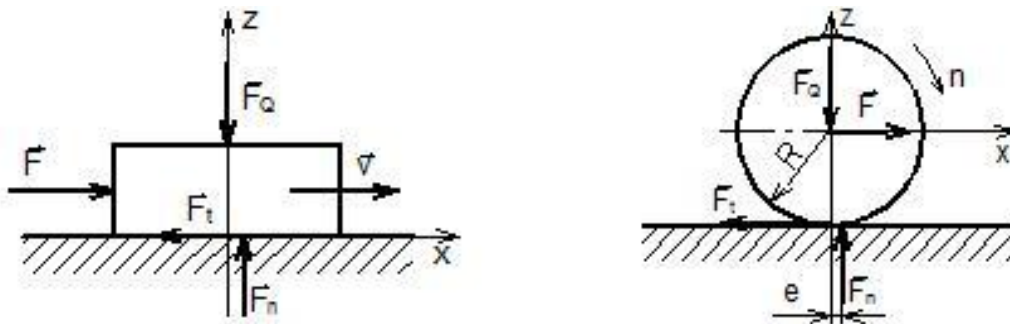




Ložiská

V zmysle základných druhov pohybov ktorými sú rotačný a posuvný pohyb je potrebné zabezpečiť prenos sily alebo krútiaceho momentu tak aby bola dosiahnutá požadovaná funkčnosť, spoľahlivosť, bezpečnosť a nízke straty prenosu. Zariadenia ktoré umožňujú takýto prenos sa v prípade rotačného pohybu nazývajú ložiská a v prípade posuvného pohybu sú to vedenia. Ložiská a vedenia sú komponenty ktorých jednotlivé časti sa voči sebe relatívne pohybujú tak, že minimalizujú treciu silu resp. trecí moment ktorý pri tomto pohybe vzniká. Podľa druhu trenia ktoré sa v týchto komponentoch nachádza je možné ich rozdeliť na klzné a valivé.



Obr. Princíp klzného trenia a valivého trenia

Pri *klznom trení* sila odporu voči pohybu (trecia sila) F_t pôsobí proti pohybu a je úmerná hodnote normálneho zaťaženia F_n . Súčiniteľ trenia f je závislý od materiálov klzných povrchov, klznej rýchlosti, druhu a množstva maziva a pod:

$$f = \frac{F_t}{F_n}.$$

Pri *valivom trení* valivý súčiniteľ trenia f_v z podmienky momentovej rovnováhy vo valivom dotyku $M_t = e \cdot F_n = F_t \cdot R$ je daný vzťahom

$$f_v = \frac{F_t}{F_n} = \frac{e}{R}$$

Základné princípy klzného a valivého trenia sa uplatňujú vo valivých a klzných ložiskách a vedeniach. Podľa tvaru valivého telieska môžeme vytvoriť základné druhy valivých ložísk obr. Vo valivom ložisku je klzné trenie nahradené valivým trením. Valivé ložiská sú obvyčajne zložené z dvoch krúžkov s obežnými dráhami, z *valivých telies* a *klietky* na ich vedenie. Podľa tvaru *valivých telies* rozlišujeme ložiská guľkové, kuželíkové, valčekové, súdkové a ihlové. Podľa smeru pôsobenia sily ich delíme na ložiská *radiálne* a *axiálne*. Podľa *konštrukčného usporiadania* valivých telies môžu byť ložiská *jednoradové*, *dvojradowé* a *viacradowé*.



Konštruovanie strojov a strojových súčiastok

Blok č: 8

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.



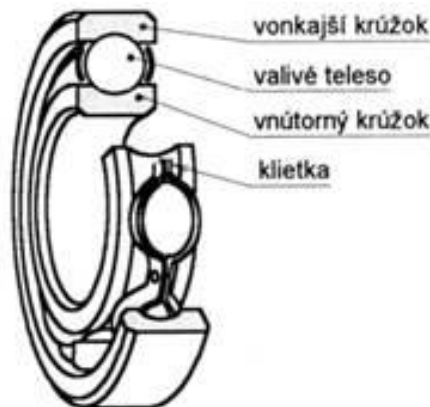
Princíp klzneho trenia sa zasa uplatňuje v prípade klzných ložísk a vedení, ktoré môžu byť konštruované ako púzdra, pánvy alebo pásy obr. Funkčný povrch ložiskových *puzdier a panví* sa zhotovuje z ložiskových materiálov (zliatin medi, hliníka, plastov a pod.), a to tak, že hrubostenné ložiská sa zhotovujú ako *monometalické*, pre úsporu farebných kovov sa zhotovujú púzdra a panvy *ocelové s tenkostennou výstelkou* z ložiskových kovov. Súčasná technológia výroby klzných ložísk spočíva vo výrobe klzných ložísk zakružovaním a tvarovaním z *bimetalických pásov* (tenká klzná vrstva z ložiskových materiálov je nanosená metódami práškovej metalurgie), z *metaloplastických pásov* KU, KX (na ocelový pás je nanosená tenká pórovitá medzivrstva z ložiskových kovov a tenká klzná vrstva z teflónu), prípadne *samomazných pórovitých* klzných ložísk.





Valivé ložiská

Technický termín *Valivé ložisko* sa používa pre označenie takého ložiska, ktoré na zachytenie zaťaženia využíva valivé telieska, ktoré sa odvalujú bez sklzu. Trenie je vo valivom ložisku pri jeho rozbehu dvakrát väčšie ako pri ustálenom chode. A hľadiska navrhovania valivých ložísk ako častí strojov je proces jednoduchý, lebo väčšina valivých ložísk je vyrobená, ako normalizovaná strojná časť. V procese navrhovania je teda potrebné sa zamerať predovšetkým na priestorové usporiadanie, osadenie, zaťaženie, životnosť, únavové zaťaženie, teplotu, mazanie a montáž.



Obr. Konštrukcia valivého ložiska

Keď sa valivý element odvaluje dochádza ku kontaktnému napätiu na vnútornom krúžku, valivom prvku a na vonkajšom krúžku. Pretože zakrivenie kontaktných prvkov v axiálnom smere je odlišné od zakrivenia v radiálnom smere, sú napätia ktoré vznikajú v mieste dotyku definované ako dotykové napätia podľa Hertzových rovníc. Ak je ložisko bez nečistôt a správne namazané, je namontované a utesnené proti vniknutiu prachu a nečistôt, je v tomto stave udržiavané a je prevádzkované pri primeraných teplotách, potom bude jedinou príčinou poruchy únava materiálu. Na únavu materiálu má vplyv cyklovanie pri zaťažení – takýmto kvantitatívnym spôsobom vyjadrenia môže byť stanovenie životnosti ložiska. Bežné životnostné kritéria sú

- Počet otáčok vnútorného krúžku (vonkajší krúžok nehybný) do prvého hmatateľného prejavu únavy
- Počet hodín používania pri štandardnej uhlovej rýchlosti do prvého hmatateľného prejavu únavy

Bežne používaným výrazom je doba životnosti, ktorá sa vzťahuje na ktorékoľvek z vyššie spomenutých opatrení. Je dôležité si uvedomiť, že tak ako pri každej únave, aj život uvedený vyššie je stochastická premenná a ako taký má distribúciu aj súvisiace štatistické parametre. Meranie životnosti jednotlivého ložiska je definované ako celkový počet otáčok (alebo hodín pri konštantnej rýchlosti) prevádzky ložiska, kým sa nevyvinie kritérium poruchy. Za ideálnych podmienok spočíva únavová porucha v odlúpení nosných plôch – tvorbe pitingov. Napríklad norma (ABMA) uvádza, že kritérium poruchy je prvým dôkazom únavy. Kritériom únavy, ktoré používajú laboratória spoločnosti Timken Company, je trhlina alebo jamka na ploche $0,01\text{in}^2$. Timken tiež poznamenáva, že doba použiteľnosti ložiska sa môže značne predĺžiť aj po tomto bode. Toto je operatívna definícia únavovej poruchy vo valivých ložiskách.



Konštruovanie strojov a strojových súčiastok

Blok č: 8

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

Životnosť skupiny nominálne identických guľkových alebo valivých ložísk je definovaná ako počet otáčok (alebo hodín pri konštantnej rýchlosti), ktoré **90** percent ložísk dosiahne alebo prekročí skôr, ako sa vytvorí kritérium poruchy. Pojmy minimálna trvanlivosť - trvanlivosť L_{10} a poškodenie B_{10} sa tiež používajú ako synonymá pre hodnotenie trvanlivosti. Trvanlivosť je **10-percentilné** prenášanie otáčok do zlyhania ložiskovej skupiny. Stredná trvanlivosť je **50-percentilová** životnosť skupiny ložísk. Pojem priemerná trvanlivosť sa používal ako synonymum pre strednú životnosť. Keď sa testuje veľa skupín ložísk, stredná životnosť je medzi 4 až 5-násobkom trvanlivosti L_{10} . Každý výrobca ložísk si vyberie konkrétnu životnosť, pre ktorú sa vykazujú únosnosti jeho ložísk. Najbežnejšie používaná životnosť je 10^6 otáčok. Napr. spoločnosť Timken Company je známou výnimkou a hodnotí svoje ložiská na 3 000 hodín pri 500 ot / min, čo je $90 \cdot 10^6$ otáčok.

Pri testovaní identických skupín ložísk sa stanoví pre zaťaženie F_1 trvanlivosť skupiny $(L_{10})_1$. Postupne sa určia ďalšie hodnoty trvanlivosti pre rôzne zaťaženia a tieto hodnoty sa logaritmicky transformujú. Spôľahlivosť spojená s týmto bodom a so všetkými ostatnými bodmi je 0,90. Takto získavame funkciu trvanlivosti pri spoľahlivosti 0,90, ktorá je výsledkom mnohých skúšok rôznych druhov ložísk je možné vyjadriť:

$$F^m \cdot L_N = \text{konst.}$$

L_N – počet cyklov

- $m = 3$ pre guľčkový element ložiská
- $m = 10/3$ ostatné tvary valivých elementov (valčekové, kuželikové atď.)

Katalógové zaťaženie je definované ako radiálne zaťaženie, ktoré spôsobí zlyhanie 10 percent ložísk zo skupiny testovaných ložísk počas doby životnosti. Označíme katalógové zaťaženie ako C_{10} . Katalógové zaťaženie sa často označuje ako Základné dynamické zaťaženie alebo niekedy iba ako Základné zaťaženie, ak je výrobná životnosť výrobcu 10^6 otáčok. Radiálne zaťaženie, ktoré by bolo potrebné pre poruchu pri tak nízkej životnosti, by bolo nereálne vysoké. Z tohto dôvodu by sa základná únosnosť mala považovať za referenčnú hodnotu, a nie za skutočné zaťaženie, ktoré má ložisko dosiahnuť.

Základná podmienka ložiska:

$$F^m \cdot L_N = C^m \cdot 10^6$$

C – základné dynamické zaťaženie

Výsledná trvanlivosť ložiska (počet cyklov):

$$L_N = \left(\frac{C}{F}\right)^m \cdot 10^6$$

Prevádzková trvanlivosť (počet hodín):

$$L_h = \frac{\left(\frac{C}{F}\right)^m \cdot 10^6}{n \cdot 60}$$

L_h – prevádzková trvanlivosť [hodinách]

n – otáčky [ot/min]



Konštruovanie strojov a strojových súčiastok

Blok č: 8

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

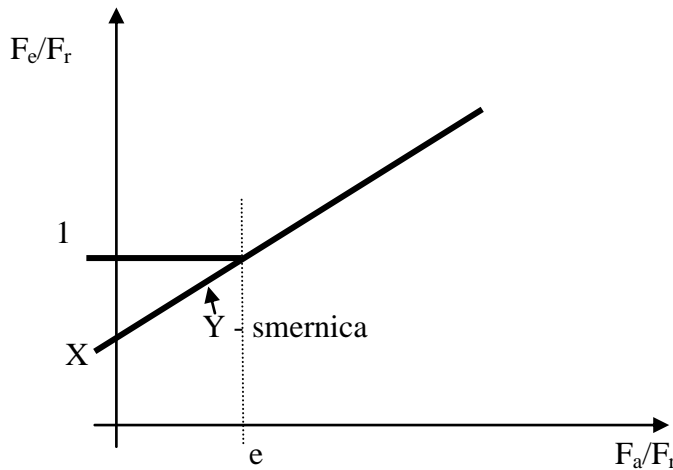
Kombinácia radiálneho a axiálneho zaťaženia ložiska

Guličkové ložisko je schopné odolávať radiálnemu zaťaženiu a axiálnemu zaťaženiu. Tieto zaťaženia je možné aj kombinovať. Ak bude F_a a F_r axiálne a radiálne zaťaženie a potom F_e označíme ako ekvivalentné radiálne zaťaženie. Podľa ISO 281:2007 je ekvivalentné radiálne zaťaženie rovnaké zaťaženie ktoré spôsobuje poškodenie ako kombinované radiálne a axiálne zaťaženie dohromady. Súčiniteľ spôsobu zaťaženia ložiska označíme V . Ak tento súčiniteľ bude $V = 1$ - tak sa otáča vnútorný krúžok, ak $V = 1,2$ - tak sa otáča vonkajší krúžok.

Teraz je možné vytvoriť dve bezrozmerné skupiny:

$$F_e / (V.F_r) \text{ a } F_a / (V.F_r)$$

Keď sa tieto dve bezrozmerné skupiny vynesú do grafu, dáta spadnú do jemnej krivky, ktorá je dobre aproximovaná dvoma priamymi segmentmi. Úsečka e je definovaná priesečníkom týchto dvoch čiar. Rovnice pre dva riadky sú:



Ako vidíme z obr., e je parameter charakterizujúci možnosť zaťaženia ložiska axiálnou silou pri statickom zaťažení, teda bez rotácie.

$$F_e / (V.F_r) = 1 \quad \text{kde} \quad F_a / V.F_r \leq e \quad (a)$$

$$F_e / (V.F_r) = X + Y.F_a / (V.F_r) \quad \text{kde} \quad F_a / (V.F_r) > e \quad (b)$$

kde, ako je znázornené X je priesečník súradnice, a Y je sklon priamky $F_a / (V.F_r) > e$.

Je možné vyjadrovať ekvivalentné dynamické zaťaženie ako jednoduchú rovnicu:

$$F_e = X_i.V.F_r + Y_i.F_a$$

kde

$$i = 1 \text{ ak } F_a / V.F_r \leq e \quad \text{a} \quad i = 2 \text{ ak } F_a / (V.F_r) > e.$$

Koeficienty X a Y závisia od geometrie a konštrukcie konkrétneho ložiska. V katalogu ložísk alebo v strojníckych tabuľkách je možné vyhľadať hodnoty X_1 , Y_1 , X_2 a Y_2 ako funkcie e , ktorá je zase funkciou F_a / C_0 , kde C_0 je základná statická únosnosť.

Základné statické zaťaženie je zaťaženie, ktoré spôsobí celkovú trvalú deformáciu v obežnej dráhe a valivom telese v ktoromkoľvek kontaktnom bode ako 0,0001-násobku priemeru valivého prvku. Základná statická únosnosť je v publikáciách výrobcov ložísk zvyčajne uvedená v tabuľkách spolu so základnou dynamickou únosnosťou C_{10} . Pozri Strojnícke tabuľky alebo katalóg ložísk.

V týchto rovniciach je súčiniteľ V použitý na korekciu podmienok rotácie krúžku. Súčiniteľ $V = 1,2$ pre rotáciu vonkajšieho krúžku je iba konštatovaním, že za týchto podmienok sa znižuje únavová životnosť.



Konštruovanie strojov a strojových súčiastok

Blok č: 8

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

Samonastavovacie ložiská sú výnimkou: majú $V = 1$ na otáčanie ktoréhokoľvek z krúžkov. Pretože ihličkové alebo valčekové ložiská nie sú schopné renášať žiadne axiálne zaťaženie resp. len veľmi malé, bude súčiniteľ Y pr nich vždy nulový.

Tabuľka

	F_a/C_0	e	$F_a/(VF_r) \leq e$		$F_a/(VF_r) > e$	
			X_1	Y_1	X_2	Y_2
Ekvivalentného radiálneho zaťaženia v závislosti od súčiniteľov guľičkového ložiská	0.014*	0.19	1.00	0	0.56	2.30
	0.021	0.21	1.00	0	0.56	2.15
	0.028	0.22	1.00	0	0.56	1.99
	0.042	0.24	1.00	0	0.56	1.85
	0.056	0.26	1.00	0	0.56	1.71
	0.070	0.27	1.00	0	0.56	1.63
	0.084	0.28	1.00	0	0.56	1.55
	0.110	0.30	1.00	0	0.56	1.45
	0.17	0.34	1.00	0	0.56	1.31
	0.28	0.38	1.00	0	0.56	1.15
	0.42	0.42	1.00	0	0.56	1.04
	0.56	0.44	1.00	0	0.56	1.00

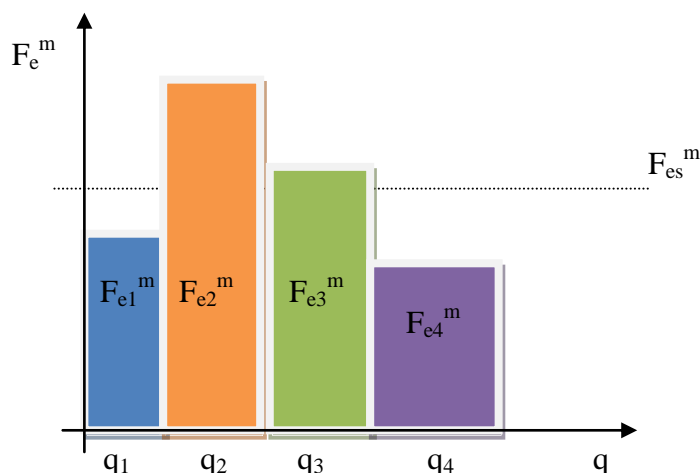
*Use 0.014 if $F_a/C_0 < 0.014$.

Zaťaženie ložísk premenlivým zaťažením

Mnohé z prevádzkovaných rotačných systémov sú také ktorých prevádzkový stav nie je konštantný. Nastávajú tri základné prevádzkové stavy:

1. Prevádzky pri konštantných otáčkach a premenlivom zaťažení.
2. Prevádzka pri konštantnom zaťažení a premenlivých otáčkach.
3. Prevádzka pri premenlivom zaťažení aj premenlivých otáčkach.

Aby bolo možné určiť životnosť ložiska je potrebné aproximovať premenlivý charakter zaťaženia na náhradnú hodnotu (strednú) ktorá spôsobí rovnako veľké zaťaženie ako by spôsobilo premenlivé zaťaženie.



$q_1 \dots q_k$ – podiel čiastkového pôsobenia zaťaženia $q_1 + q_2 + \dots + q_k = 100\%$

F_{es}^m – stredné nepremenlivé ekvivalentné zaťaženie ktorým nahrádzame pôsobenie premenlivého ekvivalentného zaťaženia

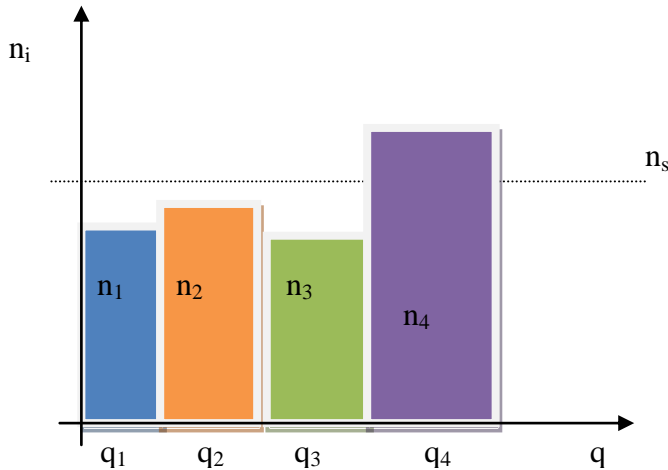
m – spôsob zaťaženia ložiska

k – počet zmien



$$F_{es} = \sqrt[m]{\sum_{i=1}^k F_{ei}^m \cdot \frac{q_i}{100}}$$

Ak sa mení len frekvencia otáčania a zaťaženie je konštatné



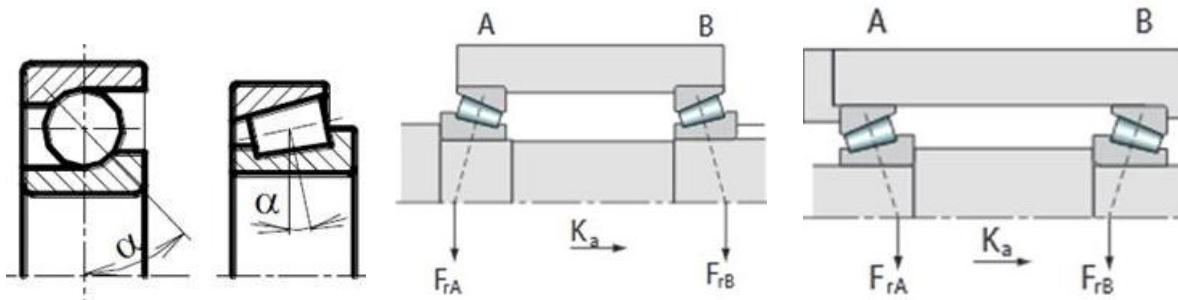
$$n_s = \sum_{i=1}^k n_i \cdot \frac{q_i}{100}$$

V prípade že sa bude meniť aj zaťaženie aj otáčky

$$F_{es} = \sqrt[m]{\frac{\sum_{i=1}^k F_{ei}^m \cdot n_i \cdot q_i}{\sum_{i=1}^k n_i \cdot q_i}}$$

Zachytávanie reakcií v ložiskách

Zachytávanie síl v ložisku sa predpokladá v osi tlakového uhla a ložiska. To znamená, že v prípade guľčkových, valčekových, ihličkových a súdkových ložísk je to spravidla v strede ložiska. V prípade guľčkových ložísk s kosouhlým stykom a kuželíkových ložísk je to podľa obr. Je dôležité voliť usporiadanie ložísk tak aby vnútorné axiálne sily ložiska boli eliminované vzájomným usporiadaním ložísk.



Back to Back alebo „O“

Face to Face alebo „X“



Trecí moment valivého ložiska

Trecí moment valivého ložiska je závislý od spôsobu mazania ložiska a od zaťaženia.

Trecí moment nezaťaženého rotujúceho ložiska môžeme vyjadriť:

$$M_{t0} = 10^{-7} \cdot f_0 \cdot (\vartheta \cdot n)^{2/3} \cdot d_s^3$$

ϑ – kinematická viskozita maziva pri prevádzkovej teplote

n – otáčky v min^{-1}

d_s – stredný priemer ložiska - mm

f_0 – súčiniteľ závislý od konštrukcie ložiska a od prietoku oleja

Trecí moment zaťaženého rotujúceho ložiska môžeme vyjadriť:

$$M_{t1} = f_1 \cdot \left(\frac{F_{e0}}{C_0} \right)^p \cdot f_2 \cdot F_{e0} \cdot d_s$$

F_{e0} – ekvivalentné statické zaťaženie - N

C_0 – statická únosnosť ložiska - N

p – koeficient typu ložiska

f_1, f_2 – súčinitele závisle od konštrukcie a prietoku oleja

Celkový trecí moment ložiska:

$$M_t = M_{t0} + M_{t1}$$

Za určitých predpokladov (stredné pracovné otáčky) môžeme rovnicu upraviť nasledovne:

$$M_t = f \cdot F_e \cdot \frac{d}{2}$$

F_e – ekvivalentné dynamické zaťaženie -N

d – priemer vnútorného krúžka - mm

f – súčiniteľ trenia

$f=0,0010$ – naklápacie guľčkové ložisko

$f=0,0011$ – valčekové ložisko

$f=0,0015$ – guľčkové ložisko

$f=0,0018$ – kuželíkové a súdkové ložisko

$f=0,0025$ – ihlové ložisko.

Za predpokladu že $P = M_k \cdot \omega$ dostaneme stratový výkon ložiska:

$$P_z = 5,15 \cdot 10^{-5} \cdot f \cdot F_e \cdot d \cdot n$$