	*	***	***
Стругање	***	**	*	***	***
Бушење	***	**	*	***	***
Ваљање навоја	**	**	*	***	***
Рендисање	***	*	-	***	***

Табела 3. Карактеристике уља у зависности од врсте обраде и материјала (***-најбоље, **прихватљиво, *задовољава, - не задовољава) [27]

Што се тиче адитива, ово уље садржи сумпор, естре, фосфор, цинк, калцијум и хлор.

Естри	Сумпор	P	Ca	Zn	Cl
+	+ -	+	+	-	+

Табела 4. Садржај адитива (+активан, -неактиван) [27]

5.2.2 SG 32 N EKO

Намењено је за операције стругања, бушења, глодања, рендисања, сечења, одвалног глодања, обраде на једновретеним и вишевретеним аутоматима, копирним глодалицама. Употребљава се за обраду свих врста челика, сивог и темпер лива, обојених и лакких метала и њихових легура при лаким и средњим режимима обраде [27].



Слика 5.12 Уље SG 32 N EKO у паковању од 180 kg фабрике мазива „FAM“ [27]

Вискозност на 40 °C(mm ² /s)	35
Густина на 20 °C (g/mL)	0,880
Тачка паљења (°C)	185
Паковање	20L, 180kg, 850kg

Табела 6. Основне карактеристике Sg32N EKO уља [27]

Уље SG 32 N EKO је неактивно резно уље које садржи рафинисано минерално уље, инхибиторе корозије, мазиви додатак, високопритисне (EP) адитиве и антихабајуће (AW) адитиве. Предности оваквих уља су [27]:

- Употреба напредних адитива омогућава мазивост при високим притисцима и смањено хабање алата, што омогућава бољи квалитет обрађене површине,
- Нижа вискозност омогућава боље квашење и мању потрошњу производа,
- Мало пени и при великим брзинама омогућава поуздану производњу,
- Добра оксидациона стабилност и филтрабилност продужава век производа,
- Нике тенденција димљења и стварања магле,
- Добра антикорозиона својства гарантују међуоперацијску заштиту од корозије,
- Не садржи хлор.

Оваква уља не садрже сумпор, па су компатабилна са обојеним металима. Уље нове генерације се користи у сложеним системима као што су CNC машине, једновретени и вишевретени аутомати и копирне глодалице [27].

Врста обраде	Сиви лив	Нисколегирани челици	Високолегирани челици	Обојени метали и легуре	Лаки метали и легуре
Сечење	**	**	**	***	***
Стругање	**	**	**	***	***
Бушење	**	**	**	***	***
Глодање	**	**	**	***	***
Рендисање	**	**	**	***	***
Ваљање навоја	*	*	*	**	**

Табела 7. Карактеристике уља SG 32 N ЕКО у зависности од врсте обраде и материјала (***најбоље, **прихватљиво, *задовољава, - не задовољава) [27]

Адитиви који се користе ради побољшања карактеристика уља су хлор, цинк, сумпор, калцијум и фосфор.

Естри	Сумпор	P	Ca	Zn	Cl
+	+ -	+	+	+	-

Табела 8. Садржај адитива (+активан, -неактиван) [27]

Уље SG 32 N ЕКО се складишти у наткривеном простору. Уколико се складишти на отвореном, потребно је бачве положити у водораван положај како би се спречило скупљање воде на површини бачве. Не складишти се на повишеним температурама, као ни на местима која су изложена директном сунчевом зрачењу, нити на температурама испод 0°C [27].

Карактеристике	Јединице	Вредност	Метод
Изглед	-	бистро уље	Визуелно
Густина на 15°C	g/ml	0,880	EN ISO 3675
Кинематска вискозност на 40°C	mm ² /s	32	ISO 3104
Тачка паљења	°C	min 185	EN ISO 2592
Корозија на бакру (100°C/3h)	степен	1a	EN IS 2160
Корозија на челику	-	без	ISO 7120

Табела 9. Типичне карактеристике уља SG 32 N ЕКО [27]

5.2.3 REZOIL NEP 22 DB (АКТИВНО УЉЕ ЗА РЕЗАЊЕ)

REZOIL NEP 22 DB је активно уље за резање, одличних антихабајућих и ЕРсвојстава. Уље садржи модификатор трења и ЕРадитиве. Користи се за тешке операције обраде резањем – провлачење, дубоко бушење високолегираних челика и алуминијума. Не садржи адитиве на бази хлора и тешких метала. Производе се на бази синтетичких лаких уља, због чега имају малу испарљивост и склоност стварању уљне магле, високу тачку паљења и низак вискозитет [28].

Оваква уља се добијају из рафинисаних базних уља, емулгатора, инхибитора корозије и антипенушавих додатака. Одликује се и тиме што су емулзије стабилне па ин је век употребе дуг. Поред тога поседује и добра подмазујућа својства и даје добру антикорозиону заштиту. Употребљава се и за операције скидања струготине у условима средњих отпора и температура, при обради легираних челика, сивог лива, темпер лива, лакних и обојених метала [28].



Слика 5.13 Уље за резање REZOIL NEP 22 DB у паковању 1L, произвођача „Heming-Banat“ [28]

Карактеристике	Јединице	Вредност
Изглед	-	Бистро уље
Густина на 15°C	g/cm ³	0,9
Вискозност на 40°C	mm ² /s	29
Вискозност на 100°C	mm ² /s	5,1
Индекс вискозности	-	102
Тачка паљења	°C	220
Тачка течења	°C	-18
pH вредност (5%)	-	9.1
Садржај нечистоћа	%	0

Табела 10. Технички лист уља REZOIL NEP 22 DB [28]

5.2.4 MOL POLIMET ME 20

MOL POLIMET ME 20 је уље за сечење које се може користити универзално за многе различите операције машинске обраде, које се користе за карбонски челик, тешке легуре челика, обојене и лаке метале. Ово је високо-рафинисано минерално уље које садржи балансирану смешу адитива, као што су компоненте на бази сумпора, фосфора и пасивног ЕР типа, које су отпорне на притисак, спречавају хабање и модификују трење, заједно са адитивима који смањују тенденцију ка формирању уљане росе – магле. Не садржи једињења хлора, тешких метала нити баријума [29].

Користи се за [29]:

- Технологију сечења различитог нивоа и типа – окретање, глодање, бушење, навојна машинска обрада, процеси назубљивања итд.
- Машинску обраду високих перформанси, за тешке услове рада, са формирањем опиљака,
- Процесе на аутоматских струговима или јединицама са једном или више осовина,
- Челичне материјале за аутоматску и лаку машинску обраду,
- Легуре челика које су тешке за сечење,
- Обојене и лаке метале.

MOL POLIMET ME 20 уље има одлична подмазујућа својства. Такође, има веома ниску вискозност. Има велику примену у производњи различитих машинских делова због ефективних својстава прања и испирања при резању делова. Током употребе у производњи има малу тенденцију ка пенушању и формирању уљане магле. Служи и као одличан заштитни слој од корозије [29].

Предности оваквих уља су бројне [29]:

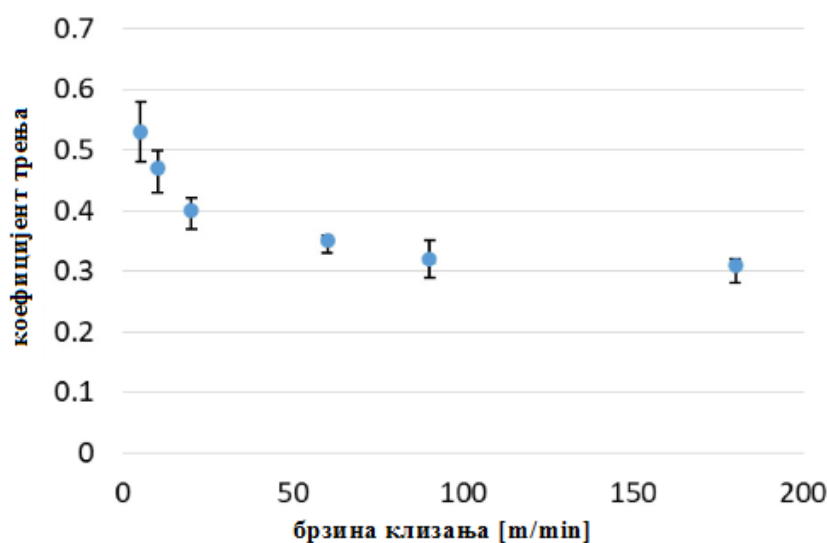
- Ефективно смањење трења и хабања, што омогућава дуже трајање оштрица алата,
- Нижи су специфични трошкови за алат,
- Сечење без облагања ивице,
- Мање генерисање топлоте услед трења и боље уклањање опиљака,
- Виша продуктивност, што доводи до нижих производних трошкова,
- Производ је опште намене за машинску обраду различитих метала – челика, обојених метала и лаких метала,
- Бољи је пренос топлоте и одличан разхладни ефекат,
- Одличан квалитет машински обрађене површине,
- Ефективна привремена заштита обрађиваних предмета од корозије, што омогућава смањење трошкова површинске обраде,
- Формира континуални подмазујући филм обезбеђујући балансирани разхладни ефекат и подмазивање,
- Одличан квалитет површине и висока прецизност израде,
- Потрошња уља и утицај на животну средину су мањи.

Карактеристике	Јединице	Вредност
Изглед	-	Бистро уље
Густина на 15°C	g/cm ³	0,870
Кинематска вискозност на 40°C	mm ² /s	20,4
Вискозност на 100°C	mm ² /s	4
Тачка паљења	°C	200
Тачка течења	°C	-12
Корозија на бакру (100°C/3h)	степен	1a

Табела 11. Технички лист уља MOL POLIMET ME 20 [29]

5.3 РЕЗУЛТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТА

У овом делу су дати резултати испитивања резних уља на трибометру. Триболошка испитивања су обављена са „block-on-disk“ контактном геометријом са оствареним линијским контактом према ASTM G 77 стандарду. Током експеримента добијени су трагови хабања који се након тога мере употребом мерног микроскопа. Трагови хабања су усликани помоћу оптичког микроскопа. За све случајеве је коришћена константна вредност нормалне силе од 30 N. Такође, вредност брзине клизања у току експеримента је константна. Међутим, промена вредности брзине клизања утиче и на промену коефицијента трења, а та зависност се може видети на Слици 5.14 [23].



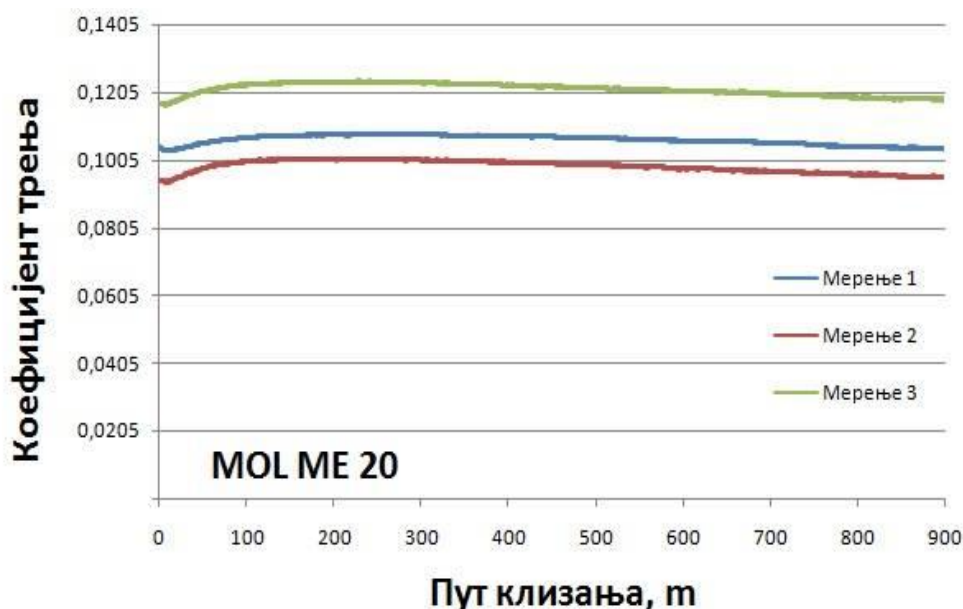
Слика 5.14 Промена коефицијента трења у функцији брзине клизања [23]

На графику је дат приказ промене коефицијента трења у функцији клизања при резању, када се употребљава резно уље које садржи CO_2 , и то када брзина клизања није константна. Веће вредности коефицијента трења су запажене код брзина клизања испод 20 m/min. При томе је и распон могућих вредности коефицијента трења већи. Утицај резних уља на смањење коефицијента трења је при операцијама резања већи за веће брзине клизања, у овом случају је посебно изражен при брзинама клизања већим од 50 m/min. Такође, распон могућих вредности тог коефицијента је мањи [23].

За мерење коефицијента трења у овом случају се користи константа вредност брзине клизања. Ширина трага хабања се мери на три места за три трага по једном мазиву и израчунава се средња вредност ширине трага хабања (h_{sr}). На основу те вредности и геометрије елемената контактне пара, могуће је одредити приближну вредност запремине и површине трага хабања. У табели 12. дате су измерене вредности ширина трагова у појединим зонама на основу којих се рачуна средња вредност ширине трага. Поред табеле, за свако уље дат је микроскопски приказ трага хабања и формиран дијаграм зависности коефицијента трења од времена клизања.

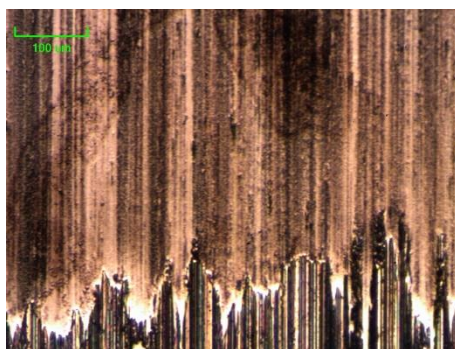
MOL POLIMET ME 20					
Ширина	Тачка	I	II	III	
h1	p1	47,628	48,626	49,515	
	p2	48,628	49,496	50,403	
h2	p3	48,546	49,52	50,434	
	p4	47,603	48,644	49,502	
h3	p5	47,526	48,632	49,499	
	p6	48,506	49,522	50,442	
[mm]	Разлика ширине				Средња вредност ширине трага
	h1	1	0,943	0,98	0,974
	h2	0,87	0,876	0,89	0,879
	h3	0,888	0,932	0,943	0,921
	Средња ширина трагова(hsr)				
	0,924				

Табела 12. *Ширина трага хабања за уље MOL POLIMET ME 20 ($F_n = 30\text{ N}$)*



Слика 5.15 *Коефицијент трења уља MOL POLIMET ME 20 у функцији клизања ($F_n=30\text{ N}$)*

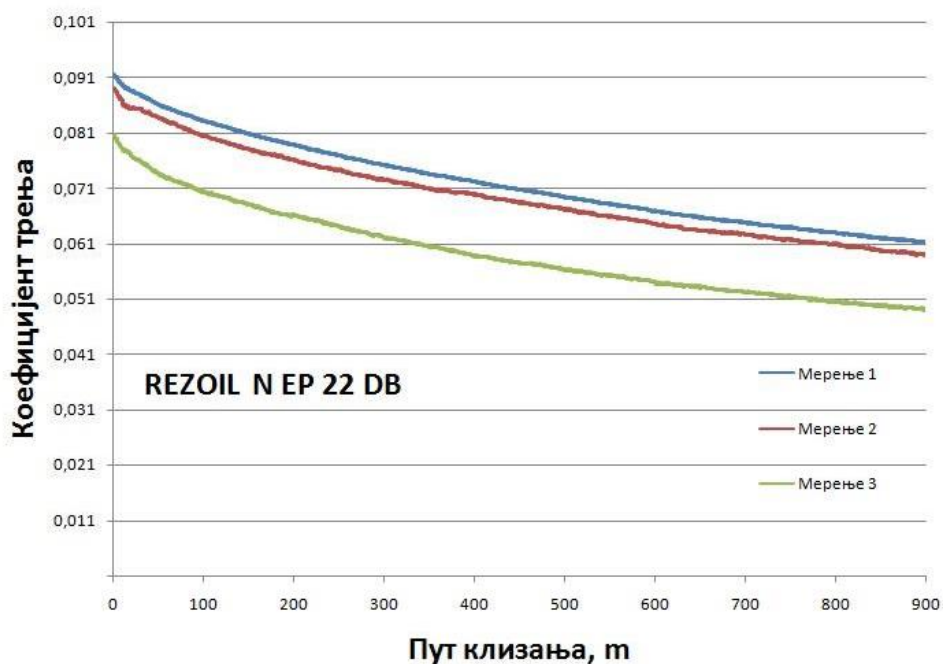
На дијаграму на Слици 5.15 се може видети промена коефицијената трења у функцији пута клизања за сва три трага хабања уља MOL POLIMET ME 20 за прво, друго и треће мерење. Почетни део криве представља ткз. период уходавања (Runing in period). Период уходавања код овог мазива траје веома кратко, приближно до 10 метара пута клизања, а то је око 1% укупног пута клизања (900m). Код периода уходавања интензитет хабања опада са временом трајања контакта. Најмањи је на крају периода хабања. Затим коефицијент трења расте до одређене вредности, што одговара периоду у ком се јављају адхезионе силе и скидање највеће количине материјала. Након тога коефицијент трења се доста спорије мења – смањује са пређеним путем, што одговара другој фази хабања – период успореног хабања. За коначну оцену се користи средња вредност ових кривих.



Слика 5.16 Микроскопски приказ трага хабања за уље MOL POLIMET ME 20

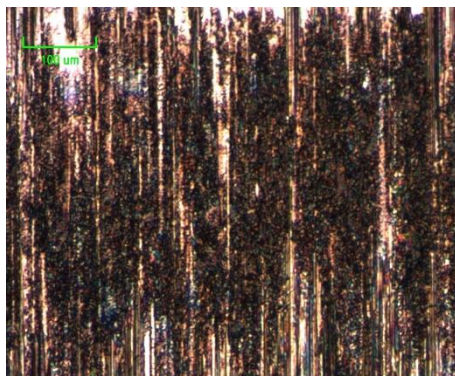
REZOIL NEP 22 DB					
Ширина	Тачка	I	II	III	
h1	p1	49,765	48,496	50,397	
	p2	50,346	49,144	51,105	
h2	p3	50,346	49,113	51,061	
	p4	49,746	48,471	50,354	
h3	p5	49,726	48,436	50,354	
	p6	50,294	49,021	50,925	
[mm]	Разлика ширине				Средња вредност ширине трага
	h1	0,581	0,6	0,568	0,583
	h2	0,648	0,642	0,585	0,625
	h3	0,708	0,707	0,571	0,662
	Средња ширина трагова(hsr)				
	0,624				

Табела 13. Ширина трага хабања за уље REZOIL NEP 22 DB ($F_n = 30\text{ N}$)



Слика 5.17 Коефицијент трења уља REZOIL NEP 22 DB у функцији клизања($F_n = 30\text{ N}$)

За разлику од уља MOL, ово уље има мању вредност коефицијента трења. На Слици 5.17 се може видети да коефицијент трења у функцији пута клизања континуирано опада. На дијаграму се не могу јасно разликовати периоди хабања као у првом случају, тако да криве целом својом дужином на датом дијаграму могу представљати период уходавања.

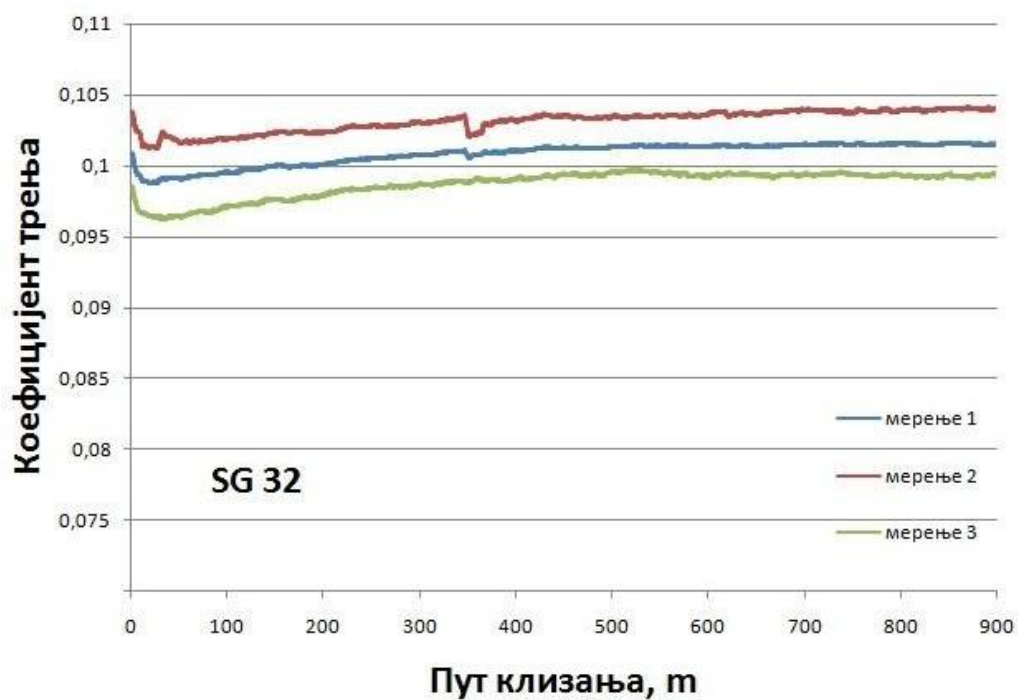


Слика 5.18 Микроскопски приказ трага хабања за уље REZOIL NEP 22 DB

SG 32 N EKO					
Ширина	Тачка	I	II	III	
h1	p1	52,02	52,561	51,801	
	p2	52,544	53,031	52,259	
h2	p3	52,543	53,077	52,259	
	p4	52,037	52,568	51,751	
h3	p5	52,036	52,548	51,741	
	p6	52,545	53,038	52,246	
[mm]	Разлика ширине				Средња вредност ширине трага
	h1	0,524	0,506	0,509	0,513
	h2	0,47	0,509	0,49	0,49
	h3	0,458	0,508	0,505	0,49
	Средња ширина трагова(hsr)				
	0,498				

Табела 14. *Ширина трага хабања за уље SG 32 N EKO ($F_n = 30\text{ N}$)*

На Слици 5.19 приказана је промена коефицијента трења у зависности од пређеног пута за уље SG 32 N EKO. Као и у првом случају, на дијаграму се могу јасно разликовати период уходавања и период успореног хабања. За разлику од дијаграма за уље MOL, у овом случају период уходавања чини мало већи проценат, око 3% укупног пута клизања. Након тога, коефицијент трења благо расте читавом дужином пута клизања. На дијаграму се такође могу приметити нагли поремећаји кривих хабања, који могу бити последица тренутног контакта диска са неравнином на површини блока која је може бити последица хабања или поступка обраде те површине.



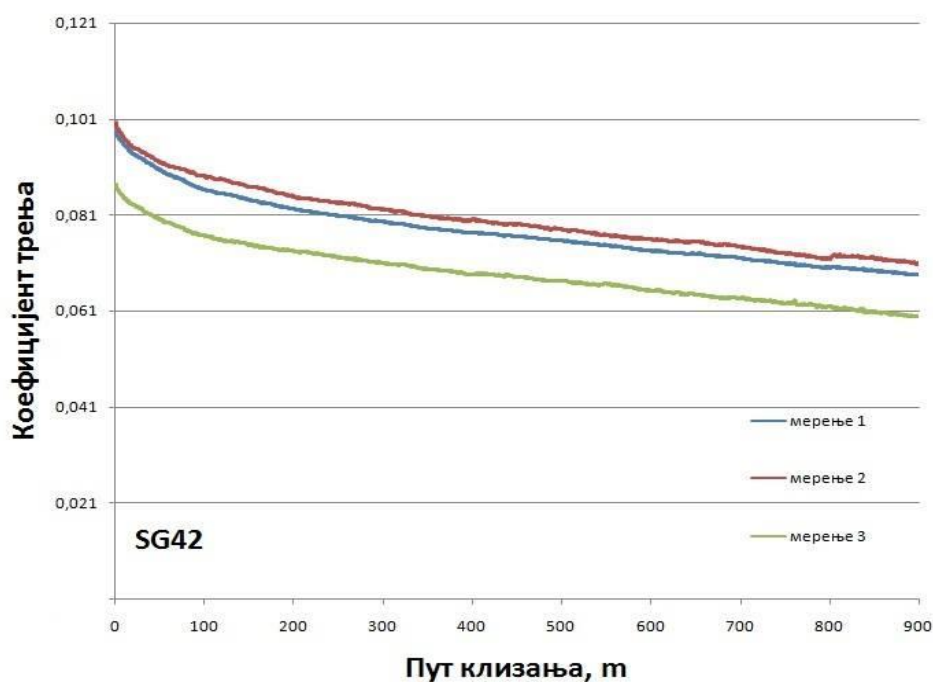
Слика 5.19 Коефицијент трења уља SG 32 N ЕКО у функцији клизања ($F_n = 30 \text{ N}$)



Слика 5.20 Микроскопски приказ трага хабања за уље SG 32 N ЕКО

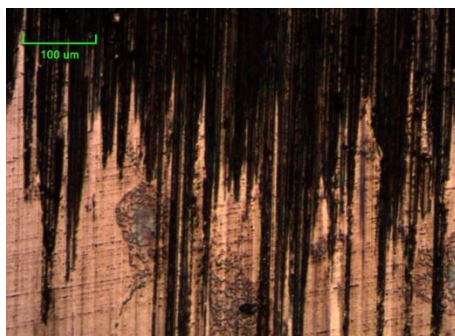
SG 42					
Ширина	Тачка	I	II	III	
h1	p1	49,974	50,567	52,1	
	p2	50,488	51,067	52,588	
h2	p3	50,488	51,046	52,554	
	p4	49,98	50,574	52,067	
h3	p5	49,992	50,605	52,067	
	p6	50,477	51,049	52,532	
[mm]	Разлика ширине				Средња вредност ширине трага
	h1	0,514	0,508	0,485	0,502
	h2	0,5	0,472	0,444	0,472
	h3	0,488	0,487	0,465	0,48
	Средња ширина трагова(hsr)				
	0,485				

Табела 15. Ширина трага хабања за уље SG 42 ($F_n = 30 \text{ N}$)

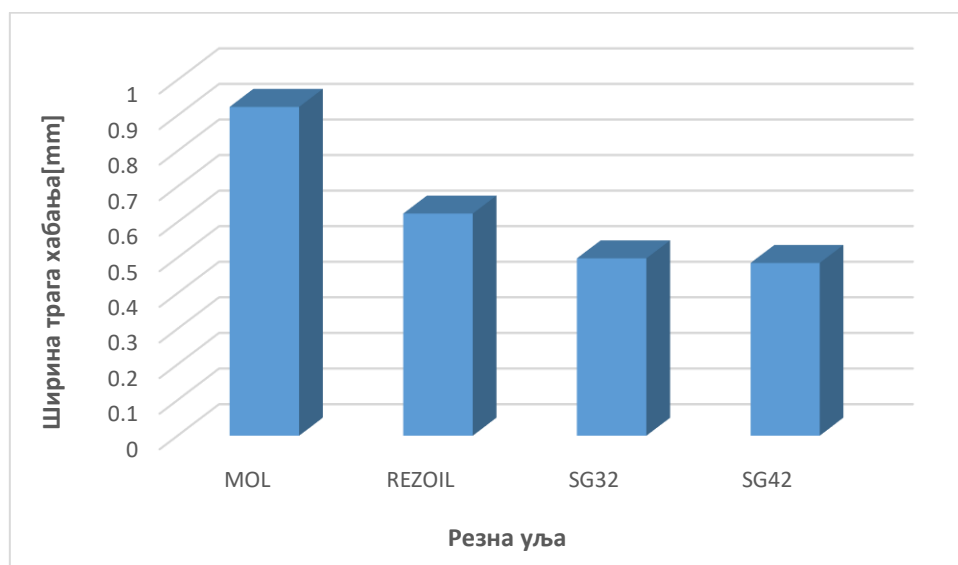


Слика 5.21 Коефицијент трења уља SG 42 у функцији клизања ($F_n = 30\text{ N}$)

На Слици 5.21 је приказана промена коефицијента трења у зависности од пређеног пута за уље SG 42. На дијаграму се може видети да коефицијент трења опада у току пута клизања. До дужине пута од око 100 m, коефицијент трења интензивније опада са пређеним путем, а касније се интензитет опадања коефицијента трења смањује у зависности од пређеног пута (од 100m до 900 m). Као и у претходним случајевима, на одређеним местима се јављају нагле промене криве коефицијента трења, које могу бити последица различитих фактора.

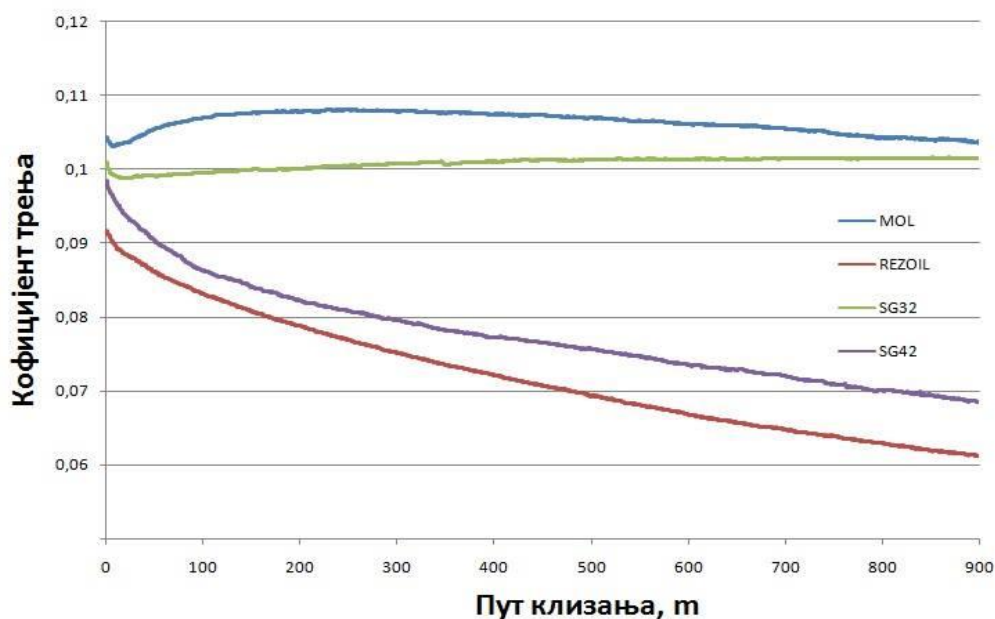


Слика 5.22 Микроскопски приказ трага хабања за уље SG 42



Слика 5.23 Ширина трагова хабања испитиваних уља (h_{sr})

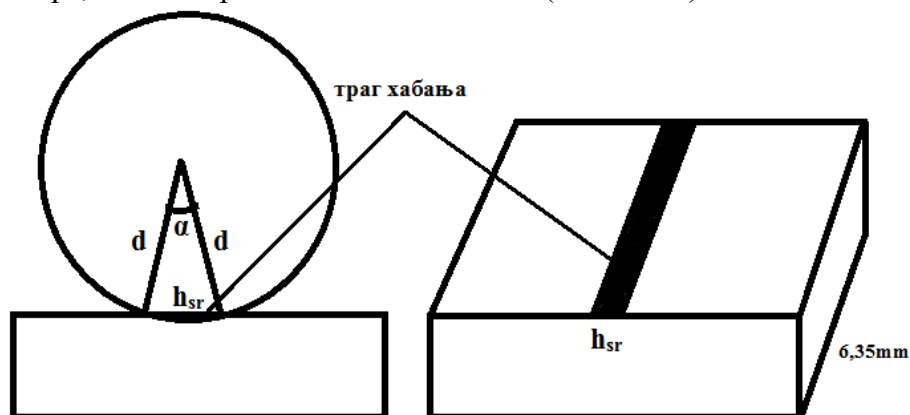
На Слици 5.23 дат је упоредни приказ средње ширине трагова хабања за свако испитивано уље. Уље MOL има највећу вредност ширине трага хабања, при чему је и коефицијент трења овог уља највећи. Уље SG42 има најмању вредност ширине трага хабања, али не и најмањи коефицијент трења.



Слика 5.24 Упоредни приказ коефицијената трења резних уља ($F_n = 30\text{ N}$)

На дијаграму (Слика 5.24) је дат упоредни приказ средњих вредности коефицијената трења за свако уље (средња вредност од три трага хабања по једном мазиву).

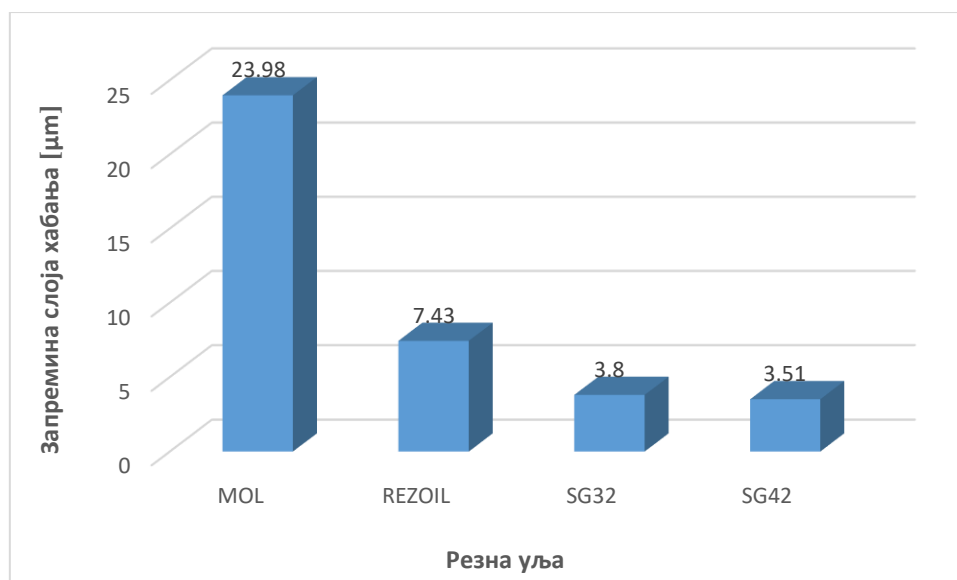
Како би се у потпуности квантификовали подаци о хабању плочица, поред израчунавања коефицијената трења и мерења ширине трага хабања израчунава се и средња површина тих трагова, на основу средње ширине трага хабања и геометрије контактнoг пара, као и запремина похабаног дела (Табела 16).



Слика 5.25 Геометрија за одређивање запремине похабаног слоја

Назив уља	Запремина (μm)	Површина (mm^2)
MOL POLIMET ME 20	23,98	5,87
REZOIL NEP 22 DB	7,43	3,97
SG 32 N EKO	3,8	3,2
SG 42	3,51	3,08

Табела 16. Карактеристике трагова хабања за резна уља (запремина и површина трага)



Слика 5.26 Запремине похабаног слоја

На основу дијаграма на Слици 5.26 закључује се да уље MOL POLIMET ME 20 има највећу вредност коефицијента трења. Такође, средња вредност ширине трага хабања за ово уље је највећа ($h_{sr} = 0,924\text{mm}$), па је самим тим највећа површина и запремина похабаног слоја. Уље REZOIL NEP 22 DB има најмању вредност коефицијента трења, али је зато ширина трага хабања већа од ширине трага хабања уља SG32 и SG42 ($h_{sr} = 0,624\text{ mm}$), што подразумева и већу површину и запремину хабања. Уље SG42 даје најмању вредност средње ширине трага хабања и малу вредност коефицијента трења, па је показало најбоље резултате овог испитивања.

6. Закључак

На основу испитивања резних уља MOL POLIMET ME 20, REZOIL NEP 22 DB, SG 32 N EKO и SG 42 на трибометру, ова уља се могу класификовати на основу вредности коефицијента трења и ширине трага хабања. Најпожељније карактеристике уља су што мањи коефицијент трења и што мања ширина трага хабања. Коефицијент трења се приказује на дијаграму у зависности од пута клизања. Промена вредности коефицијента трења у функцији пута је последица промене триболошких карактеристика у зони контакта.

Главни параметри који се користе за оцену резних уља у експерименту су:

- Коефицијент трења,
- Ширина трага хабања.

На основу ових параметара се могу добити и друге карактеристике мазива, као што је нпр. запремина похабаног слоја на површини плочице. Најмању вредност коефицијента трења током испитивања имало је уље REZOIL, нешто већу вредност коефицијента бележи уље SG 42, затим следи уље SG 32 NEKO, а највећу вредност коефицијента трења имало је уље MOL. Најмањи траг хабања током испитивања оставља уље SG 42 ($h_{sr} = 0,485$), затим следи уље SG 32 NEKO, REZOIL, а највећи траг хабања има MOL. На основу тих вредности се закључује да најбоље триболошке карактеристике има уље SG 42, а најлошије се током експеримента показало уље MOLPOLIMETME 20.

Карактеристике уља SG 42 добијене ових експериментом, а које га чине најпогоднијим за употребу при операцијама резања су:

- Веома мала вредност коефицијента трења,
- Најмањи траг хабања,
- Најмању вредност запремине похабаног слоја.

Уље SG 42 се користи за операције сечења, стругања, бушења, глодања и рендисања. употребљава се за обраду свих врста челика, сивог и темпер лива и обојених и лаких метала. Садржи рафинисано минерално уље, мазиве додатке, високопритисне адитиве, инхибиторе корозије и антихабајуће адитиве.

Очигледно је да се приликом набавке алтернативног уља није водило рачуна о препорукама произвођача или о физичким својствима резног уља. Последице су већа потрошња алата, као и димензијска нестабилност изазвана хабањем ивица резног алата, што захтева врло честу измену, као и пратеће умеривање истих.

7. Литература

- [1] Б. Ивковић, А. Рас, *Трибологија*, Југословенско друштво за трибологију, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 1995.
- [2] М. Бабић, *Мониторинг уља за подмазивање*, Југословенско друштво за трибологију, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2004.
- [3] <https://www.sandvik.coromant.com/>, приступљено: 02.10.2020.
- [4] <http://www.sloboda.co.rs/>, приступљено: 02.10.2020.
- [5] К. Грилец, В. Ивушић, *Трибологија*, Свеучилиште у Загребу, Факултет стројарства и бродоградње, Загреб, 2011.
- [6] Czichos, H., *Tribology — A System Approach to the Science and Technology of Friction, Lubrication and Wear*, Elsevier, Amsterdam, 1987.
- [7] B.E.Meister, *The Identification of Desirable Parameters for Aluminium Cutting Using Various Cutting Fluids and Limited Volume Lubrication*, Faculty Engineering, Built Environment and Information Technology, University of Pretoria, 2002.
- [8] <http://www.maziva.org/>, приступљено: 06.10.2020.
- [9] Недић Б., Пешић З., *Физичко хемијске и триболошке карактеристике уља за подмазивање*, Осма интернационална конференција о трибологији, Београд 8. - 10. октобра 2003.
- [10] Богдан Недић, Миодраг Лазић, *Производне технологије: обрада метала резањем*, Скрипта, Машински факултет, Крагујевац, 2007.
- [11] www.iscar.com/, приступљено: 06.10.2020.
- [12] www.nisotec.eu/, приступљено: 06.10.2020.
- [13] Захар С., *Машине алатке I*, Југословенско друштво за трибологију, Крагујевац, 1993
- [14] Недић Б., *Нумерички управљане алатне машине - САМ системи*, Крагујевац, радни текст за наставу
- [15] Недић Б., *Вишеосне CNC машине*, Крагујевац, 2016
- [16] http://www.turret.com.tw/e_index.html, приступљено 09.10.2020.
- [17] <https://hu.dmgmori.com/>, приступљено 09.10.2020.
- [18] <https://www.industr.com/en/EM-Magazine/>, приступљено 09.10.2020.
- [19] <https://www.doosanmachinetools.us/>, приступљено 09.10.2020.
- [20] <http://rais-bg.com/>, приступљено 09.10.2020.

- [21] <http://www.tajmac-zps.cz>, приступљено 13.10.2020.
- [22] TAJMAC-ZPS, приручник, a.s. Zlín, 2013.
- [23] Sterle L., Kalin M., Pusavec F., *Performance Evaluation of Solid Lubricants Under Machining - Like Condition*, CIRP Conference of High Performance Cutting (HRC 2018), Procedia Engineering CIRP 77 (2018) 401-404.
- [24] М. Бабић., С. Митровић, *Триболошке карактеристике композита на бази ZnAl легура*, Машински факултет, Крагујевац, 2007.
- [25] Драган Џунић, *Анализа процеса трења и хабања нанокомпозита са металном основом*, Докторска дисертација, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2015.
- [26] Durand B., Delvare F., Bailly P., Picart D., *Identification of the friction under high pressure between an aggregate material and steel: Experimental and modelling aspects*, International Journal of Solids and Structures 50 (2013) 4108-4117.
- [27] <https://fam.co.rs>, приступљено: 16.10.2020.
- [28] <http://hemingbanat.rs>, приступљено: 16.10.2020.
- [29] <https://molserbia.rs>, приступљено: 16.10.2020.