

VUT v Brně
Fakulta Strojního Inženýrství
Ústav konstruování

Ing. Otakar Šamánek

**Snížení tření a opotřebení strojních částí cílenou modifikací topografie třecích
povrchů**

Friction and wear reduction by topography modifications of rubbing surfaces

Konstrukční a procesní inženýrství

(zkrácená verze PhD Thesis)

školitel: prof. Ing. Ivan Křupka, Ph.D.
opONENTI:

datum obhajoby:

Klíčová slova: cílená modifikace topografie, smíšené mazání, RCF

Key Words: surface texturing, mixed lubrication, RCF

Název pracoviště, na kterém je uložen rukopis disertační práce:

Ústav konstruování, VUT FSI v Brně

ISBN 80-214- doplní redakce

ISSN 1213-4198

OBSAH

1	VYMEZENÍ ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY.....	5
1.1	Cíl disertační práce.....	6
2	SHRNUTÍ SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ.....	6
2.1	Přirozená modifikace topografie.....	6
2.2	Cílená modifikace topografie.....	7
3	EXPERIMENTÁLNÍ APARATURA.....	7
3.1	Modifikace topografie třecích povrchů.....	8
3.1.1	<i>Geometrie struktur</i>	9
3.2	TestY kontaktní únavy.....	9
3.2.1	<i>Experimentální zařízení</i>	10
3.3	Metodický postup experimentální metody.....	11
3.4	Numerický model.....	12
4	VÝSLEDKY VSTUPNÍCH EXPERIMENTŮ.....	13
4.1	Testy s jednotlivými vtisky v kontaktní stopě.....	13
4.2	Testy s texturami v kontaktní stopě.....	15
5	VLIV CÍLENÉ MODIFIKACE TOPOGRAFIE TŘECÍCH POVRCHŮ NA PROJEVY POŠKOZENÍ KONTAKTNÍ ÚNAVOU.....	16
5.1	Vliv hustoty textury na RCF – mělké vtisky.....	16
5.2	Vliv hloubky textury na RCF – hluboké vtisky.....	17
5.3	Vliv geometrie textury na RCF – textury T1 až T4.....	18
6	ZÁVĚR.....	19
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	21
	CURRICULUM VITAE.....	24
	ABSTRAKT.....	26
	ABSTRACT.....	26

1 VYMEZENÍ ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Poškozování třecích povrchů v důsledku přítomnosti nerovností na těchto površích je jedním z nejvýznamnějších mechanismů poškození při provozu elastohydrodynamicky (EHD) mazaných kontaktů strojních součástí. V důsledku opakovaného cyklického zatížení třecích povrchů může docházet k jejich styku a následnému zvýšení tření a opotřebení, nebo k iniciování a propagaci únavového poškození (RCF). Vznik tohoto poškození může být významně urychlen přítomností nerovností (například vtisků) na třecích površích [1], takže topografie třecích povrchů má významný vliv na jejich životnost a funkci. Naopak nedávné studie naznačují, že vhodným navržením povrchové struktury lze docílit zlepšení odolnosti třecího povrchu vůči projevům poškození kontaktní únavou [2].

Studium modifikace topografie třecích povrchů je tak orientováno na dva základní směry. Prvním je tzv. přirozená modifikace topografie, vzniklá v důsledku dokončovacích operací na třecích površích, nebo kontaminací maziva [3]. Takovouto povrchovou strukturu je však obtížné předem definovat a kontrolovat. Druhým směrem je pak cílená modifikace topografie. Ta představuje tvorbu požadované struktury na třecích površích s cílem zlepšení jejich tribologických vlastností, tj. snížení tření a opotřebení. Cílená modifikace topografie je nejčastěji realizována pomocí technologií LST (Laser Surface Texturing) nebo pomocí mechanického vyrážení vtisků do třecích povrchů. Tímto způsobem cílená modifikace umožňuje vytvoření povrchových struktur s velmi dobře definovanou a snadno kontrolovatelnou geometrií [4-6].

Poškozování vyvolané povrchovými nerovnostmi za podmínek mazaného kontaktu konformně zakřivených těles se věnovala řada studií [např. 7,8]. Bylo prokázáno, že tento přístup má příznivý vliv na utváření hydrodynamického mazacího filmu a vede ke zvýšení jeho tloušťky v kontaktní oblasti mnoha strojních prvků. Povrchy některých strojních součástí se proto opatřují soustavami vtisků, které slouží jako zásobníky maziva a napomáhají tak ke snížení tření a opotřebení těchto povrchů [9-13].

Novodobé studie se zabývají vlivem a účinky cílené modifikace topografie za reálných podmínek v oblasti styku nekonformně zakřivených těles. Tyto práce se zaměřují převážně na vliv povrchových nerovností na chování a utváření mazacích filmů při bodovém kontaktu těles. Metody optické interferometrie umožnily studovat vliv uměle vytvářených struktur na tloušťku EHD mazacího filmu [9,14,15]. Přítomnost povrchových nerovností v mazaném kontaktu však také významně ovlivňuje rozložení tlaku v mazacím filmu. Uměle vytvořené struktury mohou zároveň působit jako koncentrátoři napětí a mohou vést k poškození třecího povrchu. Z tohoto důvodu se řada dalších studií zabývala vlivem takovýchto struktur na iniciaci a propagaci únavového poškození třecích povrchů. Z výsledků lze usuzovat, že struktura povrchových textur, stejně jako geometrie jednotlivých vtisků

má významný vliv na únavové poškození třecích povrchů strojních součástí a je potřeba ji zohlednit v dalších studiích [16–19].

1.1 CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE

Práce shrnuje a popisuje metodiku tvorby cílené modifikace topografie na třecích površích strojních součástí. Dále se zabývá vlivem modifikace topografie na kontaktní únavovou životnost těchto povrchů. Jakákoli přítomnost povrchové nerovnosti (uměle vytvořená nebo přirozená) má vliv na rozložení tlaku v kontaktní oblasti a může působit jako koncentrátor napětí. Práce proto posuzuje uměle vytvořené vtisky na třecích površích jako potencionální koncentrátory napětí a jejich vliv na tvorbu únavového poškození. Navazuje tak na předchozí studie, věnující se zohlednění geometrie vtisků na únavovou životnost strojních součástí a projevy únavového poškození.

2 SHRUTÍ SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

V odborné literatuře se popis a studium modifikace topografie třecích povrchů zaměřuje na dva základní směry, *přirozenou modifikaci topografie* a *cílenou modifikaci topografie*. Přirozená modifikace vzniklá v důsledku dokončovacích operací na třecích površích nebo kontaminací maziva. Cílená pak představuje tvorbu požadované struktury na třecích površích s cílem zlepšení jejich tribologických vlastností, především snížení tření a opotřebení.

2.1 PŘIROZENÁ MODIFIKACE TOPOGRAFIE

Za podmínek hydrodynamického mazání se iniciací povrchového poškození vlivem přirozeně modifikovaného povrchu zabývala řada numerických i experimentálních studií [20-27]. Jednou z úvodních studií v této oblasti byla práce Waye [20], který konstatoval, že prosakování maziva do iniciované trhliny má za následek její další propagaci a následné poškození součásti. Řada experimentálních prací hodnotila kontaktní únavovou životnost ložisek, za podmínek kontaminovaného maziva při různých úrovních filtrace maziva. Mezi tyto práce se řadí jedu z prvních takovýchto studií Talliana [21,22], který zpracoval teoretický i experimentální přístup. Na jeho práci navázali i Chao et. al. a Averbach et. al.[23,24]. Hlavním závěrem je zde fakt, že filtrace maziva má velmi významný vliv na životnost zkoušených ložisek.

Zásadní prací v oblasti studia přirozené modifikace a jejího vlivu na chování mazacího filmu byla publikace Akamatsu et. al. [25], která hodnotí vliv nahodile rozmístěných malých vtisků na vlastnosti mazání. Za vzorek bylo použito jehlové ložisko (Obr.1b), jehož prvky (jehly a kroužky) byly opatřeny malými vtisky. Výsledná drsnost povrchu byla charakterizována použitím parametru nesouměrnosti S_k (skewness). Parametr nesouměrnosti S_k je třetí moment funkce hustoty pravděpodobnosti (PDF) povrchových nerovností.

Vliv přirozené modifikace topografie na *kontaktní únavovou životnost* popsali i Nélías a Ville, kteří se zaměřili na popis nepříznivých vlivů vtisků na tlak a podpovrchové napětí v EHD liniovém kontaktu v závislosti na tvaru vtisku a na provozních podmínkách [9, 17, 26]. V experimentu se zaměřili na nalezení mechanismu deformace nebo fragmentace částice, výsledných vlastností vtisků a počátku povrchového poškození.

2.2 CÍLENÁ MODIFIKACE TOPOGRAFIE

Cílená modifikace topografie je v praxi nejčastěji realizována pomocí technologií *Laser Surface Texturing* (LST) nebo pomocí mechanického vyrážení vtisků do třecích povrchů. Tímto způsobem cílená modifikace umožňuje vytvoření povrchových struktur s velmi dobře definovanou a snadno kontrolovatelnou geometrií. Charakteristiku metody LST uvedl Etsion [5] a zároveň poukázal na potenciál této metody v různých strojních aplikacích. Také popsal některé ze základních a probíhajících výzkumů využívajících LST po celém světě. Technologii, využívající svazek energie k tvorbě textur na třecích površích dále popsali Vincent a kolektiv, kteří se zaměřili na hodnocení kvality LST metody a výsledných textur [27] a Voevodin, který využil laserového paprsku k texturování povrchových povlaků [28].

Různé formy a techniky realizace povrchových textur byly vyvinuty v průběhu let pro zvýšení tribologického výkonu strojních částí. Schneider vyvinul metodu „vibrorolling“, která se skládá z výroby mělkých drážek pomocí pevného indentoru na kovových součástech [29]. Zároveň Suh představil myšlenku modulovaného (přizpůsobeného) povrchu pro odstraňování oxidických nečistot z rozhraní elektrických kontaktů [30]. Zpočátku používal leptací techniku, která byla později nahrazena abrazivním obráběním k tvorbě drážek. Tyto drážky měly působit jako lapače nečistot čímž bylo docíleno snížení opotřebení a deformace součásti. Další metodou realizace cílené modifikace topografie bylo reaktivní iontové leptání, které popsali Wang a Kato za účelem studia vlivu textur, ve formě mikro-důlků na povrchu axiálního ložiska, pracujícího ve vodní lázni [31]. Jiné techniky realizace textur zahrnují tryskové obrábění [32], litografii a anizotropní leptání, popřípadě využití elektrického výboje [33, 34].

Dalším přístupem, kterým lze realizovat cílenou modifikaci strojního povrchu je *mechanické vyrážení* jednotlivých vtisků nebo vzorových matic do třecího povrchu součásti.

3 EXPERIMENTÁLNÍ APARATURA

Předchozí studie ukázaly, že vhodně navržená povrchová textura může za konkrétních provozních podmínek přispět k prodloužení únavové životnosti součásti. Tyto studie však hodnotily pouze vliv samostatného vtisku v kontaktní stopě. Z výsledků je patrné, že geometrie vtisků podstatně ovlivňuje rozložení tlaku

v kontaktní oblasti a tím i celkovou životnost součásti. Geometrie jednotlivých vtisků v kontaktní stopě však také vykazuje odlišné vlastnosti než za přítomnosti textury (soustavy vtisků) v kontaktu. Z toho důvodu byl experiment rozšířen o zohlednění vlivu soustav vtisků na únavovou životnost.

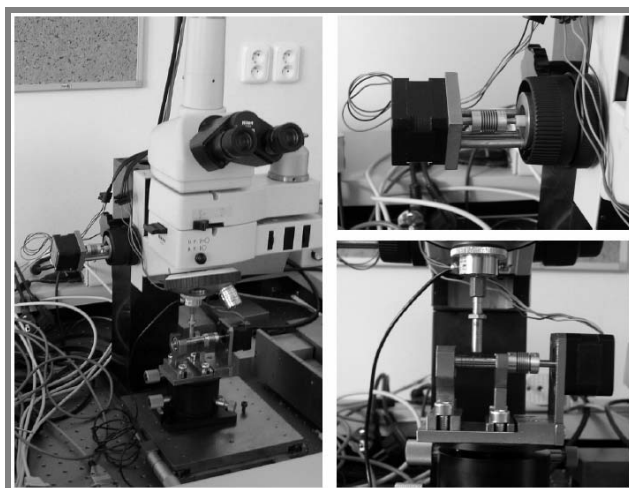
Byla realizována úprava stávajícího experimentálního zařízení. Základ konvenčního mikroskopu byl rozšířen tak, aby bylo možné vytvářet složitější textury na třecích površích se zaručením přesnosti a opakovatelnosti. Tato úprava umožňuje snadnou kontrolu geometrie vtisků i jejich soustav. Pro takto modifikované experimentální zařízení byl vyvinut řídicí software. Jeho pomocí lze kontrolovat a řídit horizontální pohyb vyrážení, otočný pohyb vzorku a velikost přítlačné síly.

Realizované experimenty umožnily odladění měřicí soustavy a řídicího softwaru. Další experimenty pak umožnily popsat vliv cílené modifikace topografie třecích povrchů na kontaktní únavovou životnost třecích povrchů a naplnit vymezené dílčí cíle disertační práce.

3.1 MODIFIKACE TOPOGRAFIE TŘECÍCH POVRCHŮ

K cílené modifikaci topografie povrchů vzorků bylo využito mechanické vyrážení vtisků pomocí vnikacího tělíska (Rockwell) s diamantovým hrotem s poloměrem zaoblení 0,2 mm. V rámci disertační práce byla navržena modifikace stávajícího vyrážecího zařízení z manuálního na řízené. Z tohoto důvodu bylo provedeno několik úprav. Původní manuální koncept představoval velkou časovou zátěž na tvorbu mikrostruktur a zároveň nedovoľoval zachování přesnosti a opakovatelnosti procesu vyrážení vtisků. Proto byl nahrazen procesem automatizovaným. Úprava využívá modifikaci konvenčního mikroskopu (Obr. 1). Přiřazeny jsou dva krokové motory, které slouží k vertikálnímu posuvu mikroskopu a k otáčení vzorkem.

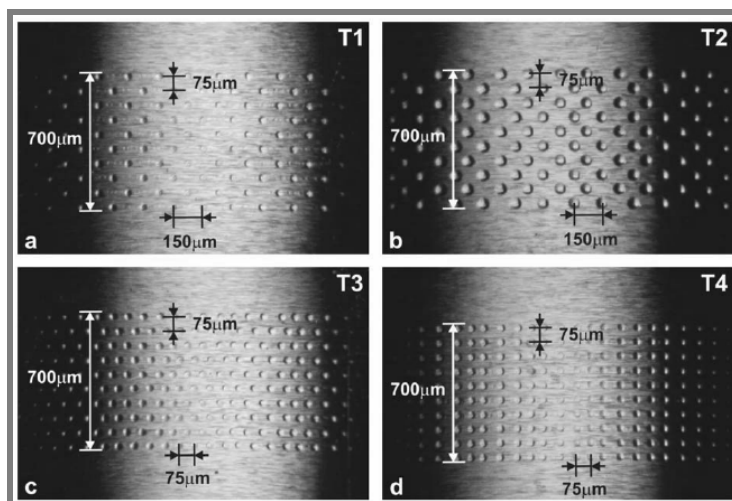
Proces vytváření jednotlivých měřicích stop je plně automatizován a je řízený počítačem. Za tímto účelem byl vyvinut řídicí software, umožňující snadnou kontrolu základních parametrů vyrážecího procesu. Modifikace topografie povrchu vzorku je realizována vertikálním posuvem mikroskopu. Horizontální posuv není řízený a je realizován ručním posuvem, pomocí mikrometru. Tímto způsobem jsme schopni zajistit požadovanou strukturu třecího povrchu a snadnou kontrolu geometrie vtisků.



Obr. 1 Modifikace konvenčního mikroskopu [35]

3.1.1 Geometrie struktur

Úvodní experimenty, zohledňující vliv mikrostruktur na kontaktní únavu sloužily především k odladění řídicího softwaru a k nalezení vhodného uspořádání soustavy vtisků. Na základě těchto úvodních měření byly stanoveny čtyři základní koncepty textur, vhodné pro další měření (Obr. 2). Rozměry mezi jednotlivými vtisky byly 75 μm mezi řadami i mezi sloupci v případě textur T1, T3 a T4, zatímco textura T2 měla rozměry 150 μm mezi sloupci a 75 μm mezi řadami. Průměr jednotlivých vtisků byl variabilní v závislosti na zátěžné síle, pro úvodní testy byl průměr vtisku stanoven na 40 μm . Z důvodu vysoké časové náročnosti tvorby vtisků, nebyl texturován celý povrch zkušebních vzorků, ale pouze jednotlivé úseky, odpovídající velikosti kontaktní oblasti.



Obr. 2 Základní koncepty textur [36]

3.2 TESTY KONTAKTNÍ ÚNAVY

Ke studiu cíleně modifikovaného třecího povrchu lze přistupovat dvěma základními způsoby. Prvním je studium vtisků jako zásobníků maziva, které

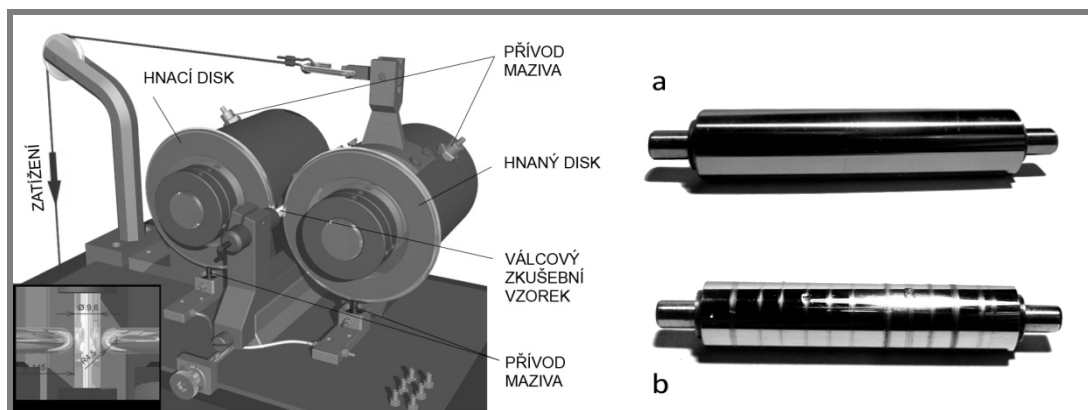
napomáhají dodávat mazivo do kontaktu v případě jeho nedostatku (rozběh, doběh). Druhým způsobem je studium vtisků jako potenciálních koncentrátorů napětí a jejich vliv na kontaktní únavu. S přítomností nerovnosti v mazaném kontaktu dochází k nárůstu tlaku a tvorbě tlakových špiček na okrajích vtisků, které mohou vést až k porušení součásti a jejímu vyřazení z provozu. Z toho důvodu bylo přistoupeno ke studiu vlivu textur na třecích površích na kontaktní únavu. Práce popisuje testy provedené M. Vrbkou a na jejich základě pak stanovuje vliv modifikace topografie na mazaný kontakt. Testy byly prováděny vždy do výskytu poškození pittingem. Sledován byl čas do porušení součásti. Ze známých parametrů experimentu je pak snadné dopočítat počet cyklů do porušení. Během zkoušek se na vzorku snímají vibrace, pokud dojde k překročení předem stanovené limitní hodnoty vibrací, experiment je automaticky zastaven. Zkoušky byly prováděny za podmínek smíšeného mazání a částečného EHD mazání při čistém valení, 5% a 10% prokluzu. Výsledky byly následně porovnány se zkouškami s nemodifikovanými vzorky.

3.2.1 Experimentální zařízení

Chování cílené modifikace topografie za reálných podmínek vyskytujících se v tribologických soustavách bylo studováno s využitím simulátoru R-Mat (Obr. 3). Simulátor je sestaven ze dvou disků, z nichž jeden je poháněn elektromotorem, druhý je hnaný. Zkušební vzorek je umístěn mezi disky a přitlačnou silou je zatížen. Tuto sílu lze přesně regulovat pomocí přídavného závaží. Poháněný disk je mazán a svým pohybem přenáší mazivo do celé soustavy [35].

Parametry měření na simulátoru R-Mat lze nastavit tak, aby vznikly podmínky smíšeného nebo částečného EHD mazání. Během zkoušek jsou na vzorku snímány vibrace, pomocí nichž je monitorován celý průběh experimentu. Jednotlivá měření jsou ukončena při prvních projevech poškození povrchu (pitting).

Zkoumaným vzorkem byla hřídel o průměru 9,6 mm, vyrobená z oceli 14 109 se střední aritmetickou úchytkou profilu Ra 0,1 μm (Obr. 3a,b). V experimentu byly použity disky z oceli 14 109, jejichž průměr byl 145 mm a poloměr zaoblení v ose kolmé na osu otáčení 4,5 mm. Ze známých parametrů experimentu lze potom snadno určit počet cyklů do porušení zkušební vzorku.



Obr. 3 Experimentální zařízení R-Mat; a) zkušební vzorek b) vzorek po RCF testu

3.3 METODICKÝ POSTUP EXPERIMENTÁLNÍ METODY

Postup jakým lze experimentální metodu charakterizovat reflektuje předchozí kapitoly a doplňuje je o další kroky. V následujících bodech je uveden celý metodický postup při přípravě, realizaci, měření a vyhodnocení přítomnosti cílené modifikace topografie na třecích površích vzorků.

- ***Příprava vzorku***

Zde se jedná především o čištění povrchu vzorku, pro odstranění nečistot. Případně je před tímto krokem vzorek ještě povrchově upravován (leštěn) pro snížení jeho střední aritmetické úchyly profilu a ke snížení mazacího režimu soustavy.

- ***Sestavení texturovacího zařízení***

Texturovací zařízení je nutné sestavit pro konkrétní využití. Sestavení se liší pro texturování hřídelů nebo kuličky. V obou případech je třeba částečně rozebrat a přestavět celé zařízení. Zachován je pouze stend konvenčního mikroskopu Nikon.

- ***Realizace textury***

Následně je třeba v softwarovém rozhraní nastavit parametry požadované textury a zajistit správné přepočty hodnot posuvů krokových motorů a lineárního motorizovaného posuvu. Realizace je prováděna automaticky, bez potřeby zásahu uživatele. Nicméně je doporučeno celý proces kontrolovat a zamezit tak případným potížím.

- ***Čištění, doleštění vzorku***

Po vlastní realizaci textur je v některých případech vzorek opět čištěn, popřípadě znovu leštěn pro odstranění přetečeného materiálu po vytváření textury.

- ***Příprava experimentálního zařízení R-Mat***

Příprava zařízení R-Mat spočívá v optické kontrole funkčnosti zařízení, v kontrole kontaktních povrchů zátěžných disků. Při výskytu povrchového poškození na discích je třeba je vyměnit. Provádí se rovněž kontrola funkčnosti snímačů vibrací. Před experimentálním měřením se rovněž nastavuje kritická hodnota hladiny těchto vibrací.

- ***Realizace RCF testů***

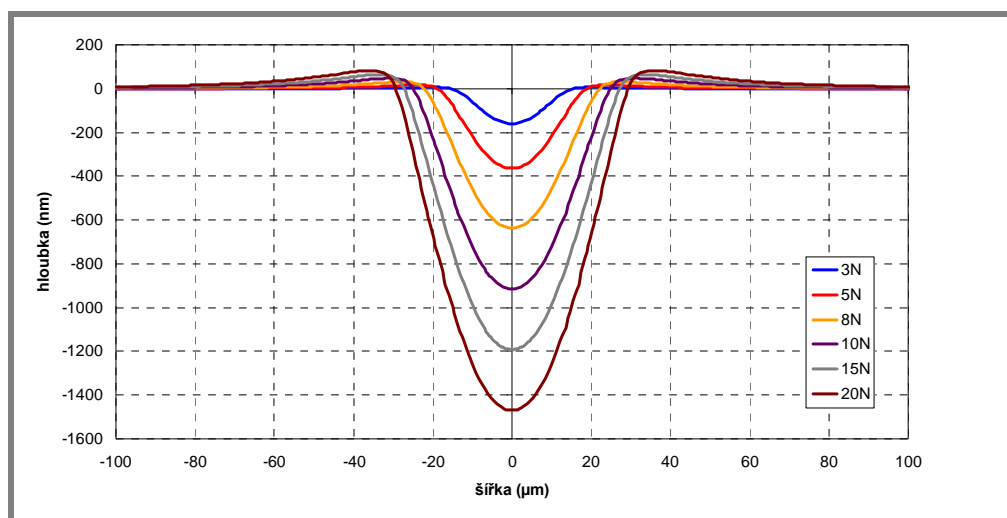
Vzorek je upnut a umístěn do zařízení mezi zatěžující disky. Průběh RCF testů na experimentálním zařízení R-Mat2 je kontrolován snímáním vibrací na vzorku. Při překročení předem stanovené kritické hodnoty vibrací je měření automaticky ukončeno. Na vzorek je aplikováno zatížení 933,9 N což odpovídá Hertzovu kontaktnímu tlaku 5 GPa.

▪ *Vyhodnocení měření*

Po ukončení měření je vzorek vyjmut ze zařízení a je na něm vyhodnocena míra jeho poškození. Sledována je doba měření do výskytu povrchového poškození. Ze známých parametrů je posléze dopočítán počet cyklů do porušení vzorku (kontaktní stopy) z něj může následně být posuzována kontaktní únavová životnost vzorku.

3.4 NUMERICKÝ MODEL

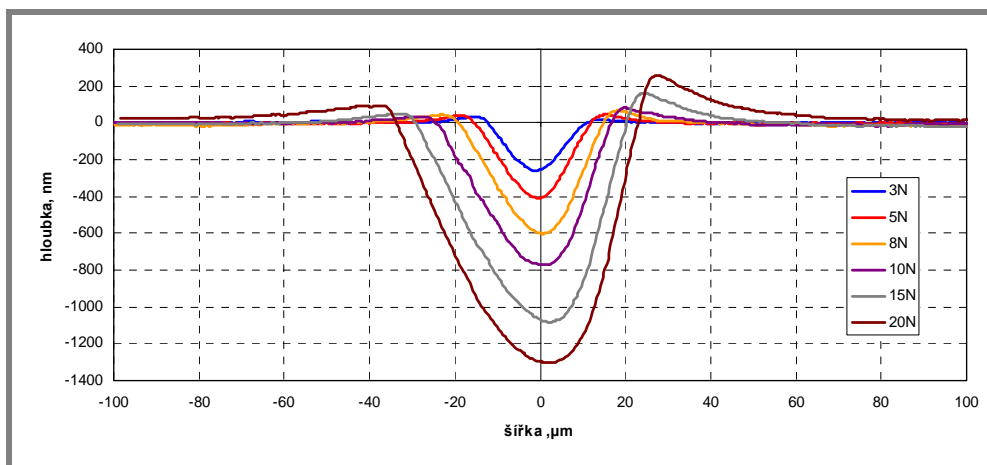
Numerický výpočet byl proveden pro simulaci texturovacího procesu a získání profilů jednotlivých vtisků v závislosti na zatěžující síle (Obr. 4), zároveň byla provedena simulace a výpočet kontaktního zatížení v zařízení R-Mat. Vše bylo provedeno pomocí software ANSYS.



Obr. 4 Geometrie vtisku pro různé zatěžovací síly (numerický model)

Modelováno bylo i kontaktní zatěžování válcového vzorku v experimentálním zařízení R-Mat. Kontakt byl tvořen mezi dvěma tělesy, diskem a hřídelí (vzorkem). Prioritní však bylo modelování texturovacího procesu a jeho následné zpracování k získání profilů jednotlivých vtisků. Tím bylo možné zjistit profil vtisku pro konkrétní zatěžovací sílu a lépe tak definovat a kontrolovat celkovou geometrii výsledné soustavy vtisků.

Data získaná z numerického modelu pak byla porovnána s naměřenými profily vtisků (Obr. 5). Z obrázků je patrná dobrá shoda měřených i modelovaných hodnot.



Obr. 5 Geometrie vtisku pro různé zatěžovací síly (naměřené hodnoty)

Tento trend lze pozorovat i v tabulce 1. Příslušné hodnoty lze tedy brát za korektní a směrodatné. Stejně tak i numerický model lze využít pro výpočet dalších parametrů geometrie textur, díky jeho dobré shodě s experimentálně získanými daty.

Tab. 1: Parametry geometrie vtisků

Zatížení	Naměřené		Numerický model	
	hloubka (μm)	průměr (μm)	hloubka (μm)	průměr (μm)
3N	0,26	28	0,16	31
5N	0,41	33	0,36	38
8N	0,6	35	0,63	48
10N	0,77	47	0,9	54
15N	1,08	57	1,19	60
20N	1,35	65	1,47	68
40N	4,15	90	4,2	90

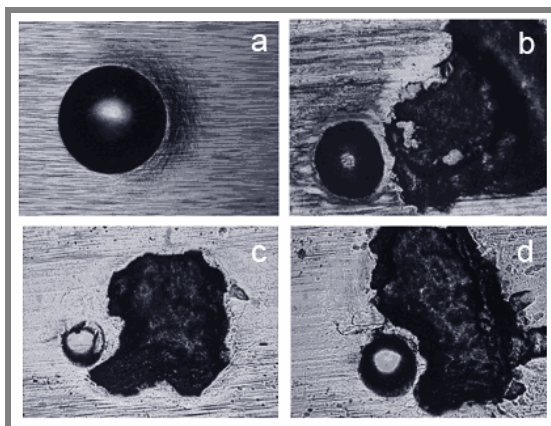
4 VÝSLEDKY VSTUPNÍCH EXPERIMENTŮ

Pro popis realizovaných experimentů s cíleně modifikovanými povrchy byly použity výsledky měření, které realizoval a zpracoval M. Vrbka z Ústavu konstruování VUT FSI v Brně. V následující kapitole je uvedeno shrnutí vstupních experimentů s jejich vyhodnocením. Vliv textur na funkci mazaného kontaktu je pak posuzován na základě těchto výsledků.

4.1 TESTY S JEDNOTLIVÝMI VTISKY V KONTAKTNÍ STOPĚ

Během první série vstupních experimentů byly uvažovány především hluboké vtisky, přičemž v jedné kontaktní stopě byl vytvořen vždy jeden vtisk. Dále pak byla provedena měření se změnou provozních podmínek, a to především porovnání chování modifikované topografie třecích povrchů za podmínek čistého valení a za podmínek s prokluzem. Na Obr. 6a je zobrazena geometrie vtisku před zatížením v kontaktní stopě. Průměr vtisku 45 μm a dosažená hloubka 4 μm. Obr. 6b-d potom

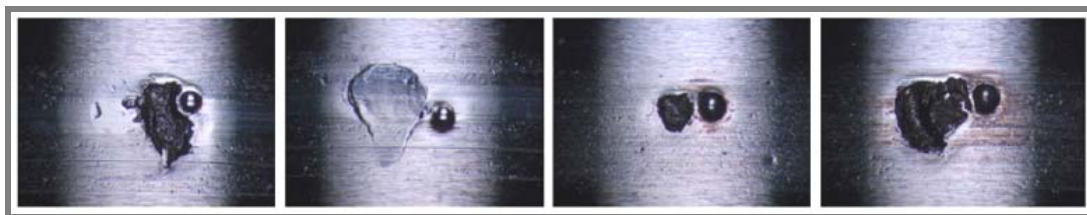
ukazuje vzniklá porušení pittingem. Experimenty byly provedeny za podmínek čistého valení při kontaktním tlaku 4,9GPa. Počet cyklů do porušení modifikovaného vzorku byl $2,9 \times 10^8$ cyklů při čistém valení. Poškození vznikalo vždy v bezprostřední blízkosti vtisků [36].



Obr. 6 a) geometrie vtisku, b)-d) vzniklá poškození

Druhou sérii experimentů tvořily testy vzorků s vtisky o hloubce 20 μm , 4 μm a 2 μm . Všechny tyto případy lze vzhledem k povrchovým nerovnostem vzorku označit za hluboké vtisky. Střední aritmetická úchylka profilu RMS vzorku byla 0,1 μm . Testy byly provedeny za dvou podmínek: kontaktní tlak 5GPa podmínek čistého valení a kontaktní tlak 3,9GPa při prokluzu $\Sigma = 0,2$. Za podmínek čistého valení se disky i zkušební vzorek pohybovaly rychlostí 4,5 m/s. Při prokluzu docházelo ke zpomalení rychlosti zkušební vzorku na 3,57 m/s, rychlost otáčení disků zůstávala stejná, tedy 4,5 m/s. Vtisky o hloubce 20 μm byly testovány za podmínek čistého valení. Jako mazivo byl použit minerální základový olej RENOLIN MA22 s dynamickou viskozitou 0,021Pa·s a tlakově-viskózním koeficientem 15GPa^{-1} . Testy byly provedeny za podmínek smíšeného mazání při teplotě 33°C.

Pro možnost srovnání byly provedeny testy na vzorcích nepopátrných vtisky. Při kontaktním tlaku 5GPa došlo k poškození po $1,4 \times 10^8$ cyklech. Kontaktní únavová životnost vzorků s vtisky o hloubce 20 μm byla redukována na 5×10^6 cyklů, přičemž ve všech případech došlo k poškození povrchu vzorku pittingem (Obr. 7). Počet cyklů do porušení testů s vtisky o průměru 4 μm a 2 μm se pak pohyboval v rozmezí $3,5 \times 10^7$ až $4,5 \times 10^8$.



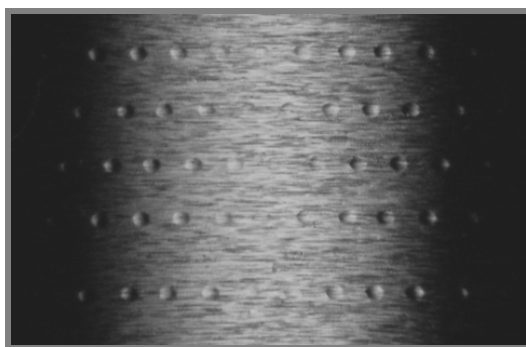
Obr. 7 Poškození na povrchu vzorku s vtisky o hloubce 20 μm po 5×10^6 cyklech; čisté valení; kontaktní tlak 5GPa [37]

Ze získaných výsledků je zřejmé, že vtisky o hloubce 4 μm a 2 μm nemají podstatný vliv na tvorbu resp. iniciaci poškození třecího povrchu kontaktní únavou. Vtisky je zde možné charakterizovat jako běžné povrchové nerovnosti vzniklé provozem součásti. Jejich funkce neovlivňuje chování mazacího filmu v kontaktu ani samotného třecího povrchu. Během testů vždy došlo k porušení povrchu pittingem, přičemž velikost poškozené plochy byla srovnatelná s šířkou kontaktní stopy.

4.2 TESTY S TEXTURAMI V KONTAKTNÍ STOPĚ

Úvodní experimenty, zohledňující vliv mikrostruktur na kontaktní únavu sloužily především k odladění řídicího softwaru a k nalezení vhodného uspořádání soustavy vtisků. Pro tyto zkoušky bylo důležité odladit výslednou geometrii textury [36]. Bylo odzkoušeno několik programových nastavení, které umožnily tuto geometrii nastavit.

Podařilo se nalézt vhodné nastavení řídicího software tak, aby bylo možné realizovat geometrie soustav vtisků dle požadovaných konceptů (Obr. 8). Zobrazená textura představovala výchozí koncept pro úvodní experimenty.



Obr. 8 Realizovaná textura na povrchu vzorku [34]

Hloubka jednotlivých vtisků byla 4 μm . Vzorky byly opatřeny texturami o rozměrech 75 μm mezi jednotlivými vtisky a 150 μm mezi řadami. Průměr kontaktní oblasti byl 0,6 mm, z toho důvodu bylo realizováno celkem 5 řad vtisků na jednu kontaktní stopu. Tím bylo zajištěno, že textura pokryje celý obsah kontaktní oblasti.

Testy neprokázaly přílišnou změnu v kontaktní únavové životnosti vzorků, z toho důvodu byla naplánována další série experimentů za stejných provozních podmínek, která napomohla zhodnotit míru rizika únavového poškození třecích povrchů v závislosti na cílené modifikaci topografie. Na základě dalších získaných výsledků jsou pak popsány a kvantifikovány jevy, vyskytující se v běžných podmínkách provozu strojních součástí.

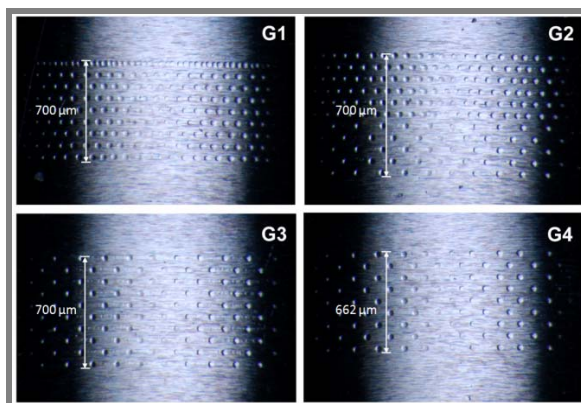
5 VLIV CÍLENÉ MODIFIKACE TOPOGRAFIE TŘECÍCH POVRCHŮ NA PROJEVY POŠKOZENÍ KONTAKTNÍ ÚNAVOU

Výsledky měření a vyhodnocení poškození kontaktních stop byly získány M. Vrbkou a jsou v této disertační práci interpretovány. Na jejich základě je pak posuzován vliv cílené modifikace topografie na chování mazaného kontaktu. Ohled byl brán i na míru poškození jednotlivých kontaktních stop a místo výskytu únavového poškození. Následně pak byly posuzovány hypotézy funkce mikrostruktur v zatíženém kontaktu.

Pro sérii experimentů, provedené na Ústavu konstruování VUT FSI v Brně, byly použity komerčně dodávané ocelové vzorky (hřídele) se střední aritmetickou úchylnou profilu $R_a = 0,1 \mu\text{m}$. Vzorky byly opatřeny maticemi mikrovrtisků, dle stanovených konceptů vstupních experimentů. Mikrovrtisky byly vytvořeny za použití vnikacího tělíska Rockwell typu „C“. Během všech testů byl sledován počet cyklů do porušení vzorků.

5.1 VLIV HUSTOTY TEXTURY NA RCF – MĚLKÉ VTISKY

Jedním z posuzovaných parametrů byla i hustota (geometrie) realizované povrchové textury. Zachováno bylo trojúhelníkové rozmístění vtisků, měnily se pouze vzdálenosti řad jednotlivých vtisků (Obr. 9). Pro porovnání byly provedeny testy RCF i na vzorcích bez povrchové úpravy. Míra vlivu hustoty textury na RCF životnost vzorku pak byla vyhodnocena vzhledem k netexturovaným vzorkům i vzhledem k různým typům hustot.

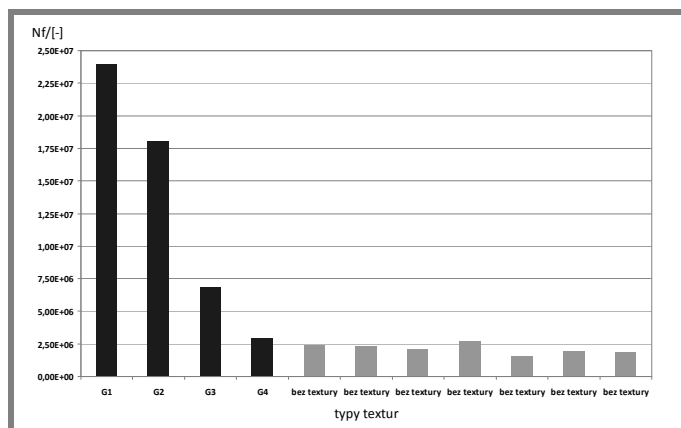


Obr. 9 Povrchové textury – vliv hustoty

Pro realizaci povrchové textury bylo použito zatížení 8N, což odpovídá hloubce vtisku $0,6 \mu\text{m}$ a průměru $35 \mu\text{m}$. Texturovaná šířka měřicí stopy byla $700 \mu\text{m}$ pro textury G1 až G3 a $662 \mu\text{m}$ pro texturu G4. Zatěžující síla kontaktu na zařízení R-Mat byla 971,19N, které odpovídá hodnotě Hertzova kontaktního tlaku $4,98\text{GPa}$ a průměru kontaktní oblasti $0,61 \text{mm}$. Testy byly prováděny za podmínek smíšeného

mazání při rychlostech povrchu disků $4,5 \text{ m.s}^{-1}$ a vzorku $3,75 \text{ m.s}^{-1}$, což odpovídá hodnotě prokluzu $\Sigma = 0,05$.

Celkový počet cyklů do porušení vzorku N_f se v těchto případech pohyboval v rozmezí $2,9 \times 10^6$ až $2,4 \times 10^7$ cyklů. Pro srovnání, počet cyklů do porušení na vzorcích neopatřených texturami dosahoval hodnot $1,5 \times 10^6$ až $2,7 \times 10^6$ cyklů. Celkové srovnání naměřených dat a rozdíly mezi měřicími stopami jsou zobrazeny na obrázku 10 [38].



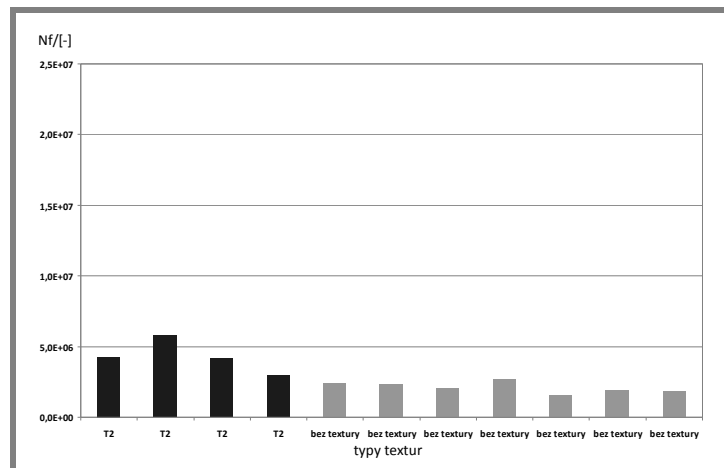
Obr. 10 Srovnání výsledků – hustota textury [38]

Z výsledků je patrné, že s nárůstem hustoty textury, tedy se vzájemným přiblížením jednotlivých vtisků, dochází i k nárůstu počtu cyklů do porušení vzorku. Je patrné, že přítomnost mělkých vtisků na třecím povrchu vzorku má za následek prodloužení jeho kontaktní únavové životnosti, a to i v případě textury G4, kde je tento nárůst nejmenší ve srovnání s měřeními bez textur.

5.2 VLIV HLOUBKY TEXTURY NA RCF – HLUBOKÉ VTISKY

Následující testy byly provedeny pro posouzení vlivu přítomnosti hlubokých vtisků na třecím povrchu na kontaktní únavovou životnost vzorku. Hloubka vtisků byla při těchto testech $1,45 \mu\text{m}$ a jejich průměr $65 \mu\text{m}$, zachováno bylo trojúhelníkové rozložení textury.

Měření byla porovnána s testy kontaktních stop neopatřených texturami. Výsledné srovnání je patrné z obrázku 11 [37]. Nárůst v celkové době do porušení už není tak jednoznačný jako v případě testů s mělkými vtisky. Nicméně i v tomto případě došlo ve všech případech k prodloužení počtu cyklů do porušení vzorku, tedy jeho kontaktní únavové životnosti.



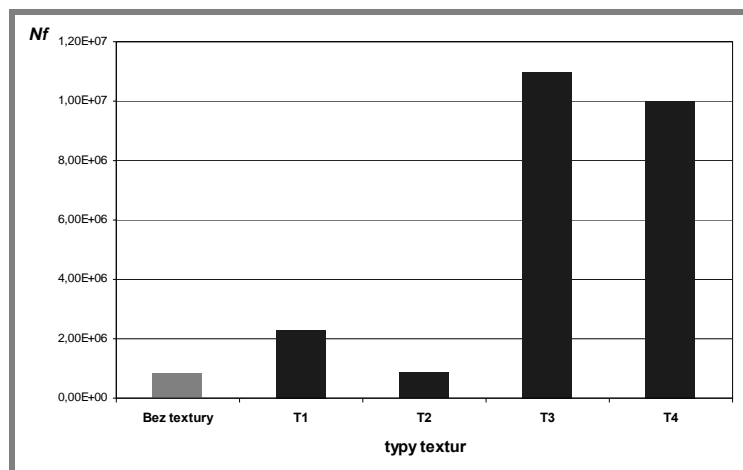
Obr. 11 Srovnání výsledků – hluboké vtisky [37]

Ze získaných výsledků lze soudit, že i přítomnost textury s hlubokými vtisky na třecím povrchu součásti ovlivňuje pozitivně kontaktní únavovou životnost součásti. Mechanismus, kterým k tomuto ovlivnění dochází, však již není jednoznačný. Textura ovlivňuje rozložení tloušťky mazacího filmu v kontaktu, kdy při vstupu vtisku do kontaktu dochází k uvíznutí maziva ve vtisku a k jeho následnému uvolnění. To má za následek navýšení tloušťky mazacího filmu a tedy navýšení počtu cyklů do porušení při RCF testech.

5.3 VLIV GEOMETRIE TEXTURY NA RCF – TEXTURY T1 AŽ T4

Pro studium vlivu geometrie soustavy a jednotlivých vtisků na RCF životnost součásti, bylo třeba zabývat se předchozími dvěma možnostmi zároveň., tj. studium vlivu hustoty textury a geometrie jednotlivých vtisků (hloubka textury). Tomuto problému se věnoval ve své publikaci Vrbka a kolektiv [35]. Ke studiu využil textury T1 až T4 (Obr. 2), které se vzájemně lišily nejen uspořádáním vtisků, ale i jejich hloubkou. Testy RCF pak byly porovnány s měřeními na stopách neopatřených texturami, za stejných podmínek na témže vzorku.

Hlavním cílem bylo poukázat na možné pozitivní dopady soustav vtisků na RCF životnost strojních součástí. První série experimentů byla provedena s texturami T1 a T2 s cílem posoudit vliv hloubky vtisků na kontaktní únavovou životnost povrchu. Počty cyklů do porušení zde dosahovaly hodnot $2,3 \cdot 10^6$ a $8,7 \cdot 10^5$. Tyto pokusy ukazují, že použití textury T1 vedlo ke zvýšení kontaktní únavové životnosti v porovnání s povrchem bez textury. Nicméně, testy s přítomností textury T2 (tj. s hlubokými vtisky) neukázaly výrazný pozitivní vliv na únavovou životnost vzorku [35]. Následně byla provedena další sada experimentů, tentokrát s mělkými vtisky. Cílem bylo zahrnout a zvážit vliv hustoty textur. Použity byly textury T3 a T4. Obr. 12 shrnuje výsledky získané při RCF testech všech zmiňovaných textur a porovnává je s měřením netexturovaného povrchu.



Obr. 12 Srovnání výsledků – textury T1 až T4 [35]

Výše uvedené výsledky ukazují, že použití mělké povrchové textury s cílem zlepšení mazacích podmínek nemusí nutně vést ke snížení životnosti RCF strojních součástí. Naopak, pozorován byl mírný nárůst v RCF životnosti ve všech uvedených testech s povrchovou strukturou. Přesto je třeba zdůraznit, že byl proveden pouze omezený počet testů, z důvodu časově náročné přípravy vzorku.

Lze tedy usoudit, že přítomnost textury by neměla za daných podmínek snižovat RCF životnost součástí. Nicméně, o jejím přímém vlivu na kontaktní únavovou životnost z těchto výsledků usuzovat nelze. K popisu chování povrchové textury a jejím přímém vlivu na RCF životnost součástí je třeba provést další měření a statisticky je zpracovat. Přesto mohou výsledky s texturami T3 a T4 sloužit, jako první krok ve studiu možného příznivého vlivu povrchových textur na kontaktní únavovou životnost strojních prvků.

6 ZÁVĚR

Cílená modifikace topografie třecích povrchů představuje jeden ze způsobů zlepšení tribologických vlastností mazaného kontaktu u nekonformně zakřivených těles. Přítomnost textury v mazaném kontaktu však může působit jako koncentrátor napětí, ovlivnit rozložení tlaku a tak zapříčinit únavové poškození třecích povrchů.

V rámci práce bylo uskutečněno několik experimentů, zaměřených na studium únavového poškození třecích povrchů. Geometrie textur (především jejich hloubka a rozložení) byla zohledněna v rámci experimentů. Byla realizována úprava stávajícího zkušebního zařízení, umožňující automatické vytváření textur na třecích površích. Zároveň byl odladěn postup přípravy vzorků pro realizaci vlastních měření únavového poškození třecích povrchů a stanoveno několik charakteristických geometrií soustav vtisků, které byly následně podrobovány únavovým zkouškám.

Sledován byl vliv textur na RCF životnost nekonformně zakřivených těles, pracujících za podmínek smíšeného mazání. Testována byla řada typů povrchových textur a různých geometrií vtisků.

Bylo prokázáno, že vliv texturovaného povrchu na RCF je výrazně ovlivněn velikostí vtisků a hustotou textury v kontaktu. Uspořádání vtisků v kontaktu nebylo sledováno významným parametrem.

Z popisovaných výsledků lze usuzovat, že vhodně navržená textura na třecím povrchu za konkrétních podmínek nemusí vést ke snížení rizika únavového poškození. Naopak může napomáhat k prodloužení únavové životnosti součásti, tím, že vtisky působí jako mikro-zásobníky maziva a pomáhají tak oddělit nerovnosti obou třecích povrchů. Nicméně další experimenty jsou nezbytné k potvrzení tohoto možného příznivého vlivu texturování na RCF životnost strojních součástí.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] NÉLIAS, D., VILLE, F., Detrimental effects of debris dents on rolling contact fatigue, *Journal of Tribology*, 2000, vol. 17, s. 55 – 64.
- [2] OLVER, A.V.: The mechanism of rolling contact fatigue: an update. *Proc Inst Mech Eng, J Eng Tribol*, 2005, vol. 219, s. 313 – 30.
- [3] VILLE, F., COULON, S., LUBRECHT, A.A.: Influence of solid contaminants on the fatigue life of lubricated machine elements, *Proc IMechE, J Eng Tribol*, 2006, vol. 220, s. 441-445.
- [4] PETTERSON, U. – JACOBSON, S.: Tribological texturing of steel surfaces with a novel diamond embossing tool technique, *Tribology International*, 2006, vol. 39, s. 695-700.
- [5] ETSION, I.: State of the art in laser surface texturing. *Trans ASME Journal of Tribology*, 2005, vol. 127, s. 248-253.
- [6] KLIGERMANN, Y., ETSION, I., SHINKARENKO, A.: Improving tribological performance of piston rings by partial surface texturing. *Trans ASME Journal of Tribology*, 2005, vol. 127, s. 632-638.
- [7] CUSANO, C. - WEDEVEN, L.D.: The effects of artificially produced defects on the film thickness distribution in sliding EHD point contacts, *Trans ASME Journal of Tribology*, 1982, vol. 104, s. 365-375.
- [8] WEDEVEN, L.D.: Influence of debris dent on EHD lubrication, *ASLE Transactions*, 1977, vol. 21, s. 41-52.
- [9] VILLE, F. – NÉLIAS, D.: An Experimental Study on the Concentration and Shape of Dents Cause by Spherical Metallic Particles in EHL Contacts, *Tribology Transactions*, 1999, vol. 42, s. 231-235.
- [10] KRŮPKA, I. - HARTL, M. The effect of surface texturing on thin EHD lubrication films, *Tribology International*, 2007, vol. 40(7), s. 1100 – 1110, ISSN 0301-679X.
- [11] GAO, N., DWYER-JOYCE, R.S., BEYNON, J.H.: Effects of Surface Defects on Rolling Contact Fatigue Of 60/40 Brass, 1999, *Wear*, vol. 225-229, s. 983-994.
- [12] KOVALCHENKO, A., AJAYI, O., ERDEMIR, A., FENSKE, G., ETSION, I.: The effect of laser surface texturing on transitions in lubrication regimes during unidirectional sliding contact, *Tribology International*, 2005, vol. 38, s. 219–225.
- [13] KOSZELA, W., PAWLUS, P., GALDA, L.: The effect of oil pockets size and distribution on wear in lubricated sliding, *Wear*, 2007, vol. 263, s. 1585-1592.
- [14] KOVALCHENKO, A., AJAYI, O., ERDEMIR, A., FENSKE, G., ETION, I. The Effect of Laser Texturing of Steel Surfaces and Speed-Load Parameters on the Transition of Lubrication Regime from Boundary to Hydrodynamic. *Tribology Transactions*, 2004, vol. 47(2), s. 299–307.

- [15] WEDEVEN L.D. - CUSANO C.: Elastohydrodynamic film thickness measurements of artificially produced surface dents and grooves, *ASLE Trans*, 1979, vol. 22, s. 369-381.
- [16] MOURIER, L., MAZUYER, D., LUBRECHT, A.A., DONNET, C. Transient Increase of Film Thickness in Micro-textured EHL Contacts, *Tribology International*, 2006, vol. 39, s. 1745-1756.
- [17] VILLE, F. – NÉLIAS, D.: Early Fatigue Failure Due to Dents in EHL Contacts, *Tribology transactions*, 1999, vol. 42, s. 795-800.
- [18] ŠAMÁNEK, O. - VRBKA, M.: Vliv povrchových nerovností na funkci mazaných kontaktů strojních součástí, *Konference diplomových prací 2007*, 2007, s.1-3, ISBN 978-80-214-3406-6.
- [19] KŘUPKA, I., et al.: Effect of surface texturing on mixed lubricated non-conformal contacts. *Tribology International*, 2008, doi:10.1016/j.triboint.2007.11.016.
- [20] WAY, S.: Pitting due to rolling contact, *ASME Journal of Applied Mechanics*, 1935, vol. 2, s. A49-A58.
- [21] TALLIAN, T.E., Prediction of rolling contact fatigue life in contaminated lubricant: Part I-Mathematical model, *ASME Journal of Lubrication Technology*, 1976a, vol. 98, s. 251-257.
- [22] TALLIAN, T.E., Prediction of rolling contact fatigue life in contaminated lubricant: Part II-Experimental, *ASME Journal of Lubrication Technology*, 1976b, vol. 98, s. 384-392.
- [23] CHAO, K.K., SABA, C.S., CENTRES, P.W.: Effects of lubricant borne solid debris in rolling surface contacts, *Tribology Transactions*, 1996, vol. 39(1), s. 13-22.
- [24] AVERBACH, B.L., Van PELT, S.G., PEARSON, P.K., BAMBERGER, E.N.: Surface initiated spalling fatigue in M-50 and M50-Nil bearings, *Lubrication engineering*, 1991, vol. 47(10), s. 827-843.
- [25] AKAMATSU, Y., et al. Influence of surface roughness skewness on rolling contact fatigue life, *Tribology Transactions*, 1992, vol. 35, s. 745–750.
- [26] NÉLIAS, D., VILLE, F., Detrimental effects of debris dents on rolling contact fatigue, *Journal of Tribology*, 2000, vol. 17, s. 55 – 64.
- [27] VINCENT, CH., MONTEIL, G., BARRIERRE, T., GELIN, J.C., Control of the quality of laser surface texturing, *Microsyst. Technol.*, 2008, vol.14, s. 1553-1557.
- [28] VOEVODIN, A.A., ZABINSKI, J.S., Laser surface texturing for adaptive solid lubrication, *Wear*, 2006, vol. 261, s. 1285-1292.
- [29] SCHNEIDER, Y. G.: Formation of Surfaces with Uniform Micropatterns on Precision Machine and Instrument Parts, *Precis. Eng.*, 1984, vol. 6, s. 219–225.
- [30] SUH, N. P., MOSLEH, M., and HOWARD, P. S.: Control of Friction, *Wear*, 1994, vol.175, s. 151–158.

- [31] WANG, X., KATO, K., and ADACHI, K.: The Lubrication Effect of Micro-Pits on Parallel Sliding Faces of SiC in Water, *Tribol. Trans.*, 2002, vol. 45(3), s.294–301.
- [32] WAKUDA, M., YAMAUCHI, Y., KANZAKI, S., and YASUDA, Y.: Effect of Surface Texturing on Friction Reduction Between Ceramic and Steel Materials under Lubricated Sliding Contact, 2003, *Wear*, vol. 254, s. 356–363.
- [33] KUMAR, S., SINGH, S., SINGH, T.P., SETHI, B.L.: Surface modification by electrical discharge machining: A review, *Journal of Materials Processing Technology*, 2009, vol. 209(8), s. 36.
- [34] ŠAMÁNEK, O.; MEDLÍK, J., Snížení tření a opotřebení strojních součástí cílenou modifikací topografie třecích povrchů, In *FSI Junior konference 2008 - Prezentace vědeckovýzkumných prací doktorandů - sborník*. Brno: VUT FSI v Brně, 2009. s. 128-133. ISBN: 978-80-214-3834-7.
- [35] VRBKA, M.; ŠAMÁNEK, O.; ŠPERKA, P.; NÁVRAT, T.; KŘUPKA, I.; HARTL, M.: Effect of surface texturing on rolling contact fatigue within mixed lubricated non-conformal rolling/sliding contacts, *Tribology International*, 2010, vol. 43(8), s.1457-1465, ISSN 0301-679X.
- [36] ŠAMÁNEK, O. Vliv cílené modifikace topografie třecích povrchů na snížení tření a opotřebení strojních součástí. In 49. Mezinárodní konference kateder částí a mechanismů strojů. Plzeň, Západočeská univerzita v Plzni. 2008. s. 239 - 242. ISBN 978-80-7043-718-6.
- [37] VRBKA, M., KŘUPKA, I., ŠAMÁNEK, O., SVOBODA, P., VAVERKA, M.; HARTL, M.: Effect of surface texturing on lubrication film formation and rolling contact fatigue within mixed lubricated non-conformal contacts, *MECCANICA*, 2010, vol. 2010(6), s.1-8, ISSN 0025-6455.
- [38] ŠAMÁNEK, O.; ZIMMERMAN, M.; SVOBODA, P.; KŘUPKA, I.; VRBKA, M.: Influence of Surface Texturing on Lubricant Film Formation and Surface Fatigue, *Engineering Mechanics*, 2010, vol. 17(1) s.27-36, ISSN 1802-1484.

CURRICULUM VITAE

Personal information

First name(s) / Surname(s) **Otakar Šamánek**
E-mail ysaman02@stud.fme.vutbr.cz
Nationality Czech Republic
Date of birth 30. 12. 1982

Work experience

Dates 1.9. 2007 - present
Occupation or position held Ph.D. student, engineer
Name and address of employer Faculty of Mechanical Engineering, Brno University of Technology, Technická 2896/2, 616 69 Brno, Czech Republic

Dates 18.3. 2010 – 6.5. 2010
Occupation or position held teacher
Name and address of employer Faculty of Chemistry, Brno University of Technology, Purkyňova 118, 612 00 Brno, Czech Republic

Dates 1. 1. 2009 – 30. 1. 2009, 1. 11. 2006 – 30. 11. 2006, 1. 8. 2006 – 31. 8. 2006
Occupation or position held designer
Name and address of employer Chotěbořské strojírny služby, a.s., Herrmannova 520, 583 14 Chotěboř

Dates 6. 10. 2008 – 11. 12. 2008
Occupation or position held teacher
Name and address of employer Faculty of Agronomy of Mendelu, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Czech Republic

Education and training

Dates 1. 9. 2007 – present (graduation expected in August 2011)
Title of qualification awarded Ph.D.
Principal subjects/occupational skills covered Tribology, Design and Process Engineering, Friction and wear reduction by topography modifications of friction surfaces - Surface texturing
Name and type of organisation providing education and training Faculty of Mechanical Engineering, Brno University of Technology, Technická 2896/2, 616 69 Brno, Czech Republic
Level in national or international classification Doctor's Degree in Design and Process Engineering

Dates 1. 9. 2002 – 30. 6. 2007
Title of qualification awarded Ing.
Diploma thesis Influence of surface irregularities on the lubricated contacts function
Name and type of organisation providing education and training Faculty of Mechanical Engineering, Brno University of Technology, Technická 2896/2, 616 69 Brno, Czech Republic
Level in national or international classification Masters Degree in Applied mechanics – Computer Aided Design

Dates 24. 11. 2008 - 28. 11. 2008
Title of qualification awarded Certificate, course on scientific work in the Academy of Sciences of the Czech Republic

Diploma thesis	Influence of surface irregularities on the lubricated contacts function
Name and type of organisation providing education and training	The Academy of Sciences of the Czech Republic, Radnická 2, 602 00 Brno
Principal subjects/occupational skills covered	Introduction to the methodology of science, presentation techniques, modern information resources for research, lecturing - the types of presentation (poster), research funding, the grant system in the EU, editorial practice in publishing, Essentials of rhetoric and speech techniques, ethics of scientific work, intellectual property and its commercialization, English in scientific work
Additional information	Member of the Academic Senate FSI VUT Brno (2008 - present)
Grant activities	<p>Grant project Fund of science FSI VUT, FV 2008: Title: <i>Friction and wear reduction by topography modification of rubbing surfaces</i> Successfully completed, presented at the FSI Junior Conference 2008</p> <p>Grant project Fund of science FSI VUT, FV 2009: Title: <i>Influence of surface texturing of contact fatigue</i> Successfully completed, presented at the FSI Junior Conference 2009</p> <p>Grant project University Development Fund FRVŠ 2009: <i>Project Type G1 - Creative work of students</i> Title: <i>Non-contact 3Dtopography measurement of mechanical engineering surfaces</i> Successfully completed, presented at the international conference Engineering Mechanics 2009</p> <p>Grant project University Development Fund FRVŠ 2010: <i>Project Type G1 - Creative work of students</i> Title: <i>Surface texturing of machine parts rubbing surfaces</i> Successfully completed, presented at the 51. international conference of Mechanics and Design 2010</p>

ABSTRAKT

Disertační práce se zaměřuje na popis vlivu přítomnosti struktur na třecích površích u velmi zatěžovaných strojních součástí (valivých ložisek, ozubených soukolí, vaček apod.) za podmínek smíšeného mazání. Úzce se zabývá vlivem těchto struktur na kontaktní únavovou životnost třecích povrchů strojních součástí. Popisuje vliv geometrie jednotlivých vtisků i textur na chování povrchu v kontaktu a snaží se verifikovat riziko míry poškození kontaktní únavou v závislosti na povrchové textuře. Realizace textur na třecích površích součástí byla uskutečněna pomocí cílené modifikace topografie. Tento způsob představuje předem stanovené vytváření soustav mikrovrtisků na třecím povrchu. Práce také zahrnuje charakterizaci metodiky přípravy zkušebních vzorků a texturovacího procesu.

ABSTRACT

This thesis describes a study of the influence of surface texturing on rolling contact fatigue of non-conformal contacts. The texture depth and density have been considered during experiments. It also presents the methodology and the procedure of creation of micro-dents on sample surfaces. Described results suggested that properly designed surface texturing should not necessarily increase the risk of fatigue failure of rubbing surfaces.