

TRIBOLOŠKA ISPITIVANJA ALUMINIJUMSKOG CILINDRA KOMPRESORA KOČNOG SISTEMA TRIBOLOGICAL INVESTIGATION OF ALUMINUM COMPRESSOR CYLINDER IN BRAKE SYSTEM

Milojević S.,* Pešić R.,** Taranović D.***

REZIME

Smanjenje težine ugrađenih delova i smanjenje trenja na vozilima doprinosi smanjenju potrošnje goriva. Upotreba aluminijuma i njegovih legura ima prednost zbog smanjenja težine delova, ali istovremeno postoji problem zbog manje čvrstoće i lošijih triboloških karakteristika ovog metala. Za potrebe istraživanja triboloških karakteristika kompresora u kočnom sistemu vozila, unutrašnja površina aluminijumskog cilindra je ojačana tribološkim ojačavačima. Cilj je da se smanji trenje i habanje između klipa i cilindra, kao i da se poveća čvrstoća. Tribološka optimizacija je izvršena na osnovu rezultata merenja koeficijenta trenja. Potvrđene su bolje tribološke karakteristike cilindra sa tribološkim ojačanjima u poređenju sa osnovnom aluminijumskom konstrukcijom koja je obložena sa prevlakama ili obrađena honovanjem.

Ključne reči: Kočni sistem, aluminijum, cilindar, koeficijent trenja

SUMMARY

Reducing the weight of the built-in parts and reducing the friction on vehicles contributes to reducing fuel consumption. The use of aluminum and its alloys has the advantage because of reducing the weight of the parts, but at the same time there is a problem due to the lower strength and poor tribological characteristics of this metal. For the purposes of investigating the tribological characteristics of the compressor in the vehicle braking system, the inner surface of the aluminum cylinder is strengthened with tribological reinforcements. Their task is to reduce friction and wear between the piston and cylinder and to increase strength of the cylinder liner. Tribological optimization was made on the basis of the measurement results of the coefficient of friction. It is confirmed that the tribological properties of the cylinder with the tribological reinforcements are better, compared to the base aluminum construction with coated or honed cylinder running surface.

Keywords: Brake system, aluminum, cylinder liner, coefficient of friction

* mr Saša Milojević, asist. Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka, sasa.milojevic@kg.ac.rs

** dr Radivoje Pešić, prof. Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka, pesicr@kg.ac.rs

*** dr Dragan Taranović, asist. prof. Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka, tara@kg.ac.rs

UVOD

Emisija teških teretnih vozila kamiona i autobusa, predstavlja jednu četvrtinu od ukupne emisije ugljen-dioksida (CO₂) u drumskom saobraćaju u EU, i približno 6% od ukupne emisije u EU. Transport je jedini sektor privrede u EU sa stalnim porastom emisije gasova koji doprinose stvaranju efekta staklene bašte, odnosno, doprinose globalnom zagrevanju planete [1].

Energija goriva se kod teretnih vozila u većoj meri angažuje za pogon pomoćnih uređaja. To se delom odnosi na periferne uređaje motora, kao što su: kompresor za vazduh u kočnom sistemu i kompresor u sistemu za klimatizaciju, alternator, pumpa za ulje i pumpa rashladne tečnosti, pumpe za gorivo visokog i niskog pritiska i dr. Snaga koja se angažuje za pogon pomoćnih uređaja zavisi od vrste vozila i veća je kod gradskih autobusa, zbog neophodnosti rada sistema za klimatizaciju, kao i zbog dodatnih potrošača električne energije i komprimovanog vazduha, slika 1 [1,2]. Povećano angažovanje snage za pogon pomoćnih uređaja kod gradskih autobusa je uglavnom posledica povećane potrošnje komprimovanog vazduha za potrebe rada kočnog sistema, intenzivnog hlađenja motora i intenzivnog dejstva na točak upravljača tokom vožnje, što se negativno odražava na potrošnju goriva.

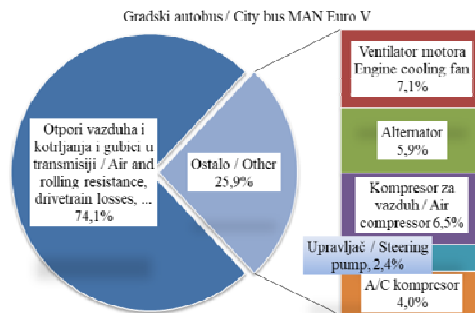
Potrošnja goriva a time i emisija (CO₂) iz vozila, čija je pogonska mašina motor SUS može da se u velikoj meri smanji putem smanjenja trenja između delova u kliznom kontaktu [2].

Smanjenje trenja u vozilima može sa jedne strane da se ostvari primenom triboloških prevlaka i posebnih tehnologija za obradu površina (honovanje, teksture i sl.) na delovima pogonske mašine i transmisije. Sa druge strane smanjenje gubitaka zbog trenja se može ostvariti i primenom savremenih maziva niže viskoznosti, dok se upotrebom specifično dizajniranih pneumatika mogu smanjiti i otpori kotrljanja pored trenja i sl. [3,4,5,6,7,8].

Primenom aluminijuma za izradu delova pogonskih mašina i vozila doprinosi se smanjenju težine, što se direktno odražava na smanjenje potrošnje goriva, a time i emisije otrovnih i štetnih produkata sagorevanja. Aluminijum se npr. primenjuje za izradu bloka motora koji je tradicionalno izrađivan od legura gvožđa. Međutim, zbog niske čvrstoće ovog metala problematična je njegova primena za izradu cilindra klipnih mašina.

Imajući u vidu navedene činjenice pokrenuta su istraživanja sa ciljem optimizacije aluminijumske konstrukcije klipnih motora i kompresora za primenu na teretnim vozilima i pogonskim mašinama. Posebno je istraživani i rešavan problem povećanja čvrstoće i triboloških karakteristika tribo-sistema klip-klipni prstenovi-zid cilindra [3,5,6].

Rezultat istraživanja je patentirani prototip aluminijumskog klipa i cilindra, čije su kontaktne površine obložene prevlakom ili su iste modifikovane umetanjem ojačavača u čijoj osnovi mogu biti odgovarajući tribo-materijali [3].



Sl. 1 Procentualno učešće snage koja se angažuje za savladavanje otpora kotrljanja i za pogon pomoćnih uređaja u ukupnoj potrošnji goriva gradskog autobusa

Fig. 1 Percentage of driving resistance and auxiliary power demand on the fuel consumption of the city bus

NOVA KONCEPCIJA ALUMINIJUMSKOG CILINDRA SA OJAČAVAČIMA

Poznato je, da se klizna površina cilindra klipnih mašina tradicionalno izrađuje od sivog liva ili legure AlSi. Da bi se ostvarilo bolje podmazivanje, kontaktna površina cilindra je obrađivana primenom tehnologije honovanja, odnosno pravljenjem određenih tekstura. Međutim, u toku rada, pri prelasku klipnih prstenova preko žlebova u cilindru koji je završno obrađen honovanjem, dolazi do istiskivanja maziva kada uslovi podmazivanja nisu granični, što ima za posledicu povećano trenje i habanje u kontaktnim tačkama.

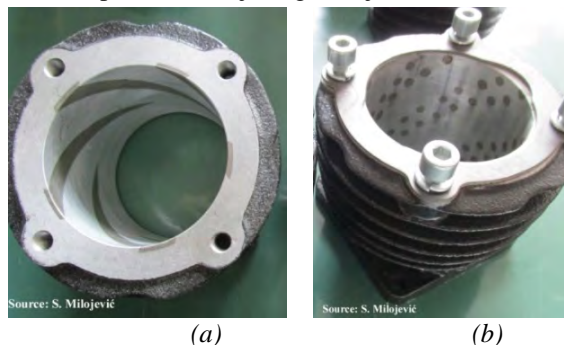
Generalno, potpuni kontakt između klipnih prstenova i zida cilindra nije moguće ostvariti u potpunosti primenom dostupnih tehnologija mašinske obrade. Jedan od načina za smanjenje potrošnje ulja a time i trenja i habanja je primena tehnologije kliznih odnosno kontaktnih površina u obliku spirale. Kontaktna površina između zida cilindra i klipnih prstenova se može unapred odrediti u fazi projektovanja i realizovati putem ulivanja odgovarajućih umetaka u zid cilindra [3].

Sa ciljem da se ostvare čvrstoća i tribološke karakteristike slično sivom livu, patentiran je cilindar klipnog kompresora za vazduh od kompozitnog materijala sa ojačavačima od čvršćeg i tribološkog materijala, slika 2 [3]. Unutrašnja površina cilindra od aluminijuma koji je osnovni materijal-matrica (legura EN AlSi10Mg) je modifikovana umetanjem triboloških uključaka u obliku kontinualnih ploča kao ojačavača u obliku kontinualnih ploča, slika 2.a ili diskretnih triboloških čepova sfernog oblika (nodula), odnosno čestica sfernog oblika, slika 2.b [3].

Cilj je da se prenošenjem kontakta između klipnih prstenova i zida cilindra na ojačavače smanji trenje ovog tribo-sistema. Ako se uzme u obzir da se trenje u klipnim mašinama u velikoj meri generiše u okviru ovog tribo-sistema, optimizacija ima efekta [3,5,6,9]. Na taj način, optimizacijom se produžava i servisni vek klipnih prstenova i cilindra. Dodatno, zbog primene kompozitnog materijala sa osnovom od aluminijuma umesto sivog liva, u velikoj meri se smanjuje i težina mašine, što direktno doprinosi smanjenju potrošnje goriva.

EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

U okviru rada je istraživan efekat ojačavača na tribološke karakteristike patentiranog cilindra od legure aluminijuma. Istraživanje je sastavni deo rada na optimizaciji performansi klipnog kompresora za proizvodnju komprimovanog vazduha na motornim vozilima, čiji je odnos prečnik/hod klipa (74/35 mm·mm⁻¹). Pre rekonstrukcije, delovi klipnog kompresora su tradicionalno izrađivani od sivog liva. Za potrebe ispitivanja isti su zamenjeni odgovarajućom



Sl. 2 Fotografije aluminijumskog cilindra sa tribološkim uključcima (a-kontinualne ploče; b-diskretni čepovi sfernog oblika ili nodula)

Fig. 2 Photography of aluminum cylinder with tribological pads (a-continual plates; b- discrete plugs in the form of spheres or nodules)

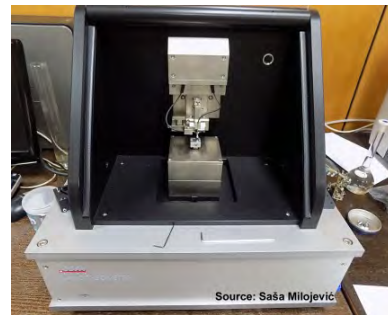
leguom aluminijuma. Takođe, sa ciljem da se omogući i eksperimentalno ispitivanja performansi rekonstruisanog klipnog kompresora, projektovana je i postavljena odgovarajuća merna instalacija u laboratoriji za motore SUS, Fakulteta inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu (FINKG), slika 3.a [3,5,6,10].

Tribološka istraživanja su takođe realizovana na (FINKG) na CSM nanotribometru tipa lopta na ploči (ball-on-plate), slika 3.b. [11].

Ispitivanje se sastojalo u merenju i snimanju koeficijenta trenja pri različitim opterećenjima (tri različite vrednosti normalne sile: 0,3; 0,6 i 0,9 N) i različitim brzinama klizanja (3; 9 i 15 mm·s⁻¹), bez prisustva sredstva za podmazivanje. Trajanje svakog testa je 500 ciklusa (rastojanje od 1 m), pri čemu jedan ciklus predstavlja jednu punu amplitudu puta klizanja. Koeficijent trenja je automatski sniman u toku ispitivanja, primenom namenskog paketa softvera za akviziciju podataka.



(a)



(b)

Sl. 3 Fotografija eksperimentalne instalacije (a-klipni kompresor i b-CSM nanotribometar)
Fig. 3 Photography of the experimental installation (a-reciprocating compressor and CSM nanotribometer)

REZULTATI EKSPERIMENTA

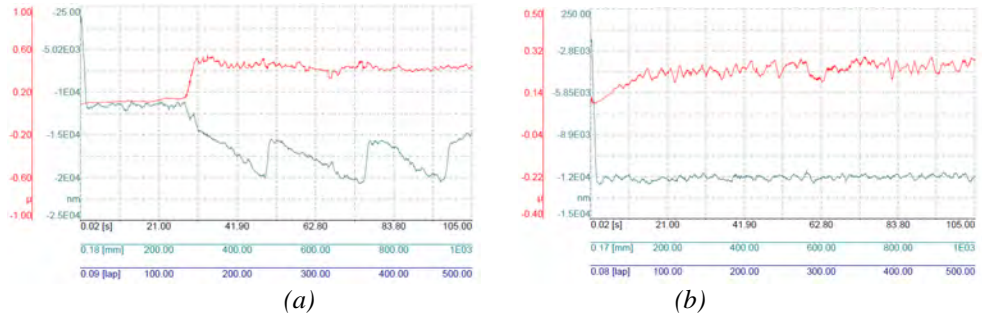
Dijagrami promene koeficijenta trenja i traga habanja (ordinata) tokom klizanja u zavisnosti od vremena, rastojanja i broja ciklusa (apscisa) su prikazani na slici 4.a za osnovni materijal (aluminijum) i na slici 4.b za tribološke ojačavače od livenog gvožđa. Zbog naizmeničnog kretanja igle CSM nanotribometra između dva krajnja položaja, i sila trenja je naizmenično menjala smer tokom ispitivanja.

Dobijene vrednosti koeficijenta trenja za ojačavač se kreću u opsegu (0,090–0,295), pri čemu je maksimalna vrednost dosta niža od vrednosti koja je dobijena ispitivanjem osnovnog materijala (0,083–0,543). Srednja vrednost koeficijenta trenja ojačavača je takođe niža (0,232) u poređenju sa vrednošću za osnovni materijal (0,350).

Snimljene vrednosti koeficijenta trenja su relativno konstantne, i postaju ustaljene za relativno kratko vreme od početka ispitivanja. To važi za oba ispitivana materijala. Vrednosti traga habanja ojačavača su relativno konstantne i znatno su stabilnije u poređenju sa vrednostima koje su dobijene ispitivanjem osnovnog materijala, kada vrednosti traga habanja znatno osciliraju.

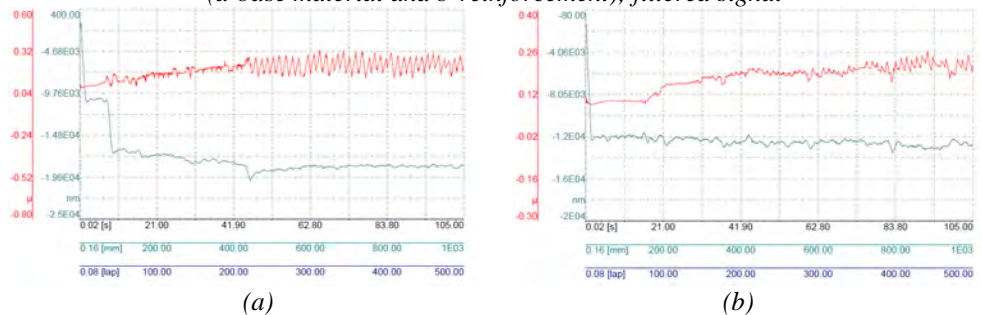
Na većem opterećenju i pri istoj brzini klizanja je takođe snimljena niža maksimalna vrednost koeficijenta trenja ojačavača, slika 5. Dobijene vrednosti koeficijenta trenja se kreću u opsegu (0,087–0,262) za ojačavač, i (0,076–0,327) za osnovni materijal. Srednja vrednost koeficijenta

trenja ojačavača je niža (0,176) u odnosu na osnovni materijal (0,202).



Sl. 4 Koeficijent trenja i trag habanja pri uslovima ($F_N = 0,3 \text{ N}$; $V = 15 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$) za (a- osnovni materijal i b-ojačavač); filtriran signal

Fig. 4 Coefficient of friction and penetration depth under ($F_N = 0,3 \text{ N}$; $V = 15 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$) for (a-base material and b-reinforcement); filtered signal



Sl. 5 Koeficijent trenja i trag habanja pri uslovima ($F_N = 0,9 \text{ N}$; $V = 15 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$) za (a- osnovni materijal i b-ojačavač); filtriran signal

Fig. 5 Coefficient of friction and penetration depth under ($F_N = 0,9 \text{ N}$; $V = 15 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$) for (a-base material and b-reinforcement); filtered signal

Plan za predstojeći period je da se posle realizovanih triboloških ispitivanja nastavi ispitivanje performansi optimizovane konstrukcije klipnog kompresora na probnom stolu. Cilj je da se primenom metode indiciranja pritiska u cilindru klipnog kompresora, odredi snaga koja se angažuje na trenje frikcionih parova mašine (npr. klip-klipni prstenovi-zid cilindra) sa delovima od osnovnog materijala i sa ojačavačima, i da se na taj način potvrdi predložena optimizacija mašine.

Na osnovu rezultata triboloških ispitivanja, slika 4 i 5, i rezultata koji su dobijeni ispitivanjem habanja motora SUS, očekuje se značajnije smanjenje gubitaka na trenje usled primene nove konstrukcije cilindra od kompozitnog materijala sa aluminijumskom osnovom, a takođe, očekuju se i bolje mehaničke karakteristike.

ZAKLJUČCI

U gradskim autobusima, značajan deo snage, a time i energije goriva se angažuje za pogon pomoćnih uređaja koji su integrisani na vozilu i na pogonskoj mašini. To se u prvom redu odnosi na veći procenat angažovane snage za pogon ventilatora u sistemu za prinudno hlađenje motora i za pogon klipnog kompresora za proizvodnju komprimovanog vazduha u kočnom sistemu.

Primena aluminijumskih legura za izradu delova pogonskih i mobilnih sistema ima značaja sa aspekta smanjenja mase, što direktno utiče na smanjenje potrošnje goriva. Sa druge strane, problem u primeni predstavljaju niska čvrstoća i loše tribološke karakteristike aluminijuma i aluminijumskih konstrukcija.

Neki od raspoloživih načina za poboljšanje triboloških i mehaničkih karakteristika delova od aluminijuma su nanošenje prevlaka od triboloških materijala, tehnologija izrade teksturne površine, primena ulja niže viskoznosti i aditiva i sl.

Problem čvrstoće i triboloških karakteristika cilindra klipnog kompresora za vazduh je rešavan primenom kompozitnog materijala sa ojačavačima. Osnova, odnosno matrica konstrukcije je izrađena od legure aluminijuma sa ojačavačima u obliku čestica sfernog oblika od legure gvožđa.

Na osnovu triboloških ispitivanja, potvrđene su povoljnije karakteristike trenja i habanja ojačavača u odnosu na osnovni materijal. Dobijeni rezultati su korisni kao smernice za dalja istraživanja i izbor odgovarajuće konstrukcije cilindra u okviru optimizacije performansi eksperimentalnog klipnog kompresora za proizvodnju komprimovanog vazduha na teretnim vozilima i pogonskim mašinama.

ZAHVALNOST

Ovaj rad je rezultat dela istraživanja na projektu Tr 35041 koji je finansiran od strane Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

LITERATURA

- [1.] European Commission. Climate Action:
- [2.] http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/index_en.htm, (pristupljeno 18.08.2017.).
- [3.] Kennedy, M., Hoppe, S., Esser, J. (2012). Piston Ring Coating Reduces Gasoline Engine Friction. MTZ Motortechnische Zeitschrift, 73, 5, 40–43.
- [4.] Pešić, R. (2004). ASMATA – Automobile Steel Material Parts Substitution with Aluminum. Int. J. Vehicle Mech., Engines and Transportation Syst. Special Edition, 30, 1–168. (In Serbian and English).
- [5.] Stojanović, B., Glišović, J. (2016). Automotive Engine Materials. Saleem Hashmi (Editor), Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. Oxford, Elsevier, p. 1-9.
- [6.] Milojević, S., Pešić, R., Taranović, D. (2014). Tribološka rešenja u razvoju klipnih mašina. JUMTO Journal Tractors and Power Machines, 19, 3, 79–87.
- [7.] Milojević, S., Pešić, R., Taranović, D., Davinić, A. (2015). Prevlake za aluminijumske cilindre klipnih kompresora. JUMTO Journal Tractors and Power Machines, 20, 3/4, 67–73.
- [8.] Vencl, A., Rac, A. (2004). New Wear Resistant Al Based Materials and their Application in Automotive Industry. Journal Mobility & Vehicle Mechanics (MVM), Special Edition, 30, 115–139.
- [9.] Vencl, A., Rac, A., Bobic, I. (2005). Tribological Behaviour of Al–Based MMCs and their Application in Automotive Industry. Journal Tribology in Industry, 26, 3–4, 31–38.
- [10.] Milojević, S., Pešić, R., Taranović, D. (2015). Tribological Principles of Constructing the Reciprocating Machines. Journal Tribology in Industry, 37, 1, 13–19.
- [11.] Taranović, D. (2013). The test bench for non-standard testing of reciprocating compressors for motor vehicles. Ph.D. Dissertation, Faculty of Engineering, University of Kragujevac. (In Serbian).
- [12.] Saša MILOJEVIĆ, Dragan DŽUNIĆ, Dragan TARANOVIĆ, Radivoje PEŠIĆ, Slobodan MITROVIĆ, TRIBOLOGICAL REINFORCEMENTS FOR CYLINDER LINER OF ALUMINUM – EXAMPLE COMPRESSORS FOR BRAKE SYSTEMS OF TRUCKS AND BUSES, 15th International Conference on Tribology SERBIATRIB '17, Kragujevac, 2017, 17 – 19 May, pp. 251–257.

Rad primljen: 11.10.2017.

Rad prihvaćen: 27.10.2017.



Časopis Naučnog društva za pogonske mašine, traktore i održavanje
Journal of Scientific Society of Power Machines, Tractors and Maintenance

TRAKTORI I POGONSKE MAŠINE

3/4

UDK 631.372

ISSN 0354-9496

Godina 22

Dec. 2017.

TRACTORS AND POWER MACHINES



Novi Sad, Srbija