



TEHNOLOGIJA, INFORMATIKA I OBRAZOVANJE  
ZA DRUŠTVO UČENJA I ZNANJA

6. Međunarodni Simpozijum, Tehnički fakultet Čačak, 3–5. jun 2011.

TECHNOLOGY, INFORMATICS AND EDUCATION  
FOR LEARNING AND KNOWLEDGE SOCIETY

6<sup>th</sup> International Symposium, Technical Faculty Čačak, 3–5th June 2011.

UDK: 621.7:004

Stručni rad

## ODREĐIVANJE STATIČKOG KOEFICIJENTA TRENJA KORIŠĆENJEM TRIBOMETRA

Snežana Radonjić<sup>1</sup>, Jelena Baralić<sup>2</sup>, Nedeljko Dučić<sup>3</sup>

**Rezime:** Trenje kao tribološki proces javlja se pri kontaktu dva čvrsta tela, od kojih jedno telo klizi po drugom. Trenje je nepoželjno u većini elemenata i sklopova mašina. Njegove posledice su: zagrevanje površina, habanje kontaktnih površina, oštećenje elemenata sklopova, rasipanja mehaničke energije i sl.

U radu se prezentira uređaj TRIBOMER T1 za merenje statičkog koeficijenta trenja kao i rezultati merenja dobijeni korišćenjem ovog uređaja za različite triboparove.

**Ključne reči:** Koeficijent trenja, trenje, tribometar.

## DETERMINATION OF STATIC FRICTION FACTOR BY USING TRIBOMETER

**Summary:** Friction as tribological process appears in the contact of two solids, of which one body slides on another. Friction is undesirable in most parts and machine assemblies. Its consequences are: warm-up surfaces, wear of contact surfaces, damage of assemblies elements, dissipation of mechanical energy etc.

The paper presents device TRIBOMER T1 for measuring the static coefficient of friction and results of the measurements derived using this device for different tribocouple.

**Key words:** friction coefficient, friction, tribometer.

### 1. UVOD

Tribologija je nauka o trenju i habanju. Ona u velikoj meri omogućava rešenje mnogobrojnih problema vezanih za potrošnju materijala, energije, smanjenje troškova i povećanje pouzdanosti rada složenih tehničkih sistema. U sklopovima koji su izloženi kretanju, na kontaktnim površinama dva tribopara javlja se trenje. Sila trenja  $F_{\mu}$  ima smer suprotan smeru kretanja tela. Sila trenja zavisi od sile kojom se uzajamno pritiskaju dva

<sup>1</sup> Prof. dr Snežana Radonjić, Tehnički fakultet, Svetog Save 65, Čačak, E-mail: [snezar@tfc.kg.ac.rs](mailto:snezar@tfc.kg.ac.rs)

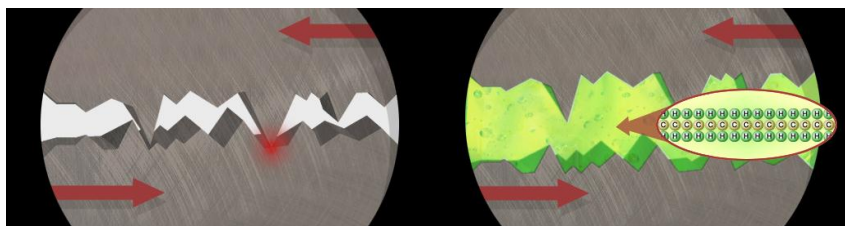
<sup>2</sup> Mr Jelena Baralić, Tehnički fakultet, Svetog Save 65, Čačak, E-mail: [jbaralic@tfc.kg.ac.rs](mailto:jbaralic@tfc.kg.ac.rs)

<sup>3</sup> Nedeljko Dučić, Tehnički fakultet, Svetog Save 65, Čačak, E-mail: [nedeljkod@gmail.com](mailto:nedeljkod@gmail.com)

tela, odnosno od sile koja deluje normalno na podlogu. Takođe, sila trenja zavisi i od osobina materijala delova koji su u kontaktu. Sila trenja ne zavisi od veličine dodirne površine. U radu su dati rezultati merenja statičkog koeficijenta trenja pri klizanju, za različite kombinacije triboparova. Za merenja je korišćen merni uređaj TRIBOMETAR koji je napravljen na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu (Tadić B., Jeremić, B., Vukelić, Đ., Mitrović, S., *Uputstvo za upotrebu Tribometra T1* ).

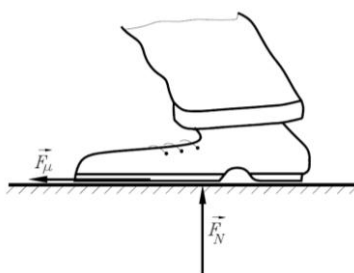
## 2. KOEFICIJENT TRENJA

Čak i najfinije obrađena površina pod mikroskopom izgleda kao hrapava. Na mestima gde su neravnine najveće, pri kontaktu dve površine i njihovom međusobnom pomeranju, dolazi do izazivanja učestalijih vibracija atoma materijala. Ove vibracije uzrokuju stvaranje toplote, koja se dalje širi kroz materijal. Na ovaj način se materijal zagreva i dolazi do otkidanja atoma materijala (slika levo). Na slici 1 (desno) je prikazana kontaktna površina dva tela sa prisustvom maziva. Ovo mazivo omogućava da se neravnine mimoiđu i da ne dođe do kontakta između njih. Na ovaj način se znatno smanjuje pojava trenja kao i zagrevanje materijala.



**Slika 1:** Uvećani prikaz kontaktne površine dva tela[4]

Koeficijent trenja je bezdimenziona kvantitativna karakteristika trenja. Definiše se odnosom sile trenja i normalnog opterećenja, slika 2.[5]



**Slika 2:** Sila trenja i normalnog opterećenja

$$\mu = \frac{F_{\mu}}{F_N}$$

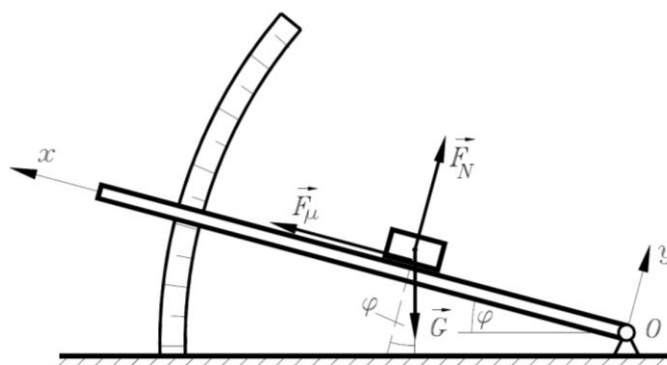
### 3. ODREĐIVANJE STATIČKOG KOEFICIJENTA TRENJA KLIZANJA

Pod trenjem klizanja podrazumeva se otpor koji se javlja u zajedničkoj tangentnoj ravni kada jedno telo teži da klizi po površi drugog tela. Ova pojava vezana je za međudejstva delića dodirnih površi.

Prva proučavanja trenja pri klizanju izvršio je Leonardo da Vinči (1504), a prve zakonitosti vezane za pojavu trenja su definisali Amonton (1699) i Kulon (1785). Svojim eksperimentalnim radovima definisali su sledeće zakone koji važe za silu trenja pri klizanju:

- Sila trenja djeluje tangencijalno na dodirnoj površini i u suprotnom je smeru od tendencije kretanja
- Sila trenja je ravnomerno raspoređena po dodirnoj površini
- Veličina sile trenja ne zavisi od veličine dodirne površine
- Sila trenja je srazmerna opterećenju koje deluje normalno na površine u kontaktu

Ukoliko nema klizanja jednog tela po drugom, onda se između njih javlja statički koeficijent trenja koji je veći od kinetičkog koeficijenta trenja. Statički koeficijent trenja je empirijski podatak i mora se odrediti eksperimentalno.



Slika 3. Ravnoteža tela na strmoj ravni [5]

Princip merenja statičkog koeficijenta trenja preko strme ravni (slika 3) u osnovi se zasniva na sili zemljine gravitacije. Koeficijent trenja klizanja, kao što je poznato predstavlja odnos sile trenja i sile upravne na površinu kontakta. U graničnom slučaju trenja klizanja važi jednakost:

$$\mu = \frac{F_{\mu}}{F_N} = \frac{G \cdot \sin \phi}{G \cdot \cos \phi} = \operatorname{tg} \phi, \text{ gde je:}$$

$\mu$ -veličina statičkog koeficijenta trenja,

$F_{\mu}$ -sila trenja

$F_N$ -sila zemljine teže

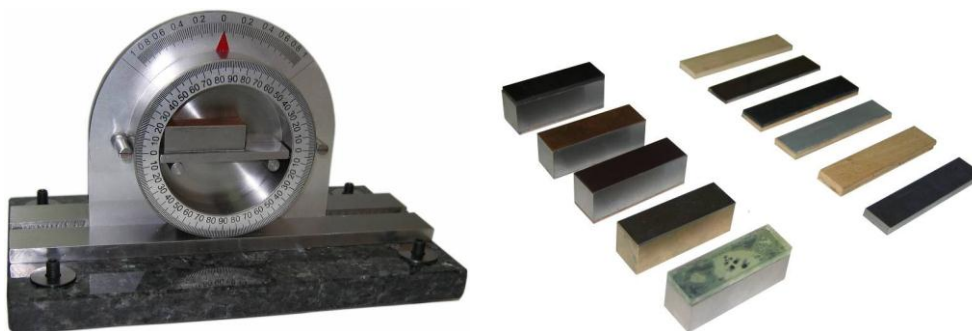
$\phi$ -ugao strme ravni

Većina materijala pri suvom kontaktu ima statički koeficijent trenja čije se vrednosti kreću od  $0.3 \div 0.6$ . Vrednosti van ovog opsega su veoma retke (na primer teflon ima koeficijent trenja 0.04). Pri kontaktu gume sa drugim materijalima statički koeficijent trenja može dostići vrednosti od 1 do 2.

U tabeli 1. su date vrednosti statičkog koeficijenta trenja za različite parove materijala. Ove vrednosti se mogu uzeti samo kao orjentacione. Jedini način da se odredi tačna vrednost statičkog koeficijenta trenja je da se ona odredi eksperimentalno.

#### 4. EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE STATIČKOG KOEFICIJENTA TRENJA KLIZANJA NA TRIBOMETRU T1

Na slici 4. je prikazan tribometar T1 na kojem je vršeno eksperimentalno određivanje statičkog koeficijenta trenja klizanja, kao i uzorci za koje se može određivati vrednost statičkog koeficijenta trenja.

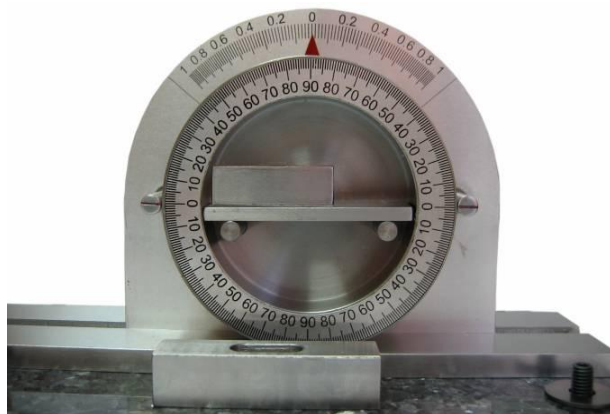


*Slika 4.* Izgled tribometra T1 i uzoraka

Tribometar T1 je mehanički uređaj koji funkcioniše po principu strme ravni. Osnovna namena ovog uređaja je eksperimentalno određivanje statičkog koeficijenta trenja metalnih i nemetalnih materijala u uslovima sa i bez podmazivanja. Preciznost merenja koeficijenta trenja je 0.02. Tegovi koji se koriste pri određivanju koeficijenta trenja su težine 1N. Kontaktna površina parova je  $18 \times 50$  mm [3].

Pre izvođenja eksperimenta potrebno je izvršiti nivelaciju uređaja i kotrljajni disk dovesti u nulti položaj.

Uzorke je pre merenja potrebno očistiti alkoholom i prebrisati suvom krpom kako bi se sa njih otklonile sve nečistoće. Ako se merenje koeficijenta trenja vrši u uslovima sa podmazivanjem, na uzorcima je posle čišćenja potrebno naneti tanak film željenog maziva. Nakon pripreme uzoraka vrši se njihovo postavljanje u uređaj. Prvo se postavlja podloga od željenog materijala – prvi element tribopara. Potom se na prvi element tribopara postavlja drugi element tribopara – teg. Drugi element tribopara - teg se postavlja na polazno merno mesto, slika 5.



*Slika 5.* Polazno merno mesto

Zatim se vrši zakretanje kose ravni laganim pomeranjem nosača kotrljajnog diska po podlozi. Pomeranje se vrši postupno sa pauzama nakon dostizanja zakretanja kotrljajnog diska u vrednosti od maksimalno jedan stepen. Nakon svakog zakretanja od jednog stepena, pravi se pauza i posmatra se da li je došlo do kretanja tega po podlozi [3]. U trenutku kada je počelo kretanje tega po podlozi vrši se očitavanje koeficijenta trenja, slika 6.



*Slika 6.* Očitavanje koeficijenta trenja

Koeficijent trenja se očitava na gornjoj skali (pokazivač je crvena strelica), sa preciznošću od 0,02 [3]. Gornja skala je skala preračunatih vrednosti tangensa ugla zakretanja strme ravni koji je jednak koeficijentu trenja.

#### **4.1. Rezultati merenja**

Na opisanom uređaju izvršena su merenja koeficijenta trenja klizanja za različite triboparove: čelik-čelik, čelik-bakar, čelik-guma itd. Uzorci od metalnih materijala koji su korišćeni za određivanje koeficijenta trenja, imaju vrednost srednjeg aritmetičkog odstupanja profila  $R_a = 0.8\mu\text{m}$ . Za ispitivane nemetalne materijale (guma) nisu bliže određene mehaničke karakteristike pa izvršena merenja koeficijenta trenja u delu ovih

materijala nemaju uporedni karakter. U tabeli 1. su prikazani rezultati izvršenih merenja statičkog koeficijenta trenja klizanja.

**Tabela 1. Statički koeficijent trenja**

	<i>TEG – ALUMINIJUM</i>				<i>TEG – ČELIK</i>			
<i>Redni broj merenja</i>	<i>Podloga</i>				<i>Podloga</i>			
	<i>Čelik</i>	<i>Bakar</i>	<i>Guma</i>	<i>Aluminijum</i>	<i>Čelik</i>	<i>Bakar</i>	<i>Guma</i>	<i>Aluminijum</i>
<i>1.</i>	<i>0.20</i>	<i>0.25</i>	<i>0.58</i>	<i>0.18</i>	<i>0.20</i>	<i>0.38</i>	<i>0.78</i>	<i>0.19</i>
<i>2.</i>	<i>0.21</i>	<i>0.26</i>	<i>0.58</i>	<i>0.18</i>	<i>0.19</i>	<i>0.36</i>	<i>0.78</i>	<i>0.18</i>
<i>3.</i>	<i>0.21</i>	<i>0.26</i>	<i>0.56</i>	<i>0.16</i>	<i>0.21</i>	<i>0.36</i>	<i>0.80</i>	<i>0.19</i>
<i>4.</i>	<i>0.22</i>	<i>0.27</i>	<i>0.60</i>	<i>0.18</i>	<i>0.21</i>	<i>0.40</i>	<i>0.78</i>	<i>0.18</i>
<i>5.</i>	<i>0.23</i>	<i>0.25</i>	<i>0.57</i>	<i>0.16</i>	<i>0.19</i>	<i>0.34</i>	<i>0.80</i>	<i>0.18</i>
<i>Srednja vrednost</i>	<i>0.214</i>	<i>0.258</i>	<i>0.587</i>	<i>0.172</i>	<i>0.20</i>	<i>0.364</i>	<i>0.788</i>	<i>0.184</i>

Svako merenje je izvedeno sa 5 ponavljanja na osnovu čega su i izračunate srednje vrednosti koeficijenta trenja.

## 5. ZAKLJUČAK

Teorijska i eksperimentalna istraživanja u oblasti statičkog trenja su danas veoma aktuelna. Istraživanja vezana za merenje koeficijenta trenja po principu strme ravni su takođe veoma aktuelna, posebno u smislu razvoja mernih uređaja i poređenja dobijenih rezultata sa rezultatima dobijenim merenjem statičkog koeficijenta trenja po drugim metodama.

Rezultati merenja statičkog koeficijenta trenja klizanja za različite materijale dobijeni korišćenjem tribometra T1 su u saglasnosti sa literarnim podacima.

Tribometar T1 je veoma pogodan kao učilo u nastavi jer je veoma jednostavan za upotrebu. Takođe, na ovom uređaju se na očigledan način pokazuje šta koeficijent trenja klizanja u stvari predstavlja.

## 6. LITERATURA

- [1] Ivković B., Rac A.: *Tribologija*, Jugoslovensko društvo za tribologiju, Kragujevac, 1995.
- [2] Rac A.: *Osnovi tribologije*, Beograd, 1991.
- [3] Tadić B., Jeremić, B., Vukelić, Đ., Mitrović, S., *Uputstvo za upotrebu Tribometra T1*
- [4] <http://www.abc.net.au/science/articles/2011/02/17/3140791.htm>
- [5] [http://www.roymech.co.uk/Useful\\_Tables/Tribology/co\\_of\\_friact.htm](http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Tribology/co_of_friact.htm)
- [6] <http://www28.brinkster.com/mlazarevic/pdf/m1bp12.pdf>
- [7] <http://tesla.pmf.ni.ac.rs/people/nesiclj/studenti/diplomski%20radovi/Biljana%20Rajkovic/Prezentacija/html/SilaTrenja.htm>
- [8] <http://www.tsrh.hr/meha/>