

## 8. VEŽBA – TRIBOLOŠKA ISPITIVANJA

Da bi se mogao predvideti način tribološkog ponašanja neke prevlake u toku njene primene potrebno je znati tribološke osobine te prevlake. Bilo bi idealno kada bi se tribološke osobine mogle odrediti na osnovu osnovnih osobina prevlake (hemijske, toplotne, mehaničke itd.). Međutim, još uvek ne postoji neka uopštena veza između osnovnih i triboloških osobina prevlake (1). Teško je i očekivati da se ova veza uspostavi jer tribo-osobine ne zavise samo od materijala u kontaktu već od celog tribosistema. Na slici 8.1 dat je šematski prikaz parametara koji utiču na tribološko ponašanje nekog sistema.

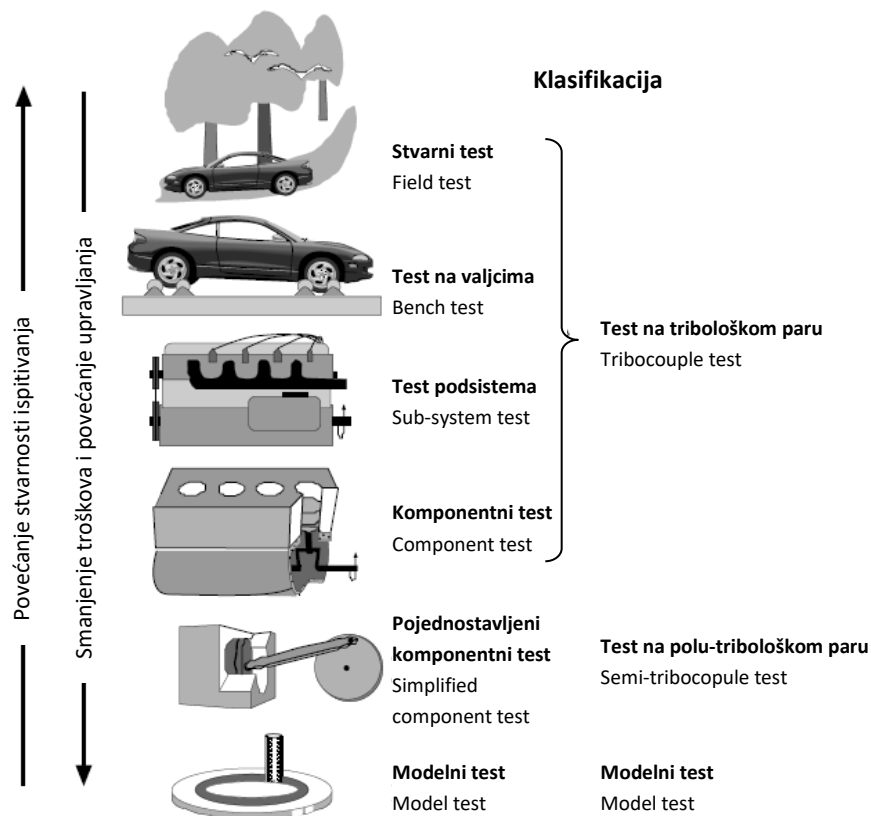


Slika 8.1 Parametri koji utiču na tribološko ponašanje

Jedini pravi način da se odredi tribološko ponašanje prevlaka u toku realne primene jeste eksperimentalno ispitivanje. Nabolje je da se ispitivanje vrši u realnim uslovima (*eng. field test*). Međutim, ispitivanje u realnim uslovima je skupo i dugotrajno pa se najčešće za predviđanje tribološkog ponašanja koriste laboratorijski testovi koji treba da simuliraju stvarne uslove što približnije. Pod pomenutim uslovima podrazumevaju se vrsta kontakta, materijal kontratela, okruženje i radne karakteristike (kontaktni pritisak, brzina klizanja, temperatura itd.). Laboratorijski test treba verno da reprodukuje mehanizam (vrstu) habanja (ili trenja), kao što su npr. abrazija po sistemu dva tela, adhezivno habanje, erozivno habanje itd. Na osnovu laboratorijskih testova mogu se sa određenom tačnošću donositi opšti zaključci o tribološkom ponašanju u stvarnoj primeni (1).

## KLASIFIKACIJA TRIBOLOŠKIH ISPITIVANJA

Tribološka ispitivanja mogu se klasifikovati prema njihovom stepenu realnosti, odnosno prema tome koliko blisko oponašaju uslove stvarne primene (Slika 8.1). Kao što je već rečeno, teži se što većem stepenu realnosti, ali postoje mnogi razlozi za ispitivanje u laboratorijskim uslovima. Ti razlozi su cena ispitivanja, trajanje ispitivanja, precizna kontrola uslova ispitivanja, ili jednostavna želja da se proučava samo jedan, izolovani mehanizam habanja (trenja) (2).



Slika 8.2: Klasifikacija triboloških ispitivanja prema stepenu stvarnosti

Na slici 8.2 dat je prikaz klasifikacije triboloških ispitivanja prema stepenu stvarnosti. Prikazan je primer ispitivanja tribološkog ponašanja sistema klip-cilindar. U ovom slučaju stvarni test podrazumeva da se celo vozilo ispita u stvarnim uslovima primene. Međutim, celo vozilo može da se ispita na valjcima (*eng. bench test*) koji se, radi povećanja stepena kontrole uslova ispitivanja, odvija u laboratoriji ili nekom drugom kontrolisanom okruženju.

Kako bi se smanjili troškovi, ispitivanje se može vršiti na podsystemu koji je i dalje stvarni sistem, a ne model. U konkretnom primeru podsystem predstavlja automobilski motor koji se ispituje u kontrolisanim laboratorijskim uslovima. Dalje uprošćenje postiže se sprovođenjem komponentnog testa u kome se ispituju samo važnije komponente sistema. U ovom testu ispitivane komponente su stvarne, ali se simulira ostatak tribosistema. Iako komponentni test na prvi pogled slični stvarnom testu promene u okruženju mogu značajno uticati na uslove ispitivanja. Konkretno se misli na rasipanje temperature, vibracije, uslove podmazivanja itd.

Dalje povećanje efikasnosti i stepena kontrole uslova ispitivanja postiže se u pojednostavljenom komponentnom testu ili u modelnom testu. U pojednostavljenom komponentnom testu samo jedna komponenta je stvarna. Primenom jednostavnog modelnog testa može se izvršiti brzo, jednostavno i

jeftino ispitivanje triboloških osobina različitih materijala. U modelnom testu oba dela u kontaktu zamenjuju su modelima.

Pored ove klasifikacije, tribološka ispitivanja mogu da se podele na ispitivanja:

- *zatvorenog tipa* - ispitivanje je zatvoreno ukoliko klizanje odvija stalno po istoj putanji (tragu),
- *otvorenog tipa* - ukoliko se pri ispitivanju stalno stvara novi trag.

Dalje se tribološka ispitivanja mogu razlikovati prema tome da li se klizanje odvija samo u jednom smeru ili je u pitanju dvosmerno (recipročno) klizanje.

## PLANIRANJE TRIBOLOŠKIH ISPITIVANJA

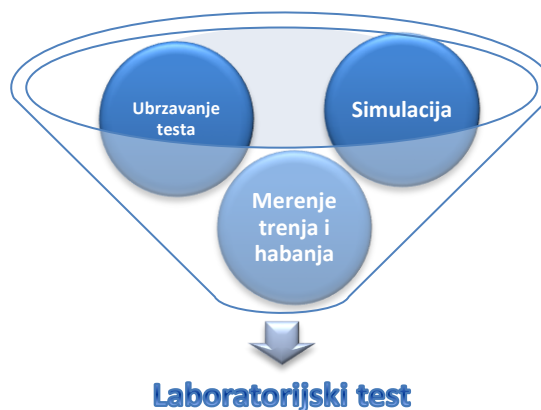
Tribološka ispitivanja se sprovode iz određenih razloga, a u zavisnosti od tih razloga zavisice i kako će se ona izvršiti i na čemu će biti akcenat prilikom tih ispitivanja. Razlozi za sprovođenje triboloških ispitivanja su:

1. rangiranje materijala prema njihovim tribološkim osobinama za postojeću primenu,
2. izbor materijala za novu primenu,
3. uopšteno ispitivanje triboloških osobina materijala, bez obzira na primenu – pre svega se misli na određivanje triboloških osobina novih materijala,
4. izučavanje mehanizama habanja (trenja) koji se pojavljuju u nekoj određenoj primeni.

Izbor tribološkog ispitivanja zavisi od razloga ispitivanja i mora se pažljivo planirati. Planiranje se može vršiti prema sledećem redosledu:

1. izabrati test koji najpribližnije opisuje stvarnu primenu (Slika 8.2),
2. paziti da test ne traje suviše dugo, da je upravljiv i isplativ,
3. koristiti odgovarajuće materijale pri ispitivanju.

Laboratorijske, tj uprošćene tribološke testove sačinjavaju tri osnovna činioca što je šematski prikazano na slici 8.3



Slika 8.3 Laboratorijski uprošćeni tribološki testovi

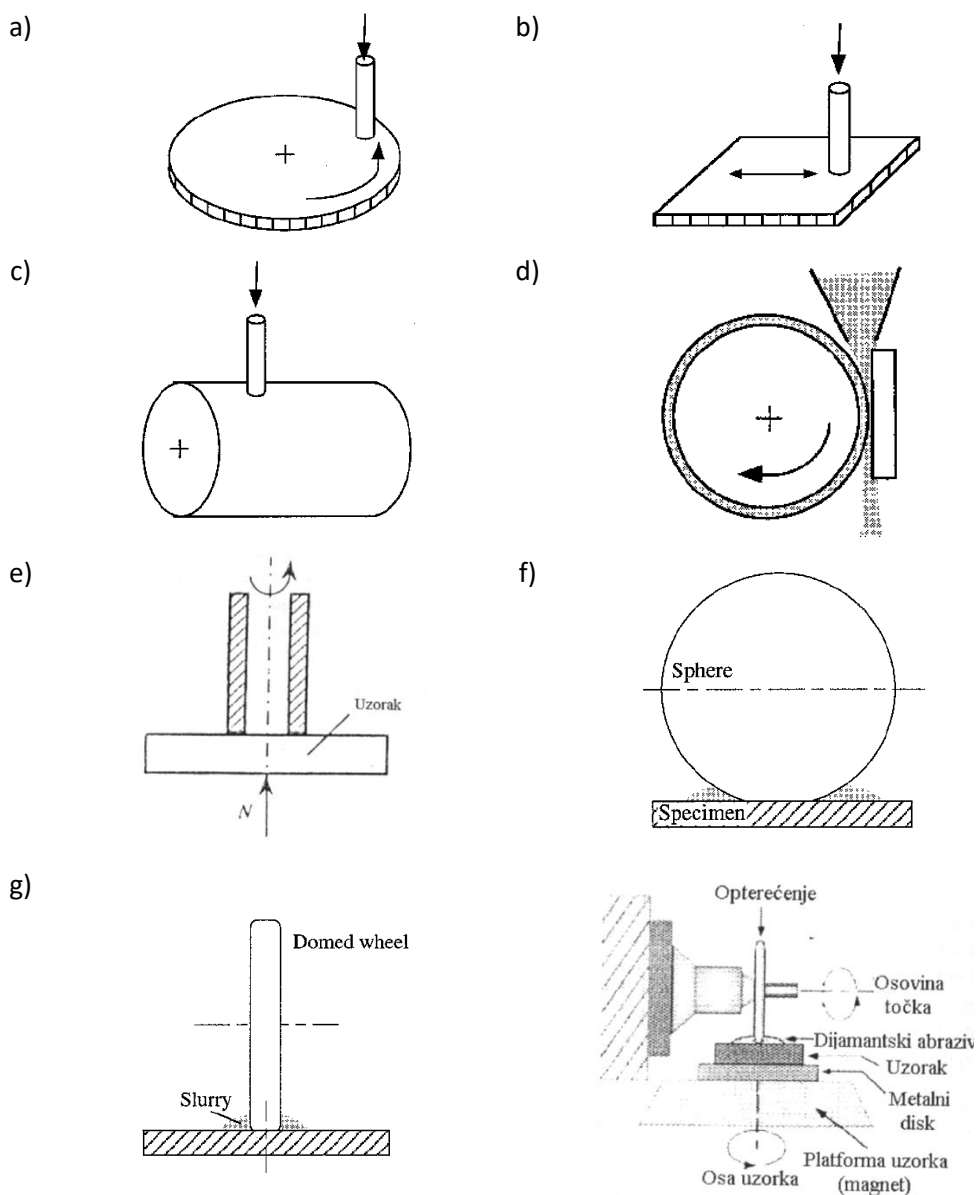
Smatra se da je simulacija najkritičniji deo, jer se ispravnom simulacijom osigurava da će uslovi koji vladaju u testu biti identični ili najpribližniji mogući stvarnim uslovima. U slučaju pravilne simulacije, lako se može odrediti faktor ubrzanja između simulacije i realnog testa. Ubrzavanje testa se vrši povećanjem opterećenja ili brzine klizanja ili obe veličine, a u cilju da se ubrza habanje, tj. smanji vreme trajanja testa. Nažalost, ubrzanjem ispitivanja često se menja mehanizam habanja, pre svega kroz promenu temperature.

Uprošćeni testovi, koji su ubrzani i simuliraju realno stanje, služe uglavnom za odabiranje nekoliko najboljih (dva – tri) rešenja od niza mogućih. Zatim se za tako suženi izbor izvode testovi u realnim uslovima i dolazi do konačnog rešenja.

## PRIMERI TRIBOLOŠKIH ISPITIVANJA

### Abrazivno habanje

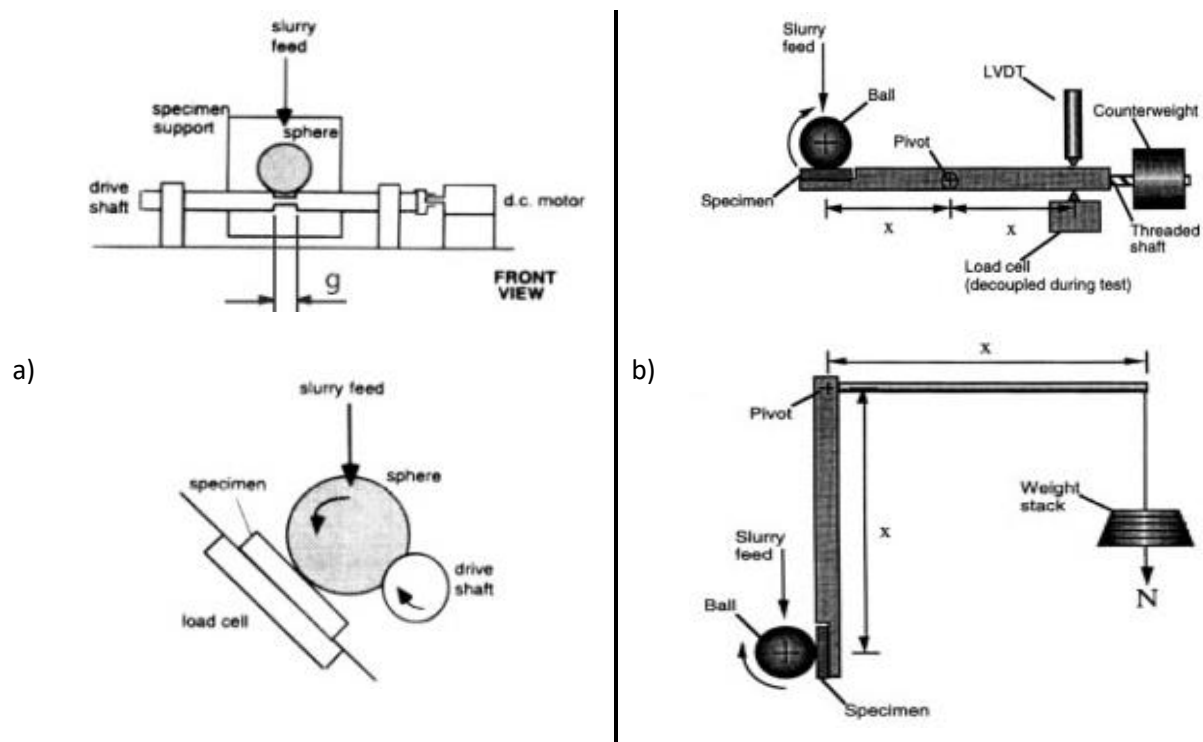
U zavisnosti od toga da li je reč o abraziji po sistemu dva tela ili po sistemu tri tela, zavisice izbor testa za ispitivanje triboloških osobina pri ovom tipu habanja. U slučaju abrazije po sistemu dva tela, otpornost nekog materijala na abraziju ispituje se dovođenjem istog u kontakt sa površinom na kojoj su fiksirane abrazivne čestice. U ovu svrhu koriste se brusni papir i točila. Ukoliko je reč o abraziji po sistemu tri tela, abrazivne čestice uvode se u zonu kontakta ispitivanog uzorka i kontratela.



Slika 8.4 Konfiguracije testova za ispitivanje abrazije. a) čivija po disku (pin-on-disc); b) čivija po ploči (pin-on-plate); c) čivija po cilindru-dobošu (pin-on-drum); d) blok po točki (block-on-wheel), e) šuplji cilindar po ploči (abrazivne čestice se dovode u kontakt između ova dva tela); f) sferična abrazija, g) stvaranje kratera primenom rotirajućeg točka

Na slici 8.4 prikazane su šeme pojedinih testova za ispitivanje abrazivnog habanja. Slika 8.4 a prikazuje najčešće korišćenu šemu „čivija-po-disku“ (*pin-on-disc*). Slike 8.4 a, b i c prikazuju konfiguracije testova za ispitivanje abrazije po sistemu dva tela, dok slike 8.4 d, e, f i g po sistemu tri tela.

Konfiguracije na slici 8.4 f i g predstavljaju finiji tip ispitivanja abrazivnog habanja, tzv. Sferično abrazivno habanje. U ova dva slučaja se pomoću rotirajuće kugle (kalotest) stvaraju mala udubljenja (krateri) na površini ispitivanog uzorka. Kalotest je pogodan za ispitivanje otpornosti na habanje zakrivljenih površina. Veličina opterećenja kod kalotesta zavisi od veličine kuglice, a može se kontrolisati nagibom ispitivanog uzorka. Pored klasičnog kalotesta postoje i specijalno razvijeni uređaji kod kojih se precizno kontroliše veličina opterećenja (Slika 8.5 i Slika 8.6).



Slika 8.5 Šeme uređaja za ispitivanje sferično abrazivno habanje: a) klasičan kalotest; b) specijalno razvijeni uređaji sa preciznom kontrolom opterećenja i dubine prodiranja kugle u uzorak

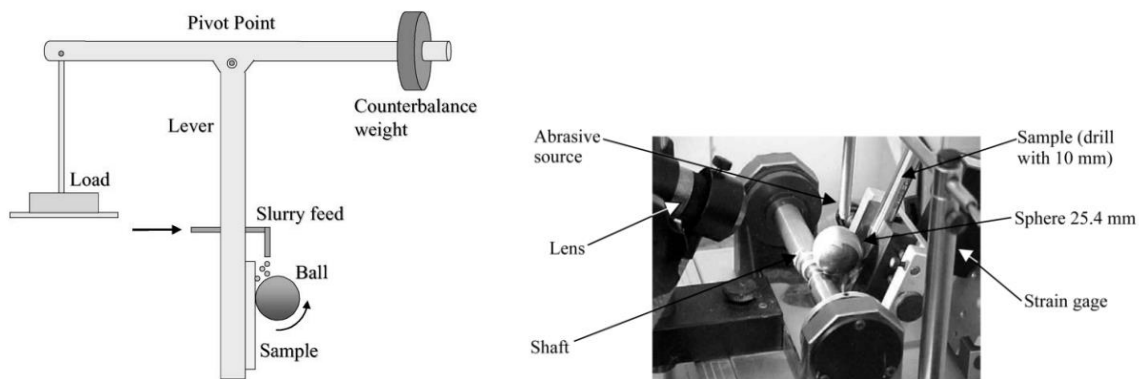


Fig. 1. Schematic drawing illustrating the geometry of the micro-abrasive apparatus used in the present study.

Fig. 1. Description of the micro-abrasive wear test equipment.

Slika 8.6 Konstruktivne izvedebe uređaja za sferično abrazivno habanje

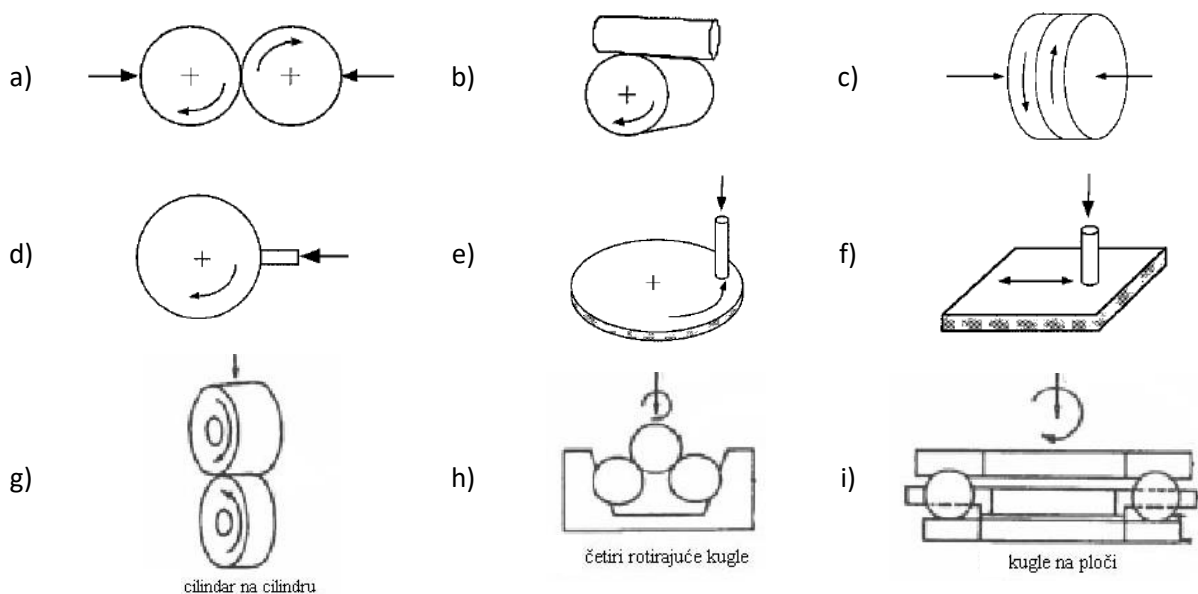
U svim gore pomenutim konfiguracijama, prilikom abrazije po sistemu dva tela, stvaraju se višestruki žlebovi. Često se primenom testa zaparavanja (*scratch test*) pomoću različitih utiskivača (tipa Rokvel C i drugih) stvara jedan kontrolisani žleb. Posmatranjem nastalog žleba mogu se proučavati mehanizmi nastajanja oštećenja, a pored habanja može se u toku testa detektovati sila trenja i odrediti koeficijent trenja kao odnos sile trenja i primenjenog opterećenja (normalne sile).

### **Habanje pri klizanju i kotrljanju**

Habanje pri klizanju i kotrljanju ne predstavlja poseban mehanizam habanja, već se odnosi na fenomene koji se javljaju u zavisnosti od tipa kretanja između dve površine. Pri oba tipa kretanja mogu se javiti različiti mehanizmi habanja, kao što su adhezivno habanje, zamor površine, abrazivno habanje, hemijsko habanje i drugi mehanizmi.

Zbog velikog broja različitih mehanizama habanja koji se mogu javiti pri klizanju, bilo kakve male promene u uslovima testa mogu dovesti do promene dominantnog mehanizma, a time i veličine habanja i koeficijenta trenja. Stoga je vrlo važno pri izboru modelnog testa da se zaista simuliraju uslovi stvarne primene. Kontaktni pritisak, toplotni uslovi, brzina klizanja i okruženje predstavljaju najvažnije parametre pri određivanju triboloških osobina pri klizanju i kotrljanju.

Postoji veći broj geometrijskih konfiguracija testova za ispitivanje otpornosti na habanje pri klizanju (Slika 8.7a-f). U toku ispitivanja, lopta, čivija, cilindar ili prsten jednog materijala klizi preko diska, bloka ili cilindra drugog materijala. Koristiti se statičko ili dinamičko opterećenje, a klizanje se odvija sa ili bez sredstva za podmazivanje. U testu „čivija po disku“ (*pin-on-disc*) prikazanom na slici 8.7 e, čivija je nepokretna dok se disk obrće ili osciluje, u testu „čivija po ploči“ (*pin-on-plate*) prikazanom na slici 8.7 f, ploča se kreće recipročno, relativno u odnosu na nepomičnu čiviju itd.



*Slika 8.7 a-f) Prikaz geometrija koje se koriste za ispitivanje otpornosti na habanje pri kliznom kontaktu; g-i) prikaz ispitivanja otpornosti na zamorno habanje u kotrljajnom kontaktu*

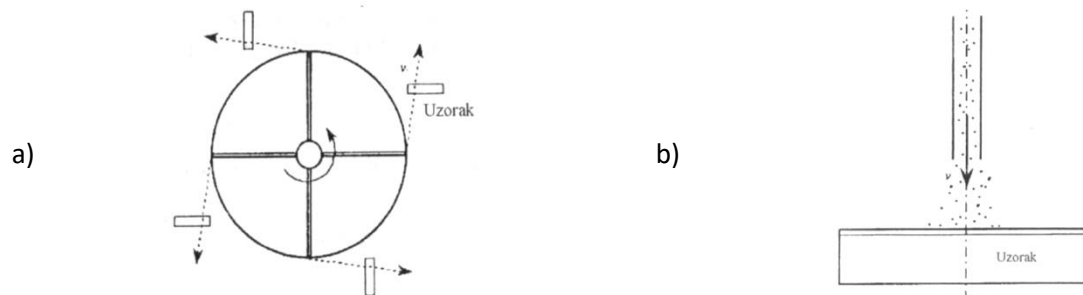
Postoji veći broj testova za određivanje ponašanja određenih materijala i osobina sredstava za podmazivanje pri kotrljajućem kontaktu, koji se primenjuju kod kotrljajućih ležajeva i zupčanika. U okviru ovih testova jedan element se kotrlja po drugom, pri čemu se prate nastala oštećenja u zavisnosti od broja ciklusa. Ta oštećenja mogu biti pojava pukotina, promene teksture ili hrapavosti



površine i odvajanje materijala. Habanje koje nastaje pri kotrljanju se poredi na osnovu broja ciklusa potrebnih da nastane određeni vid oštećenja na ispitivanim elementima. Najčešće korišćene konfiguracije prikazane su na slici 8.7 g-i.

### Erozivno habanje

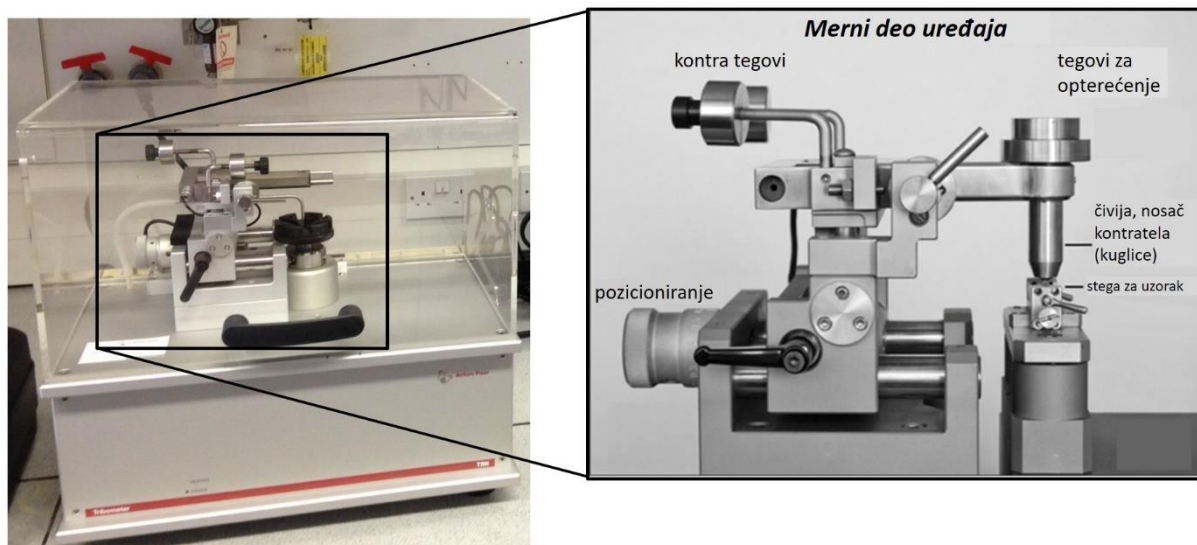
Vrsta habanja koja se javlja pri udaru čestica u površinu materijala. Zavisí od vrste, mase, brzine i upadnog ugla čestica. Zbog toga uslovi ispitivanja moraju biti strogo kontrolisani. Moguće konfiguracije testova prikazane su na slici 8.8 .



Slika 8.8 a) centrifugalni erozivni akcelerator, u kome se čestice ubacuju u centralni deo rotora koje pod dejstvom centrifugalne sile kreću kroz radijalne kanale. Izlazeći iz kanala, one udaraju o uzorke koji su raspoređeni oko rotora; b) erozivni test česticama koje se u cilindru ubrzavaju mlazom gasa i usmeravaju na uzorak

## UREĐAJI ZA ISPITIVANJE TRIBOLOŠKIH OSOBINA

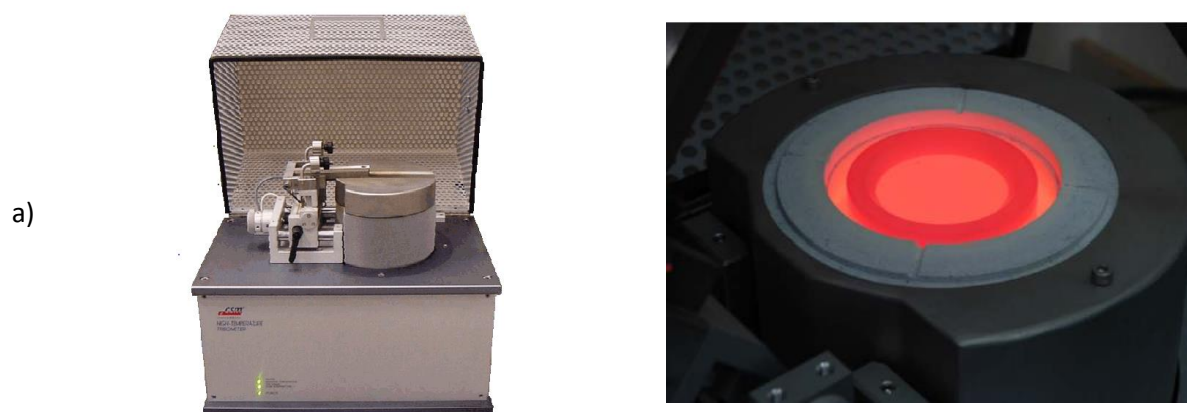
Uređaji koji se koriste za tribološke testove nazivaju se tribometri. Postoje različite izvedbe ovih uređaja koje pokrivaju široku lepezu različitih uslova koji se mogu javiti u stvarnosti pri habanju. Standardni tribometar za „čivija po disku“ i „čivija po ploči“ ispitivanja je prikazan na slici. Ovaj uređaj je povezan sa računaraom preko kojeg se upravlja i uz pomoću kojeg se vrše snimanja paramaterara procesa kao što su koeficijent trenja i određivanje habanja. Uređaji se koriste ua ispitivanja sa normalnim opterećenjima od 1 do 20 N.



Slika 8.9 Standardni tribometar, proizvođača Anton Par

Osim standardnog tribometra postoje i specijalne izvedbe ovakvih uređaja. Tribometri za ispitivanja na povišenim temperaurama (eng. High Temperature Tribometer) slika 8.10a, su slične konstrukcije

kao i standardni tribometar samo je stega za postavljanje uzoraka smeštena u malu peć za zagrevanje do temperatura od 1200 °C. Tribometri za ispitivanje u vakumu (*eng. High Vacuum Tribometer*) slika 8.10b su nešto sofisticiraniji uređaji kod kojih osim što može da se vrši ispitivanje u vakumu, mogu da se precizno kontrolišu i atmosfere gasova u okolini a često i temperatura okoline. Mikro i nano tribometri (*eng. Nano Tribometer*) se koriste za ispitivanja sa veoma malim opterećenjima i malim kontratelima slika 8.10c. Osim nabrojanih tribometara mnogi istraživački i razvojni centri poseduju specijalno razvijene tribometre za određene namene sa određenim vrstama kretanja tela u kontaktu i opsezima opterećenja za ispitivanje.



$T = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$   
 $P = 5 \times 10^{-5}\text{ bars}$



**Specifications:**

Normal load: 50  $\mu\text{N}$  - 1N (Resolution 1  $\mu\text{N}$ )  
 Tangential load: 10  $\mu\text{N}$  - 1N (Resolution 1  $\mu\text{N}$ )  
 Depth: 100  $\mu\text{m}$  ( Resolution 20 nm)

**Linear motion:**

Range: 10 – 1000  $\mu\text{m}$   
 Frequency: 0.01 – 10 Hz

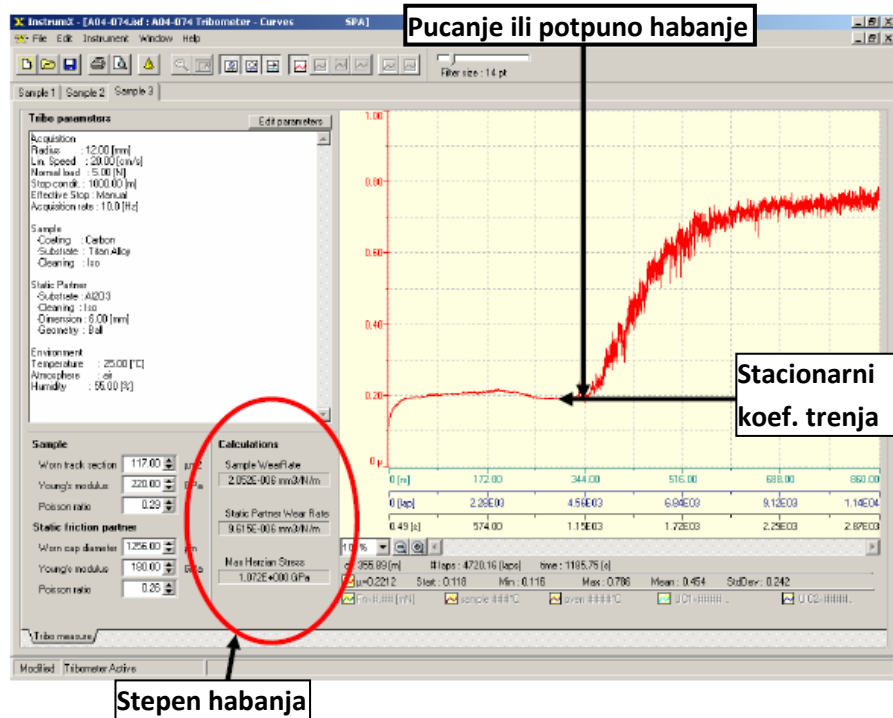
**Rotative motion:**

Radius: 30  $\mu\text{m}$  – 10 mm  
 Speed: 1 – 100 rpm

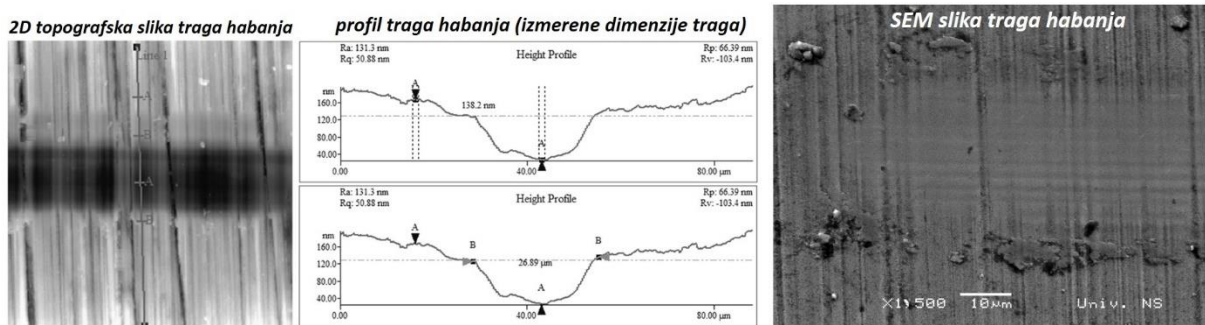
Slika 8.10 a) Tribometar za ispitivanje na povišenim temperaturama 20-1000 °C; b) tribometar za ispitivanje u vakumu; c) mikro (nano) tribometar



Kao rezultat triboloških ispitivanja iz tribometara se dobijaju dijagrami koeficijenta trenja (slika 8.11) i eventualno stepen habanja, a iz naknadnih ispitivanja sa mikroskopima i profilometrima dobijaju se slike pohabanih površina i topografije i profili pohabanih površina (slika 8.12). Na osnovu dijagrama koeficijenta trenja ocenjuje se ponašanje ispitivanog materijala a može da se proceni i njegova trajnost. Topografske slike pohabane površine i profili tragova habanja se koriste za proračun stepena (zapremine) habanja materijala a zajedno sa mikroskopskim analizama (SEM) služe za donošenje zaključaka o prisutnim mehanizmima habanja i oceni koji od mehanizama je najdominantniji.



Slika 8.11 Prikaz izlaznog ekrana pri ispitivanju na tribometru. Levo gore su dati parametri uslovi ispitivanja (opterećenje, brzina, temperatura). Levo dole stepen habanja. Desno veličina koeficijenta trenja u zavisnosti od vremena trajanja testa, broja obrtaja ili dužine traga habanja



Slika 8.12 Analiza traga habanja TiN prevlake, 2D topografska slika traga sa linijskom analizom profila, profil traga habanja sa izmerenom dubinom i širinom traga habanja. SEM slika jednog kraja traga habanja

Da bi rezultati triboloških ispitivanja bili univerzalni i pogodni za međusobno poređenje ponašanja različitih materijala, koji su ispitani primenom različitog normalnog opterećenja (sile) i različitim brzinama kretanja tela u kontaktu, uveden je koeficijent habanja  $K$ . Koeficijent habanja se proračunava prema sledećem izrazu:

$$K = \frac{V}{F \cdot s} \quad [\text{mm}^3/\text{Nm}]$$

gde su:

$V$  – zapremina traga habanja [ $\text{mm}^3$ ]

$F$  – normalno opterećenje (normalna sila) [N]

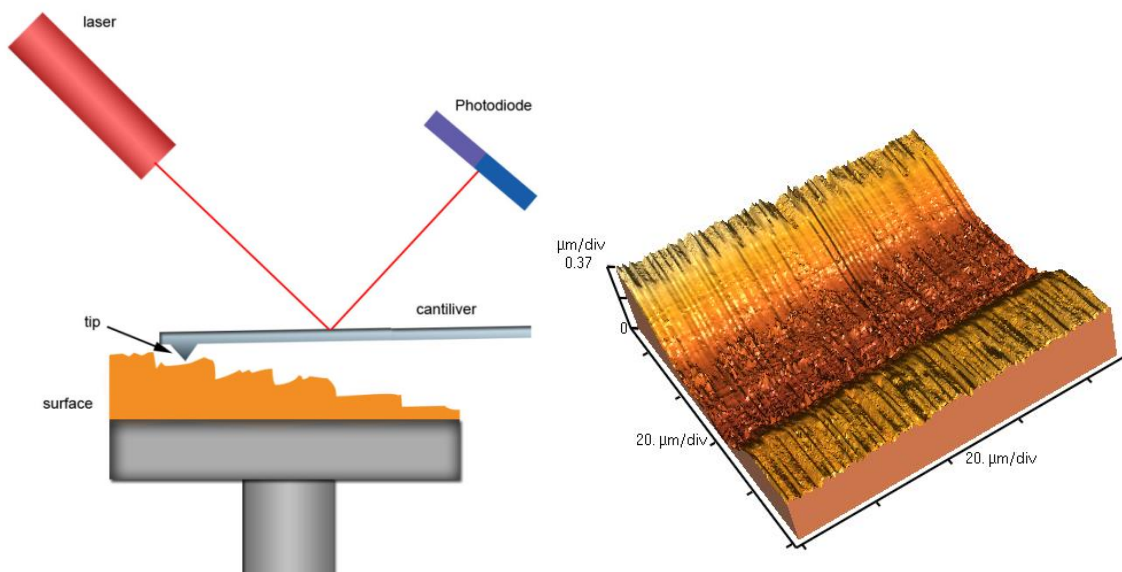
$s$  – pređeni put tokom tribološkog ispitivanja [m]

Koeficijent habanja predstavlja kvantitativnu meru habanja određenog materijala bez obzira na opterećenje i brzinu koje su primenjene u konkretnim testovima. Veće vrednosti koeficijenta habanja govore o većem habanju materijala odnosno o manjoj otpornosti na habanje i obrnuto. Ovako definisan koeficijent habanja  $K$  je adekvatan za međusobno poređenje materijala pri čemu treba imati u vidu i neke ostale parametre procesa habanja koji su veoma uticajni na habanje kao što su vrsta atmosfere (vazduh, vlažnost vazduha, inertan gas), temperatura okoline i primena sredstva za podmazivanje itd.

## MERENJE TRENJA I HABANJA NA NANO NIVOU - AFM/LFM

Ispitivanje triboloških osobina na nano nivou može se vršiti pomoću mikroskopije sa skenirajućom probom SPM-a (Scanning Probe Microscope). U tu svrhu koriste se dva režima rada:

- Mikroskopija atomskih sila - AFM - Atomic Force Microscopy
- Mikroskopija lateralnih sila - LFM - Lateral Force Microscopy



Slika 8.13 a) Šematski prikaz AFM/LFM uređaja; b) primer traga nanohabanja snimljenog AFM-om

Pomoću AFM režima rada može se izvršiti ispitivanje pohabane površine (slika 8.13a), a određivanje koeficijenta trenja vrši se u LFM režimu rada, slika 8.13a. Obe vrste merenja su bazirana na principima rada mikroskopije atomskih sila.

**Princip rada AFM / LFM** Vrh prizme se nalazi na elastičnoj konzoli (*cantilever*) izuzetno male krutosti. Uzorak se nalazi na piezoelektričnom nosaču i vrši skenirajuće kretanje, dok je nosač prizme statičan. Laserski snop se reflektuje od vrha konzole na fotodetektor. Pomeranje vrha sonde deformiše i konzolu skreće laserski snop, dajući različite signale u kvadrantima detektora. Usled promene topografije doći će do savijanja elastične konzole ili prema gore, ili prema dole. Ovo će izazvati

pomeranje reflektovanog laserkog snopa gore-dole po fotodetektoru (AFM mod). Sila trenja daje otpor kretanju prizme usled čega dolazi do uvijanja elastične konzole. U ovom slučaju reflektovani laserski snop kreće se levo-desno po fotodetektoru (LFM mod).

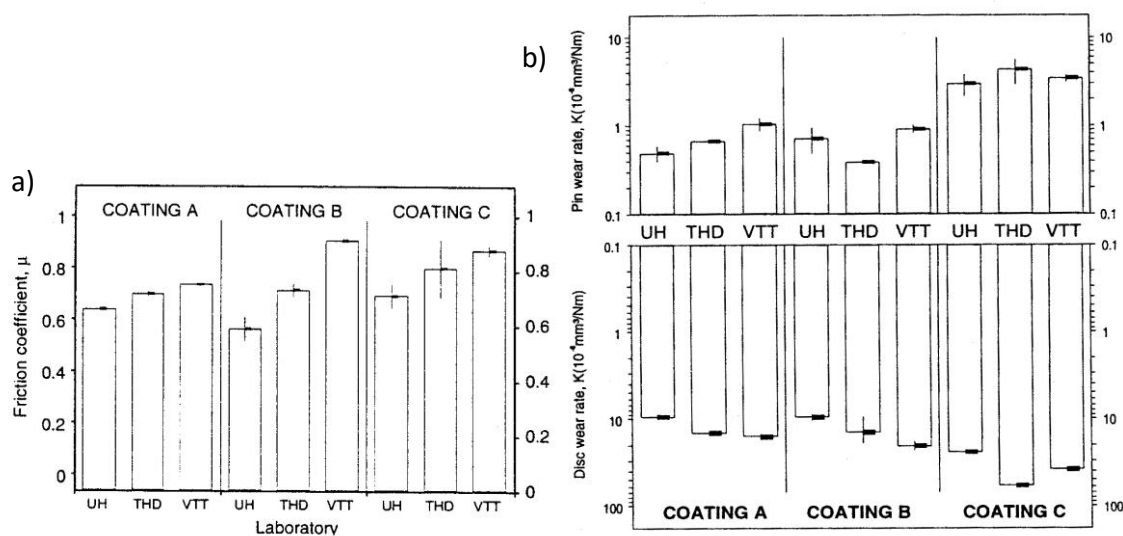
Pored AFM/LFM uređaja za merenje nano triboloških fenomena koristi se nano tribometar. Jedan takav uređaj sa specifikacijom prikazan je na slici 8.10 c. Slika 8.13b prikazuje traga habanja formiran pri ispitivanju nanotriboloških osobina TiN prevlake primenom nanotribometra.

## SLOŽENOST TRIBOLOŠKIH ISPITIVANJA

Trenje i habanje površina u relativnom kretanju je kompleksan proces koji zavisi od niza faktora. Stoga, usled velikog broja mogućih kombinacija mehanizama habanja i uticajnih parametara, postoji mnogo metoda ispitivanja otpornosti na habanje. Nažalost, postoji malo standardizacije u vrstama ispitivanja, pa čak i u metodici istog testa.

Pored toga što postoji mnogo metoda i teorijskih razmatranja za ocenu triboloških karakteristika prevlaka, još nema opšteg razumevanja pojava koje se javljaju u tribološkim kontaktima i ponašanja prevlaka u tim uslovima.

Objavljeni rezultati triboloških ispitivanja neke laboratorije se retko mogu iskoristiti na drugom mestu, jer se razlikuju od laboratorije do laboratorije. Iako može postojati velika ponovljivost rezultata unutar jedne laboratorije, rezultati dve laboratorije se obično znatnije razlikuju (slika 8.14).

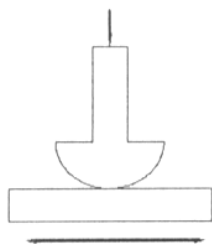


Slika 8.14 Poređenje rezultata ispitivanja trenja i habanja merenih „pin-on-disc“ metodom u različitim laboratorijama: a) koeficijent trenja za čeličnu čiviju i disk za tri prevlake; b) koeficijenti habanja čivije i diskova za iste tri prevlake

Najbolji način da se utvrdi tribološko ponašanje neke prevlake je u realnim radnim uslovima. Međutim, takvi eksperimenti su veoma skupi i dugotrajni. Zbog toga se vrši raščlanjivanje (analiza) problema i sprovode se uprošćeni testovi.

**DODATAK - OPIS POJEDINIH SISTEMA ZA ISPITIVANJE HABANJA**

Način testiranja  
PIN NA RAVNI



PRIMENA TESTA–Određivanje stepena habanja i koeficijenta trenja na niskim opterećenjima i brzinama sa malim uzorcima

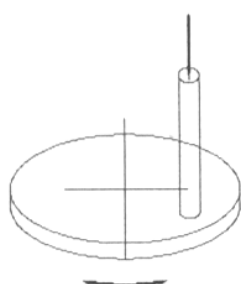
UZORAK–Habanje pina ili lopte nasuprot ravni tokom kretanja

USLOVI TESTA–Povratna klizna frekvencija 5 Hz. Radna dužina 10mm. Opterećenje 25 N. Temperatura 18÷23°C. Vlažnost 40÷60%. Uzorak može biti suv ili potopljen u podmazujuće sredstvo.

MERENJE–Masa gubitaka diska. Visina gubitaka pina. Habajući trag na profilometru. Merenje pohabane oblasti na lopti. Sila trenja.

TIP HABANJA/KOMENTAR–Blago adhezivno (ili abrazivno) habanje pogodno za tribološku ocenu slojeva.

Način testiranja  
PIN NA DISKU



PRIMENA TESTA–Određivanje kliznog stepena habanja i koeficijenta trenja.

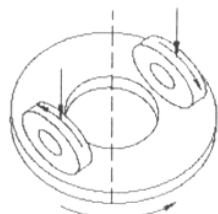
UZORAK–Pin ili lopta se haba na obrtnoj ravni.

USLOVI TESTA–Klizna brzina 0,1 m/s. Opterećenje je 10 N. Klizno rastojanje 1 km. Temperatura 23°C. Vlažnost 50%.

MERENJE–Visina gubitaka pina. Habajući trag na profilometru. Merenje pohabane oblasti na lopti. Sila trenja.

TIP HABANJA/KOMENTAR–Blago i snažno adhezivno (ili abrazivno) habanje. Pogodno za tribološku ocenu slojeva.

Način testiranja  
SUVA ABRAZIJA  
(TABER)



PRIMENA TESTA–Određivanje stepena habanja i Taberovog indeksa habanja

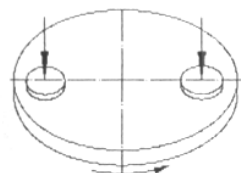
UZORAK–Ravnu površinu diska obrađuju dva gumom obložena točka koji se kotrljaju po njegovom licu.

USLOVI TESTA–Opterećenje 9,81 N. Točkovi se čiste sa abrazivnim papirom svakih 1000 obrtaja. Test se izvodi bez podmazivanja.

MERENJE–Masa gubitaka. Taberov indeks habanja=masa gubitaka/1000 obrtaja (mg).

TIP HABANJA/KOMENTAR–Nisko pritisna abrazija.

Način testiranja  
VLAŽNA  
ABRAZIJA



PRIMENA TESTA–Određivanje abrazivnog stepena habanja i abrazivni otpor materijala.

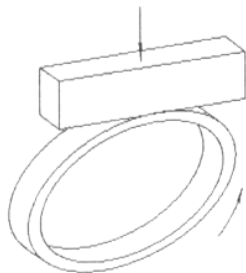
UZORAK–Dva uzorka sa mekom površinom su opterećena protiv obrtne kružne ploče.

USLOVI TESTA–Opterećenje 112 N. Kretanje iz levka abrazivnog mlaza.

MERENJE–Veličina gubitaka.

TIP HABANJA/KOMENTAR–Visoko pritisna drobeća abrazija. Nisko pritisna abrazija.

Način testiranja  
BLOK NA  
PRSTENU



PRIMENA TESTA–Određivanje adhezivnog (abrazivnog) stepena habanja materijala.

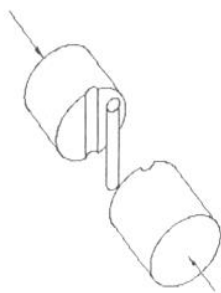
UZORAK–Čelični prsten se obrće nasuprot nepokretnom bloku.

USLOVI TESTA–Maksimalna brzina prstena 7000o/min. Maksimalno opterećenje 6000 N. Trajanje 5400÷24000 ciklusa. Uzorak može biti suv ili potopljen u ulje ili neki drugi fluid.

MERENJE–Težina gubitaka testiranog bloka. Širina habajućeg traga. Veličina gubitaka prstena. Sila trenja. Kapacite nosivosti optećenja podmazujućeg filma..

TIP HABANJA /KOMENTAR–Blago i snažno adhezivno (ili abrazivno) habanje. Podmazivano habanje.

Način testiranja  
BLOK NA PINU



PRIMENA TESTA–Određivanje stepena habanja, kapacitet nošenja opterećenja i koeficijent trenja za klizne kontakte.

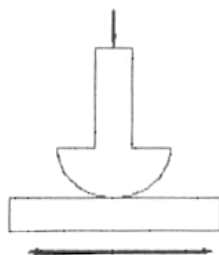
UZORAK–Rukavac prečnika 6,35 mm se obrće između dva opterećena stacionarna V bloka dajući četvorolinijski kontakt.

USLOVI TESTA–Broj obrtaja rukavca je 290 o/min. Klizna brzina je 0,1m/s. Opterećenje (konstantno ili rastuće) je 89÷20000N. Uzorci mogu biti potopljeni u ulje ili drugi fluid.

MERENJE–Povećanje dubine habanja. Vreme habanja. Trenutak nastajanja manjka opterećenja. Konačna masa uzorka.

TIP HABANJA/KOMENTAR–Blago ili snažno adhezivno (abrazivno) habanje. Struganje.

Način testiranja  
BRAZDANJE



PRIMENA TESTA–Određivanje stepena habanja i trenja u slabo oscilirajućim kontaktima.

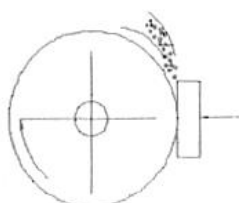
UZORAK–Lopta ili pin nasuprot ravnoj ploči.

USLOVI TESTA–Amplituda klizanja 0,02÷0,4mm. Frekvencija klizanja 5÷20 Hz. Opterećenje 2÷50 N. Temperatura 22°C. Uzorak može biti suv ili potpuno potopljen u podmazujuće sredstvo.

MERENJE–Veličina gubitaka pohabane brazdice. Sila trenja.

TIP HABANJA/KOMENTAR–Brazdanje

Način testiranja  
ABRAZIJA  
GUMENIM  
TOČKOM



PRIMENA TESTA–Određivanje otpora habanja materijala sa tri tela abrazijom

UZORAK–Mek sloj na ravni je opterećen nasuprot obrtnom točku koji je po kontaktu prevučen gumom. Na kontakt se dovode abrazivne čestice a to su najčešće zrna peska.

USLOVI TESTA–Brzina točka je 2000 o/min. Opterećenje je 130 N. Abrazivne čestice peska mogu biti suve ili vlažne.

MERENJE–Masa gubitaka ili dubina pohabane brazdice se određuje profilometrom.

TIP HABANJA/KOMENTAR–Suva ili vlažna nisko pritisna abrazija.

Način testiranja  
DVA DISKA



PRIMENA TESTA–Određivanje kliznog ili kotrljajnog stepena habanja testiranog materijala ili sloja.

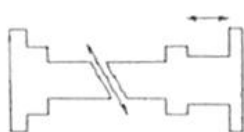
UZORAK–Normalno to su dva diska prečnika 40mm i 10mm debljine. Alternativno disk može biti prečnika 50mm i 30mm debljine.

USLOVI TESTA–Brzina nižeg diska je 0÷400 o/min. Brzina gornjeg diska iznosi 440 o/min. Opterećenje je 200÷2000 N. Suv ili podmazivan.

MERENJE–Individualne gubitke diska ili profila. Totalnu vrednost gubitaka diskova. Trajanje habanja.

TIP HABANJA/KOMENTAR–Blago ili snažno adhezivno (abrazivno) habanje. Zamor na obrtnim kontaktima (piting).

Način testiranja  
UDARNO  
HABANJE



PRIMENA TESTA–Određivanje kohezionih i adhezionih osobina sloja i njegove habajuće karakteristike pod teškim vibracionim uslovima.

UZORAK–Ukoso isečen uzorak sa zonom kontakta 23 mm<sup>2</sup>.

USLOVI TESTA–Kombinovano zbijanje i klizanje. Klizna dužina 0,76mm. Udarne frekvencija 60÷70 Hz. Udarne opterećenje 60÷223 N. Temperatura je 600°C. Trajanje 6÷10 časova.

MERENJE–Veličina gubitaka. Otpor brazdanju.

TIP HABANJA/KOMENTAR–Adhezivno habanje. Zamorno habanje. Brazdanje.