

SREČKO MANASIJEVIĆ<sup>1</sup>, KARLO RAIĆ<sup>2</sup>,  
SANJA TRGOVČEVIĆ<sup>1</sup>

Stručni rad  
UDC:620.191:624.056

## Konvencionalne metode površinske zaštite klipova SUS motora

*U ovom radu dat je pregled konvencionalnih metoda površinske zaštite klipova za motore SUS. Jedan od najopterećenijih delova SUS motora je cilindarski sklop, tj. klip kao element sklopa. Klip je u svom radu izložen uticaju agresivne gasne i tečne sredine, povišenim temperaturama, termošokovima i mehaničkim opterećenjima. Analizom navedenih metoda pokazalo se da površinske prevlake koje se stvaraju na određenim površinama na klipu u znatnoj meri povećavaju tribološke performanse i produžavaju radni vek klipa.*

**Ključne reči:** klip, površinska zaštita, tvrda anodna oksidacija.

### UVOD

Motori sa unutrašnjim sagorevanjem (SUS), spadaju u grupu toplotnih motora, kod kojih se toplotna energija dobijena sagorevanjem goriva pretvara u mehaničku, gde reaktanti sagorevanja (oksidant, najčešće vazduh i gorivo) i produkti sagorevanja služe dobijanju radne energije [1]. Konkretnije, energija se dobija iz toplote oslobođena sagorevanjem smeše oksidanta i goriva. Koristan rad dobija se kao rezultat delovanja vrelih, gasovitih produkta sagorevanja na pokretnim delovima motora kao što su klipovi, lopatice turbine ili brizgaljka.

Predmet interesovanja u ovom slučaju su klipni motori sa unutrašnjim sagorevanjem koji su veoma rasprostranjeni u privredi, jer su našli veliku primenu za pokretanje vozila, brodova i u industrijskim postrojenjima. Oni se koriste kako za stacionarni pogon tako i za pogon svih vrsta prevoznih sredstava (motocikla, automobila, kamiona, letelica, brodova itd.). Ovako velika primena motora proističe iz njihovih povoljnih osobina.

Jedan od najvažnijih delova u motoru je svaka klip, jer zauzima centralno mesto u procesu transformacije hemijske energije goriva prvo u toplotnu, a zatim u mehaničku. Od toga koliko je on funkcionalan, u tolikom stepenu zavise karakteristike motora.

Zato, klip predstavlja predmet stalnih naučnih istraživanja. Međutim, takav privilegovani položaj daju mu samo pojedine automobilske kompanije koje konstruišu i izrađuju same klipove za svoje motore ili koriste usluge specijalizovanih kompanija u ovoj oblasti. Za obavljanje iste funkcije u motoru, pojavljuju se različiti oblici i dimenzije klipova. Što je klip konstruktorski složeniji, utoliko je i tehnološki, pa je i njegova cena veća.

Uslovi u kojima je izložen klip: ciklično kretanje klipa sa zaustavljanjem u spoljašnjoj i unutrašnjoj mrtvoj tački, nepotpuno sagorevanje, razblaživanje ulja gorivom, povišene temperature, hladan start i nepovoljni zazori, sve zajedno sprečavaju stvaranje idealnog hidrodinamičkog uljnog filma između klipa i cilindra. Takođe, trenje i metalni kontakt koji se javljaju istovremeno za vreme pokretanja i zaustavljanja motora zahtevaju dodatnu otpornost na habanje.

Legure aluminijuma pokazuju dobru otpornost na habanje i ne zahtevaju dodatnu površinsku zaštitu u slučaju sklopa sa cilindrom od sivog live-nog gvožđa. Međutim, površinska zaštita klipova (stvaranje metalne prevlake) može pružiti dodatnu sigurnost [1-4]. Metode površinske zaštite se mogu podeliti u dve grupe u zavisnosti od funkcije koju se želi postići prevlakama. Prva grupa uključuje prevlake koje pružaju zaštitu površina, naročito od termičkog opterećenja i druga grupa uključuje prevlake čija je namena da poboljšaju klizna svojstva površina.

Radne prevlake su našle široku primenu, za razliku od veštačkih. Veliki broj prevlaka sa različitim efikasnošću se uspešno primenjuje za popravljavanje kliznih svojstava površina klipova. Poboljšanje se postiže formiranjem tankog sloja u alkalnim kupatilima.

Ovi slojevi, debljine oko 1 mm, predstavljaju prvenstveno dobro pripremljenu metalnu površinu za grafitiranje. Grafitni sloj debljine 10 do 20 nm se nanosi na visokim temperaturama. Grafitne prevlake služe prvenstveno da poboljšaju klizna svojstva velikih klipova [1, 6-10]. Dobra klizna svojstva se takođe postižu olovnim i kalajnim prevlačenjem klipova [1].

Tanka prevlaka, koja može biti bazirana i na grafitu, daje mnoge povoljnije osobine (otpornost na habanje, bolje prilagođavanje površina u toku uhodavanja). Prevlake moraju da imaju: mali afinitet ka stvaranju jedinjenja sa materijalom cilindra, mogućnost plastične deformacije i dovoljno visoku temperaturu topljenja [1,2,11,12]. U daljem delu

Adrese autora: <sup>1</sup>Lola Institut, Kneza Višeslava 70a, Beograd, Srbija, <sup>2</sup>Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu, Karnegejeva 4, Beograd, Srbija

Primljeno za publikovanje: 09. 08. 2013.

Prihvaćeno za publikovanje: 11. 11. 2013.

teksta biće navedene prevlake koje se koriste za površinsku zaštitu klipova.

U mnogim slučajevima tvrda anodna oksidacija se koristi da bi se stvorili oksidni slojevi koji su čvrsto vezani za osnovni materijal. Ovi slojevi, koji su otporni na koroziju i habanje, omogućavaju zaštitu čela klipa od termičkih i mehaničkih opterećenja od vrelih gasova u komori [1,13–16]. Pošto klizna svojstva oksidnih slojeva nisu dobra, plašt klipa i zona klipnih prstenova se obavezno moraju zaštititi.

Savremeni razvoj SUS motora, posebno u slučaju sportskih automobila, nameće potrebu za postizanjem maksimalne snage, što pak ekstremno povećava opterećenje pojedinih delova klipa. Pokazalo se da tvrdoća i otpornost na habanje, inače svojstveni legurama aluminijuma, na ovako visokim temperaturama i ekstremnim eksploatacionim uslovima, nisu zadovoljavajuće. Ideja je da se najopterećeniji delovi klipa zaštite kompozitima sa aluminijumskom matricom, što što bi predstavljalo rešenje ovog problema [1,2,4].

#### METODE POVRŠINSKE ZAŠTITE KLIPOVA

U konvencionalne metode površinske zaštite klipova spadaju: olovne prevlake, kalajisanje, fosfatiranje, grafitiranje, hromiranje i tvrda anodna oksidacija (slika 1).



Slika 1 – Površinska obrada klipova: a). kalajisanje, debljina 3–5  $\mu\text{m}$ , b). tvrda anodna oksidacija, debljina 40–80  $\mu\text{m}$ , c). grafitiranje, debljina 8–20  $\mu\text{m}$ , d). fosfatiranje, debljina 1–4  $\mu\text{m}$  [5]

#### Olovne prevlake

Olovo je metal sa povoljnim kliznim svojstvima, zato se može naneti na klipove livene od aluminijumske legure. Nanosi se na površinu klipa jonskom razmenom. Klip se potapa u kupatilo sa olovnim solima. Tokom ovog procesa aluminijum se istovremeno uklanja sa površine i postiže se debljina olovnog sloja oko 1–2  $\mu\text{m}$ .

Olovne prevlake se pretežno koriste kod klipova za benzinske motore, da bi se postigla zaštita od korozije i/ili dodatna otpornost na habanje. Olovo se koristi kao zamena za kalaj, jer ima višu tačku topljenja. Dodatno poboljšanje olovne prevlake može se postići dodatkom malih količina drugih metala. Kombinovane prevlake su se pokazale efikasnije naročito za turbo-punjene dizel motore, gde se očekuje povećano starenje ulja.

#### Kalajisanje

Čist kalaj se, može naneti na površinu klipa razmenom jona kao i olovo. Kalajisanje se vrši rastvorom natrijum-stanata ( $\text{Na}_2\text{SnO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) u kupatili sa stalnim filtriranjem na temperaturi 70–80  $^\circ\text{C}$ . Kalajisanje kod klipova za motore sa unutrašnjim sagorevanjem služi kao sredstvo za podmazivanje u početnom stadijumu do dostizanja ulja. Međutim, kalajisanje se manje koristi zbog niže tačke topljenja kalaja, veće cene i lošijih osobina kalaja u poređenju sa olovom.

#### Fosfatiranje

U određenim slučajevima, naročito kod većih dizel klipova i klipova livenih od gvožđa primenjuje se fosfatiranje [1,]. Proces fosfatizacije se izvodi uz pomoć hemijske reakcije između fosfornog rastvora i površine klipa, tako što se formira površina čvrsto spojenih kristala fosfora što smanjuje habanje. Fosfatiranje se vrši u rastvoru destilovane vode, fosfatina (trgovački naziv soli fosforne kiseline), tehničkog natrijum fluorida i fosforne kiseline. Vrednost pH rastvora treba biti 4.0–4.5, a radna temperatura 65–70  $^\circ\text{C}$  u trajanju od 5 min. Fosforna prevlaka ima dobru sposobnost apsorpcije ulja i veliku otpornost na koroziju, kao i višu tačku topljenja nego metalne prevlake, najčešće služi kao podloga za druge površinske zaštite (grafitiranje). Optimalna debljina formiranog fosfornog sloja na površini klipa je od 4–7  $\mu\text{m}$ .

#### Grafitiranje

Zbog dobro poznatih anti-fripcionih osobina grafitna, razvijen je proces za stvaranje debele grafitne prevlake (10–20  $\mu\text{m}$ ) na fosfatnoj osnovi (fosfatna prevlaka debljine oko 5  $\mu\text{m}$ ), jer se time ostvaruje dobra veza. Debljina sloja grafitna je veća nego ostale prevlake i poseduje još bolju mogućnost apsorpcije ulja i značajno ubrzava proces uhodavanja. Deo grafitnog sloja se pohaba u toku uhoda-

vanja, ali grafitno-fosforni sloj ispod daje odličnu otpornost na habanje.

#### Hromiranje i prevlake od gvožđa

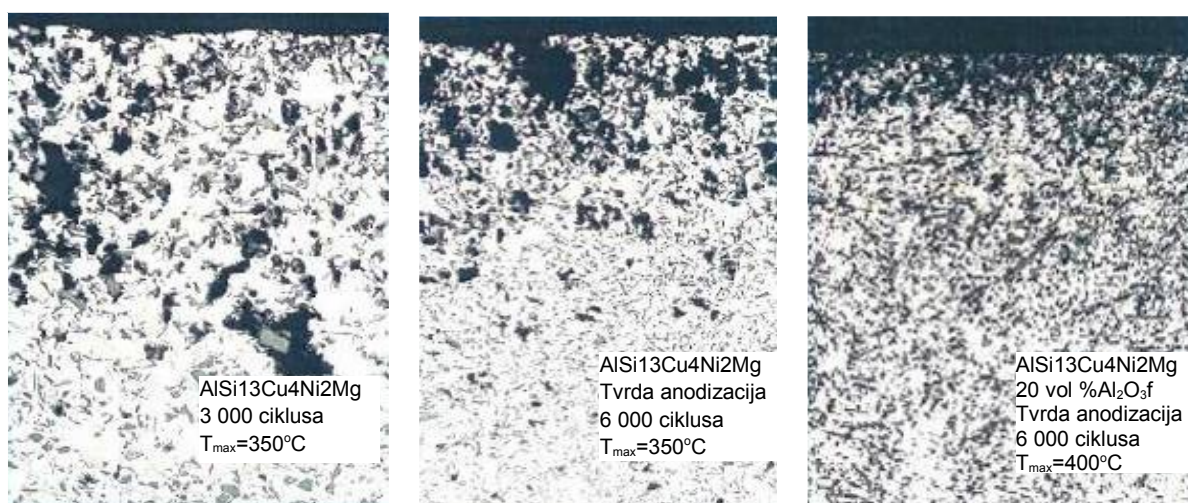
Klipovi sa hromiranom i površinom od gvožđa se koriste u sklopu sa nezaštićenim cilindrom. Ove prevlake se rade galvanskim putem i njihova debljina na plaštu se kreće od 10–20  $\mu\text{m}$ .

#### Tvrda anodna oksidacija

Kod klipova Al–Si legura, često se koristi postupak anodizacije u cilju stvaranja tvrdog anodnog sloja na površini klipa. Ovim postupkom povećava se tvrdoća osnovnog materijala koja je od 100–125 HB pre procesa, na tvrdoću 400–450

Vikersa posle procesa anodne oksidacije (slika 2). Anodna oksidacija odvija se u elektrolitu  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (hemijski čist  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\gamma=1.84$ ), koncentracije 95–120 g  $\text{l}^{-1}$  pri konstantnoj gustini struje do 5 A  $\text{g}^{-1}$ .

Formirani tvrdi anodno-oksadni sloj ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), čini površinu znatno otporniju na habanje, povećava joj znatno tvrdoću i ima za cilj smanjenje sklonosti ka stvarnju naprslina. Anodnom oksidacijom tretiraju se klipovi koji su završno mehanički obrađeni i ne sadrže greške na površini (poroznost, lunkeri itd.). Debljina tvrdog anodno-oksadnog sloja treba da bude oko 90  $\mu\text{m}$ , ravnomerno raspoređen po površini, ravnomerne sive boje. Nisu dozvoljene neujednačenosti boje, prisustvo mrlja ili pojave van sloja predviđenih za anodizaciju.



Slika 2 – Ispitivanje anodnog sloja klipova od legure AlSi13Cu4Ni2Mg[1]

#### ZAKLJUČAK

Na osnovu analize objavljenih literaturnih podataka, dugogodišnjih eksperimentalnih ispitivanja i dobijenih rezultata iz ove oblasti, ostvaren je značajan doprinos u oblasti fundamentalnih znanja o površinskoj zaštiti klipova za SUS motore. Nesporo je da primena bilo kog tipa površinske zaštite ili kombinacija više njih znatno produžava životni vek klipa. Danas konstruktori klipova imaju različite zahteve o tipu i površinama klipa koje se tretiraju u zavisnosti od zahteva koje treba da ispune.

#### LITERATURA

- [1] S. Manasijević; Klipovi za motore SUS, Monografija ISBN 978-86-912177-0-9, štampa: Zavod za grafičko inženjerstvo Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu, izdavač: Lola Institut Beograd, 2009.
- [2] Z. Pavlović-Aćimović, M. Kuraica, I. Dojčinović, S. Tripković, J. Purić; Površinska obrada odlivaka aluminijum-silicijum legura, Monografija ISBN 86-7401-

228-0, Tehnološko-metalurški fakultet Beograd, 2005.

- [3] S. Manasijević, S. Dulović, A. Pavlović, (2009), Klip K. 23274 za kompresorske motore, *Livarsstvo*, 48(4), 23–29.
- [4] S. Manasijević, S. Marković, R. Radiša, (2013), Primena novih tehnologija u cilju poboljšanja eksploatacionih svojstava klipova SUS motora od aluminijumskih legura, *Zaštita materijala*, 54(1), 45–50.
- [5] <http://www.drouzhba.bg>.
- [6] P. Andersson, J. Tamminen, C. E. Sandström, Piston ring tribology A literature survey, VTT Tiedotteita–Research notes 2178, Helsinki University of Technology, Internal Combustion Engine Laboratory, 2002, (<http://vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2178.pdf>).
- [7] B.P. Krishnan, N. Raman, K. Narayanaswamy, P.K. Rohatgi, (1980), Performance of an Al–Si–graphite particle composite piston in a diesel engine, *Wear*, 60(1), 205–215.

- [8] [D.H. Cho](#), [L. Sung-Ae](#), [L. Young-Ze](#), (2009), The Effects of Surface Roughness and Coatings on the Tribological Behavior of the Surfaces of a Piston Skirt, *Tribology Transactions*, **53**(1) 137–144.
- [9] S.A. Rodríguez-Guerrero, J. Sánchez, E. Narciso, F. Louis, Rodríguez-Reinoso, (2006), [Pressure infiltration of Al–12 wt.% Si–X \(X=Cu, Ti, Mg\) alloys into graphite particle preforms](#), *Acta Materialia*, **54**(7), 1821–1831.
- [10] [M. Bauer](#), [M. Ziegler](#), Coated piston and process for applying coating, [Mahle GmbH](#), Patent: US 5257603 A and [DE4133546A1](#)
- [11] [Y. Kaneko](#), [Y. Komiyama](#), [K. Katsumi](#), [K. Akio](#), [N. Itaru](#), [T. Masaaki](#), Wear and seizure resistant aluminum alloy piston, [Toyota Jidosha Kogyo Kabushiki Kaisha](#), Patent: US 3935797A.
- [12] [Y. Ishikawa](#), [H. Iwama](#), [Y. Naito](#), [T. Takakura](#), [K. Ito](#), [T. Suzuki](#), Combination of cylinder liner and piston ring of internal combustion engine, [Nippon Piston Ring Co., Ltd.](#), [Hino Motors Ltd.](#), Patent: US 6553957B1.
- [13] E. Deubelbeiss, [W. Sander](#), [W. Steidle](#), Light alloy piston for diesel engines, [Karl Schmidt GmbH](#) Patent: US 4138984 A and [DE2507899A1](#).
- [14] H. Kurita, H. Yamagata, T. Koike, I. Mita, Hard anodic oxide coating on the piston-ring groove of a Cu-Rich aluminum piston with mixed acid electrolytes, SAE Technical Paper doi:10.4271/2001-01-0821, 2001.
- [15] J.S. Safrany, M. Santarini, Fast anodizing of aluminum piston heads, Aluminum Pechiney, Voreppe, France, (<http://infohouse.p2ric.org/ref/28/27783.pdf>).
- [16] [Y. Wang](#), [S.C. Tung](#), (1999), Scuffing and wear behavior of aluminum piston skirt coatings against aluminum cylinder bore, *Wear* **225–229** (2), 1100–1108

## ABSTRACT

### CONVENTIONAL METHODS OF PISTON SURFACE TREATMENT FOR IC ENGINES

*This paper provides an overview of conventional methods of piston surface treatment for IC engines. One of the most stressed parts of IC engine is the cylinder assembly, i.e., the piston as a component of this assembly. In its operation, the piston is exposed to the impact of aggressive gaseous and liquid environment, elevated temperatures, thermal shocks and mechanical loads. The analysis of these methods has shown that the surface coatings that are created on certain surfaces on the piston substantially increase the tribological performance and extend the lifetime of the piston.*

**Key words:** piston, surface treatment, hard anodic oxidation.

Professional paper

Received for Publication: 09. 08. 2013.

Accepted for Publication: 11. 11. 2013.