

Biblid: 0354-9496(2015) 20: 3/4, p. 67-73
UDK: 621.512.3/62-222.2

Naučni rad
Scientific paper

PREVLAKE ZA ALUMINIJUMSKE CILINDRE KLIPNIH KOMPRESORA

COATING FOR CYLINDER LINER OF ALUMINIUM INSIDE RECIPROCATING COMPRESSORS

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

REZIME

Smanjenje težine vozila doprinosi smanjenju potrošnje goriva i emisije izduvnih gasova. U praksi, to se postiže primenom lakih metala i optimizacijom triboloških sistema na vozilu.

Primena aluminijuma sa aspekta smanjenja težine ima prednosti, ali paralelno postoji i problem zbog lošije čvrstoće ovog metala. Površinske prevlake i ulja niže viskoznosti se uspešno koriste kao opcija za poboljšanje triboloških karakteristika delova koji su u kliznom kontaktu.

Za potrebe istraživanja, unutrašnja površina aluminijumskog cilindra je modifikovana integrisanjem triboloških umetaka. Njihov zadatak je smanjenje trenja i habanja između klipa i cilindra i povećanje čvrstoće cilindra. Autori očekuju više rezultata ispitivanja na mernoj opremi za male motore i kompresore koja je postavljena na Fakultetu inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu.

Ključne reči: Klipni aluminijumski kompresor, tribologija, prevlake

SUMMARY

Reducing vehicle weight contributes to reducing fuel consumption and exhaust emissions. In practice, this is achieved by application of lightweight materials and through optimization of tribo-systems on the vehicle.

The benefit of using aluminium is evident due to the reduced weight of the parts, but in parallel there is a problem due to the low strength of this metal. Surface coatings and oils of low viscosity are used successfully to improve the tribological characteristics of sliding parts.

For research purposes, the inner surface of cylinder which was produced of aluminum was modified by integrating tribological inserts. Their task is to reduce friction and wear between the piston and cylinder and to increase the strength of the cylinder. The authors hope to obtain more results on the test bench for testing of small reciprocating engines and compressors at the Faculty of Engineering University of Kragujevac, which was currently being brought into operation.

** mr Saša Milojević, asist. dr Radivoje Pešić, prof., dr Dragan Taranović, doc., dr Aleksandar Davinić, doc., Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, tiv@kg.ac.rs*

Keywords: Reciprocating aluminum compressor, Tribology, Coating

UVOD

Savremena vozila moraju da zadovolje sve strožije ekološke propise o dozvoljenoj emisiji otrovnih i štetnih produkata sagorevanja. Na primer, prema direktivi EC komisije (European Commission Directive) broj 93/116/EC, ukupna prosečna emisija ugljen dioksida (CO₂) u Evropi mora dostići 130 g·km⁻¹ za putnička vozila proizvedena od tekuće 2015. godine, odnosno 95 g·km⁻¹ od 2020. godine. Slična regulativa je usvojena i u ostalim zemljama širom sveta, a ne samo u Evropi [1].

Smanjenje potrošnje goriva motornog vozila je moguće ostvariti ako se poveća stepen iskorišćenja pogonskog agregata, i ako se smanje otpori kretanju. U prvom slučaju, neophodno je primeniti tehnologije za smanjenje gubitaka usled trenja, odnosno za smanjenje težine vozila respektivno.

Jedan od načina za povećanje ekonomičnosti automobila putem simultanog smanjenja njegove težine i gubitaka usled trenja, jeste zamena bloka odnosno cilindra koji se tradicionalno proizvodi od sivog liva sa lakšim materijalom povoljnijih termičkih karakteristika.

Primena aluminijuma (AL) umesto livenog gvožđa za izradu bloka motora doprinosi smanjenju ugradnih dimezija i smanjenju težine. Prednosti primene AL-Si legura su: niža cena proizvodnje livenjem, ekonomski isplativa reciklaža, niža specifična težina, bolja termička provodljivost i otpornost na koroziju. Problem predstavljaju veći koeficijent termičkog širenja, mala čvrstoća, kao i loše tribološke karakteristike ovog metala, što je praćeno pojavom deformacija i povećanja projektovanih zazora. Problemi se mogu rešiti odgovarajućom površinskom obradom delova koji su izloženi klizanju. Istraživani tribomehanički sistem klipne grupe je takođe zahtevan u pogledu čvrstoće i otpornosti na habanje, posebno klizna površina bloka čija je osnova od AL-Si legure [2].

Pojedini autori su istraživali i rešavali optimizaciju konstrukcije cilindra klipnih mašina nanošenjem tankog sloja prevlake od livenog gvožđa na kliznoj unutrašnjoj površini zida cilindra [3,4] ili primenom kompozitnih materijala od AL-Si osnove [4].

Mi smo istraživali primenu triboloških rešenja za optimizaciju AL konstrukcije eksperimentalnog klipnog kompresora za vazduh. Za tu svrhu su izliveni cilindri od AL-Si legure (EN ALSi10Mg). Unutrašnja klizna površina cilindra je pri tome dodatno ojačana nanošenjem prevlaka u vidu praha na bazi gvožđa (oznake 4052 i 92F) plazma sprej postupkom u atmosferskim uslovima [2,4]. U drugom slučaju, klizna unutrašnja površina cilindra je ojačanja umetanjem kontinualno raspoređenih triboloških umetaka u obliku višehode zavojnice, čiji su zavoji integralno ugrađeni (iz jednog komada) ili su diskretno raspoređeni u obliku pojedinačnih malih umetaka proizvoljnog oblika, (najčešće su to tribološki čepovi oblika sfere ili nodula sfernog oblika) [2,5].

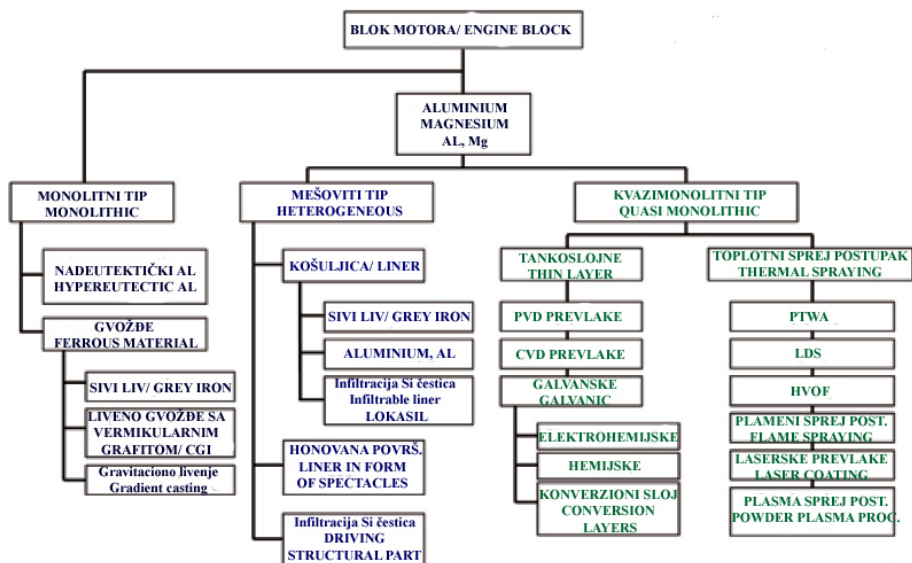
Istraživanje ima za cilj, da se poređenjem rezultata ispitivanja performansi eksperimentalnog klipnog kompresora za vazduh odredi najbolja alternativa zameni čeličnog cilindra klipnog kompresora za vazduh sa AL legurom. Za tu svrhu je realizovana adaptacija i podešavanje probnog stola [2,6] za ispitivanje performansi klipnih mašina pri Laboratoriji za motore Fakulteta inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu.

IZRADA BLOKA I ZIDA CILINDRA KLIPNIH MAŠINA

Povećanje obrtnog momenta i snage kod savremenih motora je posledica višeg stepena

iskorišćenja procesa sagorevanja. Optimizaciju procesa sagorevanja prate znatno viši maksimalni pritisci u cilindru i povećano termo–mehaničko opterećenje delova. Paralelno, primena ulja niže viskoznosti kao i drugih raspoloživih mera za smanjenje potrošnje goriva, kao što je integracija start/stop sistema, smanjenje težine i radne zapremine motora i opreme, natpunjenje sa visoko–pritisnim ubrizgavanjem goriva i sl., dodatno doprinose povećanju opterećenja i habanja delova, posebno klipne grupe.

Blok savremenog motora na primer, mora da izdrži sve veće maksimalne pritiske u cilindru i povećano termo–mehaničko opterećenje, pri čemu je obavezno smanjenje njegove težine i isti mora biti otporan na uticaj goriva različite agresivnosti. Proces njegovog livenja je sve kompleksniji, jer se moraju integrisati mesta odnosno priključci za delove motora koji obavljaju sekundarne funkcije – periferija (razvodna kutija, kućište menjača i zamajca, pumpe za vodu, kompresora za vazduh), kao i kanali za protok ulja za podmazivanje, tečnosti za hlađenje) i dr. Na slici 1 su sistematizovane tehnologije za proizvodnju bloka motora, kao i za obradu zida cilindra i njihove kombinacije [3,4].



Sl. 1 Tehnologije za proizvodnju bloka motora i obradu površine zida cilindra

Fig. 1 Production method for engine blocks and cylinder surfaces

Blok motora se uobičajeno proizvodi tehnologijom iz jednog dela (monolitni) ili sa umetnutom cilindričnom košuljicom (mešoviti tip).

Monolitni tip AL bloka motora se proizvodi od skupe nadeutektičke AL–Si legure ALSi17Cu4Mg (ALUSIL®), na primer. ALUSIL® ima dobre tribološke karakteristike zbog integrisanih primarnih čestica silicijuma. Blokovi od sivog liva (SL), kao što je liveno gvožđe sa vermikularnim grafitom (engl. CGI– cast iron with vermicular graphite) imaju takođe dobre tribološke karakteristike.

Mešoviti tip bloka motora se proizvodi od jeftinije AL–Si legure koja nije otporna na habanje, a zatim se vrši umetanje cilindrične košuljice od tribološkog materijala. Jedno od prvih rešenja za izradu AL blokova je bilo korišćenje košuljica od SL ili od AL–Si legure. SL ima dobre tribološke karakteristike zahvaljujući mikrostrukтури koja se sastoji od perlita i lamelnog

grafita. Uticaj grafita je posebno izražen pri klizanju nepodmazivanih i granično podmazivanih površina. Naknadnim honovanjem se doprinosi dodatnom smanjenju trenja. U serijskoj proizvodnji, tehnologija košuljica od SL u AL bloku motora je ekonomski isplativija i povoljnija sa aspekta trenja i habanja, u odnosu na zid cilindra sa česticama silicijuma (monolitni ili mešoviti tip sa AL–Si košuljicom).

Košuljice od sivog liva mogu biti umetnute u AL blok naknadnim presovanjem, odnosno utiskivanjem i direktnim postavljanjem tokom procesa livenja, odnosno ulivanjem, koje može biti gravitaciono ili pod visokim pritiskom. Tu se i javlja problem jer zaostali naponi u košuljici od SL i deformacije pri livenju mogu da izazovu deformacije cilindra tokom dužeg rada.

Tehnologija LOKASIL[®], koju je postavila firma Kolbenschmidt se izvodi u dva koraka. Prvo se dobijaju blokovi od jeftinijih AL–Si legura livenjem pod visokim pritiskom, a zatim se vrši livenje gnječanjem pomoću cilindričnih poroznih uložaka, kada se filtriraju i Si čestice. Tim putem se dobija lokalno, u površinskom sloju nadeutektička AL–Si legura.

MOTODE OBLAGANJA ZIDOVA CILINDRA – PREVLAKE

Povećana opterećenja strukture bloka klipnih mašina smanjuju njegovu dinamičku moć nošenja. Problem se rešava primenom trećeg, tzv. kvazimonolitnog tipa AL bloka, slika 1, koji predstavlja kombinaciju jeftinije monolitne strukture osnove od AL–Si legure, dok se na površinu cilindra nanose prevlake, slika 2 [3].

Tankoslojne prevlake nanete u vidu fizičke ili hemijske parne depozicije (engl. PVD, CVD–physical or chemical vapour deposition) nisu prihvatljive zbog visokih temperatura osnove i nisu isplative.

NIKASIL[®] (Mahle) i CHROMAL[®], su komercijalizovane galvanske tankoslojne prevlake. Kod ovih tehnologija se nanose Ni–SiC odnosno, Cr disperzioni slojevi procesom galvanizacije na porozne površine. Galvanske prevlake imaju nižu temperatura osnove i nisu ekološki i ekonomski prihvatljive.

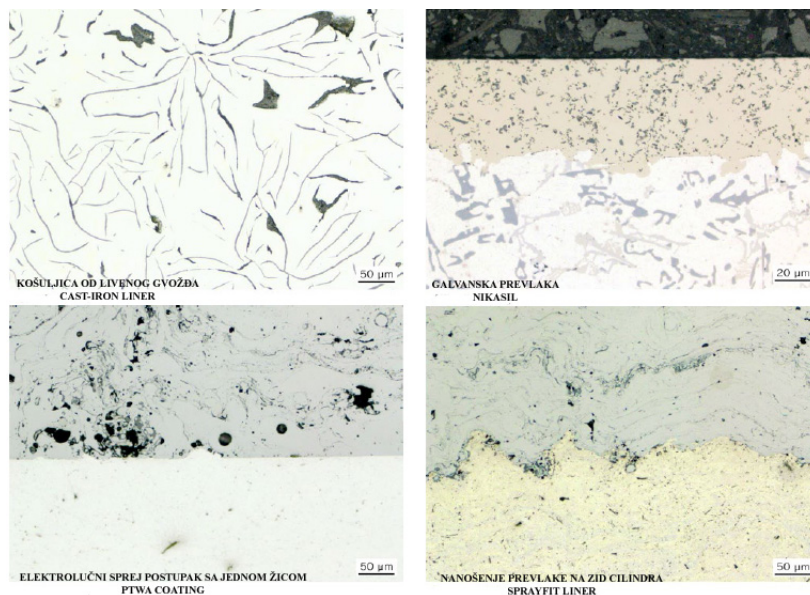
Termičkim nanošenjem prevlaka elektrolučnim sprej postupkom sa jednom žicom PTWA (engl. Plasma Transferred Wire Arc), odnosno sa dve žice DAG–LDS (Daimler) (eng. Twin-Wire-Arc; de. Lichtbogendrahtspritzen) se formira stabilan sloj čelika na kliznoj površini zida cilindra. Dodatni materijal se u vidu žice dovodi u obrtni pištolj na dva mesta tj. u vidu dve žice. Obe žice od istog materijala su priključene na strujne polove i između njih se formira strujno kolo. Na mestu dodira tj. na vrhovima žica/elektroda dolazi do topljenja istih.

HVOF (eng. High Velocity Oxygen Fuel) je postupak termičkog nanošenja prevlake plamenim sprej postupkom. Materijal prevlake je oblika žice ili praha, a toplotna energija se ostvaruje gasnim plamenom odnosno sagorevanjem smeše kiseonika i gorivog gasa (acetilen, propan ili vodonik).

Tehnologija TRIBOSIL[®] podrazumeva modifikaciju uz pomoć lasera površine cilindra koji je u potpunosti izrađen od AL. Kod nje se blok motora dobija gravitacionim livenjem neke jeftinije AL–Si legure, a zatim se vrši legiranje površine uz pomoć lasera. Laserskim snopom se topi površina uz istovremeno ubacivanje u istopljenu masu čestica Si u vidu praha. Ovim se dobija lokalno obogaćenje površine silicijumom, odnosno formiranje nadeutektičke Al–Si legure.

ROTAPLASMA[®] je tehnologija koju je razvila kompanija Sulzer Metco i obuhvata nanošenje

prevlaka na bazi gvožđa plazma sprej postupkom. Princip ovog postupka sastoji se u tome što se između katode i anode u pištolju, formira strujno kolo koje jonizira plazma gasove (Ar, He, H₂, N₂ ili njihovu mešavinu), koji struje između njih i nastaje plazma. Plazma gasovi predstavljaju primarni gas, a sekundarni ili noseći gas u procesu je onaj koji nosi čestice praha do pištolja i dalje do osnove.



Sl. 2 Tehnologije za nanošenje prevlaka na kliznim površinama zida cilindra
Fig. 2 Overview of common running surface technologies

Od postupaka termičkog nanošenja prevlaka, jedino je proces raspršivanja plazma sprej postupkom komercijaliovan. Ostali postupci nanošenja su u fazi razvoja i njihova komercijalizacija se očekuje u budućnosti.

NOVA KONCEPCIJA CILINDRA KLIPNOG KOMPRESORA

U toku istraživanja, tribološka znanja za izradu i projektovanje delova mašinskih sistema su reprezentovana kroz primer patenta malog eksperimentalnog klipnog kompresora za vazduh, čiji je prečnik cilindra 74 mm. Polazna konstrukcija kompresora je bila izrađena od livenog gvožđa, dok je optimizovana konstrukcija u osnovi od legure aluminijuma. U toku je verifikacija metode ispitivanja performansi eksperimentalnog kompresora u Laboratoriji za motore SUS Fakulteta inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu (FINKG) [2,5,6,7,8].

Kao poseban doprinos, da bi se postigla zadovoljavajuća čvrstoća AL cilindra eksperimentalnog klipnog kompresora, naknadno je izvršeno njegovo oblaganje tribološkim prevlakama, slika 3. Na unutrašnju površinu cilindra, čija je osnova od ALSi legure (EN ALSi10Mg) su umetnuti tribološki ukljucci na bazi gvožđa, i to u obliku kontinualno raspoređenih lamela – pločica (oblik je sličan višehodnoj zavojnici čiji su zavoji integralno ugrađeni), slika 3.a. ili su ukljucci diskretno raspoređeni u obliku pojedinačnih malih umetaka proizvoljnog oblika, (tribološki čepovi oblika sfere ili nodula), slika 3.b. Idejni tvorac navedenih rešenja je prof. R. Pešić sa saradnicima [2].



a)



b)

Sl. 3 Fotografije patentiranog aluminijumskog cilindra sa tribološkim uključcima (a-kontinualni i b-u obliku kuglica)

Fig. 3 Photography of patented aluminum cylinder with tribological pads (a-continual and b-nodular discrete pads)

Materijal prevlake je na bazi gvožđa (mikrostruktura je na bazi perlita i lamelarnog grafita), i otporan je na habanje, ima dobre mehaničke i tribološke karakteristike [4]. Tim putem je moguće ostvariti postavljeni cilj, da se unutrašnja površina cilindra koja je u stalnom kliznom kontaktu dodatno mehanički ojača. Sadržaj grafita je posebno važan pri klizanju nepodmazivanih i granično podmazivanih površina, kakvi su uslovi u cilindru klipnih mašina uopšte. Poznato je da grafit kao čvrsto mazivo može da doprinese poboljšanju triboloških karakteristika sistema. Na taj način, putem smanjenja koeficijenta trenja usled primene triboloških znanja za izradu i oblaganje zida cilindra moguće je na ekonomski isplativ način doprineti smanjenju potrošnje goriva i emisije CO₂. Povećana otpornost na habanje cilindra, dovodi do smanjenja gubitaka posebno usled isticanja, a koji nastaju pri povećanju projektovanih zazora klipne mašine, čime se eliminišu ne planirani otkazi i smanjuju se troškovi eksploatacije.

ZAKLJUČCI

Savremena vozila moraju da zadovolje sve strožije ekološke propise o dozvoljenoj emisiji otrovnih i štetnih produkata sagorevanja. Prema direktivi EC komisije (European Comission Directive) broj 93/116/EC, ukupna prosečna emisija ugljen dioksida (CO₂) u Evropi mora dostići 130 g·km⁻¹ za putnička vozila proizvedena od tekuće 2015. godine, odnosno 95 g·km⁻¹ od 2020. godine.

Smanjenje potrošnje goriva motornog vozila je moguće ostvariti ako se poveća stepen iskorišćenja pogonskog agregata, i ako se smanje otpori kretanju. U prvom slučaju, neophodno je primeniti tehnologije za smanjenje gubitaka usled trenja, odnosno za smanjenje težine vozila respektivno.

Sa ciljem da se postignu čvrstoća i tribološke karakteristike delova klipnih mašina od aluminijuma, najmanje slično livenom gvožđu, patentiran je aluminijumski cilindar klipnog kompresora za vazduh. Na unutrašnju površinu cilindra koja je u stalnom kliznom kontaktu sa delovima klipne grupe su umetnuti tribološki uključci na bazi gvožđa i to, u obliku kontinualno

raspoređenih lamela – pločica ili diskretnih triboloških čepova u obliku kuglica sfernog oblika. Rezultati eksperimentalnih ispitivanja treba da opravdaju primenu AL cilindra sa tribološkim umetcima, prvenstveno zbog smanjenja trenja u okviru tribo mehaničkog sistema klipa i cilindra.

ZAHVALNOST

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

LITERATURA

- [1.] Cars: Greenhouse Gas Emissions, available at:
- [2.] <https://www.dieselnet.com/standards/eu/ghg.php>, accessed: 05.10.2015.
- [3.] 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).
- [4.] Aumiller, M., Buchmann, M., Scherer, V. Sprayed Fe–AL Cylinder Liner with Optimized Thermal Conductivity. MTZ 76 (2015), 4, 30–35.
- [5.] Vencl, A., Avramović, S., Marinković, A. (2006). Ferrous–based coating deposited on AL-alloy substrate by Atmospheric Plasma Spraying (APS), 31. Conference on production engineering with foreign participants, Kragujevac, 19–21.
- [6.] Journal: Intellectual Property Gazette. Pešić, R., Ješić, D. and Veinović, S. 2008. Piston compressors and IC engines cylinder with inserted tribological inserts. The Intellectual Property Office of the Republic of Serbia, Belgrade, 2008/3, pp.598–599.
- [7.] 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.
- [8.] Milojević S., Pešić R., Taranović D. (2014). Tribološka rešenja u razvoju klipnih mašina, Journal Tractors and Power Machines, Novi Sad, ISSN 0354-9496(2014) 19: 3, p. 79-87, UDK 629.06.
- [9.] S. Milojevic, R. Pesic, D. Taranovic. (2015). Tribological Optimisation of Reciprocating Machines According to Improving Performance, Int. Journal of the Balkan Tribological Assoc., 21, 3, 690–699.

Rad primljen: 02.11.2015.

Rad prihvaćen: 12.11.2015.



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 20

Dec. 2015.

TRACTORS AND POWER MACHINES



Novi Sad, Srbija