

DK 621.822.9

Plinski ležaji v reaktorski tehniki

CIRIL PISANSKI

Ceprav so uporabo plina kot »maziva« za ležaje priporočali že pred približno 100 leti, je resen razvoj in uporabo plinskih ležajev omogočil šele razvoj reaktorske tehnike. Plinski ležaji se uporabljajo lahko povsod tam, kjer so »suhi« ležaji ali pa ležaji, mazani z oljem, nezaželeni, nepraktični ali celo nedopustni. Takim zahtevam je treba ustreči pri nuklearnih reaktorjih, predvsem pri reaktorjih, pri katerih je hladilno sredstvo plin. Ta plin kroži v zaprtem tokovnem krogu, hladi reaktorsko sredico, gorivne elemente, se pri tem ogreva ter oddaja toploto v toplotnem menjalniku, nato pa se s kompresorjem ali vetrilom, ki premaguje upore v zaključenem tokovnem krogu, vrača v reaktorsko sredico. V toplotnem menjalniku oddana toplota navadno segreva in vparja vodo, ki rabi kot para za pogon parnih turbin. Plin v primarnem sistemu mora biti v takih primerih popolnoma čist in ne sme vsebovati nikakih delcev maziv, ki bi pod vplivom radiacije razpadali, postajali radioaktivni in okuževali sistem. Plinsko mazani ležaji kompresorja so v takih primerih, posebno ko se v ležajih uporablja kar hladilni plin reaktorskega sistema, najboljše rešitev. Plinski ležaji imajo v primerjavi z ostalimi, splošno uporabljenimi vrstami ležajev niz prednosti:

- ne potrebujejo olja,
- stroj s plinskimi ležaji je lahko popolnoma zaprt,
- problemi tesnjenja gredi so izločeni,
- nevarnost, da bi uhajali radioaktivni delci zunaj tokovnega kroga, je odstranjena,
- ni nevarnosti, da bi mazivo kontaminiralo hladilni tokovni krog,
- plinski ležaji lahko obratujejo pri ekstremnih temperaturah, ki bi pri normalnih ležajih povzročale težave pri izbiri ležajev in ustreznih tesnil,
- poraba moči je pri plinskih ležajih mnogo manjša kakor pri ležajih, mazanih z oljem, in sicer zaradi tega, ker je viskoznost plina mnogo manjša; seveda je pa tudi nosilnost plinskih ležajev v primerjavi z ležaji, mazanimi z oljem, približno v razmerju viskoznosti olja in plina manjša,
- vzdrževanje plinskih ležajev skorajda ni potrebno; plinski ležaji imajo nedoločeno življenjsko dobo, zlasti če obratujejo nepretrgoma; posebno ugodni so za velike vrtilne hitrosti. Med obratovanjem se ležaj in tečaj ne dotikata.

V zvezi s terminologijo oljnega mazanja razlikujemo dve vrsti plinskih ležajev:

- a) hidrostatične ležaje,
- b) hidrodinamične ležaje.

ad a): Hidrostatični tip ležaja je napajen s plinom pod tlakom; plin je dovajan zunaj ležajnega sistema. Ležaj mora imeti tako priključke za dovodne cevi oz. za dovod plina.

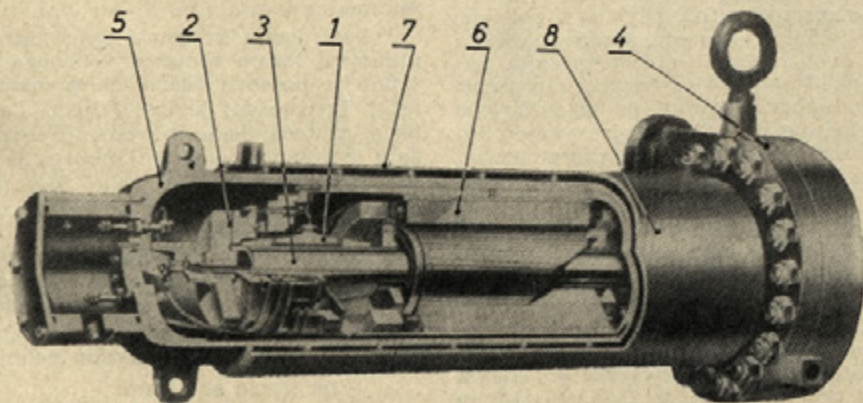
ad b): Hidrodinamični tip plinskega ležaja povzroča potrebni nosilni ležajni pritisk samodejno. Zunanji priključki tak ležaj ne potrebuje. Uporaben je pa le v primerih majhnih specifičnih obremenitev ležajev, in to predvsem zaradi kovinskega kontakta med ležajem in tečajem, ki se pojavlja pri zagonu in ustavljanju.

V primerih, kadar želimo večjo specifično obremenitev hidrodinamičnih ležajev, lahko za zagon uporabljamo hidrostatični princip, tj. dovod plina pod tlakom — dokler vrtilna hitrost ne doseže vrednosti, ki je potrebna, da postane ležaj samonosni, tj. do uveljavitve hidrodinamičnega principa.

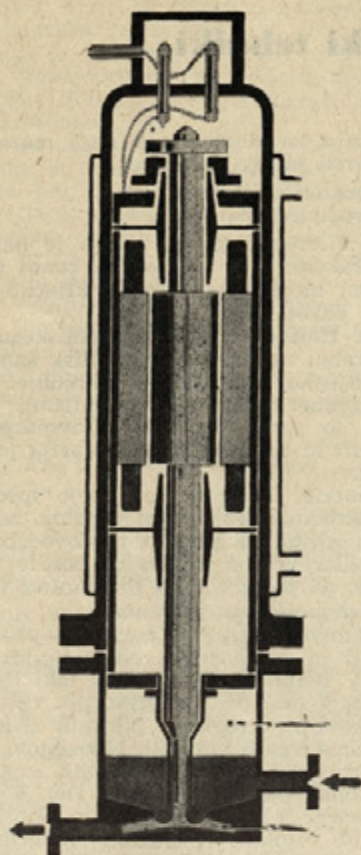
Hidrodinamični tip ležajev je zelo privlačen zaradi enostavnosti in neodvisnosti od zunanjih dovodov in napajanj. V reaktorski tehniki so taki ležaji posebno prikladni in v rabi pri kompresorjih, vgrajenih v hladilnem tokovnem krogu in plinskih sistemih za detekcijo poškodovanih gorivnih elementov. V obeh primerih uporabljajo plinski ležaji plin iz glavnega hladilnega sistema (navadno CO₂ ali He). V splošnem pa se v nuklearni tehniki uporabljajo plinski ležaji pri kompresorjih v tokovnih krogih, v katerih se razen že omenjenih plinov pretakajo še zrak, dušik, argon ipd.; črpalke pa uporabljajo za živo srebro, tekoči bismut in tekoči svinec.

Na sposobnost obremenitve, tj. na nosilnost plinskih ležajev vpliva več faktorjev:

- nosilnost se večja z naraščajočo vrtilno hitrostjo,
- nosilnost ležaja se manjša z naraščajočim radialnim zrakom, tj. z naraščajočim razmerjem premera ležaja in premera tečaja,
- nosilnost ležaja se manjša z manjšanjem razmerja dolžine ležaja in premera tečaja (po navadi je to razmerje 2...3),
- nosilnost ležaja se večja tudi z naraščajočo temperaturo — kot posledica naraščajoče viskoznosti plina:



Sl. 1. Kompresor (delni prerez)
(Prospekt: Bristol Siddeley Ltd.)



Sl. 2. Shematični prerez črpavke
(Prospekt: Bristol Siddeley Ltd.)

medtem ko se viskoznost olja v splošnem z naraščajočo temperaturo hitro manjša, se viskoznost plinov z naraščajočo temperaturo v splošnem počasi veča. S tem je lahko tudi območje delovne temperature občutno zvišano. Tako proučujejo npr. plinske ležaje z delovno temperaturo nad 700 °C. Standardne izvedbe kompresorjev na plinske ležaje pa so že grajene v raznih velikostnih stopnjah, ki delujejo do temperature 700 °C, pri tlaku plina do približno 70 at, pretoku plina do približno 5,8 kg/s in pogonski moči do 120 KS [1].

Opis tipičnih izvedb kompresorjev in črpavk (sl. 1, 2)

Konstrukcije kompresorjev in črpavk so si podobne in vsebujejo precej enake elemente. Osnova obstaja v gredi, ki rotira v dveh radialnih plinskih ležajih, katerih vsak je oprt na fleksibilno diafragmo. Gred nosi na eni strani rotor, na drugi strani pa je razširjena v aksialni ležaj. Med radialna ležaja je vgrajen indukcijski elektromotor, ki poganja gred, tj. črpavko oz. kompresor. Celotni sklop je v tlačni posodi. Opis kompresorja po označbah na sl. 1:

1. **Radialni plinski ležaj.** Ležaji so obdelani z največjo natančnostjo. Material mora biti izbran posebno skrbno. Fleksibilne diafragme, ki nosijo ležaje, omogočajo samodejno prilagajanje ležajev.

2. **Aksialni plinski ležaj.** Površine obeh nosilnih ploskev so lepene, tako da je dosežena optično ravna površina. Selekcija materialov je izvedena po enakih kriterijih kakor pri radialnih ležajih. Tudi ta ležaj se lahko uravnava samodejno.

3. **Gred.** Izdelana mora biti posebno skrbno v vseh fazah izdelave (z metalurško, mehansko in toplotno

obdelavo ter kontrolo). Zahtevana je največja natančnost obdelave in najboljša kvaliteta površine tečajev.

4. **Tekač.** Lahko je kovan, pa tudi ulit. Uporabljen mora biti ustrezen material. Element in sestava morata biti dinamično uravnotežena.

5. **Tlačna posoda.** Navadno je obenem okrov elektromotorja.

6. **Indukcijski elektromotor.** Imeti mora ustrezno izolacijo (A, B ali H po B. S.). Z uporabo frekvenčnega pretvornika so v pogonu kompresorji z $n = 3000 \dots 20.000 \text{ min}^{-1}$ (Primer — po podatkih, navedenih v literaturi [1] — kompresor za CO₂: moč $P = 78 \text{ KS}$, vrtilna hitrost $n = 13.700 \text{ min}^{-1}$, vstopni tlak plina — 119 at, izstopni tlak — 125 at, pretok plina $q = 3 \text{ kg/s}$ pri temperaturi $T = 700 \text{ °C}$; navedena družba razvija tudi kompresor za CO₂ za moč $P = 1740 \text{ KS}$ pri vrtilni hitrosti $n = 8.000 \text{ min}^{-1}$.)

7. **Hladilni plašč.** Tlačno posodo obdaja hladilni plašč. Za hlajenje se lahko uporabljata voda ali zrak, kar je v splošnem odvisno od zahtev obratovanja. Toplota, ki nastaja v plinskih ležajih, je nepomembna, pač pa je občutno pomembna toplota, ki nastaja v elektromotorju in jo je treba odvajati.

8. **Tesnila.** Lahko so različna: uporabljajo se tesnila iz mehkega jekla ali bakra, v uporabi pa so tudi trajno varjeni tesnilni plašči, kar je pretežno odvisno od zahtev instalacije.

Opis delovanja (sl. 1)

V aksialnem plinskem ležaju se pretaka plin med dvema paralelnima ploskvama. Spiralni zlebovi v eni plošči so tako usmerjeni, da povzročata rotacija komprimiranje plina na koncih spiralnih zlebov, ki nimajo izteka. Nastali tlak dvigne rotirajočo ploščo — gred, ko je pritisk plina v ravnotežju z aksialno komponento rotorja in gredi. Kompresor ni pritrjen popolnoma horizontalno, temveč je aksialni ležaj — v primerjavi z rotorjem — nekoliko dvignjen (središčnica gredi je za nekaj stopinj nagnjena). Aksialni ležaj tako nalega na spodnjo ležajno ploskev, kar olajšuje zagon. Črpavke so nameščene vertikalno (sl. 2). Kakor je že omenjeno, pri nekaterih reaktorjih odvzemajo plin za plinske ležaje iz glavnega hladilnega tokovnega kroga; pri črpavkah pa so plinski ležaji »mazani« z inertnim plinom, ki je v okrovu črpavk. Vertikalna namestitve črpavke preprečuje, da bi črpana tekočina doseгла ležaje, inertni plin pa tudi preprečuje oksidacijo.

Podobno kakor pri ležajih, mazanih z olji, se tudi pri plinskih ležajih ustvarjajo področja visokih in nizkih tlakov, kar vpliva na centričnost osi ležaja in tečaja. Seveda je pa ekscentričnost kot posledica tega efekta minimalna.

Pri zagonu in ustavljanju hidrodinamičnega tipa plinskega ležaja nimamo nobenega mazanja. V zvezi s tem je posebno važna izbira materialov za tečaj in ležaj. Iz izkušenj je ugotovljeno, da je primeren material za tečaj jeklo s kromano površino, ki teče v ležaju iz kovine monel S; lahko pa je na gred nanescena tudi plast stelita. Tak tečaj teče potem v jeklenem ležaju, ki ima kromano površino. Seveda morajo biti vse površine ustrezno obdelane, brušene in honane z najboljšo kvaliteto obdelave. Kombinacije navedenih materialov so se izkazale kot ugodne proti vtiranju in izpolnjujejo tudi druge osnovne zahteve.

V vsakem primeru morajo materiali plinskih ležajev ustrezati trem osnovnim zahtevam:

- ne smejo se vtirati,
- imeti morajo dobre protikorozijske lastnosti,
- imeti morajo ugodne termične razteznostne lastnosti.

Primeri za uporabo

Plinski ležaji, ki so se razvili predvsem z razvojem nuklearne tehnike, so postali zanimivi tudi za razne druge industrijske panoge. V zadnjem času se zlasti v fini mehaniki izkorišča nadaljnja prednost plinskih ležajev: popolnoma miren tek — brez vibracij. Zasnovana je tudi uporaba plinskih ležajev v kemični, živilski in tekstilni industriji, na mestih, kjer je prisotnost olja nezaželena. Koristno bi bili plinski ležaji uporabni tudi pri majhnih elektromotorjih, ki so stalno v pogonu, ker bi bilo vzdrževanje ležajev odveč. Z uporabo plinskih ležajev pri kompresorskih hladilnikih bi se npr. lahko izognili problemom tesnjenja. Plinski ležaji so uporabni tudi pri izdelavi raznih instrumentov, aparatov, hitro se vrtečih strojev, pri

raznih raziskavah ipd. Vsekakor je cela vrsta možnosti za uporabo plinskih ležajev.

Ceprav razvoj še ni zaključen, lahko že po dosedanjih ugodnih rezultatih pri uporabi plinskih ležajev sklepamo, da bodo dobili svoje mesto v vseh specifičnih okoliščinah, v kakršnih je njihova prednost očitna in nedvoumna.

Literatura:

1. Prospekti družbe Bristol Siddeley Engines Limited, Coventry, England.
2. Gas-Lubricated Bearings in Nuclear Engineering by D. Pantall, and C. H. Robinson, Nuclear Engineering, February, 1959.

Avtorjev naslov: ing. Ciril Pisanski, Nuklearni inštitut »Jožef Stefan«, Ljubljana

DK 621.914.3

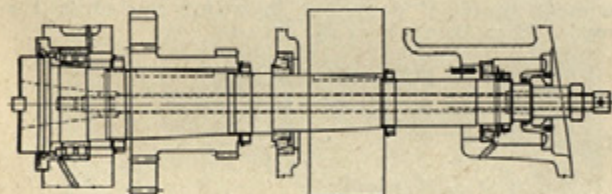
POROČILA

O FREZALNIH STROJIH

Znaten del obdelave v strojni industriji odpade na odrezavanje. Celoten razvoj strojne obdelave teži za dvigom storilnosti dela in tako se tudi frezanje in frezalni stroji razvijajo v tej smeri. Povpraševanje je po čedalje močnejših frezalnih strojih, ki naj pripomorejo k večji produktivnosti dela.

Značilno za razvoj frezalnih strojev je, naj imajo po eni strani splošne lastnosti, ki veljajo za obdelovalne stroje, hkrati pa naj bodo pri obdelavi čim bolj avtomatizirani. K splošnim lastnostim frezalnega stroja bi lahko šteli:

1. natančnost stroja,
2. učinek (moč),
3. trajnost (življenjsko dobo),
4. enostavno strežbo in
5. gospodarnost.



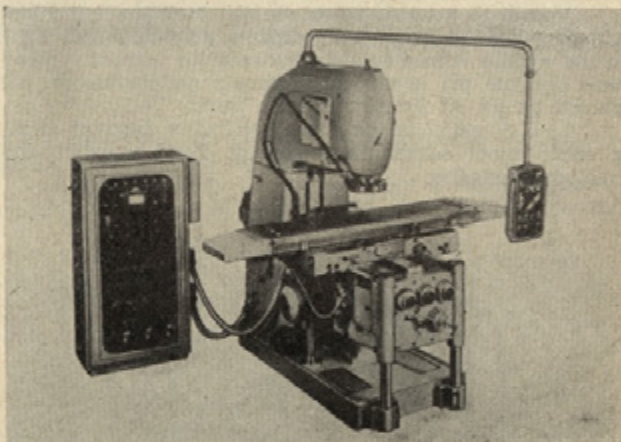
Slika 1

1. Natančnost je osnovna lastnost frezalnega stroja, ki da obdelovancu želeno obliko v določenem tolerančnem območju. Z večjo natančnostjo dosegamo tudi večjo produktivnost pri strojni obdelavi, ker se znatno skrajšajo operacije, ki sledijo za frezanjem; npr. brušenje. Če so obdelovanci natančnejši, je tudi čas za montažo krajši, ker je odvečno ročno prilaganje v neposredni zvezi z natančnostjo je togost vseh mehanizmov stroja, togost ogrodja in togost med orodjem in obdelovancem. Končna natančnost frezalnega stroja se določa z natančnostjo medsebojnega podajanja orodja in obdelovanca med obdelavo.

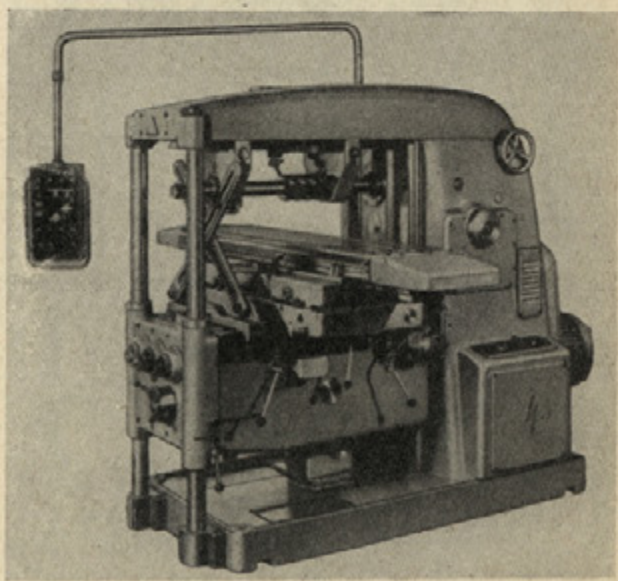
Pri razvoju nekaterih novejših frezalnih strojev so gornje vidike že upoštevali in skušali doseči najboljše mejne pogoje. Glavnemu vretenu in okviru stroja je bila posvečena največja pozornost. Celotni pogonski mehanizem je nameščen v okrovju stroja in dimenzioniran tako, da so deformacije pogonskih elementov v mejah, ki so določene z zasnovano togostjo stroja.

Delovno vreteno se vrti v treh ležajih; spredaj v dvorednem valjčnem ležaju, v sredini in na zadnji strani pa med stožčastimi valjčnimi ležaji. S tem znatno zmanjšujemo deformacije oz. jih praktično odstranju-

jemo tudi pri večjih obremenitvah. Za dušenje torzijskih nihanj vretena, ki nastajajo pri spreminjajočem se rezalnem uporu, kadar frezamo, je na njem nasajen vztrajnik.



Slika 2



Slika 3