

OPONENTNÍ POSUDEK DIZERTAČNÍ PRÁCE

Téma práce : Vlastnosti ,zkoušení a vývoj kompozitních Cr povlaků pro PK

Dizertant : Ing. Ondřej Chocholatý

Školitel : doc. Dr. Ing. Antonín Kříž

Oponent : doc. Ing. František Stuchlík CSc.

Předložená dizertační práce řeší velmi aktuální problematiku povrchových úprav těsnících pístních kroužků spalovacích motorů. Aktuálnost spočívá zejména v tom, že bádání v oblasti povrchového inženýrství významně ovlivňuje pasivní ztráty a tedy i měrnou spotřebu spalovacích motorů se všemi dopady technickými, ekonomickými ,včetně dopadů ekologických.

Vlastní práce (na 117 stranách textu) je koncipována na 19 samostatných kapitol. Rozdělena je na teoretickou a experimentální části a obsahuje všechny body požadované u doktorské práce, jako anotace ,prohlášení o vzniku atd.. V práci jsou jasně stanoveny cíle, experimenty jsou objektivně ověřeny a výsledky správně zhodnoceny.

Teoretická část osahuje rešerši opírající se o 62 pramenů a podrobně analyzuje celou problematiku řešeného problému. Je zhodnocen přehled používaných povrchových úprav všech pístních kroužků a druhů jejich opotřebení .Téměř vyčerpávajícím způsobem je presentována teorie tvrdého chromování,precizně jsou popsány technologické procesy stávajících i kompozitních galvanických vrstev. Dobré je, že jsou čerpány nejen poznatky z Buzuluku a.s., ale i světových zahraničních výrobců (Goetze – Federal Mogul).Při popisu testování jsou uváděny metody, které v experimentech testování vrstev nejsou vždy následně použity.Maximální pozornost je u tribologických zkoušek věnována metodě PIN on DISC ,která nemá vždy odpovídající vypovídací schopnost v porovnáním se skutečným namáháním třecích dvojic v motoru.U motorových zkoušek je vyhodnocena jen abrazivzdornost pístních kroužků, ale nejsou sledovány pasivní odpory ,

„profuky „, což jsou další důležitá kritéria při hodnocení vlastností pístních kroužků v provozu

Experimentální část dizertační práce ověřuje sotifikovanými metodami základní navržené úpravy povrchů pístních těsnících kroužků směřující k zajištění vytčeného cíle práce. Veškerá experimentální činnost je směřována k tvrdochromovým kompozitním povrchovým úpravám. Asi je to také způsobeno zaměřením poskytovatele experimentálního zázemí ve firmě Buzuluk a.s. Všechna prováděná měření jsou na vysoké profesní úrovni a zejména tribologické testy jsou detailně vyhodnocovány (tribologické stopy, metalografická analýza abrazivních opotřebení). Pro úplnost komplexního hodnocení povlaků jsou zjišťovány struktury povrchů. Trhlinky charakteristické pro galvanotechniku jsou asi výhodného pro zachycování oleje, ale jejich pozitivní hodnocení může být ošidné vzhledem k tahovým a únavovým namáháním při vlastním provozu kroužků v motoru. Měření drsnosti povlaku je sice správně hodnoceno v Ra, Rz, ale vhodnější by bylo hodnotit nosné vrstvy v různých hloubkách od povrchu. Zjišťování tvrdosti se zdá být nadbytečné, vhodnější by pro testování bylo použít Scratch test. Je otázkou, zda při zjišťování chemického složení vrstvy je nejvhodnější emisní spektrometr, když údaje důležitého obsahu uhlíku jsou, jak bylo zjištěno nespolehlivé. Trochu překvapením jsou proti očekávání poměrně vysoké hodnoty koeficientu tření zkoumaných povlaků (ve srovnání s údaji z PVD úprav povrchů)

Po formální stránce jednotlivé kapitoly na sebe obsahově navazují a logicky zapadají. Jsou psány po jazykové stránce srozumitelnou formou a na velmi dobré kaligrafické úrovni.

A nyní jednotlivé konkrétní poznámky recenzenta:

- 1. Při popisu druhu litin není dodržována normou doporučovaná technická terminologie –tvárná litina s kuličkovým grafitem, šedá litina atd. (str 65)**
- 2. Vysvětlivky použitých zkratk neobsahují všechny uváděné symboly (LPW-str9), zaměněny jsou EDX a EXD (str. 40)**
- 3. Hned v úvodu práce jsou zatracovány metody vytváření povrchu metodami PVD jako příliš drahé, i když jak ukazuje realita, mají celou řadu výhod (součinitel tření) a jsou masově u moderních motorů používány.**

4. Při experimentech hodnocení povrchových úprav pístitních kroužků je nutné vždy posuzovat reálnou třecí dvojici , pokud chci následně výsledky ověřovat motorovými zkouškami.To nebylo vždy dodrženo (ocelový plech)v důsledku neúspěšného povlakování válečku.Zásadní pro účinnost těsnících kroužků je u moderních motorů mikrogeometrie funkčního povrchu litinové vložky a kroužku a jejich strukturální složení (potrojně fosfidické eutektikum).Tomu tak trochu odpovídá výsledek porovnání lab. zkoušek a výsledků z motorů (str 109)

5. Je otázkou do diskuze , zda by nebylo při tribologických experimentech PIN s kuličkou vhodnější se pokusit o použití válečku, to proto , aby se namáhání třecích dvojic více přibližovalo podmínkám v motoru.Další otázkou je případné použití přímočarého tribometru, popřípadě provádět zkoušky za vyšších teplot.

Závěr.

1 Disertační práce řeší aktuální problematiku povrchového inženýrství a je výrazným příspěvkem k teoretickému bádání v daném oboru.

2.Pan Ing. O.Chocholatý prokázal při řešení dané problematiky , že si osvojil vědecké metody bádání a že dokáže objektivně a správně zhodnotit výsledky

3 Disertant svou prací splnil vytčené cíle a prokázal předpoklady využití výsledků své práce v průmyslové praxi s výraznými ekonomickými dopady.

4.Publikační činnost disertanta není sice rozsáhlá, ale její odborná úroveň splňuje požadavky jakési minimální publikační aktivity.

5. Dizertační práci pana Ing.O.Chocholatého, s odvoláním na VŠ zákon 111/1998 Sb paragraf 47, jednoznačně doporučuji k obhajobě před Státní zkušební komisi pro doktorské práce na Západočeské univerzitě a v případě úspěšného obhájení práce udělení titulu Ph.D.

V Mladé Boleslavi 2.11.2012

doc.Ing. František Stuchlík CSc.

OPONENTSKÝ POSUDEK

Disertační práce:

Ing. Ondřej Chocholatý:

„Vlastnosti, zkoušení a vývoj kompozitních Cr povlaků pro pístní kroužky“

Disertační práce byla vypracována na Katedře materiálu a strojírenské metalurgie Fakulty strojní ZČU Plzeň a na pracovišti Vývoje pístních kroužků podniku BUZULUK a.s. se sídlem v Komárově, za podpory projektů ESF OP VpK. Práce má celkem 124 stran, z toho 8 stran přílohy, 156 obrázků a je rozdělena na teoretickou část o 38 stranách a experimentální část o 63 stranách. Práce je vhodně doplněna přehledem použitých značek a symbolů a podrobným přehledem použité literatury.

Cílem disertační práce bylo na základě analýzy stávající úrovně povrchových úprav pístních kroužků vyvinout nový typ funkčního povlaku na bázi kompozitní chromové vrstvy, který bude vykazovat lepší užité vlastnosti, zejména životnost. Úzce specializovaný obor povrchových úprav pístních kroužků je navzdory nebo právě pro relativně málo veřejně dostupných ověřených vědeckých informací velmi významnou disciplínou s výrazným hospodářským a ekologickým významem. Důvodem pro toto tvrzení je fakt, že navzdory prostředkům věnovaným vývoji alternativních pohonů jsou, a ve střednědobém horizontu velmi pravděpodobně zůstanou, spalovací motory případně v kombinaci s elektromotorem hlavním zdrojem pohonu prostředků individuální přepravy osob a nákladu. Aby pístní kroužky, jako jeden z klíčových mechanických komponentů spalovacích pístových motorů, vyhověly nárokům pokračujícího trendu downsizingu, rychlého zvyšování měrných výkonů, snižování přípustných emisních limitů a prodloužení životnosti motorů, je vysoce aktuální se vývojem nových odolnějších povrchových úprav zabývat.

Vzhledem k relativně úzce specializované problematice pístních kroužků věnuje autor vhodně úvod teoretické části práce popisu základních funkcí, parametrů, provozních podmínek, základních materiálů a používaných povrchových úprav pístních kroužků (PK).

Logicky navazuje vysvětlením jednotlivých typů a mechanismů opotřebení, které vznikají na pístních kroužcích a válcích spalovacích motorů. Největší díl teoretické části disertační práce je pak samozřejmě věnována detailnímu popisu povrchových úprav na bázi galvanického vylučování tvrdochromových povlaků, včetně popisu metod jejich hodnocení a testování. Rozsah popisu je volen dle mého názoru přiměřeně pro potřeby této disertační práce. Nicméně v této teoretické části postrádám podrobnější posouzení vlivu jednotlivých druhů povrchových úprav na základní parametry PK jako např. významnou přednost galvanických povlaků spočívající v nízké teplotě procesu povlakování, která se pozitivně projevuje v malé deformaci volného tvaru PK. Zejména pak ve srovnání s i tepelnými nástřiky případně nitridováním, přičemž tato minimalizace odchylky od výpočtového tvaru PK ve volném stavu má významný vliv na funkci i životnost PK.

Z hlediska přínosu práce je hlavní částí jednoznačně experimentální část, ve které disertant na navrženém a realizovaném zařízení vyvinul nový typ kompozitní chromové vrstvy s plnivem UDDG. Vyrobené vzorky povlaků pak podrobně

analyzoval a porovnával se sériovými povrchovými úpravami PK, tak aby vybral nejvhodnější specifikaci nového povlaku pro otestování funkční zkouškou v motoru. Jako relevantní metodu nejlépe predikující opotřebení PK v motoru vybral autor měření šířky stopy při testování vzorků metodou PIN on DISC. Na základě výsledků získaných touto metodou a ověřených znalostí oteřuvzdornosti sériových povlaků pak zvolil pro realizaci prototypu a funkční zkoušku v motoru povrchovou úpravu Cr-UDDG 15g/l v elektrolytu. Zkouška v motoru potvrdila o 28% menší opotřebení PK s touto nově vyvinutou povrchovou úpravou ve srovnání s dosud nejodolnější v BUZULUKU sériově používanou povrchovou úpravou BCr. To je nepochybně překvapivě dobrý a přínosný výsledek, překonávající cíl disertační práce. Přesto mám k experimentální části několik kritických připomínek a následně vybírám ty nejdůležitější:

-Disertant provádí doplňkové měření tvrdosti povlaku metodami HRC a HRB (kap 14.2.) jako možnou vhodnou metodu pro rychlou průmyslovou kontrolu po chromování, avšak po zhodnocení výsledku jako neprůkazného a metod jako nevhodných, nenavrhuje žádnou alternativní metodu, ačkoli je tato problematika velmi důležitá pro použitelnost nově navrženého povlaku v sériové výrobě.

-Při hodnocení vzorků z testování metodou PIN on DISC na úbytek materiálu tribologických stop autor opomíjí vliv výrazně rozdílné drsnosti jednotlivých testovaných povlaků po chromování (viz kap.12.2 obr75 a 76). Považoval bych za vhodné provést kontrolní testování na obroušených vzorcích s menším rozdílem drsnosti povrchu na počátku zkoušky.

-V práci mi schází vyhodnocení úbytku povlaku Cr – UDDG při honování (viz obr.24 výsledky této zkoušky pro sériově používané povlaky). Výsledky zkoušky by byly důležitým a vhodným doplněním výsledků z metody PIN on DISC.

-Hodnocení prototypů po zkoušce v motoru je prováděno standardně dle metodiky používané v BUZULUKU a.s. S ohledem na důležitost výsledku tohoto hodnocení pro cíl disertační práce, měřeným odchylkám a metodě měření však postrádám jednak posouzení vlivu nejistoty měření na výsledek a jednak vysvětlení nebo podrobnější komentář výrazně rozdílného opotřebení PK na 1. a 3. válci vůči opotřebení PK na 2. a 4. válci (obr.145) u prototypů s nově vyvinutým povlakem Cr-UDDG, které je prakticky shodné s opotřebením na 2. a 4. válci (obr.143) u sériového povlaku BCr. V této souvislosti by bylo vhodné doplnit obr 148 a 149 – porovnání velikosti zaběhnutých fázek pracovních ploch PK po zkoušce o informaci z jakých válců PK pochází.

Po formální stránce lze práci vytknout jen několik menších nedostatků (překlepy, popisy os grafů v textu a nikoli přímo v grafu (obr.103,104,137,138 a další), které trochu zbytečně kazí dojem z jinak logicky a přehledně uspořádané a pečlivě zpracované práce s dobře obsahově i měřítkem volenými obrázky.

Navzdory uvedeným připomínkám považuji posuzovanou disertační práci za velmi přínosnou a s mnoha novými poznatky v oblasti, kde se know how v poslední době koncentruje na několika málo vývojových pracovištích velkých světových výrobců pístních kroužků. Přitom je tato znalost extrémně důležitá pro další zvyšování

účinnosti, životnosti a snižování spotřeby spalovacích motorů jako jednoho z nejdůležitějších zdrojů mechanické energie.

Disertant prokázal široký rozsah znalostí v úzce specializované problematice, schopnost samostatné vědecké práce. Zvláště významná je schopnost přeložit výsledky této vědecké práce do konkrétně realizovaného a odzkoušeného prototypu s velmi pozitivním výsledkem zkoušky v motoru ihned u prvních prototypů.

Posuzovanou disertační práci doporučuji k obhajobě.

V Olešné 6.11.2012

Ing. Petr Mašek



Oponovaná práce: *Vlastnosti, zkoušení a vývoj kompozitních Cr povlaků pro pístní kroužky*

Autor: Ing. Ondřej Chocholatý

Oponent: doc. Ing. Pavel Novák, Ph.D.

Předložená práce se zabývá vývojem a testováním povrchových úprav pístních kroužků spalovacích motorů. Práce obsahuje 116 stran textu doplněného 156 obrázky, 20 tabulkami a 7 přílohami. Text je členěn do 19 hlavních částí. Díky tomu je práce poněkud méně přehledná, než při tradičním členění na Úvod, Teoretickou (literární) část, Experimentální část, Výsledky, Diskusi a Závěr. Velké množství obrázků v textu naopak značně zvyšuje názornost a srozumitelnost práce. Po formální stránce pak práce obsahuje obvyklé množství překlepů a drobných formálních chyb (například chybně formátované dolní indexy v chemických vzorcích).


Hlavní cíle předložené práce jsou velmi ambiciózní: vyvinout nový povlak na bázi tvrdochromu, který by měl alespoň o 25% vyšší otěruvzdornost v dieslovém motoru a dále pak optimalizovat tribologické testování pístních kroužků. Cíle tedy zasahují jak do aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje, tak i do základního výzkumu. Po přečtení práce musím konstatovat, že tyto cíle byly zcela splněny. Práce je tak rozhodně přínosem jak pro český průmysl, tak v určité míře i pro vědu.

K práci mám následující dotazy a připomínky:

1. Proč se vylučuje vodík při chromování, přestože např. při vylučování méně ušlechtilého zinku se tyto problémy neobjevují? Má vylučování vodíku souvislost s přítomností defektů v povlaku?
2. Na straně 12 je uvedeno, že jedním z požadavků na pístní kroužek je jeho nízká hmotnost. Je to z důvodu silového působení uvnitř motoru nebo pouze pro odlehčení vozidla?
3. Na straně 26 se nachází rovnice, ve které je uveden kation Cr^{6+} . Je tento zápis správný a oprávněný?
4. Na straně 36 se nachází následující text: „V extrémních podmínkách, jako je vysoký tlak a teplota, se diamant přemění na grafit, čímž napomůže mazání.“ Nemělo by tomu být naopak, tedy že za vysokých tlaků a teplot se z grafitu stává diamant?
5. Str.108, Tab. 18 – Jaká je přesnost stanovení rozměrů pístních kroužků? Jsou všechna uvedená desetinná místa platná?

Práci celkově považuji za zdařilou a výše uvedené drobné výhrady k formální stránce podle mého názoru nikterak nesnižují kvalitu předložené práce. Práci tedy jednoznačně **doporučuji k obhajobě**.

V Praze dne 5.11.2012


doc. Ing. Pavel Novák, Ph.D.

Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství

Vysoká škola chemicko-technologická v Praze