

PARAMETER PV_{lim} KOT MERILO ZA OVREDNOTENJE MATERIALOV TESNILNIH OBROČEV V MEHANSKIH DRSNIH TESNILIH

PARAMETER PV_{lim} AS A FACE MATERIAL EVALUATION CRITERIA OF MECHANICAL SEALS

Anton Vežjak¹, Jože Vižintin¹, Martina Oberžan²

¹Center za tribologijo in tehnično diagnostiko, Bogišičeva 8, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Elektroelement Izlake, d.d., Obrezija 5, 1411 Izlake, Slovenija

Prejem rokopisa - received: 1999-11-16; sprejem za objavo - accepted for publication: 1999-12-20

Merilo za ovrednotenje parov materialov tesnilnih obročev mehanskih drsnih tesnil še ni standardizirano. Najpogostejši način ovrednotenja je določitev mej obratovanja oziroma mejnega produkta tlak-hitrost (PV_{lim}). Le-ta je poleg fizikalnih lastnosti obeh materialov odvisen od mazanja, konstrukcije tesnila in delovnih parametrov. Literatura navaja zelo malo informacij o zvezi med PV_{lim} in omenjenimi faktorji. V našem prispevku obravnavamo vpliv mazanja na parameter PV_{lim} . Preizkušali smo različne vrste materialov pod različnimi tribološkimi obremenitvami oziroma pri različnih vrednostih parametrov PV . Preizkusi so pokazali, da način mazanja, ki je v tesnilni špranji, bistveno vpliva na vrednosti parametra PV_{lim} in s tem na trajnostno dobo tesnila.

Ključne besede: PV_{lim} , mehanska drsna tesnila, mazanje

Seal face evaluation criteria have not been standardized yet, however, the most common approach for seal face evaluation is to determine a performance limit or parameter PV_{lim} . Beside physical properties of both seal faces parameter PV_{lim} is influenced by lubrication, seal design and operating conditions. The literature contains very little information on the relationship of PV_{lim} to this influence factors. In our study the influence of different lubrication regime on the parameter PV_{lim} has been investigated. For this purpose we have tested several materials under different tribological loading or different values of parameter PV . The results have shown that certain regime of lubrication which occurs in sealing gap has great influence on values of parameter PV_{lim} and therefore on seal life.

Key words: PV_{lim} , mechanical seals, lubrication

1 UVOD

Materiali tesnilnih obročev so ključni del mehanskega drsnega tesnila, saj so v kontaktu izpostavljeni fenomenom, kot so trenje, obraba, mazanje, korozija, hidrodinamika in prenos toplote¹. Izbira materialov tesnilnih obročev je zato pomembna, saj neposredno določa trajnostno dobo in zanesljivost delovanja tesnila.

Delovanje mehanskih drsnih tesnil pa ni odvisno samo od izbire materialov, ampak tudi od dejavnikov, ki upoštevajo konstrukcijo tesnila in delovne razmere. Prav zaradi te dodatne kompleksnosti pa žal nobeden izmed preskusov za ovrednotenje delovanja tesnil v industriji ni bil standardiziran²⁻⁵.

Najpogostejši način ovrednotenja mehanskih drsnih tesnil je določevanje zgornje meje obratovanja oziroma določitev mejnega produkta tlak-drsna hitrost (PV_{lim}). Produkt PV je po definiciji merilo za ustvarjeno torno toploto v tribološkem kontaktu⁶, kot to nakazujeta enačbi (1) in (2).

$$\frac{Ptr}{A} = PV \cdot \mu \quad (1)$$

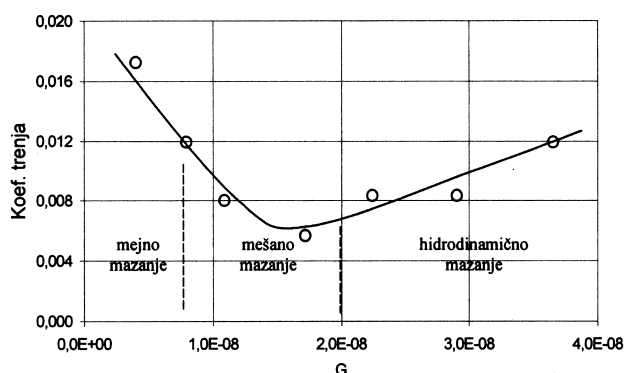
$$PV = \frac{Ptr}{A \cdot \mu} \quad (2)$$

kjer pomenijo: P [Pa] povprečni tlak v tribološkem kontaktu, V [m/s] povprečna drsna hitrost, Ptr [W] moč trenja, A [m²] površina kontakta in μ povprečni koeficient trenja.

Mejni produkt PV_{lim} je torej merilo za največjo dopustno ustvarjeno torno toploto, ki jo materiala v tribološkem kontaktu še preneseta. V primeru mehanskih drsnih tesnil pa ima PV_{lim} mnogo širši pomen, saj določa poleg dopustne torne toplote tudi tiste pogoje, pri katerih tesnilo izgubi svojo funkcionalnost in prekomerno pušča. PV_{lim} je odvisen od fizikalnih lastnosti dvojnih materialov, mazanja, konstrukcije tesnila in delovnih razmer. Informacij o zvezah med omenjenimi parametri in PV_{lim} v literaturi praktično ni oziroma so zelo skromne¹.

Trajnostno dobo tesnila v veliki meri določajo razmere pri mazanju v tesnilni špranji³. Zato je pomembno, da znamo določiti, kakšen način mazanja nastopa v danem trenutku. To nam omogoča uporaba brezdimenzijskega hidrodinamičnega koeficienta G (enačba 3)^{1,7}.

$$G = \frac{\eta \cdot V \cdot b}{F} \quad (3)$$



Slika 1: Režimi mazanja v mehanskih drsnih tesnilih
Figure 1: Lubrication regimes in face seals

kjer so η [Pas] dinamična viskoznost tesnjenega medija, V [m/s] srednja drsna hitrost, b [m] širina tesnilne površine in F [N] sila na tesnilno površino.

Režime mazanja nam v diagramu koeficient trenja-G prikazuje slika 1.

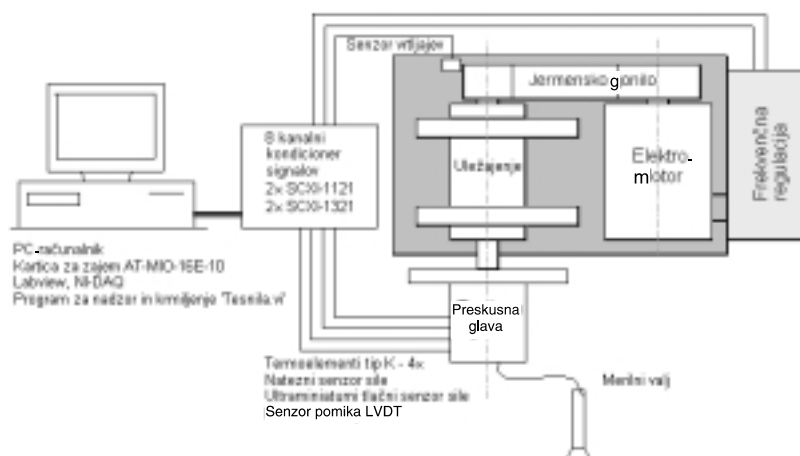
V tem prispevku bomo prikazali kvalitativno in kvantitativno ovrednotenje materialov za tesnilne obroče in določili vpliv delovnih razmer ter režimov mazanja na parameter PV_{lim} .

2 EKSPERIMENTALNI DEL

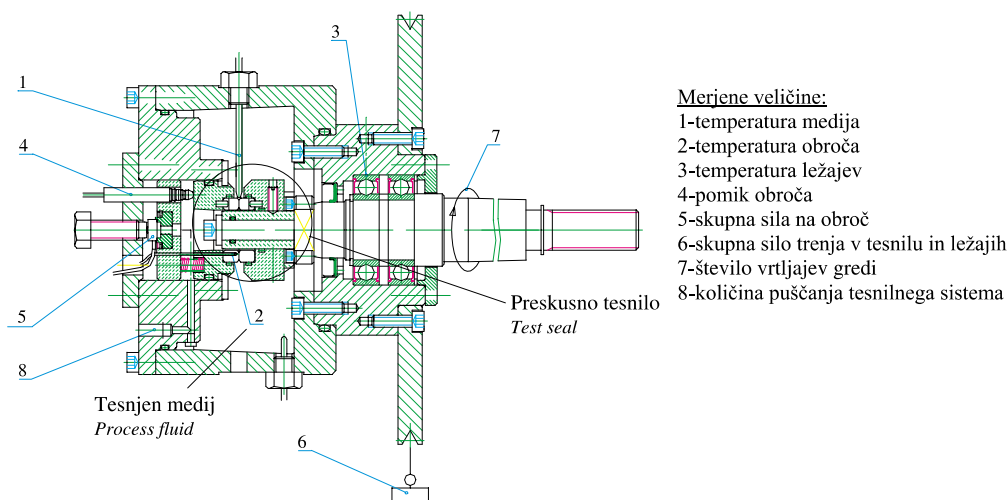
2.1 Preizkuševališče

Preizkuse smo izvajali na preizkuševališču CTD-MLI, ki ga shematsko prikazuje slika 2. Podroben opis preizkuševališča je podan v literaturi⁸. Za raziskavo materialov za mehanska drsna tesnila smo razvili posebno preskusno glavo, ki jo prikazuje slika 3.

S sodobnim računalniško vodenim merilnim sistemom, s katerim je opremljeno preizkuševališče, smo med preizkušanjem nadzirali osem merilnih veličin (slika 3).



Slika 2: Shema preizkuševališča CTD-MLI
Figure 2: CTD-MLI test rig



Slika 3: Preskusna glava
Figure 3: Test chamber

2.2 Materiali in način preizkušanja

Za preizkušanje smo izbrali komercilano keramiko Al_2O_3 domačega proizvajalca z različno gostoto (92, 96 in 99,7%), nerjaveče jeklo Č417I in grafit s komercialno oznako ELLOR 25. Število opravljenih preizkusov in način dvojenja materialov prikazuje **preglednica 1**.

Preglednica 1: Število opravljenih preizkusov in način dvojenja materialov

Material		Al_2O_3			Skupaj obroček
Material		99,7%	96,0%	92,0%	
Al_2O_3	99,7%	5			26
	96%		13		26
	92%			6	12
Nerjaveče jeklo		10			10
Grafit		8			8

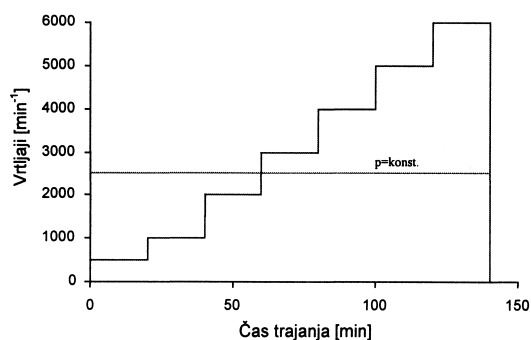
Preizkušanci so bili izdelani v obliki obroček z notranjim premerom 22 mm in zunanjim 32 mm ter debelino ~7mm. Obroček smo pred vsakim preizkusom montirali v eno in isto ohišje tesnila. Tako smo izločili morebitni vpliv konstrukcije tesnila. Vsi tesnilni obročki so bili mehansko obdelani z brušenjem in ročnim poliranjem.

Preizkušali smo v vodi iz omrežne vodovodne napeljave s povprečno vrednostjo $pH \sim 7$.

Na začetku vsakega preizkusa smo z vijakom in vzmetmi nastavili neki tlak na tesnilno površino. Preizkus smo pričeli pri 500 min^{-1} vrtljajih gredi, nakar smo vrtljaje po določenih časovnih intervalih postopoma zviševali (**slika 4**). Vrtljaje smo zviševali vse, dokler ni prišlo do izpolnitve enega izmed naslednjih meril:

- prekinitev tekočinskega filma v tesnilni špranji in s tem skokovit porast momenta trenja
- porušitve materialov (termična razpoke, prekomerna obraba)
- dinamične nestabilnosti tesnilnega kontakta ("stick-slip"-efekt, fazna sprememba ipd) prekomerno puščanje.

Ko je bil izpolnjen eden ali več izmed omenjenih meril, smo smatrali, da smo dosegli *zgornjo mejo obratovanja* (PV_{lim}), in preizkus ustavili.



Slika 4: Diagram poteka preizkusa

Figure 4: Test procedure

Če med preizkusom ni prišlo do izpolnitve enega izmed zgornjih naštetih meril niti pri maksimalnih vrtljajih preskusnega sistema (6200 min^{-1}), smo preizkus ustavili, nastavili večji tlak vzmeti ter preizkus z novim parom tesnilnih obroček ponovili na enak način.

S takšnim načinom preizkušanja smo dobili točke PV_{lim} za različne delovne razmere.

3 REZULTATI IN DISKUSIJA

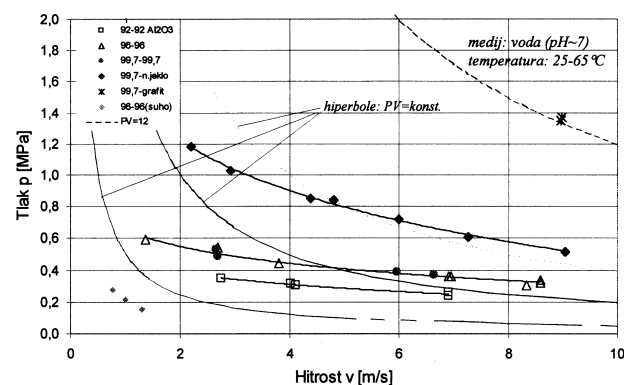
3.1 Krivulje PV_{lim}

S preizkusi dobljene zgornje meje obratovanja za posamezne kombinacije materialov prikazuje **slika 5**. Za vse pare materialov je značilno, da se parameter PV_{lim} spreminja v odvisnosti od tlaka in hitrosti². V področju visokih tlakov in nizkih hitrosti so vrednosti PV_{lim} nižje kot v področju nizkih tlakov in visokih hitrosti.

Najnižje vrednosti parametra PV_{lim} dobimo po pričakovanju pri dvojenju 92-92% Al_2O_3 keramike. Kombinacija materialov 96-96% Al_2O_3 in 99,7-99,7% Al_2O_3 nam da praktično enak odziv, kar potrjuje na več mestih tudi literatura^{9,10}. Vrednosti PV_{lim} so pri zadnjih dveh parih za cca 50% višje kot pri parih 92% Al_2O_3 . Bistveno višje vrednosti PV_{lim} dobimo za pare 99,7% Al_2O_3 - nerjaveče jeklo in še posebej za 99,7% Al_2O_3 - grafit, kjer smo za krivuljo PV_{lim} določili le eno točko.

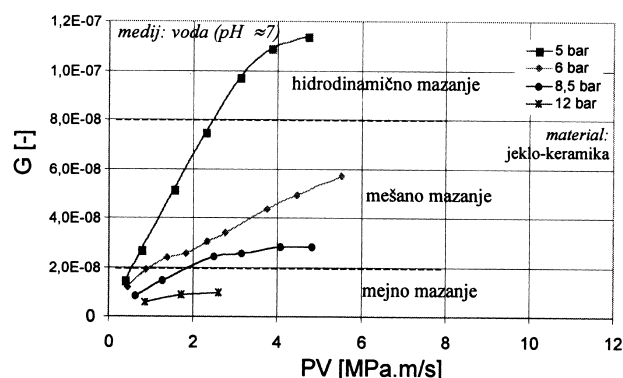
3.2 Vpliv mazanja na parameter PV_{lim}

Delovne razmere ne vplivajo samo na parameter PV_{lim} , ampak tudi na potek hidrodinamičnega koeficienta G. **Slika 6** nam prikazuje vpliv obremenitve na hidrodinamični koeficient za pare nerjaveče jeklo-99,7% Al_2O_3 . Razberemo lahko, da se pri visokih tlakih in nizkih hitrostih nahajamo na področju mejnega mazanja, pri nižjih tlakih ter visokih hitrostih pa hidrodinamičnega mazanja. Z drugimi besedami lahko rečemo, da ni vseeno, če dosežemo tribološko obremenitev PV npr. $4 \text{ MPa}\cdot\text{m/s}$ pri tlaku 4 MPa in hitrosti 1 m/s ali pri tlaku $0,4 \text{ MPa}$ in hitrosti 10 m/s .



Slika 5: Krivulje PV_{lim}

Figure 5: PV_{lim} curves



Slika 6: Vpliv obremenitve na potek hidrodinamičnega koeficienta G
 Figure 6: The effect of seal face pressure on G

Ugotovitev in potrditev, da sta oba parametra - PV_{lim} in G - odvisna od delovnih razmer, namiguje k morebitni njihuni medsebojni povezavi.

Analiza hidrodinamičnih koeficientov G pri posameznih preizkusih, v trenutku ko je bilo izpolnjeno merilo za PV_{lim} , je privedla do rezultatov, prikazanih na sliki 7.

Vidimo, da lahko zgornjo mejo obratovanja PV_{lim} določenega para materialov s primernim mazanjem kar za nekajkrat pomaknemo k višjim vrednostim.

Na osnovi teh rezultatov lažje razumemo, od kod lahko izvira nekoeksistenca vrednosti PV_{lim} , ki jih navaja literatura za enake pare materialov⁷.

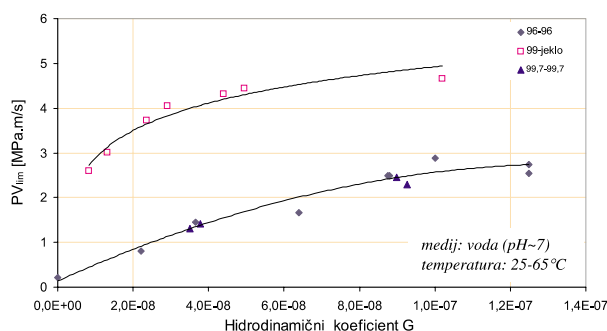
4 SKLEPI

Na osnovi rezultatov in diskusije lahko povzamemo naslednje sklepe:

Določanje zgornjih mej obratovanja PV_{lim} s stopnjevanjem drsne hitrosti med preizkusom je učinkovita metoda za ovrednotenje materialov tesnilnih obročev mehanskih drsnih tesnil. Čeprav rezultati, zaradi ne doseganja stacionarnega stanja med prehodi na višjo hitrost, niso čisto natančni, nam dajo dobro kvalitativno in kvantitativno primerjavo med različnimi pari materialov.

Parameter PV_{lim} , ne glede na vrsto dvojenih materialov, ni konstanta, temveč je v veliki meri odvisen od delovnih razmer.

PV_{lim} je močno odvisen od hidrodinamičnega koeficienta G , ki določa režim mazanja v tesnilni špranji. Z ustreznim režimom mazanja se lahko vrednosti PV_{lim}



Slika 7: Vpliv mazanja na parameter PV_{lim}
 Figure 7: The effect of G on parameter PV_{lim}

spremenijo tudi do 250%, s tem pa tudi trajnostna doba mehanskega drsnega tesnila.

5 PREDLOG ZA NADALJNJE DELO

V nadaljnjih raziskavah bi bilo treba poiskati zvezo med dobljenimi eksperimentalnimi rezultati in teorijo hidrodinamičnega mazanja. S tem bi se na široko odprla možnost, da bi na osnovi rezultatov PV_{lim} v suhih razmerah preizkušanja matematično modelirali potek parametra PV_{lim} pri mazanju.

6 LITERATURA

- A.O. Lebeck, *Principles and Design of Mechanical Face Seals*, John Wiley & Sons, **1991**, 19, 426, 394
- G.S. Buck, *ASLE Trans.*, 23 (**1980**) 3, 244-252
- R. Divakar, *Materials Engineering*, (section 15) Jahanmir, S. (Ed.), Friction and wear of ceramics, Marcel Dekker Inc., New York, 6, **1994**, 357-381
- I.Etsion, T.N.Strom, *Mechanical Design and Systems Handbook*, (section 27.9) Ed. H. A. Rothbart, McGraw-Hill, New York, **1985**
- R.L. Johnson, K. Schoenherr, *Wear Control Handbook*, (Section: Seal Wear), M.B.Peterson and W.O.Winer (Eds.), ASME, New York, **1980**, 727-753
- K. Schoenherr, *Lub. Eng.*, 50 (**1994**) 11, 881-891
- Product Review: Mechanical Seals, *Industrial Lubrication and Tribology*, 44 (**1992**) 6, 6-23
- M. Kalin, J. Vižintin, *Journal of Mechanical Engineering*, 45 (**1996**) 5-6, 239-247
- R. Wallis, Ceramic used in mechanical seals, Application of Engineering Ceramics-Non ic Engine Applications, *Proc. seminar held at Inst.Mech.Engrs.*, London, February 26th, 1986, London, MEP, **1986**, 3
- D. Zeus, *Ceram.Forum Int./ Ber.DKG* 68 (**1991**) 1/2, 31