



# 8<sup>th</sup> International Tribology Conference

Osma internacionalna konferencija o tribologiji  
Beograd, 8. - 10. oktobra 2003.

## HABANJE KAO KRITERIJUM NOSIVOSTI PUŽNIH PAROVA

**Doc. dr Dragan MILČIĆ**, Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet, Beogradska 14, 18000 Niš, Srbija  
i Crna Gora, e-mail: [dmilcic@ptt.yu](mailto:dmilcic@ptt.yu), Tel. (+381 18) 524-915 FAX (+381 18) 524-930

**Dipl. inž. Aleksandar MILTENović**, Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet, Beogradska 14,  
18000 Niš, Srbija i Crna Gora, e-mail: [milten@eunet.yu](mailto:milten@eunet.yu)

### Rezime:

Pužni prenosnici imaju veoma široku primenu kod prenosa snage i kretanja jer imaju niz prednosti u odnosu na druge tipove prenosnika. Od njihovog ispravnog rada zavisi i rad kompletnih postrojenja te se zbog toga njihovom pouzdanom radu posvećuje posebna pažnja. Najnovija istraživanja u ovoj oblasti pokazuju da u njihovom radu mogu da se jave veći broj graničnih stanja koja mogu da se identifikuju na osnovu stanja radnih površina. Jedno od relevantnih graničnih stanja je habanje bokova pužnog zupčanika. U radu je razmatran ovaj tip oštećenja pužnih parova kao mogući kriterijum njihove nosivosti, a u svetlu najnovijih istraživanja u ovoj oblasti.

**Ključne reči:** habanje, pužni prenosnik, nosivost

### 1. UVOD

Pužni prenosnici imaju veoma široku primenu kod prenosa snage i kretanja jer imaju niz prednosti u odnosu na druge tipove prenosnika. Osnovne karakteristike pužnih parova su sledeće.

- Mogućnost ostvarivanja velikog prenosnog odnosa jednog pužnog para. Pri redukciji brojeva obrtaja prenosni odnos kreće se u granicama  $5 \leq u \leq 70$  (za male snage moguće je ostvariti prenosni odnos i do  $u \leq 1000$ ).
- Smanjenje unutrašnjih dinamičkih sila i šuma, uz prigušenje vibracija.
- Step en iskorišćenja pužnih prenosnika je relativno nizak, zbog velikog klizanja između spregnutih bokova puža i pužnog zupčanika
- Mogu se izvesti kao samokočeći prenosnici, što im omogućuje veću primenu.
- Dovod i odvod snage i na pužu i na pužnom zupčaniku moguće je sa obe strane.
- Puž može biti izveden sa desnom i levom zavojnicom, što omogućuje promenu smer a

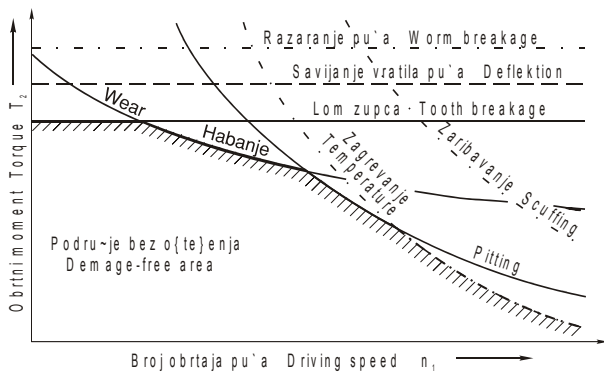
okretanja pužnog zupčanika bez konstrukcionih izmena.

### 2. GRANIČNA STANJA PUŽNIH PAROVA

Kod savremenih konstrukcionih rešenja najčešće se pužni zupčanik izrađuje od kalajne bronza a puž od kaljenog i brušenog čelika. Ograničenja u pogledu obrtnog momenta pužnog zupčanika s ozirom na moguća granična stanja prikazana su na sl.1.

Dakle, kod pužnih parova mogu da uoče sledeća granična stanja:

- razaranje bokova zubaca usled pitinga,
- habanje bokova zubaca,
- lom zupca pužnog zupčanika u podnožju,
- zagrevanje odnosno narušavanje toplotne stabilnosti prenosnika,
- zaribavanje,
- savijanje vratila puža.



Sl.1. Nosivost pužnog para za različita granična stanja

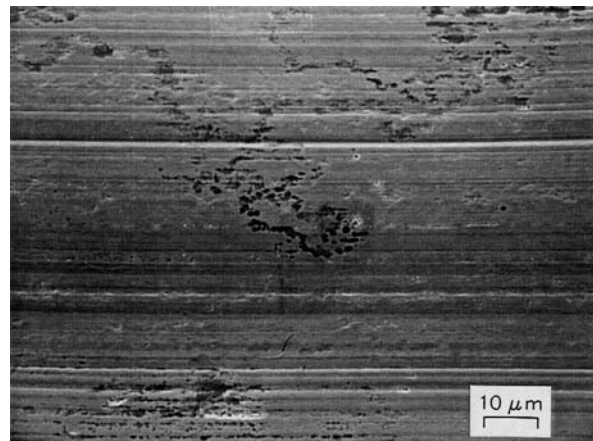
Ograničenja vezana za toplotnu stabilnost prenosnika mogu se rešiti ugradnjom dodatnog sistema hlađenja. Onda se shodno sl.1 može zaključiti da su osnovna ograničenja nosivosti pužnih parova piting i habanje.

### 3. NOSIVOST PUŽNIH PAROVA U ODNOSU NA HABANJE

Habanjem, tj. kontinualnim skidanjem materijala smanjuje se debljina zupca. U početnoj fazi habanje ima pozitivni efekat jer dovodi do skidanja suvišnog materijala i međusobnog prilagodavanja oblika bokova, uz kasniji prestanak daljeg habanja. Međutim u slučajevima većeg intenziteta habanja, kriterijum radnog veka može biti nosivost u odnosu na habanje. Habanje u velikoj meri zavisi od radnih uslova. Promena smera obrtanja, uslova i režima rada kao i često uključivanje i isključivanje prenosnika dovode do uvećanja efekta habanja (sl.2). Korišćenjem trvrđih i kvalitetno obrađenih bokova puža (cementacija, brušenje, poliranje) može se umanjiti efekat habanja.

Habanje takođe zavisi i od sredstva za podmazivanje. Kod primene mineralnih ulja bitan uticaj na habanje ima viskoznost ulja. Ulja manje viskoznosti za posledicu imaju veće habanje u odnosu na ulja veće viskoznosti, odnosno može se reći da postoji obrnuta proporcionalnost između intenziteta habanja i ISO-VG klasa.

Sintetička ulja (ISO-VG-220) u svim radnim uslovima daju manji intenzitet habanja u odnosu na mineralna ulja bilo koje viskoznosti. Treba međutim uzeti u obzir da aditivi ovih ulja često nepovoljno utiču na pojavu drugih graničnih stanja (piting, zaribavanje). Na sl.5 prikazan je primer stvaranja oksidnog sloja na boku zupca pužnog zupčanika kod podmazivanja sintetičkim uljem sa aditivima na bazi derivata fosforne kiseline.



Sl.2. Oštećenje bokova od habanja

Stepen sigurnosti u odnosu na habanje određuje se zavisno od stvarne  $\delta_{Wn}$  i kritične  $\delta_{Wlim}$  debljine pohabanog sloja u normalnom preseku zupca pužnog zupčanika:

$$S_W = \frac{\delta_{Wlim}}{\delta_{Wn}} \geq S_{Wlim} = 1,1 \quad (1)$$

Debljina pohabanog sloja u normalnom preseku zupca  $\delta_{Wn}$  kao posledica abrazivnog habanja iznosi

$$\delta_{Wn} = J_W \cdot s_{Wn} \quad (2)$$

Sa  $s_{Wn}$  označen je put habanja a sa  $J_W$  intenzitet habanja:

$$J_W = J_{OT} \cdot W_{ML} \quad (3)$$

Osnovni intenzitet habanja iznosi:

➤ za mineralna ulja:

$$J_{OT} = 2,4 \cdot 10^{-11} \cdot K_W^{-3,1} \leq 400 \cdot 10^{-9} \quad (4)$$

➤ sintetička ulja:

$$J_{OT} = 127 \cdot 10^{-12} \cdot K_W^{-2,24} \quad (5)$$

➤ za polialfaolefin:

$$J_{OT} = 318 \cdot 10^{-12} \cdot K_W^{-2,24} \quad (6)$$

Parametar debljine uljnog filma određuje se prema:

$$K_W = h_{minm} \cdot W_S \quad (7)$$

gde je  $h_{minm}$  minimalna srednja debljina uljnog filma a  $W_S$  faktor strukture sredstva za podmazivanje.

Postoje više kriterijuma za određivanje kritične debljine pohabanog sloja. Kriterijum dozvoljenog bočnog zazora kao unapred zadate vrednosti međutim daje odgovarajuću sigurnost u radu za predviđeni radni vek. Za taj slučaj kritična debljina pohabanog sloja u normalnom preseku određuje se zavisno od modula  $m$  prema:

$$\delta_{Wlim} = 0,3 \cdot m \cdot \cos \gamma_m \quad (8)$$

Izloženi postupak predstavlja za praktičnu primenu dopunjeni postupak DIN 3996.

### 3. TOK PROCESA HABANJA I PITINGA

Na sl. 5 prikazan je tok procesa habanja i pitinga u toku vremena kod podmazivanja sintetičkim uljem, gde princi-pijelno mogu da se uoče tri faze:

- Faza I – faza početka nastajanja pitinga. U ovoj fazi do broja promena ciklusa opterećenja  $N_{LI}$  javlja se malo početno oštećenje od pitinga, a habanja skoro i da nema.
- Faza II – faza razvoja pitinga. U ovoj fazi dolazi do porasta oštećenja od pitinga, a tok porasta je približno linearan. Na kraju ove faze posle broja promena ciklusa oštećenja  $N_{LII}$  ( $N_{LII} = 3 \dots 5 \times N_{LI}$ ) piting po svom intenzitetu dobija maksimum. Habanje se u ovoj fazi javlja u manjoj meri
- Faza III – faza habanja. U ovoj fazi dolazi do naglog porasta habanja uz istovremenu redukciju obima pitinga. Usled povećanja noseće površine bokova zubaca obim habanja se smanjuje i u daljem toku rada ostaje približno konstantno. Površina oštećenja od pitinga se smanjuje na otprilike  $A_{P10red} = 3 \dots 30\%$ , a ukupni iznos skidanja materijala sa bokova zubaca  $\Delta m_B$  za obe vrste oštećenja ostaje približno konstantna.

Najčešća ograničenja nosivosti pužnih parova vezani za piting i habanje bokova zubaca pužnog zupčanika. Prikazani tok faza razvoja ovih oštećenja pokazuje između njih da postoji uzajamna zavisnost.

### 4. UPOREDNI PRIKAZ NOSIVOSTI PUŽNIH PAROVA

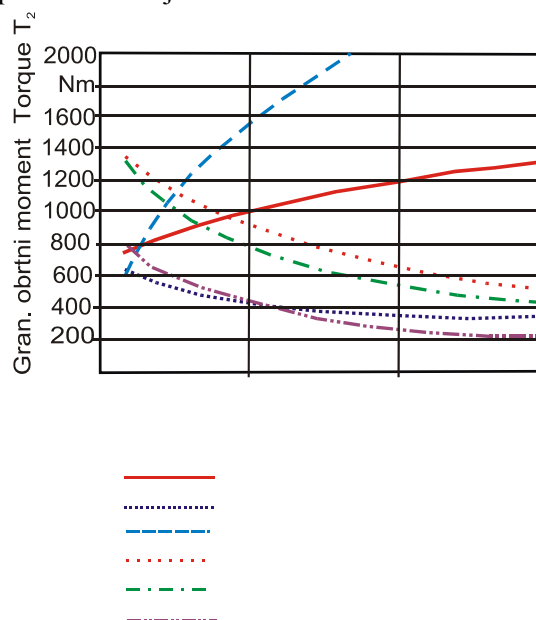
Mnogi od uticajnih faktora koji se koriste kod proračuna nosivosti pužnih parova određeni su empirijski odnosno eksperimentalno. Kod praktičnih proračuna međutim neki od faktora daju se pojednostavljeno, što u manjoj ili većoj meri dovodi do netačnosti.

Razvijeno je i u praksi se primenjuje veći broj metoda proračuna pužnih parova. Uporedni prikaz metoda u pogledu granične nosivosti pužnih parova pruža dobar uvid u svrsishodnost primene pojedinih postupaka proračuna.

**Tablica 1.** Podaci o prenosnicima

Geometrijska veličina	Tip A	Tip B
Oсно растојanje a mm	100	100
Prenosni odnos i	10,33	20,5
Modul m mm	5	4
Pužni broj q	9	9
Broj zubaca puža $z_1$	3	2
Broj zuba pužnog zupčanika $z_2$	31	41

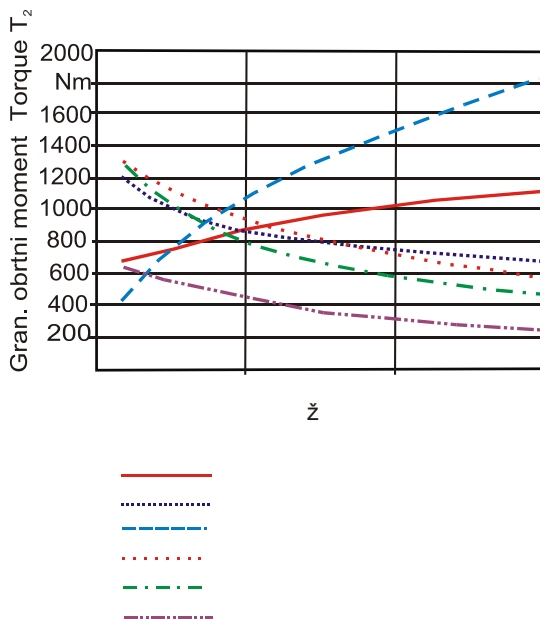
Za dva tipa pužnih prenosnika, koji se nalaze i u katalogima proizvođača (tablica 1) izvršen je proračun graničnog izlaznog obrtnog momenta prema DIN 3996, Niemann-Winter (ME-III [3]), AGMA 6034-1987 i prema katalogima proizvođača (Thyssen). Uporedni prikaz rezultata proračuna dat je sl.3 i sl.4.



Sl.3. Uporedni prikaz nosivosti pužnih parova za različite metode proračuna za prenosnik tipa A

Iz ovih dijagrama uočava se sledeće:

- Najmanja nosivost dobija se prema AGMA standardu,
- Katalogske vrednosti granične nosivosti prema Thyssen-u u priličnoj meri poklapaju se sa preporukama DIN 3996,
- U pogledu habanja DIN 3996 daje dosta visoke vrednosti granične nosivosti.



Sl.4. Uporedni prikaz nosivosti pužnih parova za različite metode proračuna za prenosnik tipa B

## 5. ZAKLJUČAK

Na osnovu napred izloženog može se zaključiti sledeće:

1. Prikazane granice nosivosti s obzirom na moguća granična stanja imaju za cilj lakše definisanje kritičnih vidova oštećenja i potrebnih proračuna nosivosti.
2. Sprovedena analiza graničnih stanja pokazuje da su najčešća ograničenja nosivosti pužnih parova vezani za piting i habanje bokova

zubaca pužnog zupčanika. Treba naravno imati u vidu i uzajamnu zavisnost između pojedinih vidova oštećenja kao i uslove eksploatacije.

3. Uporedni prikaz proračuna nosivosti prema različitim metodama jasno pokazuje da preporuke DIN 3996 daju dimenzije pužnih prenosnika optimalne nosivosti.

## 6. LITERATURA - REFERENCIAS

- [1] Miltenović, V.: *Mašinski elementi - oblici, proračun, primena*. Univerzitet u Nišu - Mašinski fakultet, Niš, IV-izdanje 2002. str.305 – 326.
- [2] Miltenović, V.: **Load Capacity Limits for Wormgear**. Journal of Mechanical Engineering Design. No1. Vol.4. Novembar 2002. str.11-18.
- [3] Bernhard, R.: **Untersuchungen zur Grübchen- bildung bei Zylinder-Schneckengetrieben**. Dissertation. TU München, 1996.
- [4] Niemann G., Winter H.: **Maschinenelemente. Band III**. Springer-Verlag. Berlin 1986.
- [5] DIN 3996. **Tragfähigkeitsberechnung von Zylinder-Schneckengetrieben**. Beuth Verlag GmbH Berlin 1998.
- [6] AGMA **Standard Practice for Single and Double Reduction Cylindrical-Worm Speed Reducers**. AGMA 440.04/1987.