

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Petr Majdič

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Vliv kontaminace maziva pevnými částicemi na funkci mazaných kontaktů

v anglickém jazyce:

Effect of lubricant contamination by solid particles on lubricated contact performance

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem bakalářské práce je analýza vlivu kontaminace maziva pevnými částicemi na poškození třecích povrchů na základě změn v rozložení tloušťky mazacího filmu v okolí povrchových nerovností užitím výsledků naměřených studentem.

Cíle bakalářské práce:

Bakalářská práce musí obsahovat:

- 1.Úvod
- 2.Přehled současného stavu poznání
- 3.Formulaci řešeného problému a jeho analýzu
- 4.Vymezení cílů práce
- 5.Návrh metodického přístupu k řešení
- 6.Analýzu a interpretaci získaných výsledků
- 7.Závěr

Forma bakalářské práce: průvodní zpráva, technická dokumentace

Typ práce: analytická

Účel práce: pro VV a tvůrčí činnost ÚK

Seznam odborné literatury:

Ville F, Nelias D. An experimental study on the concentration and shape of dents caused by spherical metallic particles in EHL contacts. Trib Trans 1999;42(1):231–240.

POPELKA, J. Vliv cílené modifikace topografie na únavové poškození třecích povrchů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 79 s.

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Ivan Křupka, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 13.11.2009

L.S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce panu prof. Ing. Ivanu Křupkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky. A také všem ostatním, kteří mi pomohli vypracovat mou bakalářskou práci.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce pojednává o vlivu hloubky zatlačené nečistoty na povrch tělesa, kdy je stanovena otázka, jaká hloubka je neškodná a od jaké hloubky již vzniká makropitting. K zodpovězení této otázky je využito empirické měření za pomoci zkušebního zařízení R-mat2 a to především z důvodu jeho dostupnosti.

KLÍČOVÁ SLOVA

Hloubka nečistoty, makropitting, mazání, zkušební zařízení R-mat2

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the effect of depth of surface soil pressed down into a surface of body when a question is raised what depth is harmless and from what depth macro-pitting occurs. To answer this question empirical measuring is used with the help of test device R-mat2 that has been picked up thanks to its availability.

KEYWORDS

Depth of surface soil, macro-pitting, lubricating, test device R-mat2

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MAJDIČ, P. *Vliv kontaminace maziva pevnými částicemi na funkci mazaných kontaktů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 30 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Ivan Křupka, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně, za použití uvedené literatury, pod odborným vedením pana prof. Ing. Ivana Křupky, Ph.D.

V Brně dne: 26. 5. 2010

.....

OBSAH	
ÚVOD	12
2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	13
1.2 Viskozita	13
1.3 Režimy mazání	13
1.4 Parametr mazání	14
1.4.1 Mezné mazání	14
1.4.2 Smíšené mazání	14
1.4.3 Elastohydrodynamické mazání	14
1.4.4 Hydrodynamické mazání	14
1.5 Vliv nečistot	14
1.6 Eliminace kontaminace	15
1.6.1 Mechanické filtry	16
1.6.2 Magnetické odlučovače	16
1.6.3 Elektrostatické čištění kapaliny	16
1.6.4 Další způsoby čištění	16
1.7 Nečistoty	17
1.8 Šíření trhlin	18
2 FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU A JEHO ANALÝZA	19
2.1 Formulace řešeného problému	19
2.2 Analýza problému	19
3 VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE	20
4 NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ	21
4.1 Studium	21
4.2 Měřicí zařízení	21
4.3 Typy přístrojů	21
4.3.1 R-mat2	21
4.3.2 AX-MAT	22
4.3.3 Micro-Pitting Rig	22
4.4 Zhodnocení přístrojů	23
5 ANALÝZA A INTERPRETACE ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ	24
5.1 Zkušební zařízení R-mat2	24
5.2 Průběh měření	25
5.3 Získané údaje	25
5.4 Zhodnocení výsledků	26
6 ZÁVĚR	27
7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	28
8 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ	30
9 SEZNAM TABULEK	30

ÚVOD

Ústředním tématem této bakalářské práce je vliv pevných nečistot na povrch mazných ploch. Pevná nečistota je částice, která se dostane mezi dvě zabírající tělesa a po průchodu mezi nimi způsobí na površích těles rýhy. Často se také stává, že se nečistota do tělesa zatlačí. A právě hloubka zatlačené nečistoty bude prioritou mého měření, kde se zaměřím především na to, jaký vliv má tato hloubka na povrch tělesa. Budu hledat odpověď na otázku, jaká hloubka je neškodná, a jak stanovím hranici mezi neškodnou a škodnou částí. Také budu muset vybrat správné měřicí zařízení, které změří kontaktní únavu v místech vzniklé jamky.

Obsahem kapitoly Přehled současného poznání budou základní pojmy a definice vztahující se k mé bakalářské práci jako například mazání, viskozita, režimy mazání, vznik a filtrace nečistot, druhy poškození a obecné informace o nečistotách. V následující kapitole bude hlavní důraz kladen především na kontaktní únavu s cílem zvolit si to správné měřicí zařízení pro navazující praktickou část.

Praktická část této práce bude věnována měření a zhodnocení naměřených veličin a bude posouzeno, jaký vliv má hloubka vtisku na povrch třecích ploch. Na závěr této bakalářské práce budou shrnuty zjištěné informace o vlivu pevných nečistot na povrch mazných ploch.

Hlavním zdrojem informací se staly odborné publikace vtahující se k tématu, jež jsou detailně uvedeny v seznamu použité literatury. Vzhledem k rozsahu práce považují výběr literatury a zdrojů za dostačující, nikoliv však vyčerpávající.

1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

1

1.1 Mazání a maziva

1.1

Slovem mazání je nazýván proces spočívající v oddělení dvou pohyblivých povrchů mazacím filmem, který slouží ke snížení tření a opotřebení. V dnešní době se používá mnoho druhů maziva v různých skupenstvích. Jako druhotný cíl maziva můžeme považovat například odvod tepla, odvádění částic vzniklých opotřebením, či korozivzdornost.[1]

1.2 Viskozita

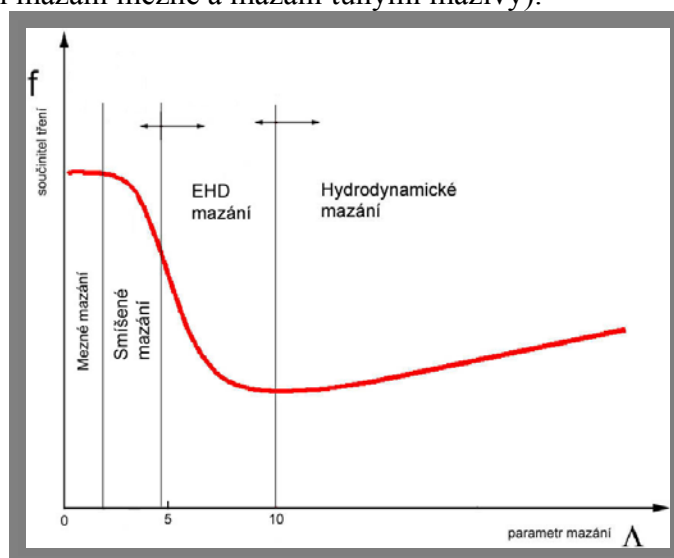
1.2

Viskozita je odpor tekutého maziva při pohybu částic maziva. Patří mezi nejdůležitější vlastnosti tekutých maziv. Popisuje se jako změna rychlosti závislá na délce dvou sousedních vrstev při proudění kapaliny. To je vyvoláno působením částic kapaliny mezi sebou. Viskozitou se zabýval Newton, který vycházel z předpokladu, že se jedná o odpor mezi nedokonale hladkými částicemi kapaliny. Po řadách testů se zjistilo, že existují maziva nenevtonské, u nichž platí, že dynamická viskozita závisí na gradientu rychlosti. Dále se prokázalo, že s rostoucí teplotou klesá viskozita u syntetických a minerálních olejů. Proto musíme dbát na pečlivé zapisování teplot při každém měření viskozity. Zatímco viskozita s teplotou klesá, tak naproti tomu s tlakem vzrůstá. Poměr stoupání viskozity závisí na chemickém složení kapaliny. [1]

1.3 Režimy mazání

1.3

Musíme si uvědomit, že na povrch mazných ploch má správné rozdělení režimu mazání obrovský vliv, protože musíme oddělit režimy mazání, při kterých dojde k oddělení třecích ploch koherentním mazacím filmem (do této skupiny patří například mazání hydrostatické, hydrodynamické, elastohydrodynamické a mazání vytlačovaným filmem), a režimy, při kterých dochází k přímému kontaktu třecích ploch (sem patří mazání mezní a mazání tuhými mazivy).



Obr. 1: Závislost součinitele tření f na parametru mazání [1]

1.4

1.4 Parametr mazání

Výzkumem a testy se ukázalo, že životnost třecích povrchů nezávisí pouze na tloušťce mazacího filmu ale spíše na poměru mazacího filmu k redukované drsnosti třecích povrchů. [2]

1.4.1

1.4.1 Mezné mazání

Mezné mazání je takové mazání, při kterém dochází k vzájemné interakci mezi povrchovými nerovnostmi. Zatížení je přenášeno pomocí tenkého filmu, jeho struktura a vlastnosti jsou odlišné od struktur a vlastností maziva a povrchů. Za takto vzniklý film je zodpovědná fyzikální absorpce a chemické reakce. [1]

1.4.2

1.4.2 Smíšené mazání

Je to takové mazání, kdy se vytvoří tenký nesouvislý mazací film. Můžeme o něm také říci, že je to přechod mezi mezním a hydrodynamickým mazáním. Ani při tomto mazání nedojde k úplnému oddělení třecích povrchů a rovněž dochází k interakci povrchů. Tento druh mazání se vyskytuje nejčastěji u malých rychlostí, velkých zatížení a při změně jejich pohybu.[3]

1.4.3

1.4.3 Elastohydrodynamické mazání

Jedná se o režim kapalinového mazání, při kterých je elastická deformace povrchů řádově stejně velká jako tloušťka hydrodynamického mazacího filmu. Nejčastěji k tomuto druhu mazání dochází u nekonformně zakřivených povrchů, které jsou v relativním pohybu.[1]

1.4.4

1.4.4 Hydrodynamické mazání

Jedná se o kapalinové mazání, při kterém se vytvoří dostatečně silná vrstva, která zabrání styku povrchových nerovností. Díky svému tlaku vyruší kolmé zatížení na povrch maziva. K tomuto typu mazání dochází u konformně zakřivených těles, které se nacházejí v rotačním pohybu.[1]

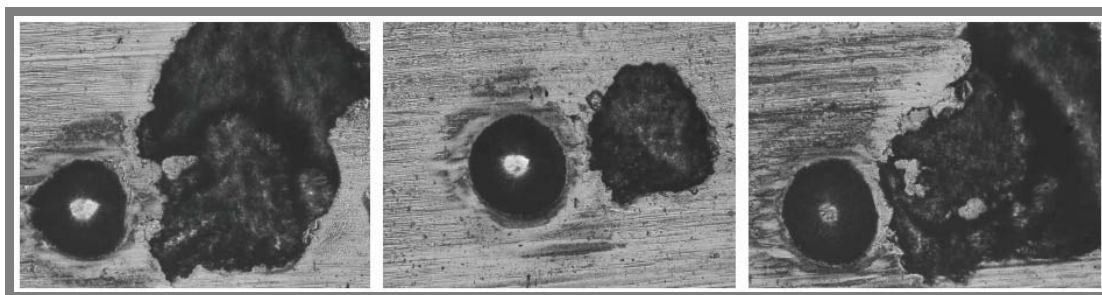
1.5

1.5 Vliv nečistot

V dnešní době vystupují do popředí požadavky na čistotu maziva. To je zpravidla řešeno tak, že se kontroluje stav maziva a následně se čistí dokud není mazivo v určené rovnováze. Nečistoty, které se objevují v mazivu pocházejí:

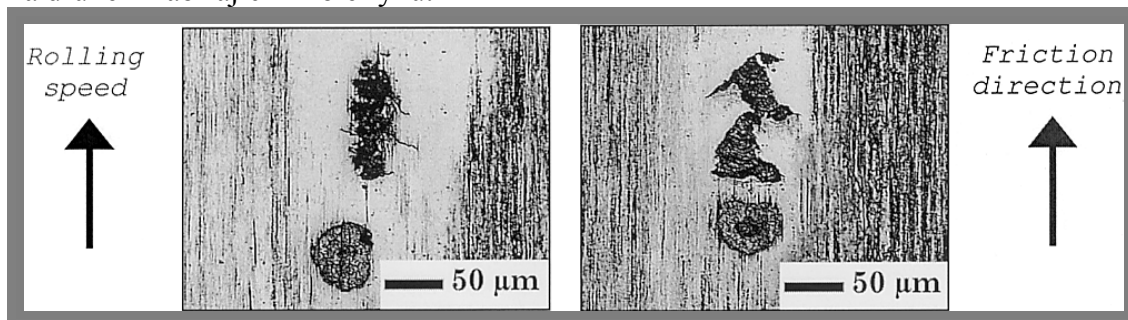
- a) ze samotného oleje (stárnutím oleje)
- b) vniknutím z okolního prostředí (prach, vlhkost, vzduch a jiné)
- c) pozůstatky po obrábění a opotřebením [4]

Vzhledem k tématu této bakalářské práce se budeme zabývat pouze pevnými nečistotami a to prachem, pozůstatky po obrábění a zrnny, které vzniknou opotřebením. Tyto nečistoty mají na povrch třecích ploch neblahý vliv. Způsobují totiž na povrchu deformace a napětí a vytváří tzv. pitting. Velikost těchto deformací může být až 50 μm .



Obr. 2: Příklady poškození s jediným vtiskem v kontaktní stopě [11]

Také se velice často vyskytuje stav, kdy se částice po daném povrchu sklouzne a vytvoří po sobě rýhu. Tato rýha by měla být podle předpokladů menší hloubky, protože síla, kterou na ní bylo působeno se částečně přeměnila na energii pohybovou a tím nedošlo k vytvoření hlubšího vtisku. I dalšími způsoby vznikají rýhy například, když se nečistota zaboří do jednoho tělesa a dojde k prokluzu, tak nečistota vytvoří na druhém zabírajícím kole rýhu.



Obr. 3: Poškození kontaktní únavou [4]

Ne však všech vtisky způsobí deformace. Zjistilo se, že cílená topografie třecích povrchů vede ke zlepšení mazání a ke snížení tření a opotřebení. Cílená topografie je vytvoření sítě malých jamek, do kterých se dostane mazivo, které napomáhá vytvořit ochranný třecí film. Zvláště u rozběhu, doběhu či změně otáček a zvýšení zatížení, kdy je největší nebezpečí vzniku smíšeného a mezného mazání.[3]

1.6 Eliminace kontaminace

Kontaminaci maziva je různá, a proto musí být různá i její eliminace. Proti prachovým částicím se můžeme bránit různými tmeli, těsněními pastami, nebo použitím maziv, které nepřitahují prach a nečistoty. Tyto těsnící materiály mají dobrou přilnavost a hodí se do špatně dostupných míst. Jejich nevýhody jsou, že stárnou a nehodí se do extrémních podmínek. Nejčastěji se však proti kontaminaci používají různé druhy filtrů. Tyto filtry slouží jak proti zrnům, které vzniknou opotřebením, tak i proti prachovým částicím. Filtry musí být vhodně zvoleny, jak svým umístěním v oběhu maziva, tak i svojí propustností. Jak již bylo zmíněno, filtry se používají velice často a proto jich je na trhu celá škála.

1.6.1

1.6.1 Mechanické filtry

Pracují na principu zachycování nečistot pomocí porézního materiálu. Mazivo i s nečistotami prochází přes porézní materiál a nečistoty zůstanou na povrchu porézního materiálu. Velikost takto zachycených nečistot se liší v závislosti především na typu filtrační vložky. Čím je však vložka jemnější, tím je dražší. Nevýhoda takto jemné filtrace je, že se musí filtr častěji měnit a protékající kapalina je zpomalována.[6]

1.6.2

1.6.2 Magnetické odlučovače

Tato metoda filtrace je založena na magnetech, které mají tvar lamel. Kovová částice procházející o kolo lamely je přitažena magnetickým polem. Zachycené částice mají velikost zhruba 70 μm . Mezi její největší výhody patří, že dokáže zachytit částice, které nejsou feromagnetické a to tak, že vlivem adheze a jevu heterokoagulace mezi lamelami ulpívají. Mezi další jejich přednosti patří i to, že pohltí velké množství nečistot a velmi dobře se čistí. Používá se k čištění chladících emulzí a u automobilových motorů.[6]

1.6.3

1.6.3 Elektrostatické čištění kapaliny

Je to zcela odlišný způsob čištění kapaliny. Liší se tím, že se na nečistotu pohlíží z elektrického hlediska. A tento náhled nám umožní, že máme pouze tři druhy nečistot a to pozitivně nabitou částici, negativně nabitou částici a elektricky neutrální částici. Na čištění kapaliny se používají dva jevy a to elektroforéza a dielektroforéza. Elektroforéza se využívá k odstranění kladně nabitých a záporně nabitých částic tím že jsou přitahovány k opačným nábojům a na nich zůstanou vyset. Zatím co u dielektroforéza dojde k deformaci elektrostatického pole a díky tomu se vytvoří oblast s největší intenzitou tak, že vložíme dielektrický materiál mezi elektrody. Takto vzniklé pole působí na všechny druhy pevných nečistot. Výhody tohoto zařízení jsou, že dokážou odstranit nečistoty do velikosti 50 μm . Také dokáže odstranit všechny nečistoty i ty které nejsou úplně rozpustné jako například kaly a jiné nečistoty které mají stejnou hustotu jak olej. Jeho nevýhoda je jeho cena a těžké stanovení intervalů a optimální doby pro nasazení zařízení.

Existuje i řada dalších metod ale ty zde pro nesouvislost s hlavním tématem práce nebudou zmíněny.

1.6.4

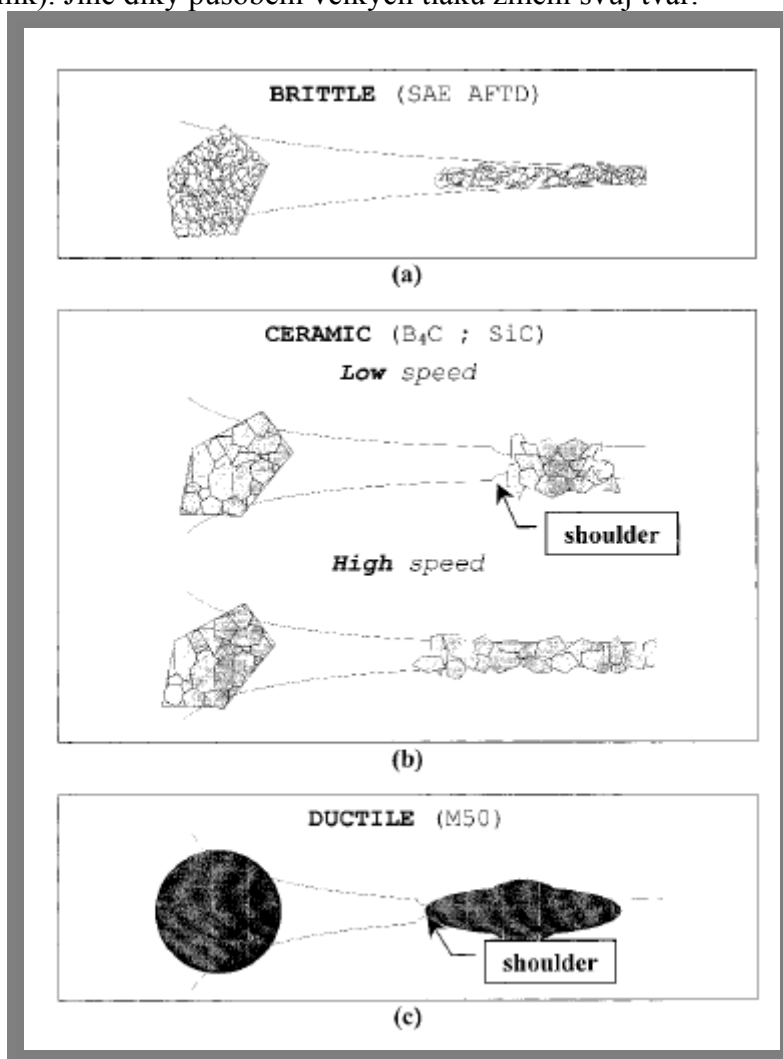
1.6.4 Další způsoby čištění

Dalším způsobem, jak odstranit nečistoty, je využití různých drážek či usadacích nádob. Nečistoty se dostanou do těchto prostor, a jelikož nejsou dále hnány, tak se pozvolna usadí na dnu nádoby. Čerpadlo pak čerpá mazivo z povrchu a tím nedochází ke zpětnému dostání se nečistot do oběhu. Nevýhody tohoto způsobu jsou ty, že je potřeba velké množství maziva a nedochází k úplné filtraci.

K odstranění nečistot, které zůstanou na součástkách po obrobení, a záběh se většinou používá metoda, kdy se nechá součástka zaběhnout a pak se vymění mazivo, které obsahuje nečistoty. Také se používá velice podobná metoda, která se nazývá průplach. Jedná se o metodu, kdy je obrobkem prohnáno velké množství oleje za krátký čas, a nečistoty jsou vyplaveny. Tento způsob se používá nejčastěji u automobilových čerpadel.

1.7 Nečistoty

I když použijeme nejrůznější druhy filtru, vždy projdou nějaké nečistoty přes filtr. Velikost takto projitých částic se pohybuje okolo 50 μm . Přičemž velikost tloušťky mezi dvěma zabírajícími součástmi je okolo 1 μm . To však ještě neznamená, že všechny takto projité nečistoty poškodí povrch součástí. Některé nečistoty se při záběru s rostoucím tlakem na ně rozpadnou. Zda-li se nečistoty rozpadnou nebo ne, záleží především na tvaru nečistoty (ostrost hran, ovalitost) a také na tvrdosti nečistoty (uhlík, křemík). Jiné díky působení velkých tlaků změny svůj tvar.



Obr. 4: Průchod částice [11]

- (a) křehká částice;
- (b) keramická částice;
- (c) tvárná částice;

Výzkumem se také zjistilo, že s klesající tloušťkou mazacího filmu roste počet vtisků od nečistot. Při průchodu nečistot mezi dvěma dotýkajícími se součástmi se v průběhu času začínají objevovat malé jamky, které se postupně zvětšují. To vede k postupnému vydrolení větších ploch, až nakonec dojde k únavě materiálu. Nečistoty bývají většinou tvrdší než povrch třecích ploch, z čehož vyplývá, že při

průchodu je nečistota natlačena na povrch plochy a zde vytvoří již zmíněný důlek. Při prokluzu kol dojde k rapidnímu nárůstu napětí na hraně vtisku, což vede ke zvýšení pnutí. Toto pnutí vytváří pod povrchem trhliny, které se dále šíří a spojují. Při proniknutí trhliny až k povrchu se malá část materiálu odlomí a tím dojde k zvýšení nečistot v oběhu. Dále se také zjistilo, že na zmíněné pnutí na okrajích jamky má největší vliv velikost jamky a hlavně její hloubka. Některé vlivy nečistot mají i svůj přínos. Jak už bylo zmíněno, při vytvoření malých a mělkých důlků na povrchu tělesa mohou tyto důlky sloužit jako zásobníky maziva. Touto problematikou se již zabývá O. Šamánek ve své diplomové práci, kde zkoumal velikost vtisků. Mým prioritním cílem je však zjistit, do jaké hloubky jsou tyto vtisky přínosem a od jaké hloubky jsou naopak nežádoucí. Jelikož při technických operacích nedojde k dokonalému vyhlazení povrchu a zbytkové iniciační jamky nemají přesný rozměr. Proto musíme zvolit jiný způsob měření a to tak, že iniciační jamky sami uměle vytvoříme. Takto uměle vytvořené jamky, u kterých jsme sami zvolili hloubku, budeme testovat na námi zvoleném zařízení. Z výsledků testu zjistíme do jaké hloubky je vryp neškodný. Což je cíl mé bakalářské práce. [11]

1.8

1.8 Šíření trhlín

Dlouhou dobu se nevědělo, jak a proč vznikají trhliny a také proč se nadále šíří. Porušení povrchu materiálu může vzniknout pod povrchem anebo také na povrchu. Zjistilo se, že záleží na sklonu trhliny, které je spojeno s působením smykových napětí. Dále se zjistilo, že s rostoucí velikostí skluzu mezi aktivními povrchy se zmenšuje úhel iniciačních trhlín relativně ke kontaktnímu povrchu, zatímco u podpovrchových trhlín záleží spíše na směru valení a poté se začnou šířit trhliny. Směr šíření trhliny je s největší pravděpodobností závislý na napětí na špičce trhliny a také na mazivu, které se dostane do trhliny a při záběru tam vytváří hydrostatický tlak a tím napomáhá růstu trhliny. Důsledkem menšího napětí na hranicích zrn než v samotných zrnech dochází převážně k šíření trhlín právě podél hranic zrn. Avšak k pittingu dochází i u styku kola s kolejnicí, kde mazivo téměř není. V úvahu se pouze bere dešťová voda, která může být na kolejnicích. Mezi prvními iniciátory pittingu je tak zvaný mikro-pitting, který nejvíce ovlivňuje topografii třecích povrchů. Jelikož je četný rozdíl v blízkosti povrchu a pod povrchem dochází k tomu, že se trhliny nepropagují do hloubky. V důsledku toho vytváří tento rozdíl výstupky na povrchu, které vznikly následkem technologie povrchové úpravy. Tímto způsobem vzniklé výčnělky se často dostanou do vzájemného kontaktu, který vede k mikropittingovým jamkám. Tento pitting by nebyl tolik na závadu, kdyby se na jeho jamkách dále nekoncentrovalo napětí a tím dalo základ pro vznik makropittingu. [10]

2 FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU A JEHO ANALÝZA

2

2.1 Formulace řešeného problému

2.1

Při kontaminaci maziva a následném průchodu znečištěného maziva mezi dvěma zabírajícími soukolími dochází velice často k zapíchnutí nečistoty do povrchu ozubeného kola, kde způsobí jamku. Zatím co na druhém kole v soukolí může způsobit rýhu. Na to můžeme nahlížet dvěma způsoby:

1. Vzniklé povrchové jamky vedou ke koncentraci napětí a následně až ke vzniku pittingu.
2. Takto vzniklé jamky slouží jako zásobníky maziva a chrání součást před odíráním.

O tom, který z těchto případů je výhodnější rozhoduje nejen mazací režim, ale především hloubka vzniklých jamek. Právě touto uvedenou hloubkou se bude zabývat tato bakalářská práce.

2.2 Analýza problému

2.2

Na Ústavu Konstruování se touto problematikou zabývají již delší dobu a díky výzkumu, který ústav provozuje, již známe různé vlastnosti vzniklých jamek. Bylo provedení srovnání měření při elasto-hydrodynamickém mazání s reálným i hladkým povrchem. Z tohoto výzkumu se zjistil velký vliv na hloubku vzniklých jamek. Zatím co u smíšeného mazání se zjistil pozitivní dopad na tloušťku mazacího filmu. [13]Dále se podařilo odladit nedostatky při postupu reverzního výpočtu kontaktního tlaku. Také bylo zjištěno vliv mikro-vtisku na rozložení tloušťky i tlaku mazaných kontaktů. V oblasti RCF testů udělal významný krok O. Šamánek který navrhl zdokonalení zkušebního zařízení R-mat. A tím dosáhl rozšíření měřících oblastí RCF testů. [12]

3 VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE

Jak již bylo uvedeno v úvodu této bakalářské práce, hlavním cílem je v první řadě porovnání hloubky vtisků a na základě zjištěných údajů poté přibližné zjištění, od jaké hloubky dochází ke vznikům povrchových deformací. Nicméně, k tomu, aby bylo měření v praxi vůbec proveditelné, bude nejprve nutné vybrat vhodné zařízení pro měření kontaktní únavy, které by se mělo co nejvíce přibližovat reálnému zatížení, což je sekundárním cílem této bakalářské práce.

4 NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ

4

4.1 Studium

4.1

V dnešní době se velice rychle rozvíjí takzvané modelové simulace a to i pro pitting. Dlouhou dobu trvalo, než se dané problémy dokázaly popsat a matematicky formulovat. To jako první pořádně popsal Hellen svou prací o kontaktní teorii dotyku. [5]

4.2 Měřící zařízení

4.2

Do dnešní doby bylo vyvinuto mnoho druhů přístrojů na zkoumání kontaktní únavy. Mnohé z nich pracují na stejném principu. Jiné zase vznikly vylepšením starších přístrojů.

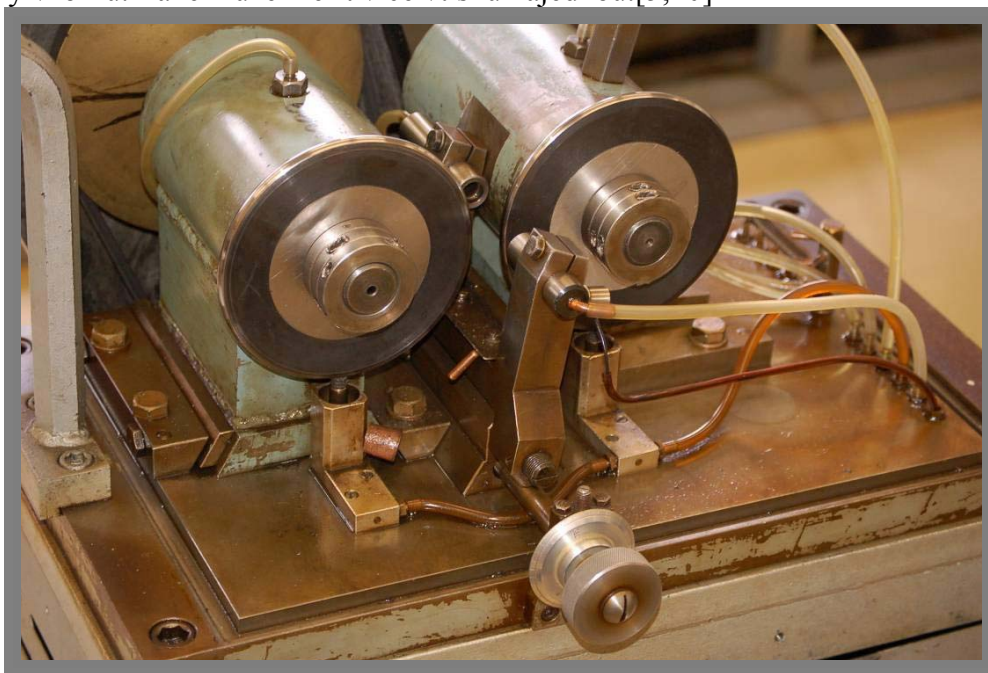
4.3 Typy přístrojů

4.3

4.3.1 R-mat2

4.3.1

Tento přístroj slouží k měření pittingu a je založen na principu bodového kontaktu a na nastavení Hertzova kontaktního tlaku. Je sestaven ze dvou disků a zkušební vzorku. Aby nedošlo k vytvoření pittingu na discích, musí být zkušební vzorek výrazně menšího průměru, než jsou disky. Povrch disků a zkušební vzorku je broušen. Po každém měření se musí kontrolovat, zda nedošlo ke tvorbě pittingu na discích. Výhoda tohoto zařízení je, že může měřit různé průměry vzorku a i různé délky vzorku. Také může měřit více vtisků najednou. [5;10]

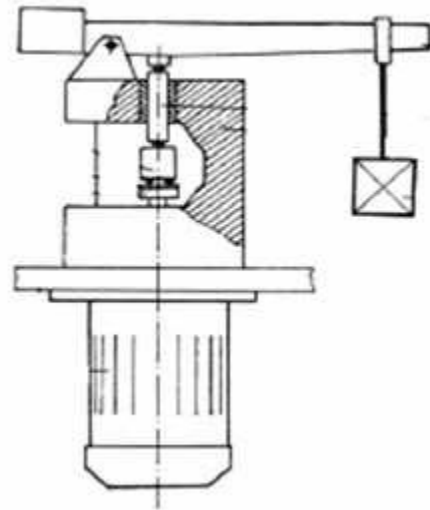


Obr 5:Detailní pohled na zkušební zařízení přístroje R-mat2 [10]

4.3.2

4.3.2 AX-MAT

Tento přístroj je také založen na měření bodového kontaktu a na nastavení Hertzova kontaktního tlaku. Zde však je zkušebním tělesem prsteneц, na kterém se odvalují kuličky. Pro zkrácení doby měření se kuličky odvalují těsně za sebou. Toto odvalování vytvoří na prstenci stopu, na které se po skončení měření vyhodnocují bodové poruchy povrchu. Tento druh měření se dá přirovnat k namáhání axiálního ložiska.[10]



Obr. 6: Zkušební zařízení AX-MAT [5]

4.3.3

4.3.3 Micro-Pitting Rig

Tento přístroj je plně automatizován a je vyráběn ve Velké Británii. Princip jeho činnosti je podobný jako u stroje R-MAT2. Liší se tím, že Micro-Pitting Rig má tři namáhané kotouče. Díky přidanému kotouči dosáhli rychlejšího měření. Také má lepší nastavitelnost kontaktního tlaku a přesnější stanovení elastohydrodynamického filmu. Tento přístroj analyzuje kontaktní únavu, ale může zahrnout do analýz i vliv nátěrů a povlaků. Můžeme zde také nastavit součinitel prokluzu i teplotu.[10]



Obr. 7: Zkušební zařízení Micro-Pitting Rig [10]

4.4 Zhodnocení přístrojů

4.4

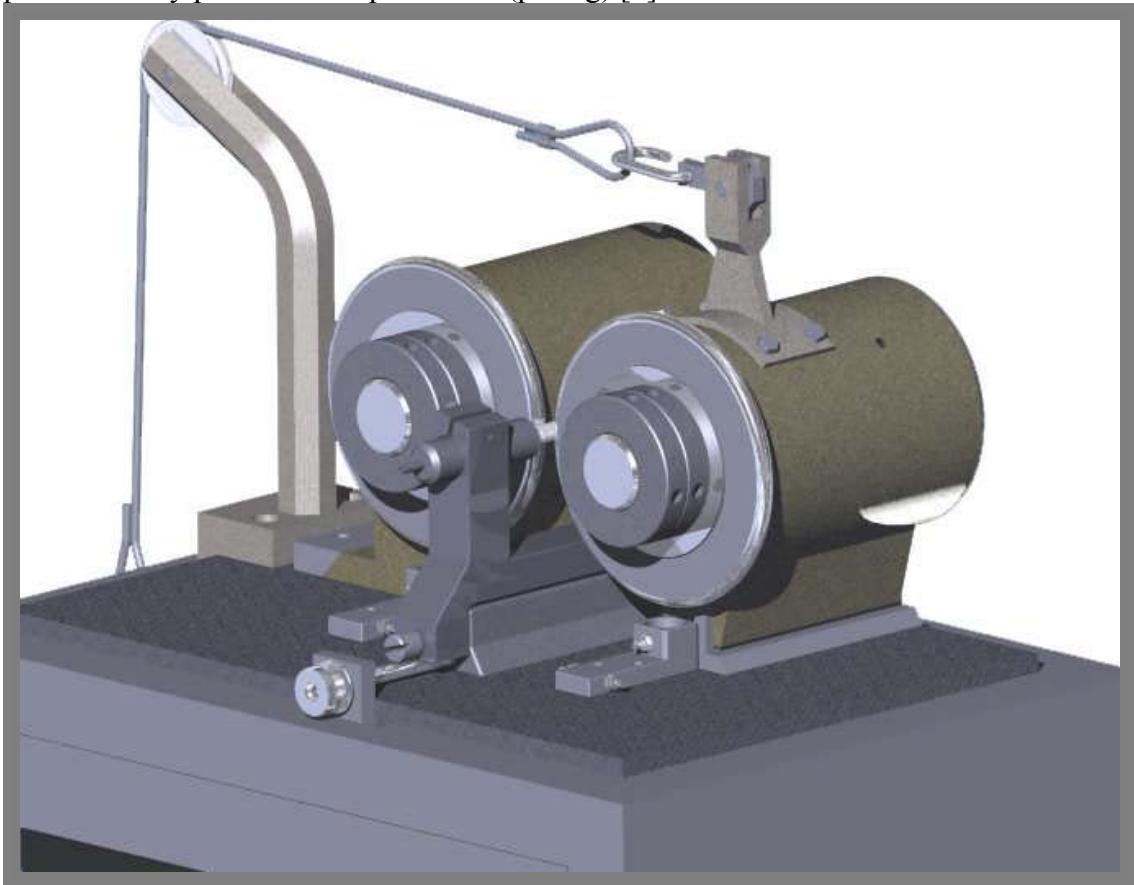
Z těchto tří přístrojů se jeví jako nejlepší přístroj Micro-Pitting Rig, avšak pro další účely bakalářské práce je nevhodný, protože Ústav konstruování jím není vybaven. Proto jsem nucen zvolit si mezi zbývajícimi dvěma výše uvedenými přístroji. Ze zbylých dvou se jako nejlepší jeví přístroj R-MAT2, u kterého si lze nastavit kontaktní tlak a zároveň je zde možné stanovit i relativně libovolný zkušební vzorek.

5 5 ANALÝZA A INTERPRETACE ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ

5.1

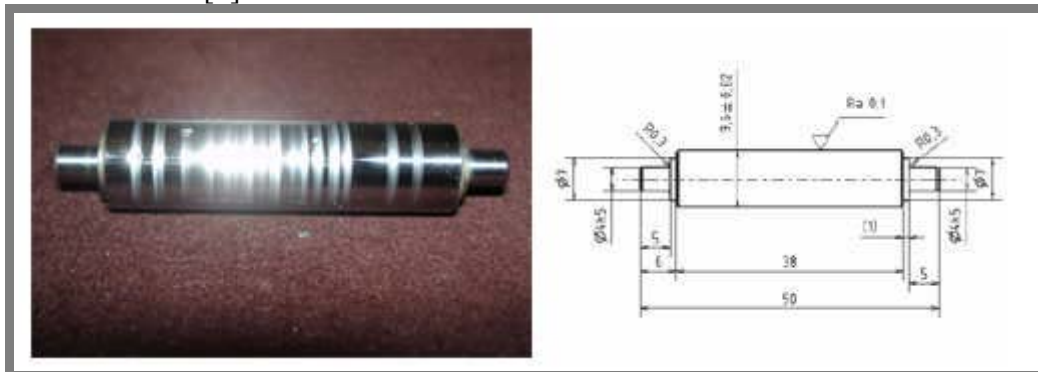
5.1 Zkušební zařízení R-mat2

Hlavní části toho zkušebního zařízení tvoří dva disky. Každý z těchto disků je přes hřídel uchycen k elektromotoru. První disk je poháněn elektromotorem a druhý disk je poháněn pomocí zkoumaného vzorku. Z toho vyplývá, že zkoumaný vzorek je umístěn mezi disky a je přitlačován přitlačnou silou, kterou tam přivádí druhý disk. To je umožněno díky výkyvnému přichycení motoru, který drží druhý disk. Tuto přitlačnou sílu je možné regulovat a to pomocí závaží, kladky a lanového převodu. Hnací motor je možné příčně posunout a to kvůli axiálnímu nastavení os rádiů kotoučů. Zatímco výškové nastavení os disků s osou vzorku provádíme pomocí šablony a posuvným jezdce s výkyvným vřeteníkem. Celá soustava musí být mazána a to je provedeno pomocí hnaného disku a svou rotací přenesse mazivo do celé soustavy. U tohoto zařízení lze nastavit parametry tak, abychom byli schopni vytvořit podmínky pro mazání smíšené či částečně elektrohydrodynamické. V průběhu zkoušky jsou na vzorku zkoumány vibrace. Díky těmto vibracím se monitoruje celý průběh testu. Test je ukončen tehdy, až když se začnou objevovat první náznaky povrchového poškození (pitting).[7]



Obr. 8: Model testovacího zařízení [7]

U tohoto zařízení je možné zkoumat vzorky různých průměrů. Konce vzorků jsou umístěny v zapouzdřených ložiscích. Pouzdra jsou připevněna na lunetu, která umožňuje výkyvný příčný posuv. Díky různě stavitelné lunetě a různě dlouhým pouzdrům je možné zkoušet vzorky, které měří až 150 mm a na nich můžeme provést až 40 zkoušek. [8]



Obr. 9: Příklad vzorku [3]

5.2 Průběh měření

Před zahájením měření se musel připravit vzorek. Hlavní částí přípravy bylo leštění pomocí, kterého jsme docílili drsnosti vzorku 0,1 Ra, a také jeho průměru, který byl 9,6 mm. Do takto připravený vzorek bylo vyraženo několik dřívků za pomoci vnikajícího tělíska s diamantovým hrotem o poloměru zaoblení 0,2 mm. Vyražení dřívků proběhlo za pomoci sil a to o velikosti 8N, 50N a 80N. Před samotným vyražením dřívků se musel vzorek pečlivě očistit a odmastit aby na daném vzorku nedošlo k případnému zkreslení výsledků. Poté byl vzorek nafocen a vyňat. Takto připravený vzorek byl umístěn do nově upraveného stroje R-mat2. Tato nová úprava R-matu2 spočívá v prokluzu jednoho vřetene a byla provedena, aby měření bylo reálnější. V reálném světě totiž k prokluzům běžně dochází. Dále byly vyměněny leštěné kotouče za broušené, což vede k rychlejšímu vzniku pittingu. Po zapnutí stroje se začal automaticky počítat čas a měřit síla chvění vzorku. Přístroj na měření chvění byl připojen k počítači, kde byla nastavená horní hranice chvění a při její překročení došlo k samovolnému vypnutí stroje R-mat2 a měřiče času. Důvodem vypnutí byl vznik makropittingu, který vyvolal větší chvění. Poté se vzorek posunul vyměnili se kotouče a celý proces se opakoval. Vyndané kotouče se kontrolovali zdali u nich nedošlo k pittingu, protože pokud by došlo je dané měření neplatné. Proto je nutné mít kotouče větší, aby na jednu jejich otáčku, se musel vzorek otočit vícekrát a tím se i více opotřeboval. Celé měření proběhlo za kontaktního tlaku 4 GPa.

5.2

5.3 Získané údaje

Na vzorku bylo provedeno 12 vtisků. Z těchto dvanácti vtisků bylo dosud testováno strojem R-mat2 pouze 4 vzorky. Výsledky těchto 4 vzorků jsou v tabulce (Tab. 1.).

5.3

test			Rozměry (průměry)			Otáčky			prokluz	pitting		
dráha	Délka testu	síla	Pevně vřetenno	Pohyblivé vřetenno	vzorek	Pevně vřetenno	Pohyblivé vřetenno	vzorek	reálný	Pevně vřetenno	Pohyblivé vřetenno	vzorek
--	min	N	mm	mm	mm	ot/min	ot/min	ot/min	%	--	--	--
I	495	80	139,5	139,7	9,6	671	640,5	9425	4,76	ano	ne	ano
II	2824	80	139	139,1	9,6	671	641	9358	4,68	ne	ne	ano
III	750	80	141,2	141	9,6	671	640,5	9505	4,76	ne	ne	ano
IV	1480	8	142,36	142,76	9,6	671,5	641	9673	4,75	ne	ne	ano

Tab. 1: Výsledky měření

Z tabulky jasně vyplývá, že měření číslo I musíme z měření vyloučit, jelikož na kotouči pevného vřetenno vznikl pitting. Zatím co u měření číslo II je velice vysoké délka životnosti. To bylo způsobeno záměnou jednoho kotouče broušeného za kotouč leštěný. To však vedlo ke zkreslení výsledků a k znehodnocení celého měření. Následné dvě měření odpovídají odhadovaným hodnotám, akorát vzorek číslo IV měl být zatížen silou o velikosti 50 N a ne silou 8 N to však, ale nebrání k vyhodnocení celého měření.

Z tabulky, také jasně vyplývá, že měřený vzorek byl daleko více namáhán, než pomocné kotouče a to zhruba 15x více. To je způsobeno menším průměrem zkušebního vzorku a pro měření to má velký přínos, jelikož je větší pravděpodobnost, že na zkušebním vzorku vznikne pitting daleko dříve, než u pomocných kotoučů. K pittingu může dojít i na kotouči, jak k tomu došlo u měření číslo I je to většinou způsobeno skrytou povrchovou vadou kotouče. Proto je velice nutné provádět vizuální kontrolu kotoučů před samotným zahájením měření, aby se ještě více snížila pravděpodobnost vzniku pittingu na kotouči.

5.4

5.4 Zhodnocení výsledků

Všechna měření byla zastavena při vzniku makropittingu a jak už bylo zmiňováno, zabývat se budeme pouze měření číslo III a IV. Z těchto měření vyplynulo, že rozhodujícím faktorem je hloubka vtisku, která je přímo ovlivněna silou, se kterou byl důlek vytvořen. Bohužel, jak už bylo zjištěno, hloubka vtisku není přímo úměrné síle, kterou byl vtisk vytvořen. A i proto se daná hloubka velice těžko zjišťuje. Z naměřených hodnot se zjistilo, že důlek vzniklý silou 8N vydrží, až dvojnásobek otáček oproti důlku, který byl vytvořen silou 80N. Také se u vzorku, který byl zatížen 8N, těžko identifikuje vznik pittingu, jelikož jamka vzorku byla podstatně menší než pitting vzniklý v okolí.

Proto navrhuji provést další měření s různě velkými silami, aby se zjistil průběh otáček jak na síle, tak i na hloubce. Z takto zjištěných hloubek vtisku by se stanovila optimální hranice zrn nečistot, které ještě neovlivňují natolik vznik a rozvoj makropittingu.

6 ZÁVĚR

Ústředním tématem této bakalářské práce byl vliv hloubky zatlačené nečistoty na povrch tělesa. V úvodu stanovenou otázku, jaká hloubka je neškodná a jak stanovit hranici mezi neškodnou a škodnou částí, jsem se pokusil zodpovědět na základě empirického měření za pomoci zkušebního zařízení R-mat2 a to především z důvodu jeho dostupnosti, neboť jako nejvhodnější zkušební zařízení se ukázal být přístroj Micro-Pitting Rig.

Ze získaných hodnot se nedá přímo usoudit, do jaké hloubky je vtisk neškodný a od jaké hloubky poté způsobuje vznik makropittingu, neboť hloubka jamky není lineární se silou potřebnou pro vytvoření té jamky. Ke stanovení přesnějších závěrů by bylo nutné zhotovit celou škálu různě hlubokých vzorků a následně zkoumat, zda uměle vytvořená jamka byla místem iniciace vzniku makropittingu.

Nicméně je nutné vzít v potaz, že uměle vytvořená jamka je na povrchu zkoumané části vzorku sama, zatímco u přírodně vzniklých jamek může dojít k tomu, že se budou dvě jamky částečně překrývat, nebo budou v těsné blízkosti. Tento problém lze řešit tak, že takto stanoveným velikostem nečistot by se přizpůsobila filtrace. Tato filtrace by měla zachytit všechny nečistoty, které jsou větší nebo rovny námi určenou velikostí nečistot. Toto však již přesahuje rozsah této bakalářské práce, nicméně může posloužit jako námět pro další odbornou práci.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Prezentace konstrukce strojů-strojní součásti, Ústav Konstruování,
Technická univerzita Brno
URL: <https://www.vutbr.cz/elearning/mod/resource/view.php?id=79078>
(cit. 2008 . 7 - 9)
- [2] PRÁŠILOVÁ, A. *Vliv reologie maziv na tloušťku mazacího filmu..* Brno:
Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 28 s. Vedoucí
bakalářské práce prof. Ing. Ivan Křupka, Ph.D.
- [3] ŠAMÁNEK, O. *Vliv povrchových nerovností na funkci mazaných kontaktů
strojních částí..* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství,
2007. 68 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Ivan Křupka, Ph.D.
- [4] Technika a trh
URL: www.technikaatrh.cz/index.php?sec=rubrika&id_rubrika=58
(cit. 2009-01-20)
- [5] Bakalářská práce
URL: dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_soubor.php?id=931
(cit. 2007-06-20)
- [6] MM Průmyslové spektrum
URL: www.mmspektrum.com/clanek/moderni-metody-cistenihydraulickycholeju
(cit. 2006-05-17)
- [7] ŠAMÁNEK, O. *Snížení tření a opotřebení strojních součástí cílenou
modifikací topografie třecích povrchů..* Brno: Vysoké učení technické v Brně,
Fakulta strojního inženýrství, 2009. 35 s. Pojednání diplomové práce
- [8] CHARVÁT, V. *Systém pro snímání signálu AE při zkouškách kontaktní
únavy na zařízení R-mat..* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního
inženýrství, 2009. 33 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Pavel Mazal, CSc.
- [9] ŠAMÁNEK, O. *Vliv povrchových nerovností na funkci mazaných kontaktů
strojních částí..* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství,
2007. 3 s. Příspěvek
- [10] TOMEK, O. *Výpočtové modely kontaktní únavy strojních součástí..* Brno:
Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2007. 37 s. Vedoucí
bakalářské práce Ing. Martin Vrbka, Ph.D.
- [11] NÉLIAS, D. *Výpočtové Detrimental Effects of Debris Dents on Rolling
Contact Fatigue..* France: European Institution of Tribology, Laboratoire de
Mécanique des Contacts, 2007. 10 s.

[12] POPELKA, J. *Vliv cílené modifikace topografie na únavové poškození třecích povrchů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 79 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Ivan Křupka, Ph.D.

[13] KŘUPKA, I., et al., Effect of surface texturing on mixed lubricated nonconformal contacts., *Tribology International*, 2008, doi:10.1016/j.triboint.2007.11.016

8 8 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obr. 1 Závislost součinitele tření f na parametru mazání	13
Obr. 2 Příklady poškození s jediným vtiskem v kontaktní stopě	15
Obr. 3 Poškození kontaktní únavou	15
Obr. 4 Průchod částice	17
Obr. 5 Detailní pohled na zkušební zařízení přístroje R-mat2	21
Obr. 6 Zkušební zařízení AX-MAT	22
Obr. 7 Zkušební zařízení Micro-Pitting Rig	22
Obr. 8 Model testovacího zařízení	24
Obr. 9 Příklad vzorku	25

9 9 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Výsledky měření	26
-------------------------------	----