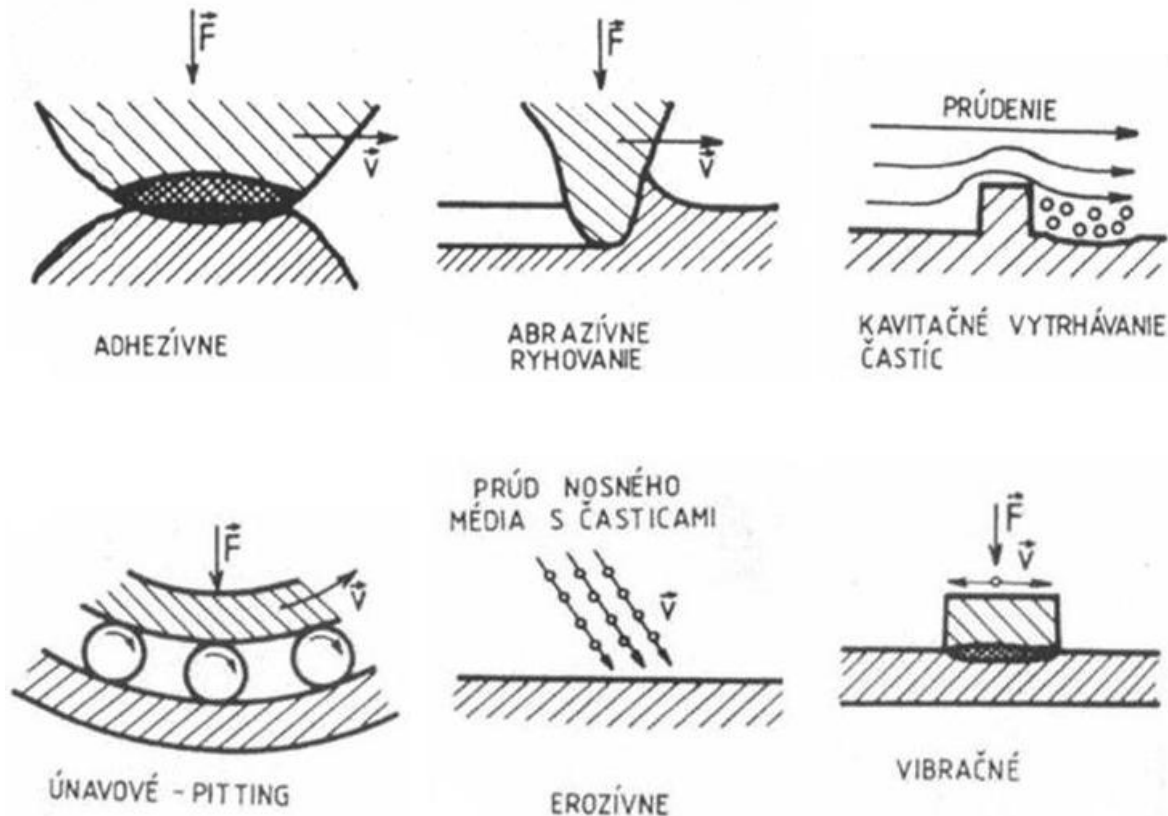




Ložiská - Klzne ložiská

Klzné ložiská sú súčiastky, ktoré vymedzujú vzájomnú polohu dvoch dotýkajúcich sa častí mechanizmu pri ich relatívnom pohybe. Tento pohyb je doprevádzaný opotrebením obr. na ktoré má priamy vplyv klzné trenie.



Obr. Klasifikácia opotrebenia podľa STN 01 5050

Opotrebenie je nežiadúca zmena povrchu alebo rozmerov tuhých telies spôsobená buď vzájomným pôsobením funkčných povrchov alebo funkčného povrchu a média, ktoré opotrebenie vyvoláva.

Prejavuje sa odstraňovaním alebo premiestňovaním častíc hmoty z funkčného povrchu mechanickými účinkami (niekedy sprevádzanými i inými vplyvmi napr. chemickými, elektrochemickými).

Podľa STN 01 5050 opotrebenie delíme:

1) ADHEZÍVNE OPOTREBENIE – je charakterizované oddeľovaním a premiestňovaním častíc materiálu v miestach, v ktorých dochádza pri vzájomnom pohybe k tesnému priblíženiu stykových plôch. Častice vytrhávané z materiálu môžu naspäť priľnúť k 1. alebo 2. funkčnému povrchu alebo pohybovať sa medzi funkčnými povrchmi.

Adhezívne opotrebenie je najčastejším spôsob opotrebenia súčiastok. Prejavuje sa ako zadretia. Preto na adhezívne opotrebenie má zásadný vplyv prítomnosť maziva medzi



Konštruovanie strojov a strojových súčiastok

Blok č: **8B**

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

funkčnými plochami. Ak hrúbka maziva prekročí súčet najväčších výšok nerovností oboch povrchov – proces adhezívneho opotrebenia zaniká.

2) ABRAZÍVNE OPOTREBENIE – je charakterizované oddeľovaním častíc z funkčného povrchu účinkom tvrdého a drsného povrchu druhého telesa.

Typickým poškodením povrchu pri abrazívnom opotrebení sú ryhy. Opotrebenie je tým menšie, čím je tvrdší funkčný povrch.

3) EROZÍVNE OPOTREBENIE – je charakterizované oddeľovaním častíc a poškodzovaním funkčného povrchu časticami, ktoré sú nesené prúdom pary, kvapaliny alebo plynu.

Pre erozívne opotrebenie je typické nerovnomerné poškodenie povrchu a jeho zvlnenie, čo je spôsobené turbulenciou (vírením) média.

Na erozívne opotrebenie vplýva:

- rýchlosť, teplota, chemické zloženie média
- veľkosť, tvar, mechanické vlastnosti, uhol dopadu častíc na povrch súčasti

Vyskytuje sa napr. na funkčných plochách armatúr, lopatkách turbín...

4) KAVITAČNÉ OPOTREBENIE – je charakterizované oddeľovaním častíc a poškodzovaním povrchov súčiastok v prostredí prúdiacej kvapaliny.

Kavitačné opotrebenie sa vyskytuje napr. na lopatkách vodných turbín, na lodných skrutkách, v potrubiach. Napr. v mieste zníženia profilu potrubia pri poklese tlaku kvapaliny môže vzniknúť dutina (kavita). Pri zániku dutiny (implózia) kvapalina vniká do nej veľkou rýchlosťou. Ak vznik a zánik dutiny nastane blízko steny potrubia, urýchlená kvapalina na ňu naráža a vytrháva mikročastice materiálu zo steny potrubia, čím na stenách potrubia spôsobuje jamky a trhliny. Pre kavitačné opotrebenie je charakteristické hubovité rozrušovanie povrchov.

5) ÚNAVOVÉ OPOTREBENIE – je charakterizované kumuláciou (hromadením) poškodenia v povrchovej vrstve materiálu pri cyklickom namáhaní. V povrchovej vrstve, napr. v mieste oslabenia prierezu, vznikne trhlina, ktorá sa opakovaným cyklickým namáhaním šíri, až dôjde k únavovému lomu.

Únavové opotrebenie sa vyskytuje napr. u ozubených kolies alebo ložísk.

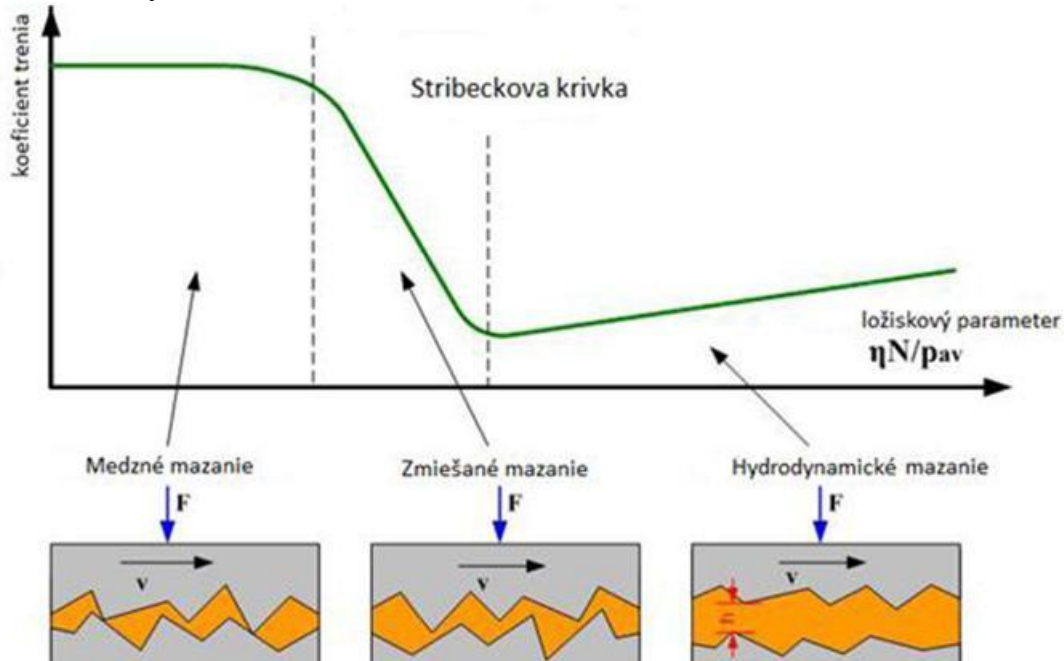
PITTING – vyskytuje sa u valivých ložísk. Je to zvláštny prípad opotrebenia ložiska otlačením pri jeho preťažení. Dôjde k prelomeniu povrchových vrstiev, k ich vzájomnému posunutiu voči sebe a k ich mikroskopickému zavareniu (vplyvom tepla, ktoré pri tom vznikne). Po oddialení častíc od seba dôjde k roztrhaniu zavarených vrstiev a k poškodeniu povrchu medzi vnútorným krúžkom ložiska a valivým telesom.

6) VIBRAČNÉ OPOTREBENIE – je charakterizované oddeľovaním častíc a poškodzovaním povrchov súčastí vplyvom vzájomných kmitavých pohybov funkčných povrchov telies.

Vibračné opotrebenie sa vyskytuje napr. u súčastí s posuvným uložením (hriadeľ a valivé ložisko)



Pri relatívnom pohybe môžu vznikáť tieto druhy klzného trenia o ktorých nám pojednávajú aj Stribeckové krivky obr.



Obr.

Veličiny na ktorých súčiniteľ trenia závisí, sú zhrnuté do ložiskového parametru. Vystupujú v ňom veličiny, η – dynamická viskozita maziva, ω – uhlová rýchlosť otáčania čapu a p_{av} – merné zaťaženie klznej plochy.

1. **Suché trenie.** Vzniká pri relatívnom pohybe klzných plôch bez maziva. Z technického hľadiska sa sem zaraďujú aj prípady, keď na klzných plochách je nanosené tuhé mazivo (napr. grafit). Vznik suchého trenia sa snažíme obmedziť.

2. **Medzné trenie.** Tento druh trenia je určitou fázou polosuchého trenia. Pri tomto trení vrstva maziva nemá dostatočnú hrúbku, dochádza ku kontaktu vrcholkov stykových plôch a teda ku treniu kovu. Súčiniteľ trenia bude nižší o jeden rád ako pri suchom trení, ale opotrebenie bude nižšie 3 až 5 – násobne. V tomto prípade sa mazivo nechová ako Newtonovská kvapalina, ale podľa teórie viskoelasticity.

3. **Zmiešané trenie.** Vzniká pri relatívnom pohybe klzných plôch, ak hrúbka mazacej vrstvy nestačí na ich úplné oddelenie, takže v určitých miestach dochádza k priamemu dotyku povrchových nerovností.

4. **Kvapalné trenie.** Vzniká pri relatívnom pohybe klzných plôch, ktoré sú od seba úplne oddelené vrstvou maziva. K treniu dochádza vo vrstve maziva. Na vytvorenie mazacej vrstvy sa využívajú všetky druhy skupenstva látok – kvapalné, plynné, tuhé.

Mazanie klzných ložísk

Použitie maziva pri prevádzke klzných ložísk slúži na zníženie súčiniteľa trenia medzi trecími povrchmi. Napomáha tiež chladeniu povrchov a chráni ich pred opotrebením.

Režimy mazania:

- hydrodynamické
- elastohydrodynamické
- hydrostatické
- medzné

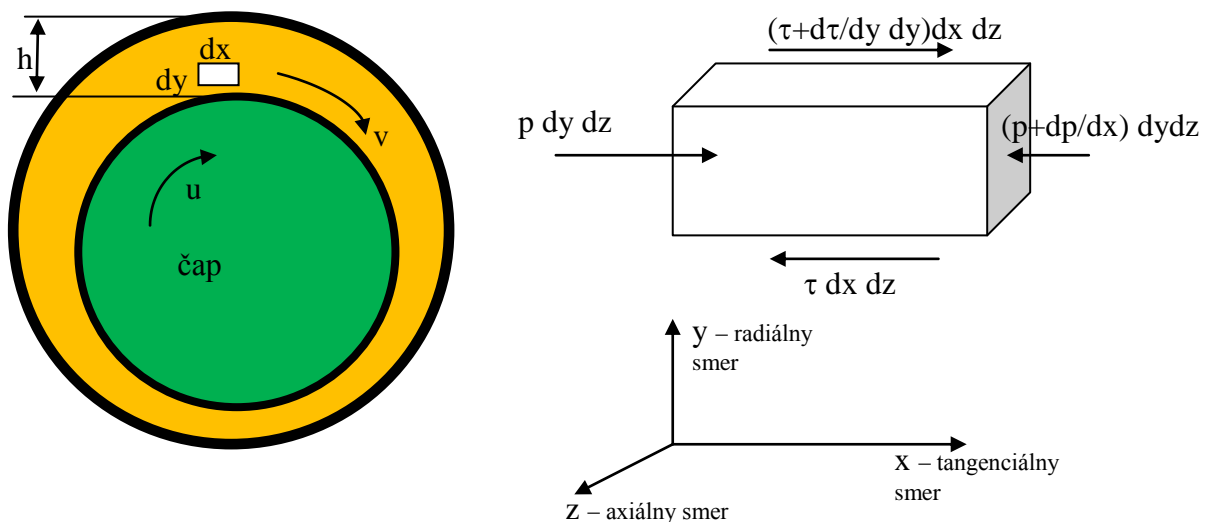


•tuhými mazivami

Hydrodynamické mazanie

Hydrodynamické mazanie vyžaduje nepretržitú dodávku maziva, ktoré však nemusí byť pod tlakom. Medzi povrchni je pomerne hrubá vrstva maziva, ktorá zabraňuje ich vzájomnému styku. Základom je vytvorenie tlaku v mazive, pomocou relatívneho pohybu trecích povrchov, ktorý ho vtáhuje do klinovej medzery. Vzniknutý tlak vo vrstve umožňuje ložisku prenášať zaťaženie. Základnými vlastnosťami je viskozita maziva, ktorá rozhoduje o prúdení v mazacej vrstve, a absorpcia. Tá je zodpovedná za príľnutie tenkej vrstvy maziva na klzných povrchoch, medzi ktorými prúdi samotná mazacia vrstva. Vzniku hydrodynamického mazania napomáha vhodná rýchlosť trecích povrchov, ich geometrický tvar a správna viskozita maziva.

Základy teórie hydrodynamického mazania položil p.Reynolds. Reynoldsova rovnica popisuje rozdelenie tlaku v klinovej medzere medzi trecími povrchni. Ide o diferenciálnu rovnicu, ktorá dodnes budí záujem mnohých vedcov a tvorí základ problematiky mazania.



Bude zavedených niekoľko zjednodušujúcich predpokladov, nutných pre odvodenie Reynoldsovej rovnice.

- Objemové sily sa zanedbávajú – na kvapalinu nepôsobia žiadne vonkajšie silové polia
- Tlak je v celom filme rovnaký – pretože hrúbka hydrodynamického filmu sa pohybuje v rozmedzí niekoľkých mikrometrov
- Nedochoádza k sklzu v medznej oblasti – rýchlosť príľahlej olejovej vrstvy, je rovnaká ako rýchlosť medznej vrstvy
- Mazivo je považované za Newtonovskú kvapalinu – platia isté výnimky, hlavne pri polymérnych olejoch
- Prúdenie je laminárne – výnimkou sú veľké ložiská, napríklad pri turbínach
- Zotrvačnosť kvapaliny je zanedbávaná – platí pre malé rýchlosti alebo vysoké zaťaženia
- Hustota kvapaliny sa nemení – platné hlavne pre kvapaliny s nízkou tepelnou



Konštruovanie strojov a strojových súčiastok

Blok č: **8B**

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

rozťažnosťou, avšak neplatí pre plyny

- Vo vytvorenej mazacej vrstve je viskozita rovnaká – hrubý a neplatný predpoklad, avšak potrebný na zjednodušenie výpočtov.

Pre silovú rovnováhu v osi x musí platiť:

$$\sum F_x = p \cdot dydz - \left(p + \frac{dp}{dx} dx\right) dydz - \tau dx dz + \left(\tau + \frac{d\tau}{dy} dy\right) dx dz = 0$$

Kde:

τ – šmykové napätie v kvapaline

p – tlak v kvapaline

Šmykové napätie je definované dynamickou viskozitou:

$$\tau = \eta \cdot \frac{dv}{dy} = \eta \cdot \frac{u}{h}$$

Kde:

η – dynamická viskozita

u – obvodová rýchlosť čapu

h – hrúbka maziva

Rýchlosť maziva vo vzdialenosti y bude:

$$v = \frac{1}{2\eta} \cdot \frac{dp}{dx} (y^2 - h \cdot y) + \frac{u}{h} \cdot y$$

Po integrácií dostaneme objemový prietok maziva:

$$Q = \int_0^h v \cdot dy = \frac{u \cdot h}{2} - \frac{h^3}{12\eta} \cdot \frac{dp}{dx}$$

Za podmienky nestlačiteľného maziva bude prietok vo všetkých miestach rovnaký a môžeme napísať Reynoldsovú rovnicu pre jeden smer prúdenia:

$$\frac{dQ}{dx} = 0 \Rightarrow \frac{d}{dx} \cdot \left(\frac{h^3}{\eta} \cdot \frac{dp}{dx} \right) = 6u \cdot \frac{dh}{dx}$$

Ak budeme uvažovať aj s bočným vtokom maziva bude mať Reynoldsová rovnica tvar:

$$\frac{\partial}{\partial x} \cdot \left(\frac{h^3}{\eta} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \cdot \left(\frac{h^3}{\eta} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 6u \cdot \frac{\partial h}{\partial x}$$

Hrúbka mazacej vrstvy:

$$h = \frac{x^2}{2 \cdot Rx} + h_0$$

Kde:



Konštruovanie strojov a strojových súčiastok

Blok č: **8B**

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

Rx – redukovaný polomer zaoblenia odvaľujúcich sa častí

Pre valenie guľových plôch po sebe

$$\frac{1}{Rx} = \frac{1}{Rx_1} + \frac{1}{Rx_2}$$

Pre valenie menšej gule vo vnútry guľovej plochy:

$$\frac{1}{Rx} = \frac{1}{Rx_1} - \frac{1}{Rx_2}$$

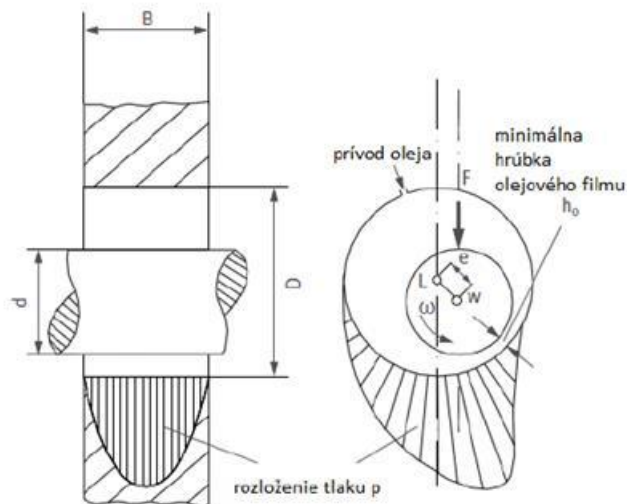
Minimálna hrúbka mazacej vrstvy je závislá od drsnosti povrchov pohybujúcich sa častí. Odporúčaná minimálna hodnota mazacej vrstvy:

$$h_o \geq 4,44 \cdot \sqrt{R_{a1}^2 + R_{a2}^2}$$

Kde:

R_{a1}, R_{a2} – drsnosť povrchu pohybujúcich sa častí stanovená metódou Ra.

Tlak vytvorený za prevádzky v oleji, musí byť dostatočný, aby zniesol zaťaženie hriadeľa bez priameho kontaktu klzných povrchov. Voľba správneho materiálu klzných ložísk je vždy určitým kompromisom. Je snaha vhodne využiť fyzikálno - chemické vlastnosti materiálov a ich najlepšiu kombináciu.



Prípustné zaťaženie, ktoré je schopné ložisko uniesť, sa získa pomocou integrácie tlaku po obvode ložiska. Sily pôsobiace v hydrodynamickom mazacom filme sa rozkladajú na dve zložky. Prvá pôsobí pozdĺž línie hriadeľa a puzdiel. Druhá zložka má smer normály k stredovej línii. Celková únosnosť ložiska je potom spočítaná vektorovým súčinom týchto dvoch zložiek a vyjadruje ju tzv. Sommerfeldové číslo.

Jeho vyjadrenie je možné aj pomocou geometrických a prevádzkových parametrov ložiska, čo umožňuje jednoduchý výpočet pre rôzne druhy ložísk. Toto číslo je bezrozmerné a ide o podstatný parameter vyjadrujúci charakteristiku záťaže ložiska, na základe jeho hlavných parametrov.



$$S_{oD} = \frac{F_r \cdot \psi_e^2}{B \cdot d \cdot \eta \cdot \omega^*} = \frac{p_m \cdot \psi_e^2}{\eta \cdot \omega^*}$$

Relatívna ložisková vôľa:

$$\psi_e = \frac{D - d}{D}$$

Hydrodynamický účinná uhlová rýchlosť:

$$\omega^* = \omega_H + \omega_P - 2\omega_F$$

Dynamický viskozita:

$$\eta = \nu \cdot \rho$$

Kde:

ν - kinematická viskozita

ρ - hustota

Elastohydrodynamické mazanie

Elastohydrodynamické mazanie je režim, ku ktorému dochádza napríklad u spoluzaberajúcich kolies alebo valivých ložísk. Vzájomným odvalom trecích povrchov dochádza medzi nimi ku vťahovaniu maziva. Ide o kombináciu Hertzovej teórie kontaktu elastických telies, s teóriou hydrodynamického mazania. Patrí medzi kvapalinové mazania.

Predpokladáme pružné telesá a pri zvyšujúcich sa tlakoch zmenu viskozity, potom:

$$\eta = \eta_0 \cdot e^{\alpha \cdot p}$$

Kde:

α - tlakový súčiniteľ oleja

Za predpokladu, že sa nezmení hustota ρ , môžeme napísať Reynoldsovú rovnicu:

$$\frac{\partial}{\partial x} \cdot \left(\frac{h^3}{\eta} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \cdot \left(\frac{h^3}{\eta} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 12 \cdot \left[u \cdot \frac{\partial h}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial h}{\partial z} \right]$$

v - rýchlosť v rovine kolmej

Riešenie pre určenie minimálnej hrúbky maziva H_o , môžeme dostať v tvare:

$$H_o = 3,63 \cdot U^{0,68} \cdot G^{0,49} \cdot W^{-0,0738} \cdot (1 - e^{-0,68 \cdot k'})$$

Kde:

$$H_o = \frac{h_o}{R_x}$$

Bezrozmerná veličina zaťaženia:

$$W = \frac{F}{E' \cdot R_x^2}$$

Bezrozmerná veličina materialu:

$$G = \frac{E'}{p_{ivis}}$$

E' - redukovaný modul pružnosti

p_{ivis} - izoviskózný asymptotický tlak



Parameter rýchlosti:

$$W = \frac{v \cdot \eta_0}{E' \cdot R \chi}$$
$$v = \sqrt{u_s^2 + v_s^2}$$

u_s, v_s – stredné rýchlosti

a, b – polomery elipsy Hertzových tlakov, ak pôjde o čiarový dotyk potom $a = \infty$

$$k' = \frac{a}{b}$$

Pre praktické aplikácie je vhodné vyjadriť parameter mazania:

$$\lambda = \frac{h_0}{1,11 \cdot \sqrt{R_{a1}^2 + R_{a2}^2}}$$

Pre $h_0 = 0,6$ bude platiť:

$\lambda > 4$ – súvislá vrstva maziva

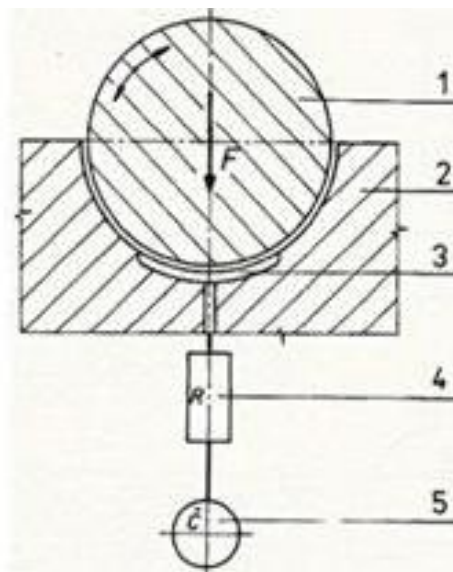
$\lambda = 1$ až 4 – pretrhovaná vrstva maziva

$\lambda = 1$ – začínajúci dotyk nerovnosti povrchov

$\lambda < 1$ – strata mazania

Hydrostatické mazanie

Hydrostatické mazanie spočíva vo vytvorení mazacieho filmu medzi trecími povrchmi mazivom, privádzaným pod dostatočne vysokým tlakom. Z toho vyplýva, že na rozdiel od hydrodynamického mazania, nie je nutný relatívny pohyb trecích povrchov. Nachádza využitie u ložísk s malými, prípadne nulovými rýchlosťami a v aplikáciách s potrebou čo najnižšieho súčiniteľa trenia. Nevýhodou je potreba externého mechanizmu na dodávanie a tlakovanie maziva obr.

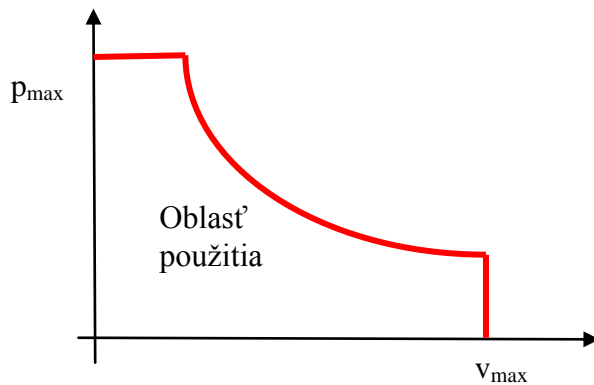


1 – ložiskový čap, 2- ložisková panva, 3 – akumulátor maziva, 4 – tlakový regulátor, 5 – čerpadlo

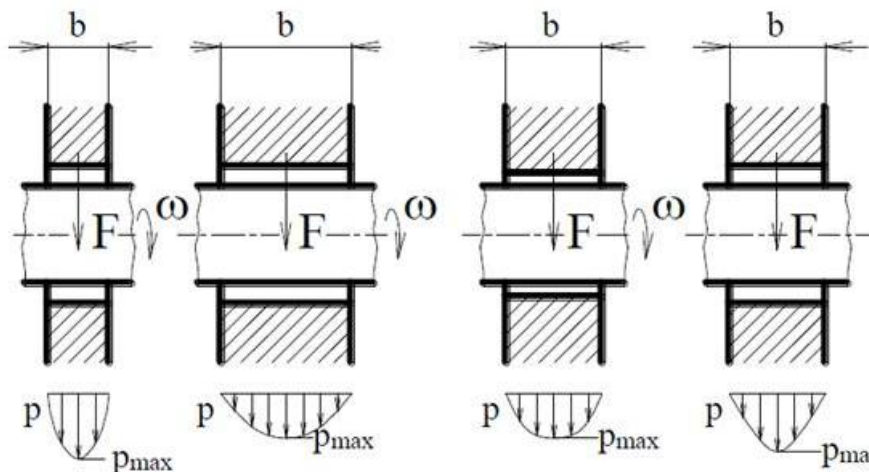
Medzné mazanie

Medzné mazanie nastáva pri pretrhnutí mazacieho filmu, kedy sú povrchové nerovnosti oddelené len hrúbkou niekoľkých molekúl maziva. Môže ho spôsobiť zvýšenie zaťaženia, pokles viskozity, alebo zníženie rýchlosti trecích povrchov. Pokiaľ nastane tento režim, viskozita už nehrá hlavnú úlohu, ale záleží na chemických vlastnostiach materiálov a maziva. Medznému mazaniu predchádza tzv. zmiešané mazanie, ktoré vlastnosťami leží medzi hydrodynamickým a medzným mazaním.

Pri aplikáciách sa používa medzný tlak p_m a použitie je obmedzené p_{max} a maximálnou rýchlosťou v_{max} , podľa obr.



Ako môžeme vidieť na nasledujúcom obr. na priebeh a veľkosť medzného tlaku ma vplyv aj tvar a dĺžka hriadeľového čapu. Je dôležité aby hriadeľový - ložiskový čap bol navrhnutý tak, aby rozloženie tlaku bolo rovnomerné po jeho dĺžke a nevznikali hranové napätia.



Obr. Priebeh tlaku v ložiskovom čape



Mazanie tuhými mazivami

Mazanie tuhými mazivami ako grafit alebo disulfid molybdeničitý, sa používa pri ložiskách pracujúcich za extrémnych teplôt. Patria sem aj tzv. samomazané ložiská, v oblasti ktorých stále prebieha výskum a hľadajú sa kompozitné materiály s nízkymi hodnotami súčiniteľa trenia a opotrebenia. Pre zabezpečenie distribúcie tuhého maziva do ložísk sa používajú rôzne typy mazníc obr.



Obr. Mazacie prvky a zariadenia pre distribúciu tuhého maziva k ložisku

Základné konštrukcie kĺzných ložísk

Na základe uvedených predchádzajúcich informácií je možné z hľadiska funkčnosti zhotoviť nasledovné druhy ložísk:

1. Samomazané ložiská s tuhými mazivami – vo svojej štruktúre obsahujú mazivo (grafit, MoS_2)
2. Samomazané pórovité ložiská – nasýtené mazivom, zvyčajne sa vyrábajú práškovou metalúrgiou a následne sa nasýcajú mazivom.
3. Ložiska s obmedzeným mazaním – pracujú v podmienkach zmiešaného alebo medzného trenia.
4. Ložiska s hydrostatickým mazaním
5. Ložiská s hydrodynamickým mazaním
6. Hybridné ložiská – kombinácia hydrostatického a hydrodynamického mazania
7. Magnetické a elektrostatické ložiská – v súčasnosti stále viac aplikačných prípadov.