



OBLIK TRIBOELEMENATA I FORMIRANJE TRIBOLOŠKI ISPRAVNE KONSTRUKCIJE

Prof. dr Slobodan TANASIJEVIĆ, Mašinski fakultet, Kragujevac, SCG

THE FORM OF TRIBOELEMENTS AND FORMING TRIBOLOGICAL CORRECT CONSTRUCTION

S u m m a r y

Modern knowledge of design still does not contain enough tribological aspects of design. Design from the tribological point of view demands that designed product, besides reliability, must have long-life, i.e. must have very high wear resistance in extreme conditions.

In this paper, it was considered the influence of form triboelements on tribological characteristics and working life of construction. The form is very important constructive regulator in forming tribological correct construction.

In the coming years it should be expected that design, from the tribological point of view, would be one of the basic demands.

Key words: tribology, friction, wear, triboelement

1. UVOD

U kibernetičkom smislu, regulisanje je proces delovanja regulatora na objekt (ili proces) regulisanja. Analogno datoj definiciji pod pojmom objekt (ili proces) podrazumeva se sistem kod koga se upravljanje vrši određenom veličinom ili određenim uslovima.

U tribološkom smislu, regulisanje je podešavanje elemenata tribomehaničkog sistema u cilju minimalno mogućeg odstupanja procesa trenja i habanja od unapred zadatog tribološkog etalona. Tribološki etalon je definisan minimalnim trenjem i habanjem, a prirodna težnja je dovođenje odgovarajućeg odstupanja ka nuli.

Pojam "tribološki regulator" ima šire značenje u kontekstu tribološkog formiranja konstrukcije. Pod njim podrazumevamo sve elemente i mogućnosti regulisanja kojima se na odgovarajući način deluje na strukturu tribomehaničkog sistema. Tribološki regulatori mogu biti svojstva (oblik, materijal, ...), ali i režimi (eksploatacioni, obradni, ...) ili modifikacija kontaktnih površina (topogra-

fija, prevlake, ...). U svakom slučaju tribološki regulatori nose predznak "dobrog izbora" i korišćenja dostupnih mogućnosti u fazi tribološkog formiranja konstrukcije.

Kvalitet proizvoda utemeljen je još u fazi procesa konstruisanja u kojoj konstruktor definiše oblik delova, opterećenja, materijale, Proces realizovanja kvalitetnog proizvoda nastavlja se fazom proizvodnje u kojoj dostignuti stepen kvaliteta zavisi od primenjenih vidova obrade (mehaničke, hemijsko-termičke, ...). Kvalitet se održava ispravnom eksploatacijom proizvoda.

Tako posmatrano, tribološki regulatori se mogu podeliti u tri velike grupe: konstrukcioni regulatori, tehnološki regulatori, eksploatacioni regulatori.

Konstrukcioni regulatori su skup mogućnosti konstrukcionog delovanja na svojstva triboelemenata, pretežno zapreminska, kojima se podiže tribološka ispravnost tribomehaničkog sistema. Istovremeno, to je i najviši stepen samostalnog odlučivanja konstruktora u fazi tribološkog formiranja konstrukcije. Karakteristični i najviše

dostupni konstrukcioni regulatori su dobar izbor: oblika triboelemenata, opterećenja, materijala, uzajamnog odnosa materijala, kompezatora trenja i habanja, tolerancija, itd.

2. OBLIK TRIBOELEMENTA KAO KONSTRUKCIONI REGULATOR

Oblik je osnovno svojstvo sveta koji nas okružuje. Veliki deo sveta sastoji se iz objekata određene konture koji upotpunjavaju sredinu u kojoj živimo ali i utiču na životne procese. Oblika ima raznih i raznovrsnih i rezultat su jednog ili više sledećih vidova procesa:

- neupravljajućih procesa, kada oblik zavisi samo od složenih procesa prirode (kamen, šljunak, brdo, ...),
- procesa podčinjenih fizičkim i hemijskim zakonima, ali uslovljenih i okruženjem (kristali leda, liskuni, ...),
- genetskih procesa i okruženja (živi organizmi),
- regulisanih procesa, vođenih iskustvom, znanjem i instinktom ljudi ali i uslovima okruženja (industrijski proizvodi).

U današnje vreme primetna je narastajuća dominacija industrijskih proizvoda, posebno u sredini značajno sazdanjoj rukama čoveka (urbana sredina). Industrijski proizvodi se realizuju po potrebi, volji i interesu čoveka, radi neposrednog ili posrednog zadovoljenja određenih ljudskih potreba. Tako gledano opravdan je značaj oblika industrijskih proizvoda, ali ne manje i njihovih delova i elemenata.

Oblik triboelemenata je osnovno zapreminsko svojstvo, granica i kontura tribomehaničkog sistema. Reč je o geometrijskom obliku sastavljenom od ravnih i krivih površina, ali i sa pravim i krivim linijama, ivicama, osnim linijama, itd. Oblik je dimenzionisan dužinskim merama (prečnik, dužina, širina, ...) ali i uglovnim merama (ugao konusa, nagiba, ...).

Oblik triboelemenata u velikom broju slučajeva obezbeđuje funkcionisanje tribomehaničkog sistema, utiče na ostala svojstva elemenata, a posebno tribološke procese. Oblik utiče na mehaniku kontakta (složena naponska stanja, kontaktne sile, deformacije, ...) ali i na procese trenja i habanja. Treba još jednom podvući interaktivnu vezu oblika triboelemenata sa ostalim svojstvima tribomehaničkog sistema (tehnološkičnost, ergonometričnost, ekonomičnost, ...).

Pri određivanju oblika triboelemenata polazište je razmatranje oblika funkcionalnih površina, gde se pod ovim pojmom podrazumevaju površine

koje ispunjavaju aktivnu funkciju u procesu eksploatacije. Funkcionalne površine su aktivne površine ali i kontaktne površine triboelemenata po kojima se ostvaruje kontakt dva tela u relativnom kretanju. Tako na pr., funkcionalna površina zupčnika je zubac, odnosno bočna površina zupca, glodala rezna površina zuba, itd.

Određivanje oblika triboelemenata je za pravo definisanje oblika funkcionalnih (kontaktnih) površina, kao polazne i najodgovornije etape i definisanje ostalih oblika koji sa funkcionalnom površinom čine čvrsto zajedništvo. Problemi oblikovanja postaju nešto složeniji u slučajevima kada triboelementi sadrže više funkcionalnih površina.

Analiza tribomehaničkih sistema često korišćenih u konstruisanju pokazuje da je vekovno korišćenje klasičnih TMS za izvršioce elementarnih funkcija već standardizovalo njihove oblike. Manje više standardni oblici nastali su kao rezultat dugogodišnjeg korišćenja, ali i proverene sposobnosti obezbeđenja niza prednosti počev od funkcionalnosti, sigurnosti i pouzdanosti, pa sve do ekonomskog opravdanja.

Oblik tribomehaničkih sistema za prenos kretanja i prenos snage vuče korene još iz davnih vremena. Funkcionalne površine oblikovane za izvršenje funkcije nemaju ni danas bolju alternativu. Pojedinačne i retke modifikacije oblika (ležaji, prenosnici, ...) samo su potvrda većitog nemira konstruktora ali i značaja oblika triboelemenata za vek trajanja i pouzdanost konstrukcije.

Tribomehanički sistemi za prenos informacija karakterišu se već vekovnom eksploatacijom poznatih oblika. Široke mogućnosti promene oblika za realizovanje elementarnih funkcija usko su ograničene nepovoljnim kontaktnim procesima, ali i intezivnim procesima trenja i habanja.

Oblik tribomehaničkih sistema za prenos i obradu materijala takođe je davno utemeljen pa se u ovom trenutku čini da će optimalni oblik triboelemenata biti još za dugo jedina ponuda konstruktorima.

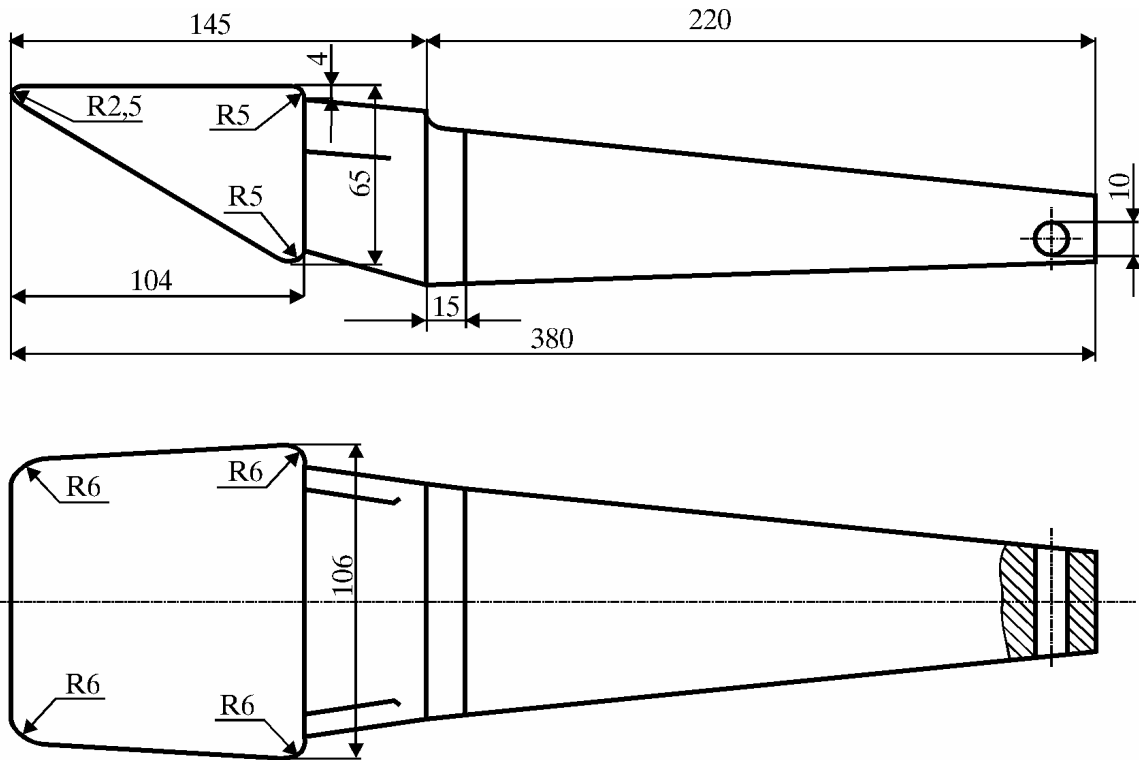
Uticaj oblika triboelemenata kao elementarnog zapreminskog svojstva tribomehaničkog sistema na procese trenja i habanja ilustrovan je sa dva primera. Primeri ukazuju ne samo na značaj oblika u konstruisanju, već i na postojanje mogućnosti promena i takvih oblika koje je višegodišnje iskustvo procenilo kao jedino optimalno moguća.

Tribomehanički sistem rotornog bagera: rezni element (zub) - otkopna masa - okruženje pripada grupi tribomehaničkih sistema za prekid materijala. Prekid materijala se vrši: rezanjem, otki-

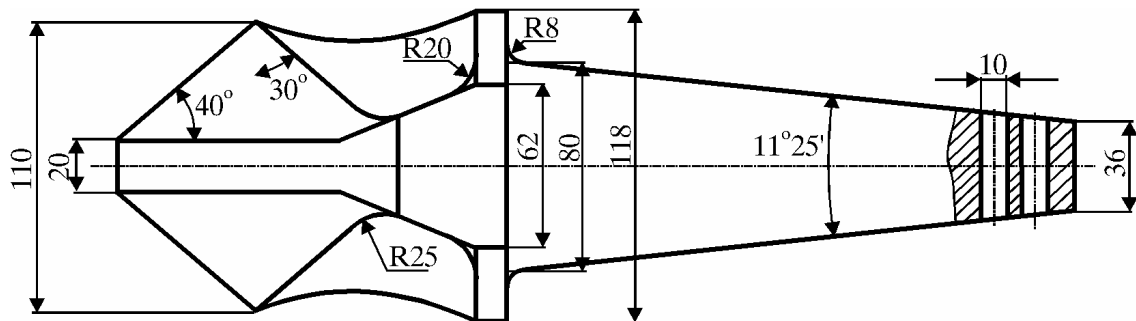
danjem, odvaljivanjem, zarušavanjem, pri kretanju koga karakterišu udari i klizanje.

Osnovno zapreminsko svojstvo zuba je oblik, odnosno geometrijski oblik sastavljen od

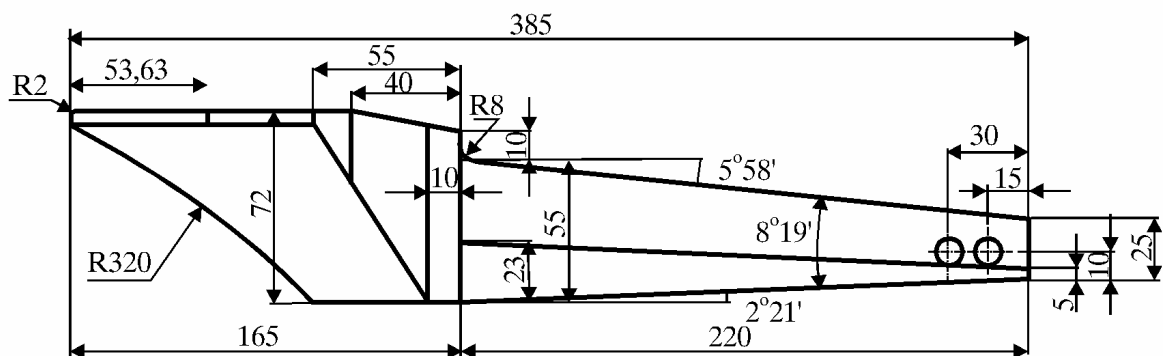
ravnih i krivih površina. Oblik zuba klasičnih konstrukcija koje isporučuje proizvođač rotornih bagera i koji se koriste na kopovima prikazan je na sl. 1.



Sl.1. Klasični oblik zuba rotornih bagera



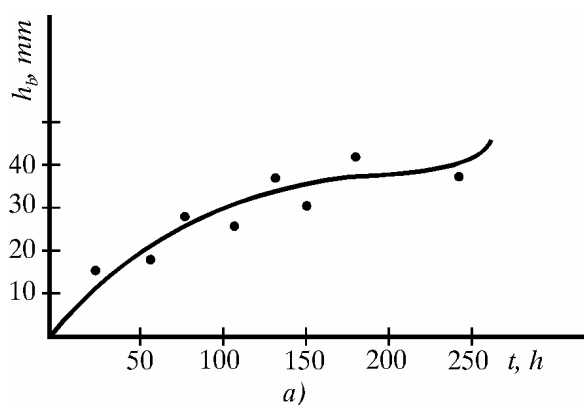
Sl.2. Novi oblik zuba rotornih bagera



Fizičko-mehanička svojstva otkopne mase su: granulometrijski sastav, poroznost, toplotna provodljivost, otpori kopanju i rezanju, lepljivost. Tribološka svojstva okruženja su vlažnost i temperatura.

Složeni procesi kontakta zuba i otkopne mase karakterišu se složenim naponskim stanjem, rezultujućom silom otpora kopanju i njenim komponentama (tangencijalnom, normalnom i bočnom). Karakteristike triboloških procesa predstavljene su suvim trenjem klizanja i dominantnim abrazivnim habanjem.

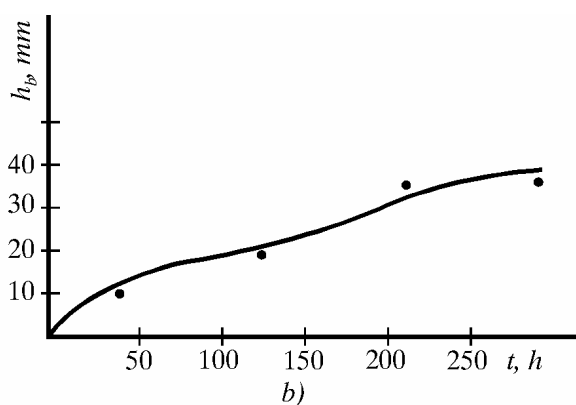
Detaljna analiza strukture tribomehaničkog sistema (rezni element-otkopna masa-okruženje),



kontaktnih procesa, kao i procesa trenja i habanja, rezultirala je predlogom nove konstrukcije zuba, sl.2. [2].

Sam proces konstruisanja praćen je analizom svake etape konstruisanja, simulacijom i preliminarnim eksperimentalnim proverama.

Poređenje oblika stare i nove konstrukcije ukazuje da su osnovne promene u predloženoj konstrukciji: smanjenje lednog ugla, povećanje radne dužine zuba, prilagođavanje vrha zuba lakšem prodiranju u otkopnu masu, ojačanje radnog dela zuba.

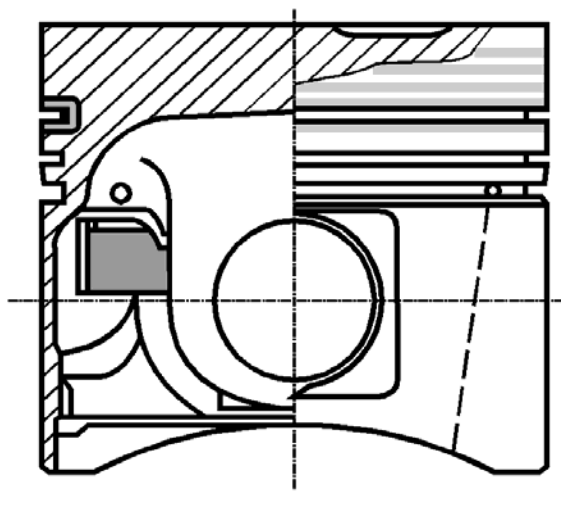
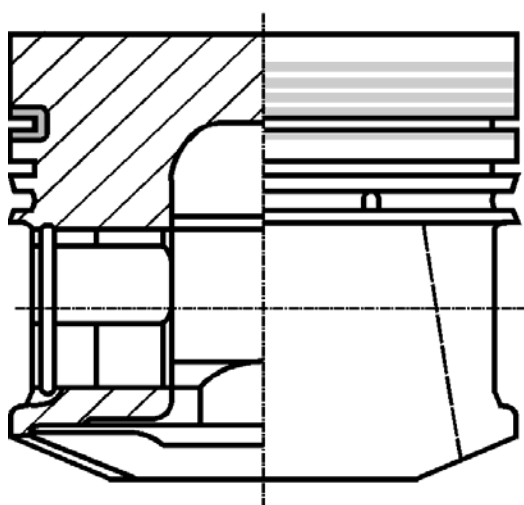


Sl.3. Dijagram habanja zuba rotornog bagera
a) klasična konstrukcija b) nova konstrukcija

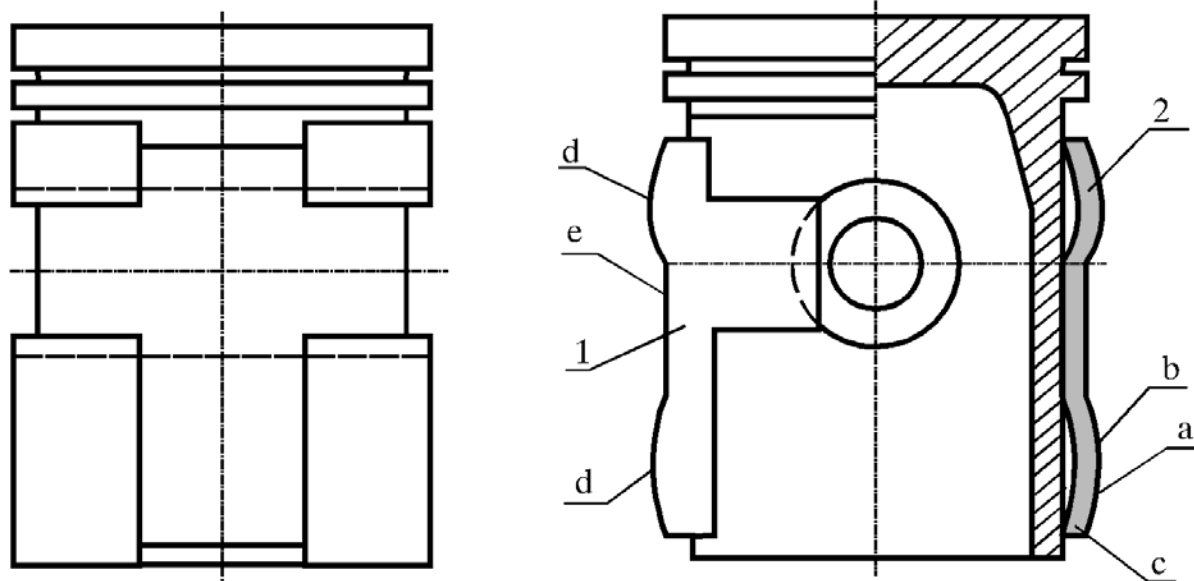
Uticaj oblika na habanje reznog elementa eksperimentalno je potvrđen i predstavljen dijagramima habanja na sl.3. Analiza dijagrama ukazuje da je habanje zuba nove konstrukcije manje za 30-40%, a radni vek zuba povećan za skoro 80%. Nova konstrukcija omogućava i čitav niz drugih poboljšanja (manje otpore kopanja, veću eksplo-

atacionu pouzdanost podsistema kopanja, mirniji rad bagera, itd.).

Tribomehanički sistem klip-cilindar-mazivo nosioc je značajne elementarne funkcije u složenom sistemu motor sa unutrašnjim sagorevanjem. Eksperimentalni rezultati pokazuju da najveći deo mehaničkih gubitaka pripada trenju klipa i klipnih karika o cilindarsku košuljicu (48-51%).



Sl.4. Klasični oblik klipa motora



Sl.5. Novi oblik klipa motora i kompresora

Klasični klipovi (sl.4) manje više sličnih oblika, decenijama su nezamenljivi elementi transportnih sredstava, posebno drumskih vozila. Sa aspekta univerzalnosti, značaja, opšteg korišćenja i uticaja na razvoj civilizacije, motori su imali i imaju posebno mesto u razvoju ljudske vrste.

Patentirana nova konstrukcija klipa motora i kompresora sa triboelastičnim ulošcima (sl. 5) unosi novi oblik klipa ali i značajna poboljšanja radnih karakteristi motora [3].

Nova konstrukcija klipa ima dva tribološka uloška ktstastog oblika (1 i 2) od elastičnog čeličnog lima, povijenih krajeva, simetrično postavljenih na sunknjice klipa u pravcu dejstva normalne sile, odnosno upravno na osovinicu klipa. Kontakt sa cilindrom se ostvaruje preko ispupčenih delova uložaka a udubljenje kao rezervoar za ulje omogućava prevođenje graničnog u hidrodinamičko podmazivanje.

Eksperimentalna ispitivanja koeficijenta trenja pokazuju znatna tribološka preimućstva nove konstrukcije (sl.6). Koeficijent trenja je za 30-50% manji od klasične konstrukcije klip (A)-cilindar (SL).

Novo rešenje donosi i druga poboljšanja, kao:

- manje habanje klipa i cilindra,
- bolji protok ulja do kritičnih delova,
- lakše startovanje, posebno u uslovima niskih temperatura,
- manju osetljivost na taloge i drugu vrstu zagađenja, itd.

Prikazana konstrukcija pokazuje ne samo uticaj oblika na tribološke procese tribomehaničkih sistema već i specifičan prilaz konstrukcionom

rešenju u kome se klasična konstrukcija homogenog tipa zamenjuje segmentim izvođenjem zamenljivih jednostavnih delova. U novoj konstrukciji klip postaje nosač delova koji se ne habaju i lako zamenjuju, a remont klipne grupe svodi na zamenu pohabanih prstenova i uložaka.

Prikazana konstrukcija omogućava i primenu tehnoloških regulatora, posebno nanošenje triboloških prevlaka na triboelastične uloške klipa.

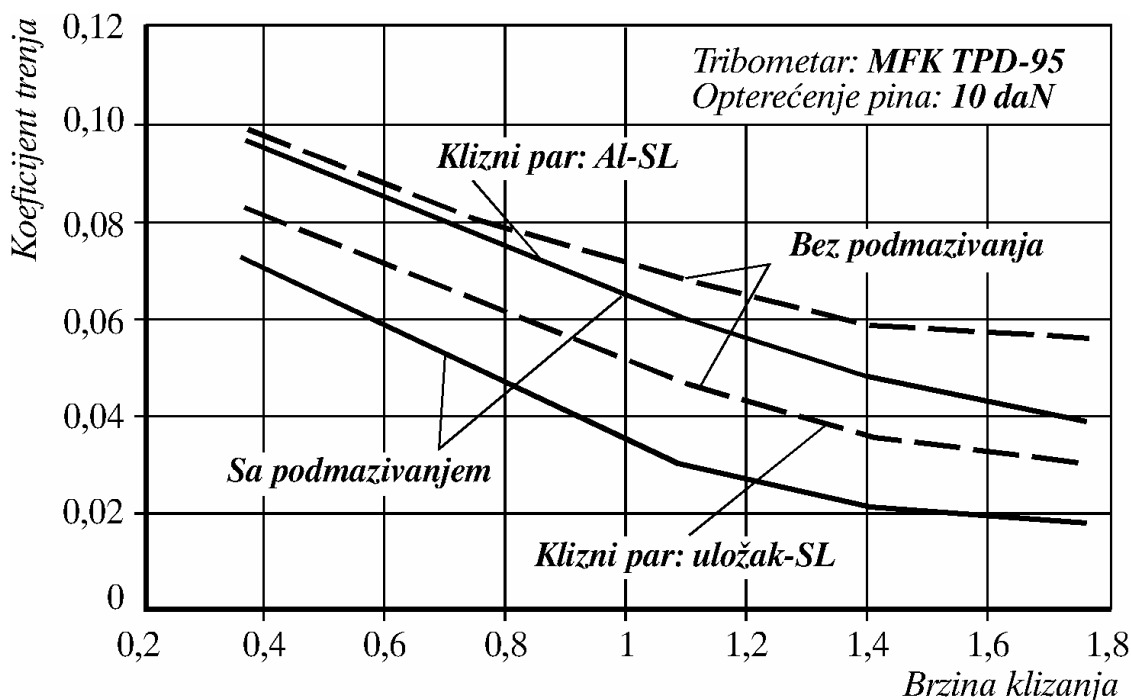
Tretirajući genezu konstrukcije kao skup podskupova parcijalnih funkcija gde se izvršenje elementarnih funkcija najčešće vrši mašinskim elementima, konstruktor je u prilici da u najvećoj meri koristi standardizovane mašinske elemente, odnosno manje više poznate tribomehaničke sisteme. Konstruisanje je u najvećoj meri uspešno komponovanje poznatih TMS, sa predznakom stvaralaštva i primesama originalnosti.

Kreativni procesi u konstruisanju često rezultiraju potrebom korišćenja originalnih tribomehaničkih sistema čije su tribološke karakteristike sasvim nepoznate. U tom slučaju pred konstruktorom se postavljaju složeniji problemi.

Izbor oblika ovakvih tribomehaničkih sistema zasnovan je na analizi relativnog kretanja triboelemenata, tribološkim svojstvima elemenata, kontaktnim procesima i prognoziranju mogućih procesa trenja i habanja. Posebno je značajna tačna prognoza očekivanih procesa habanja. Dok su procesi trenja uglavnom posledica oblika i relativnog kretanja (trenje kotrljanja, trenje klizanja, trenje mirovanja), habanje je složeniji proces na koga utiče veliki broj faktora. Tačna prognoza očekivanih procesa habanja zahteva dobro poznavanje mehanizama habanja ali i nivo osetljivosti

uticaja pojedinih faktora. Svakako da je pre konačnog izbora oblika originalnih tribomehaničkih

sistema neophodna detaljna analiza, ali i modelska ispitivanja i prethodna eksperimentalna provera.



Sl.6. Dijagram zavisnosti koeficijenta trenja od brzine klizanja [4]

3. ZAKLJUČAK

Oblik triboelemenata je osnovno zapremninsko svojstvo, granica i kontura tribomehaničkih, sistema, koje u velikom broju slučajeva obezbeđuje funkcionisanje sistema ali i utiče na ostala svojstva elemenata, posebno tribološke procese. Pravilan izbor oblika triboelemenata je put do formiranja tribološki ispravne konstrukcije, minimalnog trenja i habanja, dugog veka trajanja i kvalitetnog proizvoda.

Korišćenje klasičnih tribomehaničkih sistema u konstruisanju, gde su oblici triboelemenata vekovima manje više poznati, ograničava kreativnost konstruktora i njegovo stvaralaštvo upućuje na kreativno kombinovanje manje više poznatih elemenata. Prava kreativnost nastaje u slučajevima konstruisanja originalnih tribomehaničkih sistema, nepoznatih triboloških karakteristika. U svakom slučaju, oblik triboelementa kao osnovnog svojstva je uvek prisutan u stvaranju kvalitetnog proizvoda.

4. LITERATURA

- [1] TJALVE E.: Kratkii kurs promišlenogo dizaina, "Mašinstroenie", Moskva, 1984.
- [2] VUKOTIĆ V.: Povećanje pouzdanosti pod sistema kopanja rotornih bagera poboljšanjem triboloških karakteristika reznih elemenata, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2001.
- [3] VEINOVIĆ S., PEŠIĆ R., STOJANOVIĆ M., GRAĐIN Z.: Klip motora i kompresora sa tribološkim ulošcima, Patent-88/94, 1994.
- [4] PEŠIĆ R.: Tribološki procesi u motoru SUS, Tribologija u industriji, XXII, No 1, mart, 2002.
- [5] TANASIJEVIĆ S.: Savremeni prilazi rešavanju triboloških problema u mehaničkim prenosnicima, Tribologija u industriji, XXII, No 1, 2002.
- [6] TANASIJEVIĆ S.: Tribološki ispravno konstruisanje, JUTRIB 99, Kragujevac, septembar, 1999.