

TRIBOLOGIJA KLIPNIH PRSTENA KOD MOTORA SUI

TRIBOLOGY OF PISTON RINGS IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Tajana Vaško, Vinko Višnjić

Stručni članak

Sažetak: Funkcija klipnih prstena u motorima s unutarnjim izgaranjem je višestruka i ovisi o vrsti klipnog prstena. Koriste se kompresijski i uljni klipni prsteni koji su u uvjetima rada motora izloženi raznim tribološkim procesima zbog kojih nastaju različite greške u radu i funkcionalnosti klipnih prstena. Opisane su pojave koje se događaju zbog trenja i trošenja tokom rada klipnih prstena kao što su mikrozavarivanje te pojava zagorjelih površina prstena. Također su obrađene greške pri radu od kojih su najznačajnije zaglavljivanje, lepršanje te lom. Izbjegavanjem ovih grešaka te triboloških učinaka na klipne prstene znatno se može doprinijeti optimiranju potrošnje goriva, rada motora te povećanju snage motora s unutarnjim izgaranjem.

Ključne riječi: Klipni prsten, Kompresijski prsten, Trenje, Tribologija, Trošenje, Uljni prsten

Professional paper

Abstract: The function of piston rings in internal combustion engines is versatile and depends on the type of piston ring. There are compression and scraper rings which are exposed to different tribological processes that are described in this paper, and because of them different types of defects appear in the exploitation and functionality of piston rings. Occurrences that appear because of wear and friction are described, such as microwelding and scruffing on the surface of the piston rings. Also, there are mentioned malfunctions, just as sticking, fluttering and breaking. By avoiding these malfunctions and effects of tribology, there can be made a large contribution in optimizing fuel consumption, engine function and increase in the power of internal combustion engines.

Key words: Piston ring, Compression ring, Friction, Tribology, Wear, Scraper ring

1. UVOD

Motori s unutarnjim izgaranjem pripadaju grupi toplinskih motora koji toplinsku energiju izgorjelog goriva pretvaraju u mehaničku. Radna tvar su sami izgorjeli plinovi. Proces izgaranja goriva, odvajanje topline radnoj tvari i transformiranje jednog dijela topline u mehaničku energiju odvija se unutar cilindra motora te se zbog toga nazivaju motori s unutarnjim izgaranjem (SUI).

Klipna grupa je jedan od glavnih motornih mehanizama. Sastoji se od klipa, klipnih prstenova i osovinice klipa. U gornjem dijelu plašta klipa nalaze se kanali za klipne prstenove. Broj kanala ovisi o tlaku u taktu izgaranja i broju okretaja koljenastog vratila. U gornje kanale smještaju se kompresijski prsteni, a u donje uljni, s time da trebaju minimalno biti dva kompresijska i jedan uljni prsten. [1]

Klipni prsteni su metalne brtve koje imaju zadatak odvojiti komoru izgaranja od kućišta koljenaste osovine i osigurati prijenos topline sa klipa prema košuljici cilindra. Osim toga, trebaju spriječiti prolaz ulja, koje nije potrebno za podmazivanje, iz kućišta prema komori izgaranja i osigurati jednoliki sloj maziva na površini cilindra.

Zbog tlaka plina u komori izgaranja, povećavaju se radijalna i aksijalna komponenta sile u žlijebu klipnog

prstena te se time povećava mogućnost brtvljenja. Aksijalni kontakt se može mijenjati između vrha i donjeg dijela žlijeba zbog interakcije tlaka plina, inercije i sila trenja.

Klipni prsteni mogu se izraditi iz slitine lijevanog željeza (dodaci kroma i nikla za čvrstoću, mangan za žilavost i otpornost na habanje), sivog i nodularnog lijeva, u toplinski neobrađenom stanju ili kaljeni, ovisno o tlakovima i primjeni kao kompresijski ili uljni prsteni. Često se provodi površinska zaštita kromiranjem.

Radne karakteristike klipnih prstena, tj. nesmetano brtvljenje protiv plinova izgaranja i ulja za podmazivanje, ovisi o konstrukciji motora, toplinskom utjecaju i opterećenju zbog izgaranja, konstrukciji cilindra i njegovoj izradi, klipu, korištenom ulju za podmazivanje, gorivu i o kvaliteti i konstrukciji samih prstena. [2]

2. VRSTE KLIPNIH PRSTENA I SPOJEVI

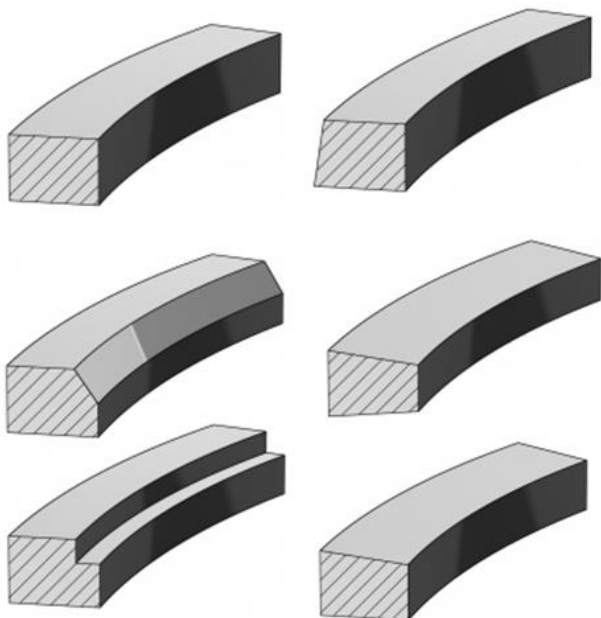
2.1. Kompresijski prsteni

Glavna uloga kompresijskih prstena je razdvajanje komore izgaranja od kućišta koljenaste osovine i prijenos topline sa klipa prema cilindru. Ugrađuju se u kanale u gornjem dijelu plašta klipa. Uz stijenku cilindra drži ih sila

zbog tlaka plinova i vlastita opružna sila koja nastaje kod svođenja promjera prstena na promjer cilindra jer je promjer slobodnog prstena nešto veći. Za osiguranje radijalne elastičnosti, prsteni imaju žlijeb koji i u ugrađenom stanju mora osigurati odgovarajuću zračnost. Veća zračnost znači i veće gubitke plinova iz radnog prostora, a kod nedovoljne zračnosti može doći do uklinjavanja, odnosno zaglavljivanja prstena u cilindru. [1]

Treba postojati određena zračnost između prstena i njegovog kanala, s tim da što je zračnost veća, to je pojačano utiskivanje ulja u radni prostor cilindra. Na sličan način prolaze i plinovi u kućište motora zbog čega je povećana potrošnja goriva i ulja, smanjena snaga motora i povećana količina goriva i ulja u ispušnim plinovima. Te vrijednosti se moraju držati u određenim granicama.

Kompresijski prsteni mogu imati različite oblike poprečnih presjeka (slika 1).

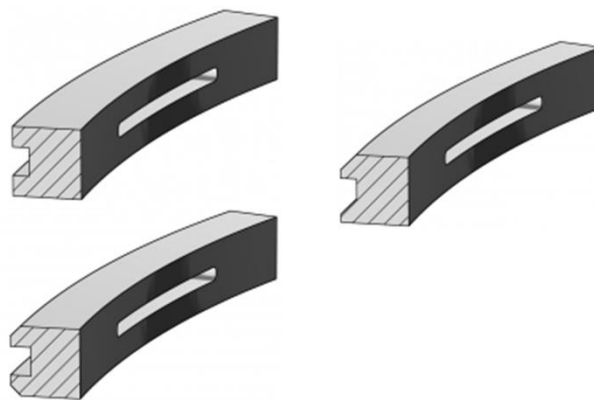


Slika 1. Oblici poprečnih presjeka kompresijskih prstena [2]

2.2. Uljni prsteni

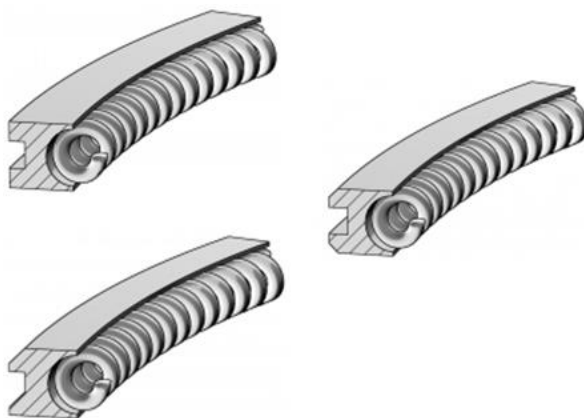
Zadatak uljnih prstena je struganje ulja sa košuljice cilindra i njegovo vraćanje u kućište motora. Zbog toga oni imaju velik utjecaj na potrošnju ulja u motoru SUI. Imaju otvore u sredini prstena za odvod ulja. [1] Mogu biti izrađeni iz jednog, dva ili tri dijela.

Jednodijelni uljni prsteni ostvaruju tangencijalnu silu iz vlastite opružne sile. Mogu biti različitih presjeka.



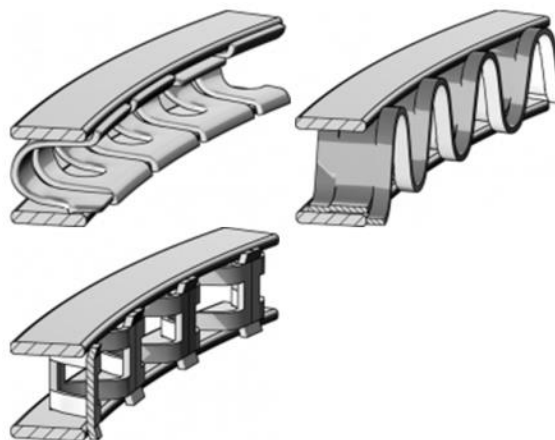
Slika 2. Oblici poprečnih presjeka jednodijelnih uljnih prstena [2]

Dvodijelni uljni prsteni sastoje se od lijevanog tijela prstena ili profiliranog čelika i savojne opruge koja djeluje na cijelom opsegu.



Slika 3. Oblici poprečnih presjeka dvodijelnih uljnih prstena [2]

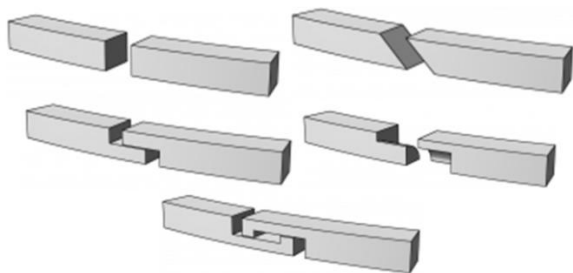
Trodijelni uljni prsteni izrađeni su iz dva tanka čelična prstena i opruge koja ih razdvaja na određenoj udaljenosti te istodobno pritišće prstene prema plaštu cilindra.



Slika 4. Oblici poprečnih presjeka trodijelnih uljnih prstena [2]

2.3. Spojevi prstena

Najčešća vrsta spoja (žlijeba) je sučeoni. Na slici 5 su prikazane različite vrste spojeva prstena.



Slika 5. Oblici spojeva prstena [2]

3. UVJETI EKSPLOATACIJE

3.1. Trenje

Pogonski sustav unutar klipnih motora (klip, klipni prsteni, košuljica cilindra, klipnjače, koljenaste osovine, ležaji, ulja) je pod utjecajem trenja koje je uzrok dijelu mehaničkih gubitaka u motorima SUI.

Trenje se očituje kao otpor prema relativnom gibanju površina u kontaktu. Kontakt može biti direktan (suho trenje), indirektan (podmazano, mokro trenje) ili kombinacija (mokra-suho, mješovito trenje). Sila trenja ovisi o svojstvima materijala i fizičkim i kemijskim svojstvima sustava. Također utječe i struktura površine, što se uočava kod površine prstena koja je u dodiru sa cilindrom, hrapavosti i odstupanja od idealnog cilindričnog oblika. Kod takvih odstupanja površine nisu u potpunom međusobnom kontaktu, tako da se lokalni kontaktni tlakovi znatno razlikuju od specifičnog kontaktnog tlaka. Uz suho i mješovito trenje javljaju se mehanizmi trošenja koji su popraćeni gubitkom energije. Nastala toplina lokalno može doseći velike vrijednosti te može doći do oštećenja materijala što dovodi do otkaza tribološkog sustava (zagorene površine klipnih prstena, struganje itd.).

U području mrtvih točaka, klipni prsteni rade pod utjecajem mješovitog trenja, sile trenja su tada najveće u radnom ciklusu, ali one neznatno doprinose gubicima trenja jer tu zbog promjene smjera gibanja relativna brzina doseže nulu.

Smanjenje trenja se vrši optimiranjem funkcionalnog ponašanja klipnih prstena kako bi se smanjila potrošnja goriva motora. Taj postupak je često u suprotnosti sa smanjenjem potrošnje maziva i „blowby“ efekta („lepršanje“ klipnih prstena).

Glavne mjere za smanjenje trenja i trošenja su:

- Zahvati na klipnom prstenu:
 - Redukcija tangencijalne sile, odnosno površinskog pritiska
 - Optimiranje geometrije površina u dodiru
 - Smanjenje broja klipnih prstena po cilindru
 - Primjena drugih materijala za izradu klipnog prstena

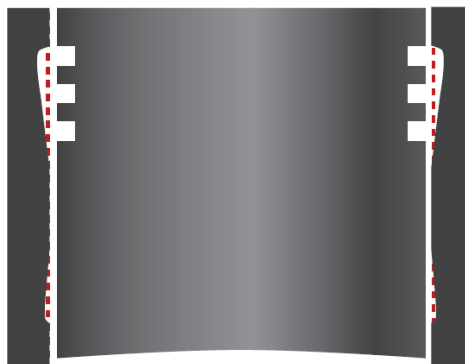
- Zahvati vezani za cilindar:
 - Poboljšavanje uvjeta podmazivanja
 - Primjena različitih materijala košuljice cilindra
 - Optimiranje uvjeta hlađenja cilindra
- Zahvati vezani za klip
- Kontrola ulja za podmazivanje i usavršavanje motora [2]

3.2. Trošenje

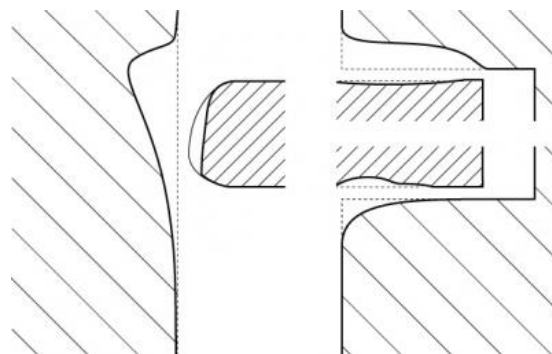
Tribološko opterećenje spregnutih elemenata očituje se gubitkom materijala zbog korozivnih, adhezivnih ili abrazivnih procesa i/ili deformacije komponenata u dodiru ili kombinacije tih efekata uz promjenu kemijskih svojstava površina. Ovakve promjene se mogu svesti pod naziv „trošenje“.

Međutim, tribološko opterećenje se ne bi trebalo poistovjećivati sa vanjskim opterećenjem međudjelujućih komponenti, već ono proizlazi iz vanjskog opterećenja i funkcija je samih komponenti.

Kod sustava klipni prsten/cilindar javlja se trošenje vanjske površine prstena i površine košuljice cilindra u dodiru s njom, dok se kod sustava klip/klipni prsten govori o bočnom trošenju. [2]



Slika 6. Shema trošenja cilindra za sve uobičajene motore SUI [3]



Slika 7. Prikaz trošenja u gornjoj mrtvoj točki na košuljici cilindra, klipnom prstenu i utoru u klipu [2]

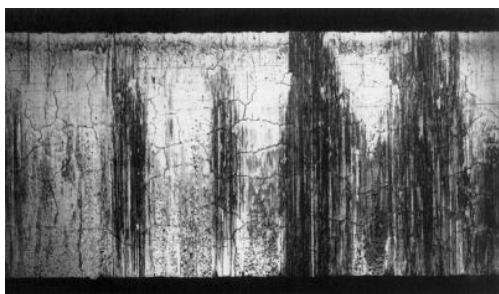
Maksimalno trošenje javlja se oko područja gdje se mijenja smjer gibanja, a pojačano je tlakom pogotovo u gornjoj mrtvoj točki. Nešto malo trošenja javlja se i u donjoj mrtvoj točki, ali zbog daleko manjeg iznosa tlaka manja je dubina istrošenog dijela. Bočno trošenje

smanjuje vijek trajanja motora povećavajući potrošnju ulja i tzv. „blowby“ efekt koji predstavlja količinu plinova izgaranja koja prođe pokraj klipnih prstena u kućište koljenaste osovine. [3]

3.3. Zagorena površina klipnih prstena („Scuffing“)

Pojam za zagorene površine klipnog prstena („scuffing“, „Brandspuren“) izvorno je bio definiran prema pojavi na površini kromiranih klipnih prstena koja je u dodiru sa cilindrom. Promjena boje na kromiranoj površini je indikator za termičko preopterećenje. Ako se ovaj pojam proširi i na druge materijale, tada se mogu sve pojave koje ukazuju na termičko preopterećenje vanjske površine klipnog prstena svesti pod ovaj.

Zajedničko zagorenim površinama klipnih prstena i struganju je tribološko preopterećenje. Kod jakog struganja se na površini klipnog prstena mogu vidjeti duboki zarez i/ili tragovi drugog materijala.

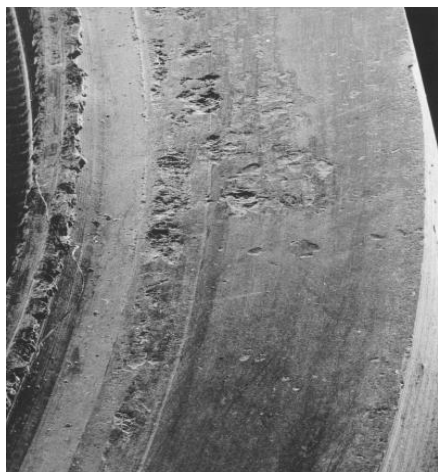


Slika 8. Zagorena vanjska površina kromiranog klipnog prstena [2]

3.4. Mikrozarivanje („Microwelding“)

Pod „microwelding“ se podrazumijeva poseban oblik oštećenja utora klipa i klipnog prstena koje već nakon kratkog vremena nastaje na gornjem kompresijskom prstenu željeznog materijala, odnosno pirpadajućem utoru u aluminijskom klipu.

Karakteristično za ovaj oblik oštećenja je lokalno zavarivanje materijala popraćeno odlomljivanjem materijala i prijenosom materijala sa klipa na stranu klipnog prstena, pogotovo donju stranu prstena.



Slika 9. Oštećenje klipnog kanala – povećanje 25x [2]



Slika 10. Mikrozarivanje aluminija na strani klipnog prstena – povećanje 100x [2]

Kada se prstenu zbog takvog oštećenja ograniči gibanje u klipu ili se čak uklješti, tada to utječe također na daljnje trošenje i funkcionalne karakteristike prstena („blowby“ efekt i povećana potrošnja ulja), a u krajnjem slučaju dovodi do kvara motora. [2]

4. GREŠKE PRI RADU

4.1. Zaglavljivanje

Kod zaglavljivanja prstena treba razlikovati „toplo zaglavljivanje“ i „hladno zaglavljivanje“. [2]

Hladno zaglavljivanje se odnosi na prstene koji se zaglave u utorima klipa samo u „hladnom“ stanju, npr. kod rastavljanja klipa.

Toplo zaglavljivanje se događa kada su prsteni ometani u svom gibanju ili je gibanje potpuno spriječeno u uvjetima rada motora. Do zaglavljivanja dolazi kada se mazivo sa ostacima izgaranja skruti i tada se ono ne može isprati.

4.2. „Lepršanje“ klipnih prstena („Blowby efekt“)

Kod „blowby“ efekta se anomalije u gibanju prstena redovno nazivaju „lepršanje“ i u osnovi mogu imati dva različita razloga ili kombinaciju oba:

- Radijalni kolaps klipnog prstena,
- Aksijalno podizanje prstena sa donjeg dijela utora klipa. [2]

Radijalni kolaps klipnog prstena se događa kada se između vanjskog i unutarnjeg promjera pojavi razlika u radijalnim opterećenjima. Raspodjela tog opterećenja i smjer ovisi o radijalnoj sili klipnog prstena, njenoj raspodjeli i o tlaku koji zbog izgaranja nastaje ispred i iza klipnog prstena.

Kod aksijalnog podizanja, promjenjivi kontakt prstena u utoru klipa je određen prvo inercijom i silama trenja, a drugo tlakom koji djeluje iznad i ispod klipnog prstena. Razlika tlakova (ispod i iznad prstena) može uzrokovati

podizanje istih sa donjeg dijela utora klipa u taktu ekspanzije, što dovodi do povećanja „blowby“ efekta.

4.3. Lom prstena

Do loma prstena može doći čak iako nisu prethodno oštećeni tijekom sklapanja. Lom klipnog prstena može se javiti kod graničnih radnih uvjeta motora – nepravilnog izgaranja kod benzinskih i diesel motora itd. – i s druge strane, zbog geometrijskih graničnih uvjeta – udarna zračnost klipnog prstena je premala, aksijalna zračnost u utoru klipa prevelika, premali presjek prstena (pogotovo zbog utora u uljnim prstenima), posebne izvedbe spojeva prstena itd. Razlikuju se lomovi zbog preopterećenja i lomovi zbog zamora. [2]

5. ZAKLJUČAK

Klipni prsteni imaju višestruku ulogu u motorima s unutarnjim izgaranjem. Oni odvajaju komoru izgaranja od kućišta koljenaste osovine, osiguravaju prijenos topline sa klipa prema košuljici cilindra, sprječavaju prolaz ulja, koje nije potrebno za podmazivanje iz kućišta prema komori izgaranja i osiguravaju jednoliki sloj maziva na površini cilindra. Razlikuju se kompresijski i uljni klipni prsteni pri čemu jedni služe za razdvajanje komore izgaranja od kućišta koljenaste osovine i prijenos topline sa klipa prema cilindru, a drugi za struganje ulja sa košuljice cilindra i njegovo vraćanje u kućište motora.

U eksploatacijskim uvjetima, klipni prsteni izloženi su raznim uvjetima i promjenama zbog pojave trenja, trošenja, zagorenih površina klipnih prstena i pojave mikrozavarivanja. Uslijed navedenih promjena može doći do raznih grešaka pri radu klipnih prstena. Opisane su greške zaglavlivanja prstena, „lepršanje“ klipnih prstena i lom prstena koje mogu biti uzrok smetnji u radu motora s unutarnjim izgaranjem kao što su veća potrošnja goriva i ulja, nepravilan rad motora, smanjenje snage motora i sl. te zbog toga konačno do prestanka rada samog motora.

Zbog toga je bitno obratiti pažnju na smanjivanje loših triboloških učinaka na klipne prstene što se postiže raznim vrstama površinske zaštite, odgovarajućim odabirom materijala triboloških parova te poboljšanjem same konstrukcije klipnih prstena i klipne grupe što može optimirati potrošnju goriva i ulja u motoru s unutarnjim izgaranjem te povoljno utjecati na rad motora i povećanja snage.

6. LITERATURA

- [1] Hnatko, Emil: Motorna cestovna vozila: motori, transmisija, hodni dio, mehanizam za upravljanje i sistem za kočenje, karoserija, električni sistem motornih vozila, uređaji na motornim i priključnim vozilima, priključna vozila, Tehnička knjiga Zagreb 1989.
- [2] <http://korihandbook.federalmogul.com/en/index.htm> (Dostupno: 21.10.2015.)
- [3] Dardalis, Dimitrios: Rotating Liner Engine, A New Approach to Reduce Engine Friction and Increase

Fuel Economy in Heavy Duty Engines, RLE Technologies, 2004.

Kontakt autora:

Tajana Vaško, mag.ing.mech.

Visoka tehnička škola u Bjelovaru

Trg Eugena Kvaternika 4, HR-43000 Bjelovar

e-mail: tvasko@vtsbj.hr