



UDK: 372;621.3.018.6

*Pregledni naučni rad
Review scientific paper*

RADIJALNE ZAPTIVAČE - ULOGA I ZNAČAJ U ODRŽAVANJU MAŠINA

Nebojša Radojević, Predrag Petrović, Ljubiša Marković

Industrija motora Rakovica - Institut, Beograd

Sadržaj: Pravilan izbor zaptivnih elemenata kvalitetno rešava problem gubitka radnog fluida što je jedan od suštinskih zadataka zaptivanja. Na taj način smanjuju se troškovi održavanja a povećava pouzdanost mašinskih sklopova.

Radijalne zaptivače se koriste za zaptivanje kod različitih osovin i vratila, prvenstveno u motornoj i vozilskoj industriji, mašinskoj industriji, industriji opreme.

U radu su prikazane osnovne vrste radijalnih zaptivača, pri čemu je naglasak dat na vrste materijala koji se koriste za njihovu izradu, uticaj fizičko-hemijskih faktora na osobine materijala, kao i neke tribološke karakteristike.

Takođe, prikazan je i uticaj radnih uslova na izdržljivost radijalnih zaptivača, kao i postojanost na hemijske reagense.

Ključne reči: *radijalne zaptivače, radni fluidi, osovine, vratila, materijali, tribologija, hemijski reagensi.*

1. UVOD

Cilj zaptivanja sastoji se u tome da se spreči curenje fluida koji se nalazi pod dejstvom nekog nadpritiska, kroz zazor između dve nepokretne ili pokretne površine. Pravilan izbor zaptivnih elemenata kvalitetno rešava problem gubitka radnog fluida. Kvalitet zaptivanja vezan je za veličinu curenja koje je relativna veličina direktno vezana za uslove primene i radne uslove kao i za projektovani vek eksploatacije zaptivnog elementa.

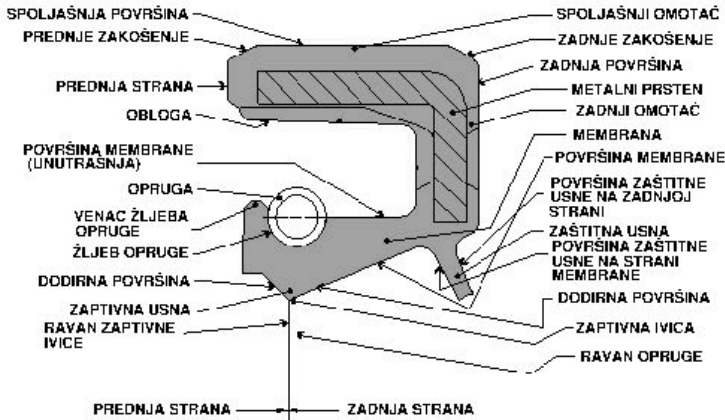
Zaptivni elementi imaju izuzetan značaj ne samo zato što pogodno izabrana zaptivka za određenu primenu sprečava ili smanjuje curenje, nego i zato što dobra zaptivka daje mašinskim komponentama visoku efikasnost, izdržljivost, dug vek, sigurnost i pouzdanost u radu, kao i niske troškove održavanja.

2. ZAPTIVANJE RADIJALNIM ZAPTIVAČAMA

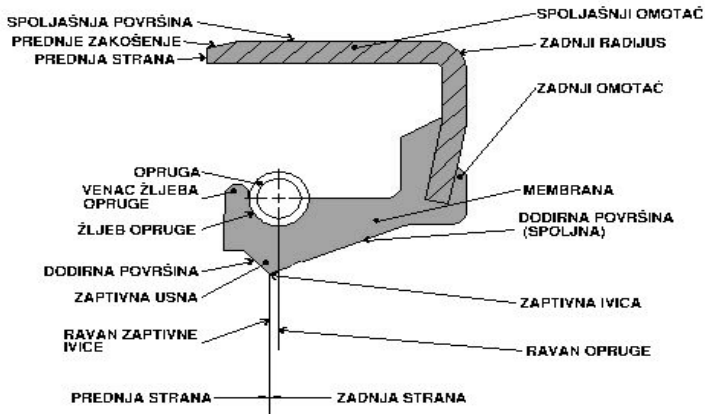
Radijalne zaptivače se koriste za zaptivanje rotirajućih vratila, specijalno u mašinskoj industriji, industriji opreme, kao i u motornoj i vozilskoj industriji.

Koriste se za zaptivanje radnog fluida (medijuma) koji može biti konzistentan (masti), tečan ili gasovit, pri čemu najčešći medijum koji se zaptiva su ulja za podmazivanje i masti za podmazivanje.

Cilindrični spoljašnji omotač radijalne zaptivače može biti od elastomera ili metala, pri čemu su na slikama 1. i 2. prikazani osnovni elementi radijalne zaptivače sa spoljašnjim cilindričnim omotačem od elastomera, odnosno od metala.



Slika 1. Radijalna zaptivača sa cilindričnim spoljašnjim omotačem od elastomera



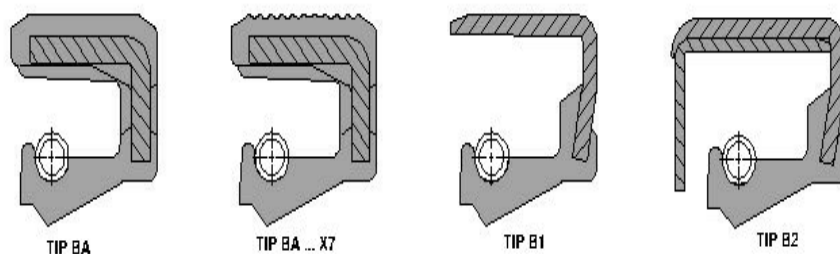
Slika 2. Radijalna zaptivača sa cilindričnim spoljašnjim omotačem od metala

U cilju efikasnog zaptivanja radijalne zaptivače treba da zadovolje sledeće uslove:

- pouzdanost u radu,
- dug radni vek,
- laku ugradnju i održavanje,
- kompatibilnost prema medijumu koje zaptiva,
- nisko trenje.

Pri izboru radijalne zaptivače koja će se koristiti za zaptivanje u obzir treba uzeti sledeće uticajne faktore:

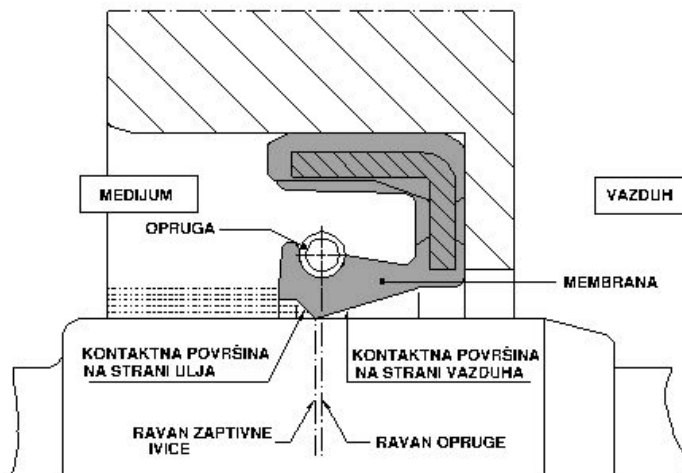
- medijum koji se zaptiva,
- broj obrtaja vratila,
- radna temperatura i pritisak,
- izloženost spoljašnjoj prljavštini.



Slika 3. Osnovni oblici radijalnih zaptivača koje se mogu koristiti shodno uticajnim faktorima

Osnovna funkcija radijalnih zaptivača u zaptivanju rotirajućih (obrtnih) vratila je podeljena u dva dela (slika 4):

- statičko zaptivanje i obezbeđenje naleganja između spoljašnjeg omotača radijalne zaptivače i otvora kućišta,
- statičko i dinamičko zaptivanje između zaptivne ivice radijalne zaptivače i vratila.



Slika 4. Ugradbeni položaj radijalne zaptivače

Radijalna zaptivača je izložena složenom međusobnom delovanju između same zaptivače, rotirajućeg vratila i medijuma koji se zaptiva i koji se moraju uzeti u obzir prilikom konstrukcije radijalne zaptivače. Iz tih razloga cilindrični spoljašnji omotač kao i zaptivna ivica radijalne zaptivače imaju zadatak da obezbede optimalan sklop radijalne zaptivače, rotirajućeg vratila i kućišta.

2.1. Statičko zaptivanje

2.1.1. Radijalne zaptivače sa cilindričnim spoljašnjim omotačem od elastomera

Zbog spoljašnjeg omotača od elastomera ovaj tip radijalnih zaptivača uvek se koristi za zaptivanje kod podeljenih kućišta, kućišta od lakih materijala koja imaju visoko termičko širenje, kod viših pritisaka, kao i za zaptivanje gasova i tečnosti niže viskoznosti.

Da bi se obezbedio lakši sklop kao i moguće zakošenje radijalne zaptivače prilikom ugradnje, spoljašnji omotač je "testerastog" oblika. Ovakav oblik spoljašnjeg omotača izdržava veća pritiska opterećenja koja povećavaju sigurnost statičkog zaptivanja, naročito kod kućišta koja imaju visoka termička širenja.

2.1.2. Radijalne zaptivače sa metalnim cilindričnim spoljašnjim omotačem

Ovakav tip radijalne zaptivače se koristi za vrlo precizne ugradnje i kod kućišta gde deluju visoke sile. Ravna metalna spoljašnja površina može biti ostvarena izvlačenjem, brušenjem ili struganjem.

Kod ovog tipa radijalne zaptivače postoji granica statičkog zaptivanja koja je ostvarena između metalnog spoljašnjeg omotača i kućišta, i zbog toga imaju ograničenu primenu kod kućišta koja imaju visoka termička širenja ili kod podeljenih kućišta.

Radijalna zaptivača sa metalnim spoljašnjim omotačem i čvrstim umetnutim poklopcem obezbeđuje visoku radijalnu krutost. Ovakva konstrukcija se koristi prvenstveno kod većih dimenzija u kombinaciji sa teškim uslovima rada.

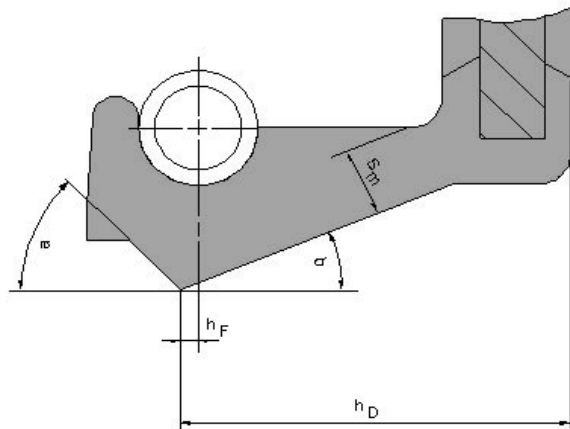
2.2. Dinamičko zaptivanje

Najvažniju funkciju kod zaptivne površine radijalne zaptivače ima zaptivna ivica koja je u kontaktu sa površinom rotirajućeg vratila.

Za ostvarivanje dobrog kontakta između zaptivne ivice i površine rotirajućeg vratila najveći uticaj imaju radni uslovi, pa prilikom konstruisanja zaptivne ivice u obzir treba uzeti karakteristike elastomernog materijala kao i sam oblik površine vratila.

3. PARAMETRI KOJI UTIČU NA OBLIK ZAPTIVNE USNE

Konstruktivne karakteristike, zaptivne usne kao što su: dužina i debljina elastičnog dela zaptivne usne, rastojanje opruge, ugao zaptivne usne i radijalna sila u potpunosti definišu geometriju, veličinu i materijal zaptivne usne za odgovarajuću primenu (sl. 5).



Slika 5. Dimenzije profila zaptivne usne

3.1. Dužina i debljina elastičnog dela zaptivne usne (h_D i S_m)

Parametri koji određuju dužinu (h_D) i debljinu elastičnog dela zaptivne usne (S_m) su konstruktivno podešeni prema prečniku vratila i radnim uslovima, pri čemu se kod radijalnih zaptivača koje su izložene dejstvu povećanog pritiska zahteva kraći profil zaptivne usne koji je ograničen radijalnim opterećenjem.

3.2. Rastojanje opruge (h_f)

Rastojanje od ose opruge do zaptivne ivice radijalne zaptivače određeno je rastojanjem opruge (h_f), pri čemu se ova vrednost kreće od 0,1 mm do 1,2 mm.

Ako je ovo rastojanje manje, naročito kod elastičnijih vratila, opruga može prouzrokovati prevrtanje zaptivne usne. Ako je ova dimenzija veća, opruga može prouzrokovati ugib zaptivne usne što dovodi do proširenja kontaktne linije čiji se krajnji rezultat curenje radijalne zaptivače.

3.3. Ugao zaptivne usne (α , β)

Uglovi zaptivne usne prema strani medijuma (α) i prema strani vazduha (β) su različiti i iznose: - strana ulja: $\alpha = 35^\circ \div 60^\circ$

- strana vazduha: $\beta = 12^\circ \div 30^\circ$

pri čemu veličina ugla direktno utiče na kvalitet zaptivanja.

3.4. Radijalna sila

Unutrašnji prečnik zaptivne usne je manji od prečnika vratila, pri čemu je zaptivna usna opterećena pritiskom na vratilo.

Sile koje pritiskaju zaptivnu ivicu radijalno prema vratilu su:

- elastične sile, koje zavise od modula elastičnosti elastomernog materijala i od veličine zaptivne usne,
- tangencijalne sile u opruzi koje zavise od dimenzija opruge.

Ukupna sila koja se javlja po obimu zaptivne usne radijalne zaptivače i koja je pritiska prema vratilu je radijalna sila (F_R). Ona je data kao integral specifičnog kontaktnog pritiska (f_r) duž obima:

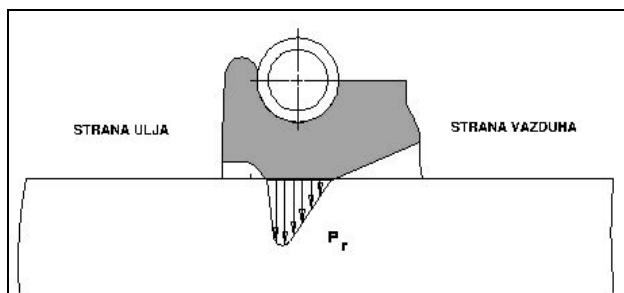
$$F_R = \int_0^{2\pi} f_r \cdot r \cdot d\varphi = f_r \cdot 2\pi r$$

Vrednost radijalne sile zavisi od radnih uslova (temperatura, modul elastičnosti elastomernog materijala) pri čemu ona treba biti dovoljno mala da bi se smanjilo trenje i habanje radijalne zaptivače, ali i dovoljno velike da bi se obezbedila funkcija zaptivanja.

3.5. Kontaktni pritisak

Zajedno sa uglom zaptivne usne i rastojanjem opruge radijalna sila utiče na stvaranje i raspodelu kontaktnog pritiska koji se javlja na kontaktnoj površini zaptivne usne i koji je vrlo važan za funkciju zaptivanja.

Da bi zaptivanje bilo dobro, max. pritisak kod posmatrane kontaktne površine između zaptivne usne i vratila mora biti na strani ulja i imati postepen gradijent, dok na strani vazduha, kontaktni pritisak mora postepeno da opada (slika 6).



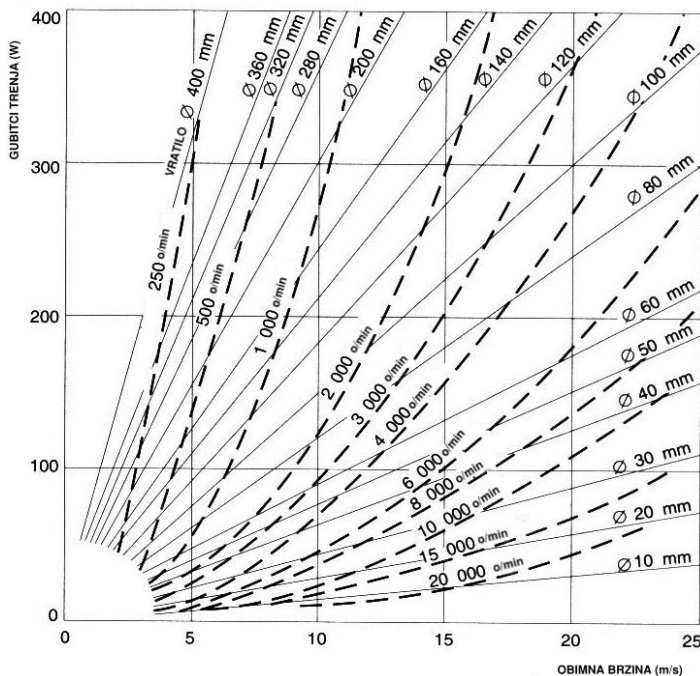
Slika 6. Raspodela kontaktnog pritiska

3.6. Podmazivanje i trenje

Minimalno habanje i optimalna stabilnost zaptivanja mogu se obezbediti samo u slučaju kada je zaptivna usna dovoljno podmazivana, što znači da zaptivna usna ne sme biti suva. Iz tih razloga, namašćivanje ili nauljivanje i zaptivke i vratila mora se uraditi pre same ugradnje čime se obezbeđuje podmazivanje zaptivne usne na početku obrtanja vratila, dok u toku rada medijum koji se zaptiva služi za podmazivanje, ali ujedno i za hlađenje, odnosno odvođenje toplote proizvedene trenjem na zaptivnom kontaktu.

Trenje kod radijalne zaptivače isključivo zavisi od kvaliteta podmazivanja kao i od vrednosti kontaktnog pritiska.

Na slici 7. se mogu videti vrednosti gubitka usled trenja zaptivne usne, pri čemu se, usled velikog broja uticajnih faktora na trenje zaptivne usne, ove vrednosti moraju uzeti kao približne vrednosti.



Slika 7. Gubitak usled trenja pri zaptivanju motornog ulja SAE 20 na temperaturi od 100°C

4. UTICAJ FIZIČKIH I HEMIJSKIH FAKTORA

4.1. Medijum zaptivanja

Medijumi koji se zaptivaju mogu biti masti, tečnosti ili u izuzetnim slučajevima gasovi. Kao najčešći medijumi zaptivanja su ulja za podmazivanje i masti, ali takođe i hidraulična ulja, hidraulični fluidi otporni na plamen kao i silikonska ulja sa minimalnim svojstvom podmazivanja.

U specijalnim slučajevima, agresivni medijumi, kao npr. organski rastvarači, kiseline ili alkalije koji imaju minimalna svojstva podmazivanja takođe mogu biti zaptivani.

Zaptivni materijali dejstvom medijuma mogu otvrdnuti ili omekšati.

Otvrdnjavanje nastaje zbog:

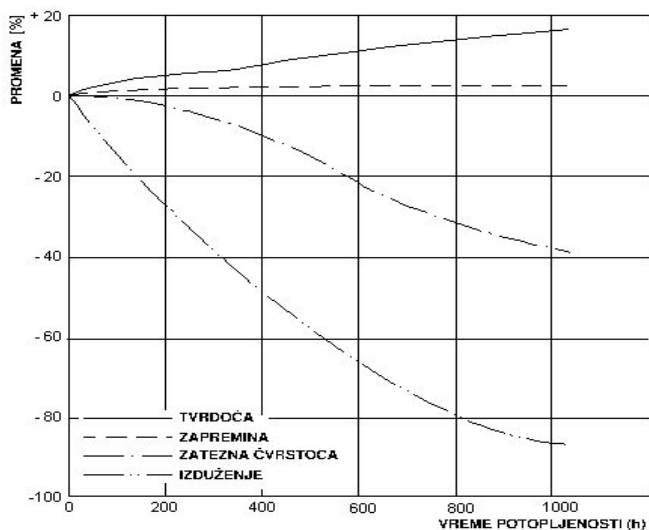
- procesa starenja izazvano medijumom koji se zaptiva,
- povišenih temperatura,

dok proces omekšanja nastaje zbog

- bubrenja izazvano medijumom koji se zaptiva.

Kao osnovna procena uticaja medijuma na zaptivaču od elastomernog materijala koriste se laboratorijska merenja na test uzorku, gde se na test uzorku pre i posle potapanja u određeni medijum mere sledeće vrednosti: tvrdoća, izduženje do kidanja, zatezna čvrstoća i promena zapremine.

Na slici 8. prikazane su promene parametara materijala (NBR) u zavisnosti od vremena potopljenosti, pri čemu je potapanje izvršeno u transmissionom ulju SAE 80 na temperaturi od 100°C.



Slika 8. Promena parametara materijala

4.1.1. Mineralna ulja

Za podmazivanje obrtnih sistema najčešće se koriste mineralna transmisiona ulja. Druga važna oblast su ulja za motorna vozila koja se koriste za podmazivanje motora i zupčanika u saglasnosti sa API i MIL klasifikacijom, uključujući hipoidna transmisiona ulja kao i ATF ulja koja se koriste u automatskim menjačima.

Mineralna ulja sa malim sadržajem aditiva generalno pokazuju dobru kompatibilnost sa elastomernim materijalima koji se koriste za radijalne zaptivače, ali sve strožiji zahtevi koji se danas postavljaju pred mineralnim uljima, vode ka sve većem sadržaju aditiva u kombinaciji sa novim aditivima, što predstavlja problem kompatibilnosti ulja i elastomernog materijala.

4.1.2. Hipoidna transmisiona ulja

Ovo su visokopritisna ulja za podmazivanje sa visokim sadržajem specijalnih aditiva, prvenstveno EP aditiva koji se koriste za poboljšanje podmazivanja.

Kod korišćenja radijalne zaptivače od NBR materijala aditivi u hipoidnim uljima izazivaju reakciju otvrdnjavanja materijala.

4.1.3. Sintetička ulja

Polu - ili potpuno sintetička ulja, snabdevena sa odgovarajućim sadržajem aditiva, imaju danas sve veću primenu na tržištu nudeći bolje osobine u pogledu viskoznosti, otpornosti na visokim temperaturama i starenja. Testovi i odgovarajuća ispitivanja pokazuju dobru kompatibilnos ovih ulja sa elastomernim materijalima.

Kao i kod mineralnih ulja, agresivnost sintetičkih ulja prema elastomernim materijalima zavisi od tipa i količine aditiva.

4.1.4. Masti

Kada se zaptiva kuglični ležaj malih brzina, ili klizni ležaj, podmazivani sa mašću, preporuka je da se sav raspoloživ prostor potpuno popuni sa mašću. Za zaptivanje masti, s obzirom na svojstvo podmazivanja i minimalno habanje, radijalne zaptivače se konstruišu od materijala NBR gde je zaptivna usna okrenuta ka spoljnoj strani.

Uslovi za odvođenje toplote trenja su manje pogodni kada se vrši zaptivanje masti nego kada se vrši zaptivanje tečnosti.

4.1.5. Agresivni medijumi i medijumi sa lošim svojstvom podmazivanja

Kada je medijum zaptivanja sa lošim svojstvom podmazivanja, kao npr. voda ili ceđ, neophodno je obezbediti dopunsko podmazivanje zaptivne usne. To se postiže korišćenjem radijalne zaptivače sa zaštitnom usnom gde je prostor između zaptivne i zaštitne usne popunjen sa mašću.

U današnje vreme sve češće se sreće ugradnja dve radijalne zaptivače, jedna iza druge, gde je prostor između dve radijalne zaptivače popunjen sa mašću.

Kada se vrši zaptivanje agresivnih medijuma, kao što su npr. organski rastvarači, kiseline i alkalije, ulja za prenos snage kod viskoznih spojnica, otpornost zaptivnog materijala će u svakom slučaju biti ugrožena.

4.1.6. Odvajanje dva medijuma

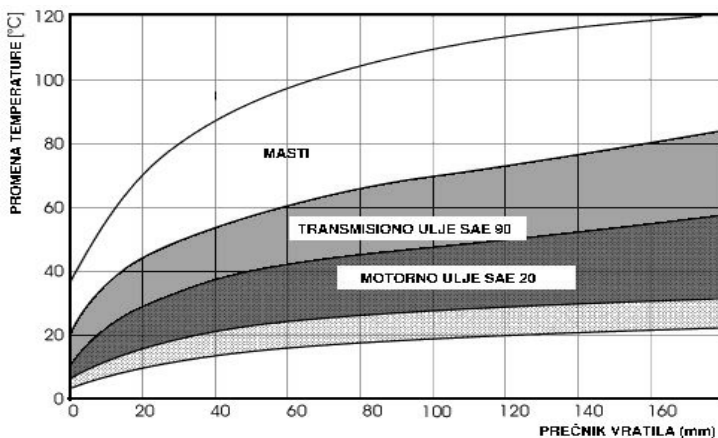
Za ovakav slučaj jedna radijalna zaptivača nije dovoljno sigurna, pa se iz tih razloga koriste dve radijalne zaptivače, koje su ugrađene tako da su zaptivne usne suprotne jedna drugoj.

Kod zaptivanja delova sa niskim opterećenjem (obimna brzina ispod 5 m/s) koriste se radijalne zaptivače sa dve opruge.

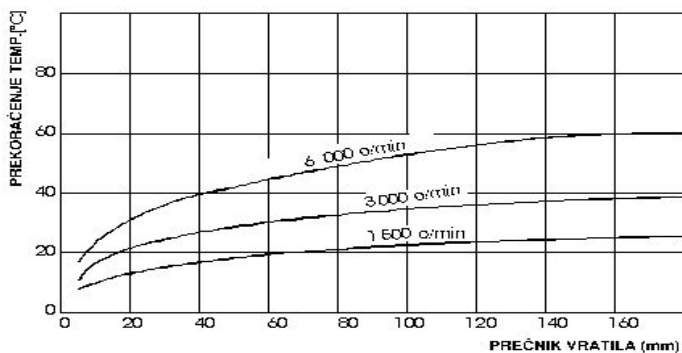
4.2. Temperatura

Nivo medijuma koji se zaptiva određen je uslovom odvođenja toplote, a ovo temperaturom zaptivne ivice.

Na slici 9. prikazane su granične temperature zaptivne ivice radijalne zaptivače kod zaptivanja različitih medijuma. Na slici se takođe vidi da postoje dve granične krive (donja i gornja granična kriva) pri čemu se vrednosti na donjoj graničnoj krivoj postižu u slučaju kada je vratilo potpuno pokriveno medijumom zaptivanja, dok se vrednosti na gornjoj graničnoj krivi postižu kada je vratilo samo 25% pokriveno. Površina između donje i gornje granične krive pokazuje moguća temperaturna stanja zaptivne ivice. Temperatura zaptivne ivice ima direktan uticaj na očekivani vek radijalne zaptivače, pri čemu sa povećanjem obrtaja vratila raste temperatura zaptivne ivice (slika 10).



Slika 9. Promena temperature zaptivne ivice radijalne zaptivače



Slika 10. Promena temperature zaptivne ivice radijalne zaptivače u zavisnosti od broja obrtaja

4.3. Pritisak

Ako je zaptivni kontakt izložen dejstvu povišenog pritiska, onda će zaptivna usna biti više pritisnuta prema vratilu. Ovo proizvodi veće trenje i veće temperature zaptivne ivice radijalne zaptivače.

Ako je pritisak zaptivnog kontakta manji od atmosferskog, potrebno je da se ugradi još jedna radijalna zaptivača sa zaptivnom usnom direktno usmerene prema vazdušnoj strani.

4.4. Zaptivanje protiv prljavštine

U slučaju da je radijalna zaptivača izložena dejstvu spoljašnje prljavštine ili vlage onda se mora koristiti radijalna zaptivača sa zaštitnom usnom.

Prostor između zaptivne usne i zaštitne usne se pre ugradnje mora popuniti sa mašću. Ova mast je potrebna ne samo za podmazivanje zaštitne usne, već i da zaštiti vratilo od korozije u slučaju vlage.

5. UTICAJ GEOMETRIJSKIH FAKTORA I MATERIJALI ZA RADIJALNE ZAPTIVAČE

5.1. Konstrukcija vratila

Optimalna konstrukcija vratila, kao suprotna površina radijalnoj zaptivači, je vrlo važna za dobro zaptivanje i dug vek. Najbitnije konstruktivne karakteristike su: kvalitet površine, tvrdoća vratila kao i materijal vratila.

U prostoru koji obuhvata površinu oko zaptivne usne moraju se ostvariti sledeće vrednosti za kvalitet površine:

$$R_z = 1 \div 4 \mu\text{m}$$

$$R_a = 0,2 \div 0,8 \mu\text{m}$$

$$R_{\text{max}} = 6,3 \mu\text{m}$$

Tvrdoća površine vratila mora biti najmanje 45 HRC. Najčešće korišćen materijal za vratila je čelik (Č.1430, Č.1530), ali isto tako nodularni liv i temper liv imaju primenu, dok se plastični materijali zbog vrlo loše termičke provodljivosti praktično ne koriste.

5.2. Karakteristike materijala za izradu radijalnih zaptivača

Radi potpunosti ukratko se navode vrste materijala koji se koriste za izradu radijalnih zaptivača. Vrsta materijala koji se koriste za izradu radijalnih zaptivača zavisi od radnih uslova, tj. od vrste medijuma koji se zaptiva, odnosno sa kojim je zaptivača u kontaktu, zatim od temperature kao i od tvrdoće i hrapavosti rotirajuće površine vratila.

Za radijalne zaptivače tipa BA (din 3760) (slika 3) koje se koriste za zaptivanje mineralnih ulja, sintetičkih ulja i masti od -40°C do $+100^{\circ}\text{C}$ (kratkotrajno do $+120^{\circ}\text{C}$) i pod radnim pritiskom od 0,5 bar, obimne brzine do 14 m/s koristi se akrilonitrilbutadijen guma (NBR) tvrdoće 72 Sh_a. Vratilo sa kojim se sparuje treba da ima površinsku tvrdoću $45 \div 60$ HRC i hrapavost $R_a = 0,2 \div 0,8 \mu\text{m}$.

Ako se ovaj tip radijalnih zaptivača koristi za zaptivanje mineralnih i sintetičkih ulja i za zaptivanje hloriranih ugljovodonika i goriva na temperaturi od -25°C do $+160^{\circ}\text{C}$, radnim pritiscima od 0,5 bar i obimne brzine do 40 m/s onda se radijalne zaptivače izrađuju od gume na bazi fluora (FPM) tvrdoće 75 Sh_a. One se takođe sparuju sa vratilom površinske tvrdoće $45 \div 60$ HRC i hrapavosti $R_a = 0,2 \div 0,8 \mu\text{m}$.

Radijalne zaptivače tipa B1 (DIN 3760) (sl. 3) koje se koriste za zaptivanje mineralnih i sintetičkih ulja i masti na temperaturi od -40°C do $+100^{\circ}\text{C}$ (kratkotrajno do $+120^{\circ}\text{C}$) i pritisku od 0,5 bar, takođe se izrađuju od akrilonitrilbutadijen gume tvrdoće 72 Sh_a, a vratilo za sparivanje ima iste karakteristike kao kod tipa BA.

Za iste medijume i radne uslove kod kojih se koriste zaptivače tipa BA i B1 mogu se koristiti i zaptivače tipa B2 (slika 3) izrađene od materijala kao zaptivače tipa BA i B1.

Ako se radijalne zaptivače koriste za zaptivanje pored mineralnih i sintetičkih ulja i masti, i za zaptivanje vode, kiselina, baza, organskih rastvarača i gasova na temperaturi od -130°C do $+200^{\circ}\text{C}$, i pritisku od 10 bar, onda se one izrađuju od politetrafluoretilena (PTFE) a vratilo sa kojom se sparuje ima iste karakteristike kao i kod sparivanja sa zaptivačama tipa BA i B1.

ZAKLJUČAK

Uloga radijalnih zaptivača u mašinstvu naročito u motornoj i vozilskoj industriji ima izuzetan značaj za pravilno funkcionisanje mašinskih sklopova.

Može se videti da kvalitet radijalne zaptivače, određen geometrijskim oblikom i vrstom materijala utiče na kvalitet zaptivanja. Na pravilan izbor radijalne zaptivače najveći uticaj imaju radni uslovi kao i vrsta medijuma koji se zaptiva, isto kao i kvalitet obradenosti površine rotirajućeg vratila (kontaktna površina).

Iz svega izloženog može se konstatovati da se pri konstruisanju, kao i pri izboru, radijalne zaptivače u obzir mora uzeti veliki broj uticajnih faktora, od kojih zavisi i kvalitet zaptivanja, odnosno sprečavanja curenja.

LITERATURA

- [1] Paffrath J.: "Einbaurichtlinien und Montagehilfen für Wellendichtringe" - Maschinenmarkt, Hydraulische und pneumatische Anlagen.
- [2] Hoepke E.: "Motor und Kurbelwele als Schwingungssystem und ihr Einfluß auf die Kurbelwellen-Dichtungen" - MTZ.
- [3] Jagger E.T., Wallace D.: "Oil seal research" - Industrial Lubrication and Tribology.
- [4] "Perkins Engineering Technical Data".
- [5] "Simrit" - Technical Principles.

RADIAL SEALERS – THE ROLLE AND IMPORTANCE IN MACHINERY MAINTENANCE

Nebojša Radojević, Predrag Petrović, Ljubiša Marković

IMR Institute - Belgrade

Abstract: Appropriate choice of sealing elements is one of essential tasks of sealing related with problem of working fluids loosening. In that way cost of maintenance are decreasing and reliability of machinery couples is improving. Radial sealers are used for sealing of different types of axles and shafts, primary in motor and vehicles industries as well as productions of machinery and equipment.

This paper presents basical types of radial sealers with accent on material type used for their production, physical and chemical factors of material properties as well as some tribology characteristics. Influence of working conditions on strength of radial sealers is also shown as well as reliability on chemical reagents.

Key words: *radial sealers, working fluids, axles, shafts, material, tribology, chemical reagents.*