

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



**Snižování pasivních odporů ve strojích a zařízeních
v technické praxi**

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Pavel Cyrus, CSc.

Autor bakalářské práce: Bohumil Pechr

Praha 2011

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra mechaniky a strojnictví

Akademický rok 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Bohumil Pechr

obor Silniční a městská automobilová doprava

Vedoucí katedry Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu ČZU v Praze
čl. 16 určuje tuto bakalářskou práci.

Název práce: **Snižování pasivních odporů ve strojích a
zařízeních v technické praxi**

Osnova bakalářské práce:

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Literární rešerše
4. Závěr
5. Seznam literatury
6. Přílohy

Rozsah hlavní textové části: 30 - 40 stran

Doporučené zdroje:

Brendl,H. Tribotechnika. Praha SNTL 1984, 297 s.

Vocel,M., Dufek,V. Tření a opotřebení strojních součástí.

Praha SNTL 1976, 374 s.

www.tribotechnika.sk (TriboTechnika - časopis)

www.paramo.cz (Tribotechnické informace)

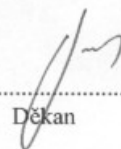
Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Pavel Cyrus, CSc.**

Termín zadání diplomové práce: listopad 2009

Termín odevzdání bakalářské práce: duben 2011



Vedoucí katedry



Děkan

V Praze dne: 30. 11. 2009

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval sám pod vedením prof. Ing Pavla Cyruse, CSc. a použil jen pramenů citovaných v seznamu literatury.

V Praze dne 6.4.2011

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce prof. Ing. Pavlu Cyrusovi, CSc. za vedení této práce a za odborné a věcné připomínky k této práci.

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá snižováním pasivních odporů, tedy tření a opotřebením. Pozornost věnuji teoretickým základům těchto jevů. Rozebírám problematiku mazání, uvádím druhy olejů a plastická maziva. Ukazuji na důležitost výběru vhodných materiálů a úpravu jejich povrchů. Popisuji převod smykového tření na valivé. V závěru práce jsem nastínil problematiku speciálních magnetických ložisek.

Klíčová slova

Tření, opotřebením, mazání, materiál, povrch, ložiska

Reduction of passive resistance in machines and equipment in technical practice

Annotation

This bachelors thesis deals with pasive resistivity reduction, namely fiction and attrition. I pay to theoretical basis of these effects. Questions of lubrication, sort of oils and plastic lubricants are featured in this thesis. I show importace of proper material choice and modifications of its surface. I describe sliding friction to rolling fiction transformation. In the end of thesis I show questions of special magnetic bearings.

Key words

Friction, attrition, lubrication, material, surface, bearings

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíl práce a metodika	1
3. Řešení	2
3.1 Tření	2
3.1.2 Druhy tření	2
3.1.3 Vliv povrchu na tření.....	4
3.2 Opotřebení.....	5
3.3 Mazání.....	11
3.3.1 Všeobecně	11
3.3.2 Ropné oleje.....	13
3.3.2.1 Motorové oleje (oleje.cz + PaM).....	14
3.3.2.2. Převodové oleje	18
3.3.3. Plastická maziva	20
3.3.3.1 Složení plastických maziv	21
3.4 Použití vhodných materiálů.....	24
3.4.1 Fyzikální a mechanické vlastnosti.....	25
3.4.2 Kluzné a třecí vlastnosti	26
3.4.3 Vhodné materiály	26
3.4.3.1 Materiály pro kluzná ložiska	26
3.4.3.2 Materiály hřídelů.....	27
3.4.3.3 Další důležité skupiny materiálů	28
3.4.3.4 Nekovové kluzné materiály.....	29
3.5 Převod tření na valení.....	29
3.5.1 Valivá ložiska	30
3.6 Další zlepšení podmínek tření	31
3.7 Bezkontaktní styk.....	33
4. Závěr	35
Použitá literatura:	36
Seznam tabulek	38
Seznam obrázků	38
Přílohy	1

1. Úvod

Snižováním pasivních odporů se rozumí snižování tření a opotřebování součástí. To je důležité v technické praxi, neboť těmito odpory dochází k energetickým ztrátám, především mechanických, ty se mění v teplo a tím se snižuje účinnost stroje či zařízení. Proto je snahou tyto odpory co nejvíce snížit, aby se předešlo zbytečným ztrátám.

Tato snaha má i ekonomické hledisko. Tření vede k opotřebování součástí stroje a zařízení, které se následně musí buď opravit, nebo celé vyměnit. To není žádoucí a může se to výrazně promítnout do nákladů podniku, který stroj vlastní. Jsou případy, kdy oprava poškozeného stroje stála více, než byla pořizovací cena daného stroje.

Tyto ztráty se dají účinně snižovat použitím mazacích prostředků, výběrem vhodných kluzných materiálů, nebo převést smykové tření na valivé. Ve speciálních případech se dá použít magnetismu, kde ke styku dvojic materiálů nedochází vůbec.

2. Cíl práce a metodika

Cílem práce je vytvořit ucelený náhled na problematiku snižování pasivních odporů ve strojích a zařízeních v technické praxi, tedy snižování účinků tření a opotřebení. Dále popsat druhy tření, mechanické pochody, které se při tření dějí, druhy opotřebení a základní rozdělení mazacích prostředků. Zvláštní pozornost je věnována motorovým a převodovým olejům. Je zde analyzována problematika materiálů kluzných dvojic, použití kluzných a valivých ložisek. Dále práce rozebírá možnosti úprav povrchu, které vedou ke snížení tření. Na závěr se zabývá možností využít magnetická ložiska.

Pro práci byla využita literatura ze seznamu doporučené literatury. Odborné články jsem také vyhledával na internetu a použil je v práci.

3. Řešení

3.1 Tření

Tření se dá definovat jako ztráta mechanické energie v průběhu nebo na začátku, popř. na konci relativního pohybu hmotných ploch vzájemně se dotýkajících. (2, s. 13)

Jiná definice říká, že tření je odpor proti pohybu, který je způsobený tím, že těleso je potřeba pozvedávat do úrovně nejvyšších výčnělků na povrchu. Pokud je těleso v klidu, výčnělky jsou v sobě zaklíněny. (1.s. 51). Jedná se o tzv. drsnost povrchu (viz kap. 3.1.3)

3.1.2 Druhy tření

Smykové tření

Je to tření, které vzniká u těles při jejich vzájemném posuvném pohybu. Třecí síla se dá vyjádřit jako součin síly normálové a součinitele tření.

$$F_t = F_N \cdot \mu$$

Součinitel tření μ se někdy označuje také jako f .

Tab. 1 Hodnoty součinitele tření μ .

Materiály		Suché tření		Mokrý tření	
		Statické(μ_0)	kinematické(μ)	Statické(μ_0)	Kinematické(μ)
Hliník	Hliník	1,05-1,35	1,4	0,3	
Ocel	Ocel	0,78	0,42	0,05-0,11	0,025-0,12
Ocel	Olovo	0,95	0,95	0,5	0,3
Ocel	Litina	0,4		0,21	
Bronz	Litina		0,22		
Bronz	Ocel			0,16	

Zdroj: [5]

Smykové tření je pro poměrně vysoký rozsah rychlostí stejné. Pouze při uvádění těles do pohybu je smykové tření za jinak stejných podmínek větší. Rozlišuje se tedy smykové

tření statické (klidové) a kinematické. Stejně tak součinitele tření na statický μ_0 a kinematický μ .

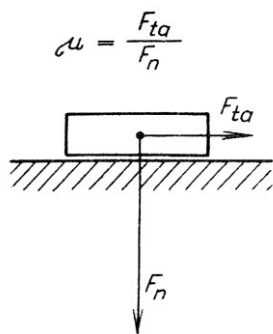
Při malých rychlostech můžeme závislost tření a rychlosti zanedbat. V tomto případě hovoříme o tzv. suchém (Coloumbově) tření.

Zákony tření:

1. Velikost třecí síly je přímo úměrná působícímu zatížení.
2. Velikost třecí síly je nezávislá na celkové ploše společného styku.
3. Třecí síla, udržující rovnoměrný, přímočarý pohyb tělesa po podložce je poněkud menší, než síla nutná k uvedení téhož tělesa do pohybu za stavu klidu. (1, s. 53-54)

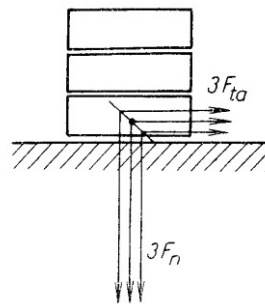
Ad 1)

Obr. 1 1. zákon tření



Zdroj: [1]

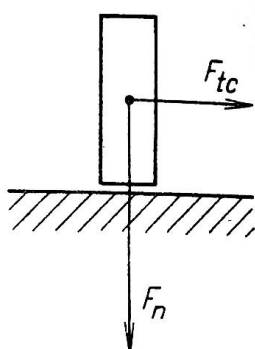
Obr. 2 2. zákon tření



Zdroj: [1]

Ad 2)

Obr. 3 3. zákon tření



Zdroj: [1]

Valivé tření

Vzniká při valivém pohybu tělesa kruhového průřezu po podložce. Valivé tření je síla, která působí proti pohybu. Při valivém tření zároveň dochází k deformaci podložky, která má za následek posunutí normálové síly proti směru pohybu. Třecí valivá síla se vyjádří:

$$F_t = \xi * F_N / R$$

Kde ξ – rameno valivého odporu (viz tab. 2)

F_n – normálová síla

R – poloměr kola

Tab. 2 Hodnoty ramena valivého odporu ξ .

Materiály		Rameno valivého odporu ξ [mm]
Nekalená ocel	Nekalená ocel	0,05 – 0,06
Kalená ocel	Kalená ocel	0,001 – 0,005
Litina	Litina	0,005 – 0,006
Pryž	Beton	1,5 – 2,5
Pryž	Asfalt	2,5 – 4,5

Zdroj: BP Fyzika tření

V příloze 1 je ukázáno, jak se mění charakter valivého tření při rovnovážném stavu a při valení se konstantní rychlostí.

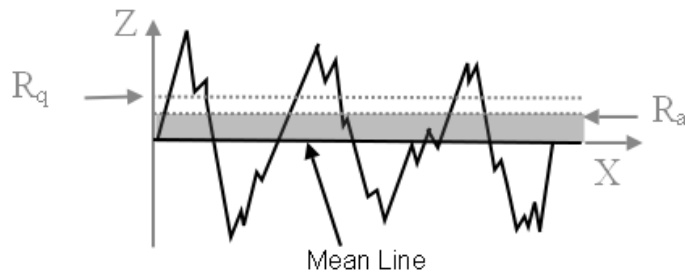
3.1.3 Vliv povrchu na tření

Žádný povrch není dokonale hladký. Jak bylo již v úvodu kapitoly, tělesa mají na povrchu výčnělky. K popisu reálného povrchu od ideálního existuje mnoho veličin. U nás se hlavně dle ČSN 01 4450 používá drsnost povrchu R_a . Tato norma dále definuje maximální výšku nerovností (výčnělku) R_{max} , výšku nerovností R_z , pro kterou je dán vztah

$$R_z = 4,5 * R_a^{0,97},$$

vlnitost, geometrický profil, skutečný profil apod.

Obr. 4 Struktura povrchu



Zdroj: [6]

3.2 Opotřebení

Opotřebení je nežádoucí změna povrchu nebo rozměrů tuhých těles, způsobená buď vzájemným působením funkčních povrchů, nebo funkčního povrchu a média, které opotřebování vyvolává. (1, s. 23)

Adhezivní opotřebení

Jak již bylo v kapitole 3.1 řečeno, povrchy těles nejsou dokonale rovné a hladké, ale tvoří je nerovnosti, výčnělky. Ke styku tedy dochází na velkém množství dotkových plošek. To je doprovázeno elastickou i plastickou deformací výčnělků.

K elastické deformaci dochází v první fázi při dotyku výčnělků. Pokud tlakové napětí dosáhne mez kluzu v tlaku σ_{kd} , dojde v povrchových vrstvách se slabšími mechanickými vlastnostmi k plastické deformaci, v jejímž průběhu se mohou porušit v oblasti dotyku povrchové vrstvy. Vlivem adhezních sil se na obnažených dotkových ploškách vytvoří mikrospoje. Tyto mikrodeformace způsobují, že povrchové vrstvy materiálu mají vyšší pevnost, než je pevnost vrstev podpovrchových.

Adhezivní opotřebení je porušení mikrospojů, které může vést k přenosu částic z jednoho povrchu na druhý.

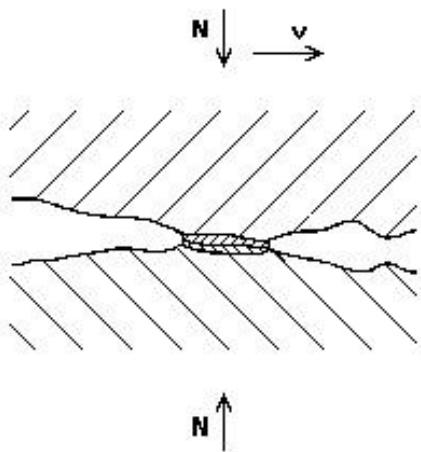
Můžeme rozlišit různou intenzitu vlastního opotřebení, na základě podmínek a intenzity působících faktorů. V podstatě jde o mírnou formu až formu intenzivní. V prvním případě jde o děj, při kterém je rychlost vzniku oxidických vrstev rychlejší, než rychlost jejich porušování. V druhém případě jde o děj s výrazným a relativním hlubokým rozrušováním

funkčních povrchů, kdy vznikají čtené částice, jejich oddělování a přenos mezi funkčními povrchy. Vyrůstá velmi silně odpor proti relativnímu pohybu, až může dojít k jeho přerušení.

Na velikost adhezivního opotřebení má vliv zejména:

- zatížení – Čím větší je zatížení, tím větší je opotřebení. Při kritickém zatížení vzroste skokově opotřebení, zároveň i drsnost stykových ploch.
- mazání – Mazivo odděluje stykové plochy a odstraňuje místní špičky napětí ve styku mikrone rovností.
- použité dvojice materiálů – Záleží na vzájemné rozpustnosti kovů v tuhém stavu a krystalové struktuře materiálů.
- výrobní technologie - Každou výrobní technologií dosáhneme jiné drsnosti materiálů, zbytkového pnutí na povrchu a charakteristického makroreliefu a mikroreliefu.
- okolní prostředí

Obr. 5 Adhezivní opotřebení



Zdroj: [7]

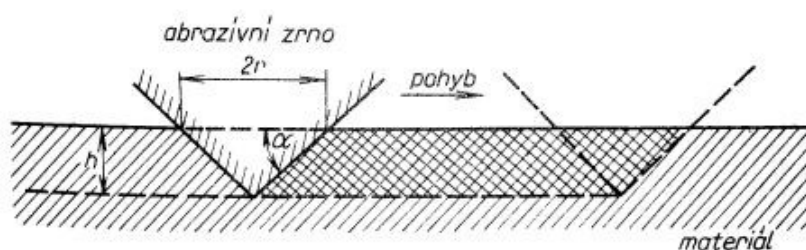
Abrazivní opotřebení

Jde o oddělování částic z funkčního povrchu účinkem tvrdého a drsného povrchu druhého tělesa, nebo účinkem abrazivních částic. Tím dochází k typickému poškození vlivem abrazivního opotřebení-rýhy.

Rozlišujeme dva případy abrazivního opotřebení. V prvním případě jde o interakci dvou těles, kdy tvrdý povrch jednoho tělesa opotřebovává povrch druhého tělesa (obr. 5). V druhém případě jde o interakci tří těles, kdy jsou mezi funkčními plochami částice, které opotřebovávají tyto plochy (obr. 6). Jde o tzv. abraziva. K tomuto opotřebení dochází prakticky u každých pohybových mechanismů, kam se můžou dostat nečistoty, které působí jako abrazivo.

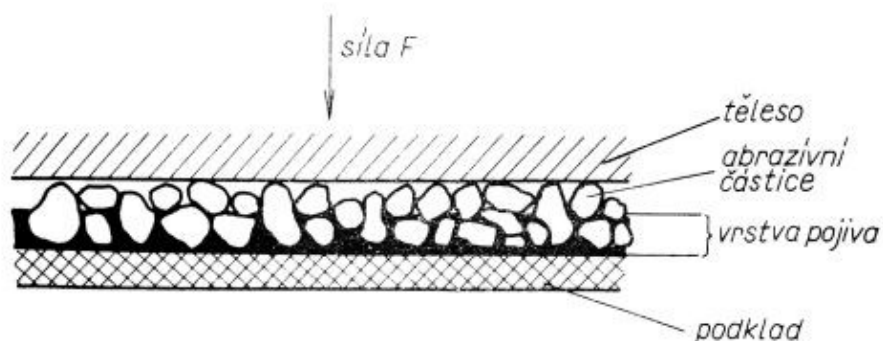
Toto opotřebení má však i své účelné využití. Např. na brusných kotoučích jsou nalepeny abrazivní částice, které obrábí broušený materiál, na němž vzniká rýhování, jehož velikost závisí na velikosti abraziv, jejich pevnosti atp.

Obr. 5 Abrazivní opotřebení – interakce 2 těles



Zdroj: [1]

Obr. 6 Abrazivní opotřebení – interakce 3 těles



Zdroj: [1]

Erozivní opotřebení

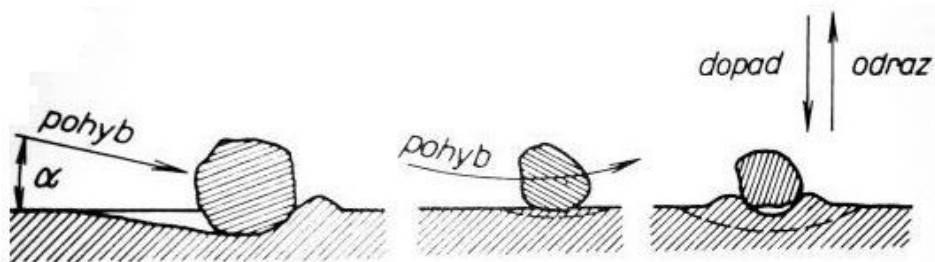
Je charakterizováno oddělováním částic a poškozováním funkčního povrchu (1, s. 32)

- částicemi nesenými proudem kapaliny
- částicemi nesenými proudem plynu
- proudem kapaliny, páry, kapek nebo plynu

Intenzita erozivního opotřebení závisí na mnoha faktorech. Zejména jde o relativní rychlost, chemické působení nosného media, teplotu, tvar, druh, velikost a tvrdost částic. Rozhodující je kinetická energie a úhel dopadu částic.

Pro erozivní opotřebení je typické nerovnoměrné porušení funkčního povrchu a často také jeho zvlnění, které je způsobeno turbulencemi proudícího media.

Obr. 7 Erozivní opotřebení



Zdroj: [1]

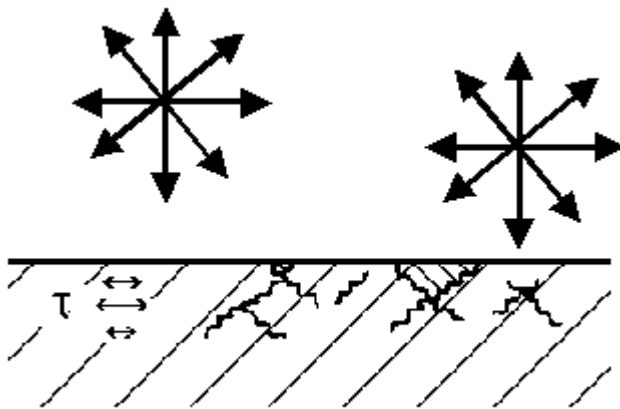
Kavitační opotřebení

Dochází k němu oddělováním částic a poškozováním povrchu součásti při zanikání kavitačních dutin kapaliny.

Kavitační dutiny vznikají, sníží-li se změnou rychlosti nebo podmínkami proudění tlak v určité oblasti kapaliny tak, že při dané teplotě se dosáhne tlaku nenasycených par. Tím se v kapalině vytvoří malé dutinky, které jsou vyplněné párami. O oblasti vyššího tlaku pak dochází k pohybu kapaliny ke středu této dutiny, nazývaném kavitační, a k zániku dutiny. Při zániku dutiny dochází k hydrodynamickým rázům, které působí na povrch součásti v její těsné blízkosti. Tento jev, od vzniku až po zánik dutin, obvykle trvá v rozmezí 10^{-2} až 10^{-3} s.

Na opotřebení nemají vliv jen samotné hydrodynamické rázy, ale i faktory chemické a elektrochemické. Vzhledem k tomu, že tlakové účinky kavitačního opotřebení mají opakující se charakter, dá se toto opotřebení aspoň částečně srovnat s únavovým opotřebením. Kavitační opotřebení je závislé na čase. V první fázi (období latence) se na povrchu poruchy kumulují, ale nedochází k oddělování částic. V další fázi pak dochází i k oddělování částic.

Obr. 8 Kavitační opotřebení

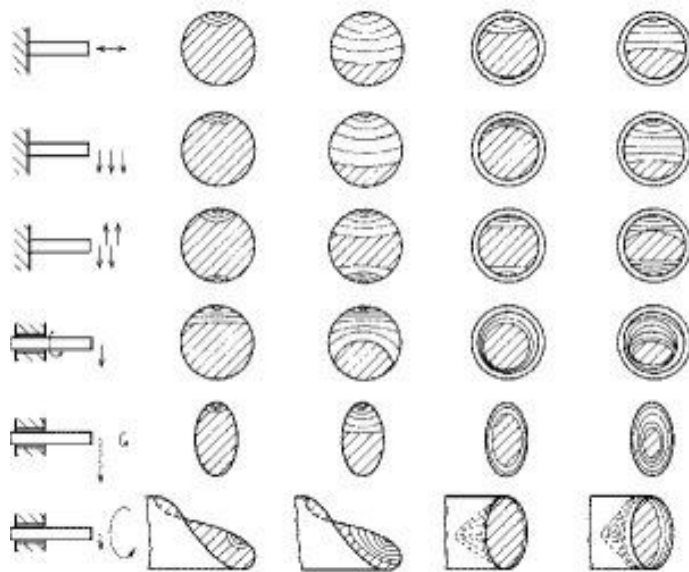


Zdroj: [7]

Únavové opotřebení

Povrch materiálu není namáhán jen opotřebením, ale je vystaven i silám proměnného charakteru, především smykovým silám. V povrchových vrstvách tak dochází k elastickým a elastoplastickým deformacím. Při dosažení určitých hodnot intenzity a četnosti těchto deformací může docházet k únavovému porušení povrchu. Toto porušení má buď nízkocyklový nebo vysokocyklový charakter. V případě nízkocyklového porušení jde o napětí (způsobující porušení) nad mezí kluzu. U vysokocyklového jde o napětí pod mezí kluzu. U křehkých nebo plastických materiálů může vlivem vysoké úrovně smykového namáhání dojít k oddělování částic mechanismem *křehkého lomu*. Toto poškození vede obvykle jen k zvýšení hlučnosti, vibrací event. k většímu odporu proti pohybu. Na druhou stranu *únavové lomy*, způsobené únavovým opotřebením, vedou ihned k poruše nebo havárii stroje (obr. 9)

Obr. 9 Schematické znázornění typických únavových lomů



Zdroj: [7]

Vibrační opotřebení

Vlivem vzájemných tangenciálních posunů funkčních povrchů součástí při působení normálového zatížení dochází k oddělování částic a poškozování povrchu materiálu. Běžné hodnoty amplitud vibračního opotřebení jsou poměrně malé, tedy 0,1 až 100 μ m. V místech, kde se stýkají mikronerovnosti, může dojít i k vytlačení nebo znehodnocení maziva, které mohlo být původně mezi nimi obsaženo.

Pro vznik vibračního opotřebení není podmínkou oxidace povrchových vrstev materiálu, i když může mít na průběh a intenzitu velký vliv.

Vzhledem k tomu, že vibrační opotřebení způsobuje narušení povrchových vrstev i u velmi tvrdých a kvalitních materiálů, může iniciovat únavové lomy (viz 3.2.5)

3.3 Mazání

3.3.1 Všeobecně

Jedním z hlavních způsobů, jak snížit tření a opotřebení součástí, je mazání. Používá se k němu různých druhů maziv. Maziva ovšem nemají jen tuto funkci. Dnešní maziva musí plnit další úkoly a požadavky:

- zajišťovat přenos sil,
- snižovat mechanické ztráty, popř. zlepšovat mechanickou účinnost,
- zlepšovat odvod tepla (chlazení),
- chránit proti korozi,
- chránit proti vnějším nečistotám,
- tlumit kmity.
- dobře ulpět na mazaném povrchu,
- odolávat co nejdéle stárnutí.

Při použití maziva se musí zohlednit mnoho faktorů. Neexistuje vyloženě dobré, nebo špatné mazivo. Pro každou situaci se hodí jiné mazivo. Optimum je dosaženo při vyladění materiálové dvojice (mazivo a materiál) včetně makrogeometrických, mikrogeometrických, kinematických, energetických a ostatních podmínek. Základní rozdělení maziv je zobrazeno v tabulce 3

Tab. 3 Základní rozdělení maziv

Plynná	Kapalná	Konzistentní	Pevná
Vzduch Dusík Kysličník uhličitý aj.	Ropné oleje Syntetické oleje Živočišné a rostlinné oleje Emulze Suspenze Voda	Plastická maziva na bázi a) ropných olejů b) syntetických olejů Mazací pasty Živočišné tuky	Grafit Molybdendisulfid aj. disulfidy a diselenidy Plasty Kovy Speciální anorganické sloučeniny

Zdroj: [2]

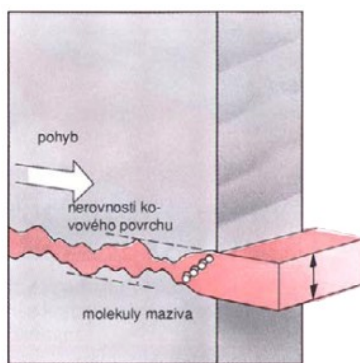
Rozlišujeme dva druhy mazání, které mohou nastat a nastávají při mazání v praxi.

Mezné mazání:

Dochází k němu, pokud je tloušťka mazivového filmu příliš malá a nedostačuje na oddělení stykových ploch. Nastává tehdy, není-li k mazání použito dostatek maziva, pokud je relativní pohyb stykových ploch příliš malý, aby vytvořil mazací film, nebo pokud je viskozita maziva příliš malá (např. vlivem teploty).

Při mezním mazání dochází k dotyku kov na kov. To způsobuje lokální svařování špiček nerovností povrchu. Tím dochází k velkému tření, opotřebení (kap. 3.2.1) a poškození povrchu.

Obr. 10 Schéma mezního mazání



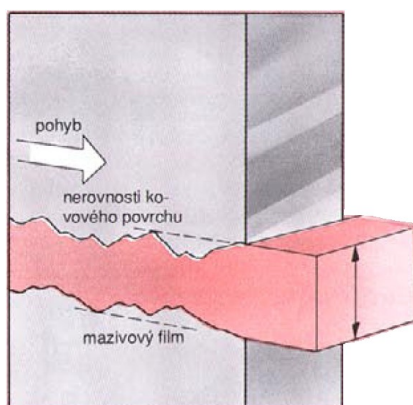
Zdroj: [15]

Hydrodynamické mazání:

Při tomto mazání jsou stykové plochy úplně odděleny mazivovým filmem. Tím je zajištěno, že nedochází ke styku kov na kov stykových ploch. Proto při tomto mazání je dosaženo menšího tření, než v případě mezního tření.

Je snaha dosáhnout tohoto druhu mazání, které tím, že nedochází k velkému opotřebení součástí, ušetří náklady na opravy, výměny součástí apod.

Obr. 11 Schéma Hydrodynamického mazání



Zdroj: [15]

Závislost koeficientu tření na relativní rychlosti ploch je znázorněn v Stribeckově diagramu v příloze 2.

3.3.2 Ropné oleje

Jsou to kapalná maziva, která se vyrábí převážně z ropy, méně často z uhlí, nebo olejových břidlic. Je to velmi složitá směs uhlovodíků, jejíž destilační křivka stále stoupá.

Podle typu vazby těchto uhlovodíků je dělíme na:

- parafiny – nasycené řetězové uhlovodíky
- nafteny nebo cykloparafiny – nasycené kruhové uhlovodíky
- aromaty – nenasycené kruhové uhlovodíky

Tab. 4 Hlavní vlastnosti nejdůležitějších uhlovodíkových skupin ropných olejů

Parafiny	Nafteny	Aromaty
Nejmenší hustota	Vyšší hustota	Největší hustota
Prodloužená oxidace, nejprve tvorba korozivních těkavých kyselin, potom viskózních rozpustných sloučenin	Oxidace bez zpoždění, nejprve tvorba málo korozivních nerozpustných látek, pak vypadávání kalů.	Značná oxidace a velké nerozpustné produkty stárnutí, malá množství aromatu slouží naproti tomu jako inhibitor oxidace.
Vyšší viskózní index	Nižší viskózní index	Velmi nízký (často negativní) viskózní index
Vysoký bod tuhnutí	Nízký bod tuhnutí	-
Vysoký bod vzplanutí, střední, zrnitý karbonizační zbytek	Nízký bod vzplanutí, menší, práškovitý karbonizační zbytek.	Nížší bod vzplanutí, velký karbonizační zbytek.

Zdroj: [2]

Při volbě maziv hledíme především na:

Viskozita

Viskozita je jednou z klíčových vlastností všech kapalin a tedy i ropných olejů. Je jedním z parametrů, který určuje průtok oleje, zatížitelnost, tloušťku mazací vrstvy, třecí ztráty, růst tepla, mechanickou účinnost a také opotřebení.

Je to vnitřní tření v kapalině. Pokud máme dvě desky a mezi nimi kapalinu, viskozita způsobuje sílu, která působí proti vzájemnému posunutí těchto desek.

Viskozitu dělíme na:

- - dynamickou
- kinematickou – je to poměr mezi dynamickou viskozitou a hustotou kapaliny.

Zavedla se z důvodu jejího jednoduššího zjištění.

3.3.2.1 Motorové oleje (oleje.cz + PaM)

Motorový olej = základový olej + přísady

Vyrábí se buď destilací ropy, nebo syntetickou cestou. Kombinací obou dosáhneme polysyntetického oleje.

Složení motorového oleje:

- řídicí složka 10-20%
- disperzant 30-40% Zabraňuje tvorbě usazenin, tvořené především za nižších provozních teplot.
- detergent 25-30% Zamezuje usazování nečistot na povrchích, popřípadě je rozpouštějí. Zajišťuje i lepší přilnavost k mazaným povrchům.
- protiotěrná přísada 10-15%
- bezpopelný inhibitor 5-15%
- modifikátor tření 1-2%

Požadavky na motorový olej:

- musí dobře ulpět na mazaném povrchu
- odolávat smykovým silovým polím
- dobře odvádět provozní i třecí teplo
- chránit před korozi

- odolávat co nejdéle stárnutí
- přispívat k těsnění pístů ve válci i za vysokých teplot
- rozptylovat nečistoty vznikající otěrem a opalem (diverzanty a detergenty)
- umožňovat provoz i při extrémních teplotách
- konzervovat motor při delším odstavení z provozu

Olej naopak nesmí:

- pěnit při provozu
- vykazovat vysoké karbonizační číslo
- být agresivní na těsnící materiály

Na motorové oleje jsou kladeny další požadavky, jako např. skladovatelnost alespoň 2 roky, měl by být ekonomický v provozu (tzn. neměl by unikat netěsnostmi, nespalován), účelně balen (návod, etiketa) a také účelně značen (specifikace).

Vlastnosti, které charakterizují mazací schopnost motorového oleje:

hlavní:

- viskozita (viz. 3.3.2.1)
- maznost

ostatní:

- tepelná vodivost
- stlačitelnost

Při výběru motorového oleje se řídíme hlavně viskozitní a výkonovou specifikací. Viskozita není konstantní veličina. Během činnosti motoru dochází ke změnám teploty a tlaku, přičemž viskozita by se neměla výrazně měnit. Závislost viskozity na teplotě je dána tzv. Viskozitním indexem (VI). Čím vyšší je tento index, tím menší je závislost viskozity na teplotě. Tento index se běžně uvádí v katalozích výrobců maziv.

Pro běžné rozdělení motorových olejů se používá klasifikace **SAE** (Society of automotive Engineers). Tato klasifikace rozděluje motorové oleje do šesti zimních tříd a pěti letních tříd. Udává se číslem, které nemá vztah k žádné fyzikální veličině. Je však analogií k viskozitě, tedy čím větší číslo, tím větší viskozita. Zimní oleje se navíc označují písmenem „W“ (Winter).

Dle SAE J300:

Zimní třídy:

0W, 5W, 10W, 15W, 20W, 25W .

Vyjadřují „startovatelnost“ motoru při nízkých teplotách, tedy minimální teplotu, při které je olej dostatečně tekutý (nemá vysokou viskozitu) a bezpečně zajistí nastartování motoru. Např. olej 0W zajišťuje bezpečné nastartování při teplotách pod -50°C , olej 5W při teplotách okolo -40°C . Tato čísla jsou pouze orientační. Také závisí např. na velikosti a typu motoru.

Letní třídy:

20, 30, 40, 50, 60.

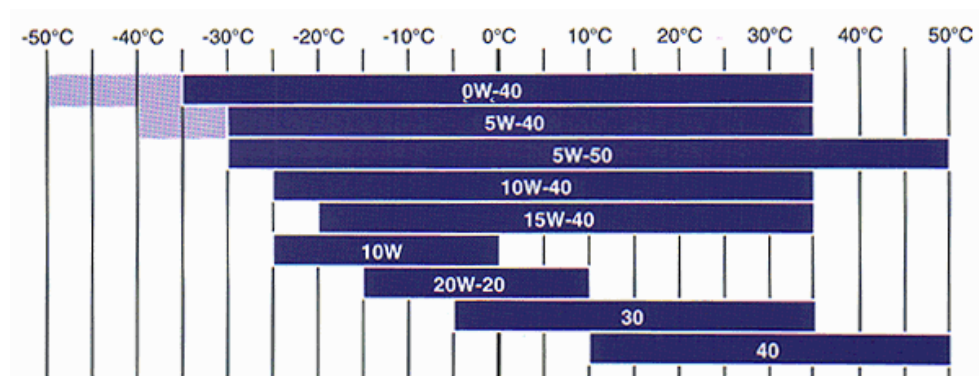
Zajišťují dostatečnou viskozitu oleje při vysokých letních teplotách. Platí, že čím vyšší číslo, tím větší teplota může být při zachování dostatečně vysoké viskozity. Nízká viskozita by mohla zapříčinit trhání mazacího filmu.

Ukázalo se, že v evropských podmínkách bohatě stačí oleje třídy 40 a 50. Použití třídy 60 může vést k mírnému poklesu výkonu.

Viskozita olejů se měří na novém, nepoužitém oleji. Ovšem po pár hodinách provozu se může jeho viskozita výrazně změnit. Intenzivním mícháním může svoji viskozitu snížit, naopak oxidací se může zvýšit. Dokonce se může stát, že se olej přesune do jiné viskozitní třídy. To může vést k většímu opotřebení mazaného stroje (motoru).

Oleje se rozdělují na jednorozsahové a vícerozsahové. Jednorozsahový motorový olej zahrnuje jen jednu viskozitní třídu (např. SAE 10W), kdežto vícerozsahové zahrnují viskozitních tříd více (např. SAE 10W-40).

Obr. 13 Doporučené viskozitní třídy SAE dle vnějších teplot (°C)



Zdroj: [8]

Výkonové specifikace:

Každý olej můžeme zařadit do skupiny podle toho, jaké zatížení dokáže snést, aniž by došlo k výraznému zhoršení jeho vlastností.

Motorové a převodové oleje se rozdělují dle evropské normy ACEA (Association des Constructeurs Européens d' Automobiles) nebo americké normy API (American petroleum institut). Výrobci automobilů požadují, aby motorové oleje vyhovovaly určité výkonové třídě dle mezinárodních norem ACEA/API, nebo případně podnikové normě. Proto výrobci olejů uvádějí u svých produktů, kterým normám produkt vyhovuje.

Výkonové třídy dle ACEA (Association des Constructeurs Européens d' Automobiles)

A – Zážehové motory

A₁ – A₅ - liší se viskozitou, intervalem výměny a také, zda se jedná o motor s přímým vstřikováním.

B – Vznětové motory osobních automobilů, dodávek a lehkých užitkových vozidel

B₁ - B₅ – stejně jako třída A

C – Zážehové a vznětové motory s částicovými filtry

C₁ – C₄ – všechny třídy kompatibilní s katalyzátorem se systémy třícestního katalyzátoru a dieslovým částicovým filtrem. Tyto oleje prodlužují životnost těchto systémů. Liší se svoji viskozitou. Třída 1 a 2 snižují spotřebu paliva.

E – Vznětové motory těžkých užitkových vozidel.

E₁ – E₇ – Všechny třídy mají dynamickou viskozitu větší jak 3,5 mPa.s. Liší se intervalem výměny oleje a zátěží, pro kterou je olej použit (vysoké až extrémně vysoké zatížení) a také použitím oleje (dieslové částicové filtry apod.).

Výkonové třídy dle API (American petroleum institute)

Základním rozdílem od rozdělení dle ACEA je, že API rozděluje mazivo dle stáří motoru.

3.3.2.2. Převodové oleje

Jsou to mazací oleje, které mají vysokou přilnavost. Slouží k mazání ozubených kol a ložisek převodovek a rozvodovek. Situace u převodových olejů není tak složitá, jako u motorových olejů (ředění apod.). Zvláštním typem převodových olejů jsou oleje pro hypoidní soukolí.

Je pro ně charakteristická vyšší viskozita, než u nejvyšší třídy motorových olejů. Se zvyšujícím se zatížením jsou kladeny větší nároky na mazací schopnost.

Požadavky na převodové oleje:

- nízká hlučnost mazané soustavy
- výborná ochrana proti korozi
- dobré vlastnosti při nízkých teplotách
- minimalizovat opotřebení převodu
- snášitelné s těsníci materiály
- schopnost konzervovat
- zajistit snadné řazení
- úspora paliva
- nízká pěnovitost
- univerzální použití

Aditiva: EP(extreme pressure) – vytvoří chemickou reakcí na povrchu vysoce odolnou vrstvu, která zamezí dotyku kov na kov při vysokých tlacích.

Protiotěrové přísady: - např. síra, fosfor

- Mají specifický zápach. Nesmí se použít jako motorový olej

Rozdělení:

1. Oleje pro manuální převody
2. Oleje pro automatické převodovky
3. Speciální oleje pro hydraulické měniče

Klasifikace převodových olejů:

Viskózní klasifikace dle SAE:

Podobně, jako u motorových olejů, je převodový olej značen číslem. Čím vyšší číslo viskózní třídy, tím má olej větší viskozitu. U každé třídy je definovaná minimální viskozita při teplotě 100°C (tzn., že i při vysokých teplotách zůstane olej dostatečně viskózní a udrží se v mazaném prostoru).

U nižších tříd se navíc olej značí písmenem "W" (Winter), které značí, že u oleje je definovaná maximální hodnota viskozity při nízkých teplotách, tedy že olej příliš nezuhne.

Podle toho, zda olej vyhovuje jedné, nebo více viskózním třídám, dělíme oleje buď na jednorozsahové, nebo vícerozsahové oleje (např. SAE 80W/90, který vyhovuje třídě 80W i 90).

Výkonová klasifikace API/GL

Tab. 5 Výkonová specifikace převodových olejů dle API/GL

Viskózní třída GL	Použití
GL-1	Pro manuální převody za nenáročných podmínek.
GL-4	Pro kuželová nebo hypoidní ozubená soukolí pracující při středním zatížení. Použití i v některých manuálních převodovkách a při spojení hnací nápravy s diferenciálním převodem.
GL-5	Pro hypoidní soukolí, pracující v různých kombinacích zátěže (vysoká zátěž x nízká rychlost, vysoký zkrut a otřesy).
MT-1	Pro nesynchronizované manuální spojky pracující při velkém zatížení. Obsahují aditiva pro extrémně vysoký tlak (EP aditiva) a pro zvýšení teplotní stability.

Zdroj: [9]

3.3.3. Plastická maziva

Tam, kde není vhodné nebo je to technicky nemožné použít mazací olej, se mohou použít plastická maziva.

Plastická maziva jsou konzistentní maziva, která se skládají asi z 80% kapalinné fáze, základního oleje a dále se zahušťovadla a aditiv.(2, s. 33)

Na plastická maziva jsou kladeny tyto požadavky (2, s. 33):

- dostatečná mechanická stálost (bez ztráty mýdlové struktury)
- dobrá teplotní stálost při pokud možno dobré závislosti konzistence na teplotě
- vysoká odolnost proti stárnutí také v trvalém použití (bez ztvrdnutí nebo zpryskyřnatění)
- vysoká odolnost proti vodě při současném absorbování nepatrného množství kondenzované vody
- vysoká únosnost mazacího filmu
- dobrá přilnavost
- dobrý těsnící účinek
- dostatečná ochrana proti korozi

Výhody:

- nepatrná spotřeba paliva
- nízké konstrukční náklady
- dlouhá životnost bez potřeby údržby
- možnost dodávek ložisek již namazaných z výrobního závodu
- dobré utěsnění mazacího místa

Nevýhody:

- neodvádí teplo
- pokud do maziva vnikne nějaká nečistota nebo otěrové částičky, nemůžou být odvedeny z mazacího místa
- každé mazané místo musí být mazáno jednotlivě

Tab. 6 Oblast použití plastického maziva

Označení	Popis oblastí použití
G	Uzavřené převody
OG	Otevřené převody
K	Ložiska válcová, kluzná, kluzné plochy
M	Kluzná ložiska a těsnění (nižší nároky než K)

Zdroj: [16]

3.3.3.1 Složení plastických maziv

Základový olej + zahušťovadlo + přísady
70 % – 95 % + 3 %– 30 % + 10 %

Základový olej

Pro výrobu plastických maziv se používá základový olej stejný, jako u převodových, průmyslových nebo motorových olejů. Jejich seznam je uveden v tab. 7.

Tab. 7 Základové oleje

Značení	Složení základového oleje
E	Základový olej Ester
FK	Základový olej Fluor uhlovodík
HC	Základový olej Syntetický uhlovodík
PG	Základový olej Polyglykol
SH	Základový olej Ester kyseliny fosforečné
SI	Základový olej Silikonový olej
X	Základový olej Ostatní

P	EP/AW přísady
F	Pevná aditiva (grafit)

Zdroj: [16]

Aditiva

Mezi základní aditiva patří:

- inhibitory oxidace a koroze.
- vysokotlakové (EP) přísady.
- přísady proti opotřebování.
- pevné mazací složky (např. grafit, bórnitrid apod).
- přílnavostní přísady

Zahušťovadla

Mezi nejdůležitější zahušťovadla řadíme:

- Vápenaté mýdlo - tepelný rozsah od -40 °C – 60°C. Dobrá odolnost vůči vodě. Při zahřátí nad 60°C změknou a jejich původní konzistence se po zchladnutí neobnoví. Dnes je na ústupu.

- Vápenatý komplex - horní aplikační teplota 130°C, krátkodobě i 140°C. Mají dobrou snášenlivost s vodou, proto se většinou používají v „mokrých“ aplikacích. Při vyšších teplotách a dlouhodobějším skladování tvrdnou, kvůli čemu se často používají při ztrátovém mazání s permanentním domazáváním.
- Litné mýdlo - aplikační rozsah -20 – 130°C. Dnes nejpoužívanější. Kloubí v sobě přednosti vápenatých a sodných maziv, ale ne jejich nedostatky. Jsou dostatečně odolné vůči vodě, ale zároveň jsou i termicky vysoko zatížitelné. Využití jako komplexní maziva ve vysokohodnotných produktech.
- Sodné mýdlo: - vhodné do 100°C. Mají vláknitou strukturu, proto jsou dobré hlavně pro mazání převodovek. Při krátkodobém ohřátí nad maximální teplotu se po zchladnutí vrací jejich původní struktura. Nejsou odolné vůči vodě.
- Bentonit, silikátový gel - pro něj je typický vysoký bod skápnutí a vysoká aplikační teplota. Při aplikaci je nutné dávat pozor na aplikační teplotu. Základový olej, který se pevně drží v silikátové struktuře, může při vysoké aplikační teplotě oxidovat, aniž by se oddělila fáze oleje a zahušťovadla. To vede ke karbonizaci mazané soustavy.
- Litný komplex - aplikační teplota okolo 150°C. Jejich maximální aplikační teplota se může ještě zvýšit při použití syntetického základového oleje. Používá se v průmyslu pro těžko dostupná ložiska, nebo v ložiskách osobních a nákladních vozidel.
- Hlinitý komplex - pro vysokoteplotní aplikace okolo 150°C. V kombinaci s teplotně stabilním základovým olejem může krátkodobě zvládnout i teplotní maxima 200-220°C. Dále v kombinaci s pevnými složkami aditiv (grafit, MoS₂) se používají v převodovkách rotačních pecí. Často také v metalurgickém průmyslu. Díky dobré odolnosti vůči vodě se osvědčilo také při mazání vodních staveb a v lodní dopravě.
- Polymočovina nebo deriváty močoviny - vysoká aplikační teplota nad 160°C. Mají vysokou odolnost vůči vodě a poskytují dobrou ochranu proti opotřeбенí a korozi.

Důležité charakteristické veličiny

- Konzistence - tvrdost nebo vláčnost plastického maziva. Je dána *penetrací*.
- Penetrace - hloubka vniku normovaného zkušebního tělesa -kužele. Na kužel se nepůsobí vnější silou, působí na něj jen vlastní tíha. Rozeznáváme penetraci za klidu a po prohnětení. Penetrace po prohnětení je dána normou, protože simuluje stav, který vzniká při reálném provozu v praxi. Je dáno 9 konzistentních tříd. Pro plastická maziva jsou zajímavé jen třídy uvedené v tab. 8–NLGI klasifikace.

Tab. 8 Konzistenční třídy plastických maziv – NLGI klasifikace

Konzistenční stupeň	Penetrace po prohnětení při 25 °C [0,1 mm]	Struktura
000	445 - 475	Extrémně měkká
00	400 – 430	Téměř tekutá
0	355 – 385	Nanejvýš měkká
1	310 – 340	Velmi měkká
2	265 – 295	Měkká
3	220 – 250	Středně tuhá
4	175 - 205	Tuhá
5	130 – 160	Velmi tuhá
6	85 - 115	Extrémně tuhá

Zdroj: [16]

- Bod skápnutí - teplota, při které skápně první kapka tajícího maziva. Charakterizuje bázi zmydelnění.
- Bod tečení- teplota, kdy se mazivo začíná stávat tekutým
- Odolnost vůči vodě – určuje, k jak velkým změnám dojde při kontaktu s vodou. Velikost těchto změn je uvedena v tab 9.

Tab. 9 Odolnost plastických maziv vůči vodě.

Označení	Popis odolnosti
0	Žádné změny
1	Malé změny
2	Velké změny
3	Velmi velké změny

Zdroj: [16]

Souhrnné značení plastických maziv dle DIN 51 502

Příklad: K PF 2 K -30

- K – oblast použití maziva (viz. tab. 6)
- PF – složení základového oleje a aditiva (viz tab. 7)
- 2 – konzistence maziva (viz. tab. 8)
- K – maximální provozní teplota, odolnost proti vodě (viz tab. 10)
- 30 - minimální provozní teplota v °C

Tab. 10 Maximální provozní teplota plastických maziv

Značení	Max. teplota [°C]	Odolnost proti vodě
C	60	0/1
D	-	2/3
E	80	0/1
F	-	2/3
G	100	0/1
H	-	2/3
K	120	0/1
M	-	2/3
N	140	-
P	160	-
R	180	-
S	200	-
T	220	-
U	>220	-

Zdroj: [16]

3.4 Použití vhodných materiálů

Tření lze výrazně ovlivnit vhodnou volbou materiálů, které jsou ve vzájemném styku. K tomu se hlavně používají kluzná ložiska, která se vyrábějí z materiálů, které mají vlastnosti zajišťující menší tření a opotřebení, než je to u běžných materiálů.

3.4.1 Fyzikální a mechanické vlastnosti

Pro zajištění správné funkce součástí a pro snížení tření jsou sledovány určité vlastnosti materiálů, které mají hlavní vliv na to, jak se budou materiály chovat při vzájemném styku. Z analýz příčin poruch kluzných ložisek vyplynulo, že více než 60 % závad je způsobeno nízkou únavovou pevností (viz 3.2.5) a nedostatečnou pevností za vyšších teplot. Další hlavní vlastnosti materiálů jsou:

- Mez kluzu –přípustná zatížitelnost nosných ploch při tření. Mez kluzu je úměrná modulu pružnosti, jejíž nízké hodnoty byly v již zmíněných analýzách příčinou 20% závad.
- Tvrdost – čím je vyšší, tím vyšší je ošetrivost materiálu. To je jedna z klíčových hodnot u materiálů, které jsou v neustálém vzájemném kontaktu. Nesmí se hledět na tvrdost jen jednoho materiálu, ale na vzájemný poměr tvrdostí materiálové dvojice, neboť vysoká tvrdost materiálu jedné plochy by mohla vést k většímu opotřebení protiplochy. Proto je tvrdost u běžných strojních součástí požadována jen ve speciálních případech. Opačně působí tvrdost na přizpůsobivost a schopnost pohlcovat drobné cizí částice. Čím jsou materiály měkčí, tím jsou tyto vlastnosti lepší. Proto se tam, kde to okolnosti vyžadují, používají měkké ložiskové kompozice (např. kluzná ložiska mazaná nefiltrovaným olejem).
- Teplotní vlivy – Zvýšená teplota může ovlivnit strukturu kluzného materiálu, snížit jeho únosnost, u bimetalických i pevnost spojení funkční vrstvy s podkladem. Hlavními ukazateli v souvislosti s teplotou jsou tepelná vodivost λ , teplotní roztažnost α a měrné teplo c . Při znalosti přibližného součinitele tření materiálové dvojice lze pro daný měrný tlak a kluznou rychlost vypočítat množství tepla vznikajícího třením. Jeho rozdělení mezi oba členy dvojice se zjistí z poměru charakteristických parametrů ($\sqrt{c \cdot \rho \cdot \lambda}$)
- Odolnost proti korozi
- Dobrá afinita k mazivům – schopnost chemických látek tvořit chemické sloučeniny

3.4.2 Kluzné a třecí vlastnosti

Terminologie kluzných a třecích vlastností není zatím ustálena. Je tedy možné, že pro určitou vlastnost existuje více názvů, jsou na ní různé názory apod.

Kluzné vlastnosti lze rozdělit podle tab. 11.

Tab. 11 Kluzné a třecí vlastnosti materiálů

Vlastnosti nezávislé na ostatních látkách, účastníci se tření
1. Přizpůsobivost.
2. Schopnost přijímat cizí částice (vměstnatelnost).
3. Teoretická zatížitelnost
Vlastnosti závislé na ostatních látkách, účastníci se tření
4. Třecí kompatibilita. a) Náchylnost k zadírání. b) Sklon k rýhování.
5. Zabíhavost.
6. Otěruvzdornost.
7. Nouzové vlastnosti.
8. Smáčivost mazivem.
9. Únosnost.

Zdroj: [1]

Ad 5. Zabíhavostí - schopnost nejméně jednoho členu dvojice dosáhnout „rovnovážné“ mikrogeometrie povrchu, které odpovídá daným provozním podmínkám.(1, s. 82)

Ad 7. Nouzové vlastnosti - schopnost kluzného materiálu zajistit funkci kluzného místa bez trvalých škod i při krátkodobém přerušení přívodu paliva.

3.4.3 Vhodné materiály

3.4.3.1 Materiály pro kluzná ložiska

Při výběru materiálů se mnoho úsilí věnovalo sledování struktury kovových materiálů, úzce související s kluznými vlastnostmi. Za optimum jsou považovány dvousložkové struktury. Ty představují buď pravidelně rozložené tvrdé částice v měkkém pojivu (např. ložiskové kompozice), nebo naopak měkká fáze v tvrdší základní kostře (olověné bronzy a další typy slitin, např. cín, litina s lamelárním grafitem).

U kluzných dvojic je obecně materiál ložiska měkkší, než materiál hřídele.

Velkého zlepšení vlastností bylo dosaženo přechodem z masivních materiálů na tzv. *sdužené* materiály. To znamená, že na ocelové podpěrné těleso je nanášena tenká kluzná vrstva (dvouvrstvé materiály), většinou však i více různých kluzných vrstev (vícevrstvé materiály).

Důvodem pro přechod na sdužené materiály je především špatný odvod tepla masivních materiálů, kvůli jejich tloušťce, a jejich malá stálost tvaru. Dále se tím dosáhne vyšších pevností (zejména mez únavy), malých změn ložiskových vůlí a tlaku v uložení při zvýšených teplotách. Mimo jiné se tímto dosáhne i úspor neželezných kovů.

3.4.3.2 Materiály hřídelů

Z pevnostních důvodů jsou pro výrobu hřídelů nejčastěji používány oceli. U kluzných dvojic s rovným stykem (např. vedení) se dělají části odpovídající hřídeli z ocelí na odlitky nebo šedé litiny.

Pro drsnosti kluzné dvojice je všeobecně předepisováno:

$$HB_{\text{hřídele}} = (3 - 5) \cdot HB_{\text{ložiska}}$$

HB je tvrdost dle Brinella, to znamená:

- ložiskové materiály $HB \leq 30$ – nekalené hřídele
- ložiskové materiály $30 < HB < 70$ – kalené nebo nekalené plochy
- ložiskové materiály $HB \geq 70$ – kalené kluzné plochy

Příklady u nás používaných materiálů:

- pro nápravy – oceli 11 500 a 11 600
- pro hřídele – oceli 11 420 až 11 600, 12 030 až 12 060, 14 150 až 14 340, 15 260, 15 340, 16 240. Méně často oceli na odlitky, nebo speciální litiny
- pro klikové hřídele – pro běžné případy oceli 11 500, 11 600
- pro motory vozidel - oceli 12 040 až 12 060, 13 240, 14 240, 15 261
- pro velké vznětové motory - oceli 12 040, 12 050, 15 240, 16 240
- pro pístní čepy – oceli 12 020, 12 051, 15 261, 16 121, 16 420, 16 520

3.4.3.3 Další důležité skupiny materiálů

Bílé kovy (ložiskové kompozice)

Slitiny na bázi cínu a olova. Vyznačují se dobrými kluznými vlastnostmi (dobré zabíhací a nouzové vlastnosti a přizpůsobivost) i technologickými vlastnostmi. Na druhou stranu mají malou únosnost (vhodné jen pro sdružené provedení (viz 3.4.3) a malou tvrdost za tepla, která je předurčuje jen k použití za trvalých teplot pod 60°C.

Slitiny mědi

Díky své vysoké pevnosti a tvrdosti jsou všeobecně vysoko zatížitelné a mají jen mírné kluzné vlastnosti. Používají se ve vysoko zatížených kluzných místech, na kluzných místech, kde se na základě úvah nebo velikosti dává přednost masivnímu provedení a pro valivé prvky s vysokým podílem klouzání. Např. šneková kola.

- Cínové bronzы a červený bronz – pro velmi namáhané konstrukční části. Zejména při nebezpečí koroze a vysokých teplotách.
- Olověné bronzы – lepší záběhové a nouzové vlastnosti, vysoce otěruvzdorné a teplotně stálé. Použití např. u ojnicních ložisek.

Hliníkové slitiny s obsahem cínu

Použití převážně u spalovacích motorů, kde se od ložiska vyžaduje vysoká dynamická pevnost, malá hmotnost, dobrá tepelná vodivost, cenově příznivá a hospodárná výroba a dobré protiotěrové a kluzné vlastnosti.

Litina

- Šedá litina - kvůli své velké drsnosti málo přizpůsobivá a schopná jímat tvrdé částice. Pokud je požadavek na dobré nouzové vlastnosti, je požadována perlitická struktura litiny. Použití litiny jako kluzného materiálu je omezeno (hlavně pro rovinné kluzné dvojice). Předpokládá nižší tlaky a lepší jakost povrchu.

Spékané kovy

Spékané kovy jsou olejem napojené spékané (pórovité) kovy. Vyznačují se dobrými nouzovými vlastnostmi, velkou otěruvzdorností, velkou odolností proti korozi a teplotní stálostí.

Jejich použití není vhodné tam, kde dochází k rázovému zatížení. Používají se hlavně na drobná ložiska, která nejsou náročná na údržbu, jsou vyráběná ve velkých sériích a pracují s nízkými rychlostmi a malými tlaky.

3.4.3.4 Nekovové kluzné materiály

Použitelné nekovové kluzné materiály jsou především plasty a technické uhlí, jejichž použití má přednost před dalšími materiály, kterými jsou guma, dřevo, sklo, keramika a drahokamy.

Kvůli velké rozdílnosti vlastností těchto materiálů musí být splněny některé zásadní konstrukční a technologické požadavky:

- přednostní použití modifikovaných plastů nebo jejich kombinace
- přednostní použití sdružených materiálů
- tepelná roztažnost, bobtnání, popř. smrštění při stanovení vůle a lisovacího přesahu.
- přednost tvarových a materiálových spojů před silovými při upevňování pouzder ložisek.
- materiál protiplochy nejlépe z oceli s tvrdostí HRC > 50 (tvrdost dle Rockvella) a drsností Ra < 3 μm (viz. 3.1.3).

3.5 Převod tření na valení

Dalším ze způsobů snížení tření a opotřebení je převod tření na valení. Tímto krokem se eliminuje kluzné tření, které je převedeno na valivé (viz. 3.1.2). To díky svému bodovému styku (v ideálním případě, neuvažuje-li se s vlivem tření.) tolik neopotřebovává materiál druhého tělesa a nedochází k tak velkému tření. Již ve starém Egyptě využívali Egyptané převod smykového tření na valivé pomocí dřevěných kúlů, které vložili pod stavební materiál, který potom mohli pohodlněji přemístit na stavbu. V 15. století vynalezl Leonardo Da Vinci první valivé válečkové ložisko. Valivá ložiska se k tomu účelu používají dodnes.

3.5.1 Valivá ložiska

Valivé ložisko je strojní součást skládající se obvykle ze dvou kroužků, valivých těles, a klece. Valivá tělesa se odvalují v oběžných drahách kroužků; mezery mezi tělesy vymezuje klec. Hlavními přednostmi valivých ložisek jsou:

- malé ztráty třením-při chodu i při rozběhu stroje
- malé riziko zadření a přehřátí
- nepatrné opotřebení
- snadná údržba
- snadná vyměnitelnost
- velký pracovní rozsah otáček (vyrobena ložiska dokonce až pro 120 000 ot/min)
- jednoduché mazání (plastickým mazivem)

Nevýhodou je vyšší hlučnost než u kluzných ložisek (hlavně při vysokých otáčkách), vibrace a špatně snáší rázy. Jsou také náročnější na výrobu.

Hlavním kritériem pro rozdělení valivých ložisek je směr působící síly:

- axiální
- radiální

Toto rozdělení však není přesné, protože většina radiálních ložisek může zachytit i axiální síly. Navíc existují ložiska konstruovaná přímo na zachycování obou sil.

Další rozdělení je podle tvaru valivých těles:

- kuličková, válečková, kuželíková, soudečková a jehlová.

Kuličková ložiska

Řadí se k nejpoužívanějším valivým ložiskům. Jeho valivými tělesy jsou kuličky různého průměru. Díky jejich velkému průměru mají velkou dynamickou únosnost.

Válečková ložiska

Jejich použití je vhodné při vysokých otáčkách. Mohou ovšem zachycovat jen radiální zatížení. Proto mají válečky upravený povrch, aby nedošlo ke vzniku zatížení hran ve stykových plochách. Z toho důvodu mají i větší radiální únosnost, než kuličková ložiska stejných rozměrů.

Jehlová ložiska

Jsou to zvláštní provedení válečkových ložisek. Jejich valivými tělesy jsou jehlové válečky o malém průměru. Z toho vyplývá malá stavební výška ložiska a jejich použitelnost tam, kde je málo prostoru. Často se vyrábějí bez vnitřního kroužku, kdy se valivá tělesa odvalují přímo na hřídeli.

Soudečková ložiska

Valivá tělesa těchto ložisek jsou soudkovitého tvaru. Mají velkou únosnost a přenášet mohou radiální a současně i axiální zatížení. Tato ložiska se mimo válcové díry vyrábí i s kuželovou dírou, která se může nasadit přímo na kuželový čep, nebo pomocí upínacích nebo stahovacích pouzder.

Kuželíková ložiska

Valivými tělesy jsou kuželíky, jejichž oběžné dráhy mají kuželíkový tvar a protínají se v jednom bodě na ose ložiska. Aby se zabránilo zvýšenému napětí pod hranami kuželíku, vytváří se modifikovaný styk úpravou povrchu kuželíků a oběžných drah vnějšího kroužku. Mohou zachycovat jedním směrem i axiální síly.

3.6 Další zlepšení podmínek tření

Kromě použití maziv nebo metod uvedených v předchozí kapitole, je také nutné dbát na geometrický tvar pohybujících se součástí, povrchové drsnosti materiálů, kvalitu jejich obrobení, technologickou úpravu a hlavně na pronikání nečistot do funkčních ploch.

Kvalita obrobení ploch úzce souvisí s drsností povrchu. Jak z kapitoly 3.1 vyplývá, je snaha při obrábění dosáhnout co nejkvalitnějšího povrchu a přiměřené drsnosti (tedy výškou výčnělků na povrchu). Ne vždy je žádoucí mít co nejhladší povrch, např. u méně namáhaných nebo používaných součástí. Důvody jsou hlavně ekonomické, protože čím hladší povrch, tím lepší metoda obrábění se musí použít, a to je dražší. Je na návrháři, jakou drsnost povrchu pro daný stroj předepíše. U nefunkčních ploch postačí drsnost, která vznikne běžnými metodami obrábění, jako např. hrubování u soustružení, nebo frézování.

K dosažení velmi malé drsnosti povrchu se používají další metody, tzv. dokončovací metody *obrábění*. Základní a velmi často používanou je *broušení*. Využívá se abraze (kap. 3.2.2) k odebírání materiálu obráběné součásti. Broušení je velmi jednoduché a může se použít např. při renovaci součástí, kdy stačí jeden dělník, který obrousí opotřebenou funkční plochu součásti alepší tím opět chod celého stroje.

Další dokončovací metodou je *hónování*. Je to v podstatě broušení malou rychlostí hónovacími kameny (jemné brusivo s pojivem). Pomocí hónovací hlavy lze dosáhnout velmi kvalitního povrchu. Tato metoda se používá např. při obrábění válců motorů, kompresorů apod., tedy hlavně pro obrábění vnitřních válcových ploch.

Na vnější válcové plochy se používá metoda pomalého broušení *superfinišování*. Finišovací hlava s brousícími kameny se kmitavě pohybuje, přičemž obrobek koná rotační i posuvný pohyb (někdy může posuvný pohyb konat i finišovací hlava).

Lapování je metoda obrábění rovinných ploch. Mezi dvě lapovací hlavy se vloží obrobek. Mezi ně se dodává lapovací prostředek (volně rozptýlené brusivo v pastě). Kotouče se točí různými rychlostmi a obrábí součást. Nevýhodou je, že lapování trvá poměrně dlouho a je potřeba použít speciální stroj. Navíc se musí po dokončení obrobek očistit petrolejem.

Principem metody *tryskání* je, že abrazivo obsažené v kapalině nebo plynu, dopadá vysokou rychlostí na povrch. Tím dochází i ke zpevnění povrchu, což má za následek zvýšení trvanlivosti součásti a meze únavy. (kap. 3.2.5).

Další metodou je *otryskávání*. Je podobné jako *tryskání*, ale úhel dopadu je větší (až 80 °).

U uvedených metod docházelo k úběru materiálu. Mezi metody bez úběru řadíme např. *vyhlazování*. Na rotující součást se přitlačí pevný element, který plasticky deformuje povrch alepší jeho drsnost.

Grafické znázornění těchto metod je uvedeno v příloze 3.

Zkušenosti ukazují, že v kluzných dvojicích způsobují první poškození funkčních povrchů nejčastěji cizí tvrdé částice (1, s. 47). Musí se proto dbát na účinnou ochranu kluzných dvojic. K tomuto účelu slouží nejrůznější ucpávky, těsnění, těsnící kroužky apod. Pokud nelze vyloučit, že během provozu stroje se do kluzné dvojice, event. maziva dostanou cizí částice, musí se dbát o jejich systematické odstraňování nebo odlučování (např. různé filtry, čističe apod.). I samotná kluzná dvojice by v tomto případě měla být navržena tak, aby

v těchto podmínkách měla požadovanou životnost a nezpůsobila takové zhoršení třecích podmínek, které by vedlo až k poruše nebo havárii.

K vytvoření speciálních povrchových vrstev se může použít mnoho technologických a chemicko-technologických metod:

- *povrchové kalení* - ke zvýšení tvrdosti (kap. 3.4.1). Je to velmi rychlé ohřátí povrchu součásti a jeho následné chlazení. Výhodou oproti kalení celé součásti je, že jádro součásti si ponechá své původní vlastnosti, hlavně houževnatost.
- *cementování* - k přípravě povrchu na povrchové kalení. Jde o nasycení povrchu součásti uhlíkem, který se pak lépe kalí.
- *nitridování* - nasycení povrchu dusíkem, který zvýší tvrdost tohoto povrchu
- *sulfonitridace* - sycení dusíkem a sírou
- *bórování* - sycení povrchu bórem ke zvýšení tvrdosti povrchu, aj.

3.7 Bezkontaktní styk

Je to speciální případ snížení tření, kdy dvojice materiálů nemají žádný přímý vzájemný styk. Toto lze dosáhnout použitím elektromagnetismu.

Využívají se magnetická ložiska. Ty se skládají ze dvou částí, jedna na hřídeli a druhá v uložení hřídele. Pomocí proudu se v uložení indukuje elektromagnetické pole, které vymezuje polohu hřídele. V součinnosti se senzory a řídicími jednotkami lze zajistit zpětnou odezvu a konfigurovat polohu hřídele. Magnetická ložiska se používají jako součást tzv. bezložiskových pohonů (viz. obr. 14), hlavně elektromagnetické motory, které svým charakterem nevyžadují kontaktní styk funkčních ploch, díky elektromagnetickému poli buzeném ve statoru motoru a pohánějí rotor.

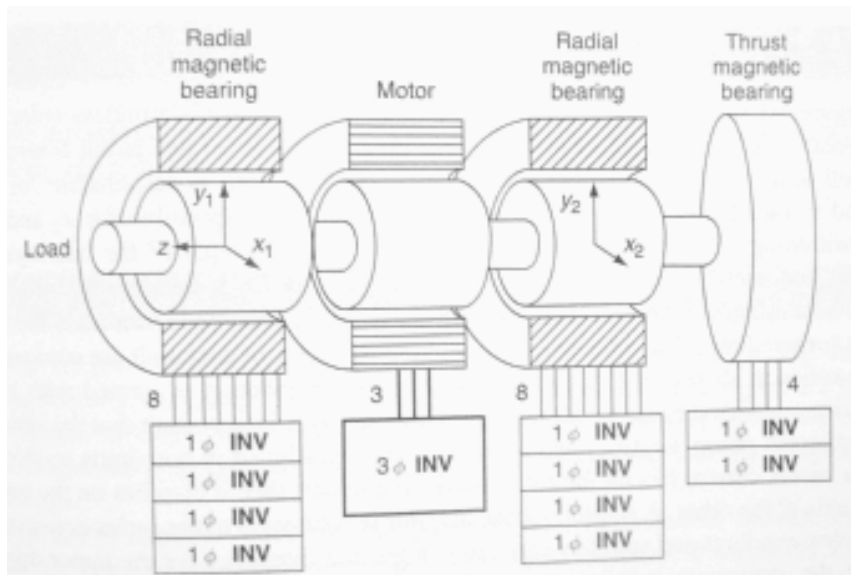
Výhody magnetických ložisek:

- nulové smykové i valivé tření
- vysoká spolehlivost
- malé vibrace
- možnost použít i pro vysoké otáčky
- vestavěný monitoring stavu (senzory)

Nevýhodou je potřeba externího zdroje pro pohon těchto ložisek. Nesmí se používat tam, kde by magnetismus mohl narušit chod stroje, např. vyřadit z provozu nějaké elektrické zařízení apod. Používá se např. v potravinářském průmyslu, nebo ve zdravotnictví a to z důvodu, že toto ložisko se nemusí mazat a nehrozí proto únik maziva, který by mohl mít v tomto odvětví fatální následky. Jako příklad za všechny může posloužit např. krevní pumpa. Své využití najde taky pro stroje, které pracují ve vzduchoprázdnu, v agresivních kapalinách apod.

Magnetismu využívají některé vlaky, které "kloužou" po magnetickém polštáři a nedochází tak ke styku kolo-kolejnice jako u běžných vlaků.

Obr. 14 Bezložiskový pohon



Zdroj: [4]

4. Závěr

Cílem této práce bylo sumarizovat možnosti snížení pasivních odporů, se kterými se setkáváme ve strojích a zařízeních v technické praxi. Jsou to tření a opotřebení.

Teoretické základy o tření a opotřebení jsou uvedeny v první kapitole, která podává přehled o pochodech, které se při těchto jevech dějí, a tím umožňuje lépe pochopit problematiku jejich snižování.

Druhá kapitola obsahuje problematiku mazání. Je zde uvedeno rozdělení maziv, jejich složení a vlastnosti. Popisuje druhy mazání, se kterými se běžně setkáváme. Jednotlivým druhům olejů se věnují podkapitoly motorové oleje, převodové oleje (je jim poskytnuto více prostoru) a plastická maziva.

Výběrem vhodného materiálu kluzných dvojic se zabývá další kapitola. Jsou zde vysvětleny všechny vlastnosti, které mají na tření a opotřebení vliv. Také jsou zde uvedeny výhradně používané materiály pro kluzná ložiska a hřídele. Ať už kovové, či nekovové.

Dalším používanou metodou snižování pasivních odporů je převedení smykového tření na valivé. Toto téma vystihuje další kapitola. Je zde uvedeno základní rozdělení valivých ložisek včetně jejich příznačných charakteristik.

Metody dalšího zlepšování podmínek tření jsou vyličené v další kapitole. Jedná se o obrábění povrchu materiálu. Představeny jsou zde nejvíce používané metody, tedy základní chemické a chemicko-technologické. Dále je nastíněna problematika vnikání cizích těles do maziva a mezi kluznou dvojici.

Závěrem je prezentována nejnovější metoda snižování tření, a tím je použití magnetických ložisek. Jejich výhody, popis a použití jsou vysvětleny v poslední kapitole.

Použitá literatura:

1. VOCEL, Milan – DUFEK, Vladimír. Tření a opotřebení strojních součástí. 1. vydání. Praha: SNTL 1976. 376 s.
2. BRENDEL Horst. Tribotechnika. 1. vydání. Praha: SNTL 1984. 300 s. 3 přílohy
3. FRÖHLICH Jan. Technika uložení s valivými ložisky. 1. vydání. Praha: SNTL 1978. 448 s.
4. CHIBA Akira et.al. Magnetic Bearings and Bearingless Drives. 1. vydání. Oxford: Newnes 2005. 400 s. ISBN 0-7506-5727-8.
5. *Coefficient of Friction Reference Table - Engineer's Handbook* [online]. c2006 [cit. 2011-03-10]. Coefficient of Friction . Dostupné z WWW: <<http://www.engineershandbook.com/Tables/frictioncoefficients.htm>>.
6. Rubert + Co Ltd. *Rubert Support* [online]. 2006-06-23 [cit. 2011-03-24]. Roughness Parameters. Dostupné z WWW: <Zdroj: <http://www.rubert.co.uk/Ra.htm>>.
7. POŠTA, Josef. *Degradace strojních součástí* [online]. 4.1.2003 [cit. 2011-03-18]. Fraktologická sbírka. Dostupné z WWW: <http://degradace.tf.czu.cz/Dgrd_txt/Mngr_ram_txt2.htm>.
8. Ekolube s. r. o. *Oleje* [online]. c2009 [cit. 2011-03-04]. Motorové oleje - viskozitní klasifikace. Dostupné z WWW: <http://oleje.cz/index.php?left=main&page=mot_visko>.
9. Ekolube s. r. o. *Oleje* [online]. c2009 [cit. 2011-03-04]. Výkonostní třídy olejů. Dostupné z WWW: <http://oleje.cz/index.php?left=dvoudobe_vykon&page=mot_vykon>.
10. Ekolube s. r. o. *Oleje* [online]. c2009 [cit. 2011-03-04]. Viskozita olejů. Dostupné z WWW: <http://oleje.cz/index.php?left=main&page=pre_visko>.
11. Ekolube s. r. o. *Oleje* [online]. c2009 [cit. 2011-03-12]. Výkonostní třídy olejů. Dostupné z WWW: <http://oleje.cz/index.php?left=historie_api&page=pre_vykon>.
12. Ekolube s. r. o. *Oleje* [online]. c2009 [cit. 2011-03-07]. Plastická maziva. Dostupné z WWW: <http://oleje.cz/index.php?left=plast_maziva&page=plast_popis>.
13. Ekolube s. r. o. *Oleje* [online]. c2009 [cit. 2011-03-07]. Značení plastických maziv podle DIN 51 502. Dostupné z WWW: <http://oleje.cz/index.php?left=plast_maziva&page=plast_klasifikace_din>.

14. *Oleje* [online]. c2009 [cit. 2011-03-18]. Aditiva - přísady do olejů. Dostupné z WWW: <http://oleje.cz/index.php?left=main&page=uzitecne_aditiva>.
15. SKF Ložiska, a.s. *SKF* [online]. 2004-12-10, 2004-12-14 [cit. 2011-03-17]. Mazání. Dostupné z WWW: <<http://www.tpb.cz/editor/filestore/File/20.%20Mazani.pdf>>.
16. CS-Marketing s.r.o. *Maziva* [online]. c2000 [cit. 2011-04-02]. Plastická maziva. Dostupné z WWW: <http://www.csmarketing.cz/znalost_plast.asp>.
17. *Střední průmyslová škola Kolín* [online]. 2010, 2010-7-1 [cit. 2011-03-13]. Dokončovací metody obrábění. Dostupné z WWW: <http://www.sps-ko.cz/documents/STT_obeslova/Dokončovací_metody_obrábění.pdf>.
18. DÁLIK, Peter. Plastické mazivá. *Tribotechnika* [online]. 2009, 4, [cit. 2011-03-13]. Dostupný z WWW: <<http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-42009/plasticke-maziva.html>>. VÁCLAV, Ľubomír . Trenie, ložiská a ich mazanie. *Tribotechnika* [online]. 2009, 4, [cit. 2011-03-13]. Dostupný z WWW: <<http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-42009/trenie-loziska-a-ich-mazanie.html>>.
19. STOPKA, Jozef . Plastické mazivá, trendy a všeobecné odporúčania. *Tribotechnika* [online]. 2008, 1, [cit. 2011-03-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.tribotechnika.sk/1-2008/plasticke-maziva-trendy.html>>.
20. DÁLIK, Peter . Plastické mazivá – 3. časť. *Tribotechnika* [online]. 2010, 2, [cit. 2011-03-19]. Dostupný z WWW: <<http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-22010/plasticke-maziva-3-cast.html>>.
21. JANÍK, Josef. *Fyzika tření* [online]. Brno, 2008. 49 s. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Pedagogická fakulta, Katedra fyziky . Dostupné z WWW: <http://is.muni.cz/th/199446/pedf_b/Fyzika_treni.pdf>.
22. Tření. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 13.5.2003, last modified on 7.2.2001 [cit. 2011-04-03]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Tření>>.
23. Friction. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 5 September 2001, last modified on 1 April 2011 [cit. 2011-04-03]. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Friction>>.
24. *Web physics* [online]. 1995 [cit. 2011-03-25]. Rolling friction. Dostupné z WWW: <<http://webphysics.davidson.edu/faculty/dmb/py430/friction/rolling.html>>.

25. *Slow rotors* [online]. 2010, 2011-02-08 [cit. 2011-04-03]. Some aspects of design, manufacture, use and maintenance of slow solid rotors - Part I . Dostupné z WWW: <<http://figures.yolasite.com/slowrotors.php>>.

Seznam tabulek

Tab. 1 Hodnoty součinitele tření μ	2
Tab. 2 Hodnoty ramena valivého odporu ξ	4
Tab. 3 Základní rozdělení maziv	11
Tab. 4 Hlavní vlastnosti nejdůležitějších uhlovodíkových skupin ropných olejů.....	13
Tab. 5 Výkonová specifikace převodových olejů dle API/GL	19
Tab. 6 Oblast použití plastického maziva	20
Tab. 7 Základové oleje	21
Tab. 8 Konzistenční třídy plastických maziv – NLGI klasifikace	23
Tab. 9 Odolnost plastických maziv vůči vodě.	23
Tab. 10 Maximální provozní teplota plastických maziv	24
Tab. 11 Kluzné a třecí vlastnosti materiálů.....	26

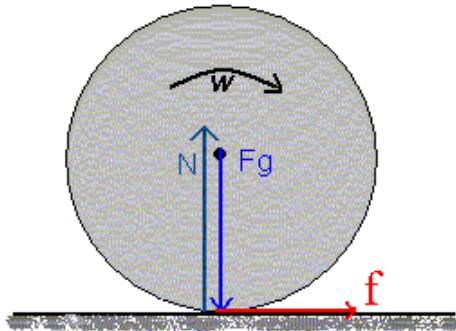
Seznam obrázků

Obr. 1 1. zákon tření.....	3
Obr. 2 2. zákon tření.....	3
Obr. 3 3. zákon tření.....	3
Obr. 4 Struktura povrchu.....	5
Obr. 5 Adhezivní opotřebení	6
Obr. 5 Abrasivní opotřebení – interakce 2 těles.....	7
Obr. 6 Abrasivní opotřebení – interakce 3 těles.....	7
Obr. 7 Erozivní opotřebení.....	8
Obr. 8 Kavitační opotřebení	9
Obr. 10 Schéma mezního mazání.....	12
Obr. 14 Bezložiskový pohon.....	34

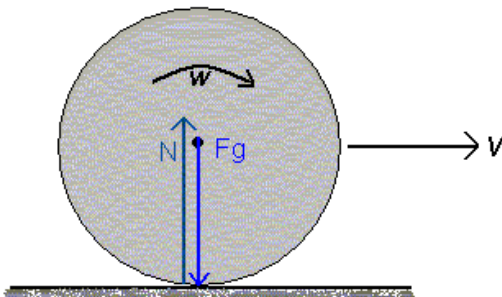
Přílohy

Příloha 1 – Valivé tření

Rozdíly u valení při rovnovážném stavu a při valení konstantní rychlostí.



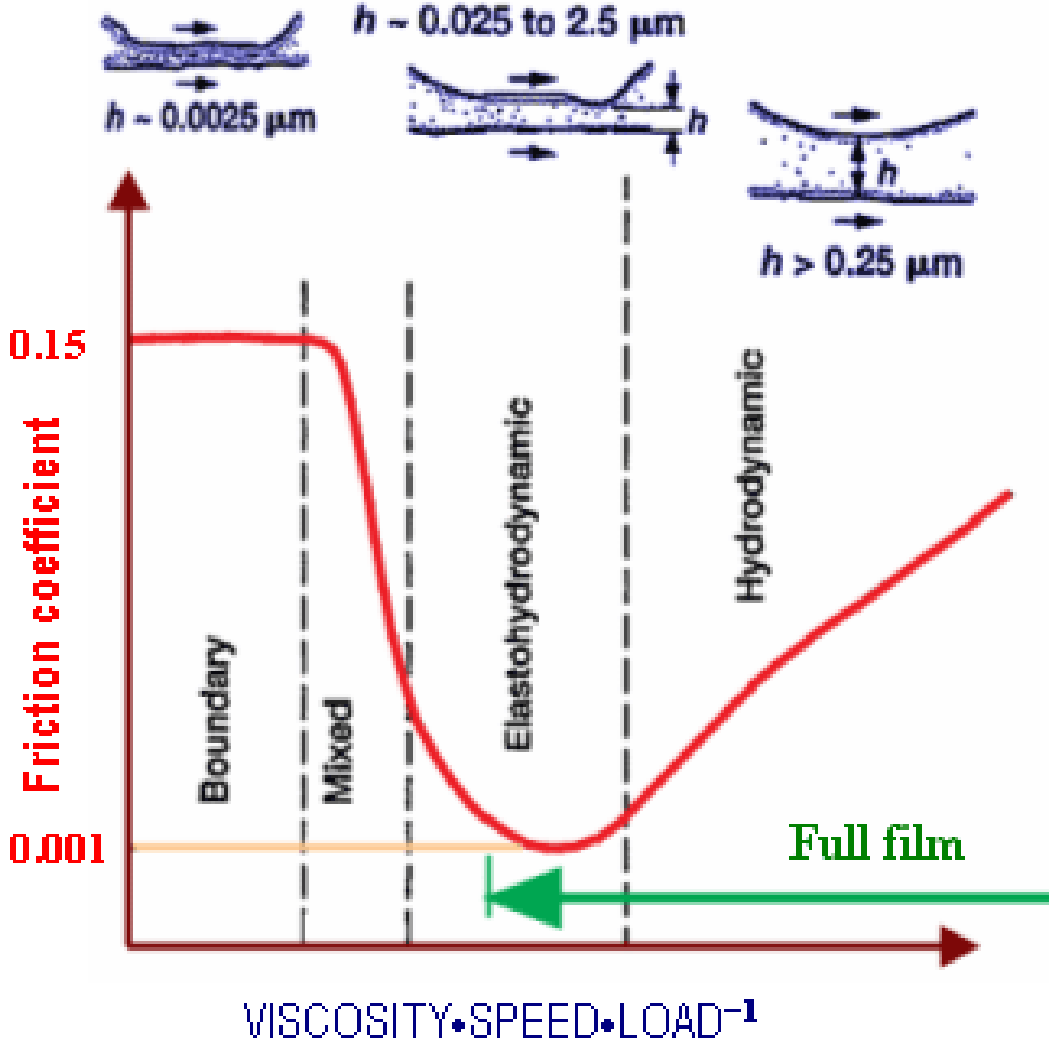
This image shows the frictional force acting on the apparent contact area in order to stop the slipping, or burning out, motion of the wheel. Notice that the wheel does not have a forward velocity as of yet.



Now, in this image, pure rolling motion has been achieved and the wheel begins to roll forward with a constant velocity, v . Notice that the frictional force is now zero due to the one to one motion at the apparent contact points (no relative velocity).

Zdroj: [24]

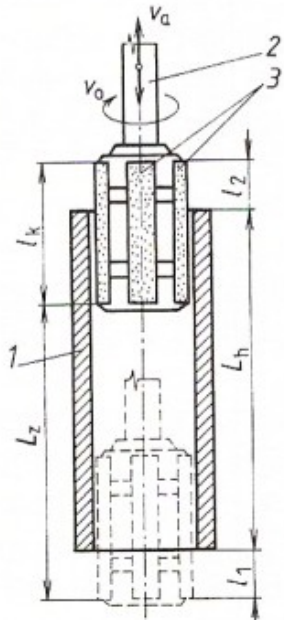
Příloha 2 – Stribeckův diagram



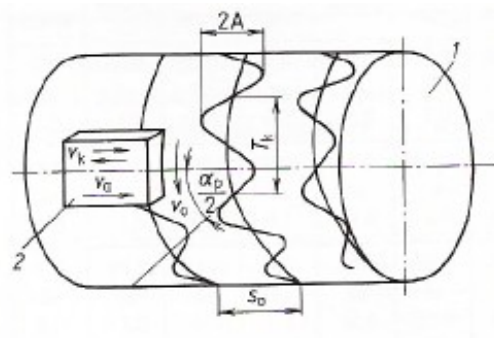
Zdroj: [25]

Příloha 3 – Dokončovací metody obrábění

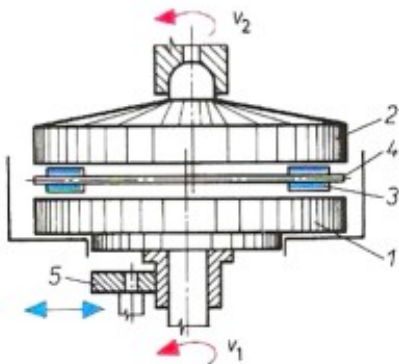
Hónování



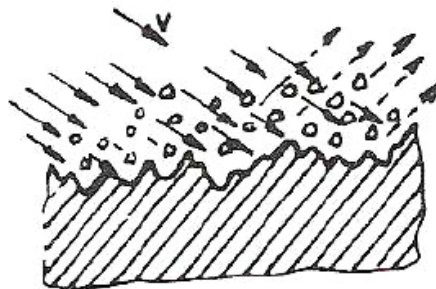
Superfinašování.



Lapování.



Tryskání (Otryskávání)



Zdroj: [17]