

Prof. Ing. Petr LOUDA, CSc.
TU v Liberci, Fakulta strojní
Katedra materiálu
Studentská 2
473 18 Liberec 1

OPONENTNÍ POSUDEK

na disertační práci pro obor - Fyzika plazmatu a tenkých vrstev
na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni

Autor práce : **Ing. Petr NOVÁK**

Název práce:

**Mechanické a tribologické vlastnosti tenkých uhlíkových vrstev
obsahujících vybrané kovy**

Tento posudek byl zpracován na základě pověření děkana fakulty aplikovaných věd
doc. ing. Františka Vávry, CSc ze dne 1.10.2012

Posudek má 3 strany textu a byl vyhotoven ve 2 exemplářích



V Liberci 20.10.2012

1. ÚVOD:

Předložená disertační práce s názvem „**Mechanické a tribologické vlastnosti tenkých uhlíkových vrstev obsahujících vybrané kovy**“ Ing. Petra Nováka je rozdělena do šesti kapitol. Práce má celkem 90 stran textu.

Téma disertace odpovídá oboru Fyzika plazmatu a tenkých vrstev a je vhodně zvolené.

2. TÉMA PRÁCE:

Nosným tématem posuzované práce jsou metody vedoucí k získání tenkých uhlíkových vrstev dopovaných vybranými kovy s dobrými tribologickými vlastnostmi přinášejícími ekonomický přínos v průmyslovém nasazení.

3. PŘÍNOSY PRÁCE:

Úvod práce je napsán stručně, přehledně a v posledních řádcích vysvětluje smysl experimentu a celé práce.

Prvních cca 35 stran z celkem 90 poskytuje velmi pečlivě, přehledně a podrobně zpracovanou charakteristiku vytváření povrchových vrstev. Seznam 82 použitých odkazů je přesvědčivý a z přehledu je zřejmé, že se jedná převážně o literaturu velmi moderní.

Cíle práce uvedené v kapitole 3 považuji za průkazné a disertabilní.

Za značný přínos práce považuji kapitolu 4, kde autor seznamuje se základní charakteristikou použitých depozičních systémů a analytických metod, které jsou v disertační práci využívány.

Značnou část práce (kap. 5) věnuje doktorand analýze vztahu mezi strukturou kovem dopované uhlíkové vrstvy a tribologickými vlastnostmi povlakovaného systému.

Rozsah experimentů i teoretický rozbor chování povlakovaného systému svědčí o autorově odborné způsobilosti a znalostech v oblasti vnitřní stavby pevné fáze a fyzice plazmatu.

Aktuálnost dané problematiky, vzhledem k nesporné průmyslové aplikovatelnosti bude jistě dále vzrůstat. Autor vykazuje ve své práci vědeckou erudici.

4. HODNOCENÍ PRÁCE:

Kapitoly jsou uspořádány návazně a přehledně, což svědčí o autorových didaktických schopnostech splňujících požadavky vědního oboru, práce je napsána na odpovídající jazykové úrovni.

Nespokojenost musím vyjádřit k chybějícímu seznamu použitých symbolů a značek, nevhodnému vyjadřování např. „mikrony“ (str.36,68,72,..), absenci statistického vyhodnocení naměřených dat a kvalitu některých mikrosnímků.

Přes výše uvedené výtky jsem přesvědčen, že zpracování práce je zdařilé a podle mého názoru se jedná o nadstandardní a průkopnickou vědeckou práci v řešené problematice.

5. OTÁZKY A PŘIPOMÍNKY:

- 1) *Kterou část práce si autor nejvíce cení a proč?*
- 2) *Jakým způsobem hodlá autor aplikovat výsledky své disertační práce do své další vědecké práce?*
- 3) *Jaké výsledky předpokládáte při použití ocelového substrátu namísto Si plátku?*
- 4) *Jak si vysvětlujete nelinearitu tvrdosti v Tab. 5.1 pro průměr kroužku 57mm?*
- 5) *Prosím o vysvětlení vlivu velikosti zm na tribologické vlastnosti v třecí dvojici povlakovaná ocel x nepovlakovaná ocel.*

6. CELKOVÉ HODNOCENÍ A ZÁVĚR:

Autor se v předložené disertační práci zabývá aktuálním a významným problémem zvyšování užitečných vlastností povrchů plazmovými technologiemi.

Práce obsahuje původní výsledky teoretického i aplikačního charakteru. Autor prokázal tvůrčí invenci. Výsledky jeho práce jsou přínosem jak pro teorii, tak i pro praxi v oblasti materiálového inženýrství. Publikační aktivity doktoranda jsou na velmi dobré úrovni.

Lze konstatovat, že cíle, které si autor vytýčil, byly splněny.

Doporučuji, aby po úspěšném obhájení byl udělen panu Ing. Petru Novákovi vědecký titul PhD podle zákona č. 111/1998.

V Liberci 20.10. 2012



Petr LOUDA

Oponentský posudek na disertační práci

Ing. Petra Nováka

„Mechanické a tribologické vlastnosti tenkých uhlíkových vrstev obsahujících vybrané kovy“

Předkládaná disertační práce se zabývá velmi aktuálním tématem vývoje nových tvrdých lubrikačních povlaků s nízkým koeficientem tření a dobrou odolností proti otěru na bázi uhlíkových vrstev s přidaným titanem a molybdenem. Uhlíkové vrstvy obsahující různé koncentrace titanu a molybdenu byly deponovány metodou nereaktivního DC magnetronového naprašování. Výsledky uvedené v této disertační práci získal autor během svého působení na Katedře fyziky Fakulty aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni.

Práce je členěna na celkem šest částí. V první úvodní části autor velmi výstižně a stručně charakterizoval hlavní cíl práce a problematiku, kterou se práce zabývá. Po této úvodní části autor v rešeršní části práce (2. kapitola) uvedl současný stav zkoumané problematiky a zpracoval teoretický úvod do oboru obecných vlastností tenkých vrstev se zaměřením se na mechanické vlastnosti vrstev, tribologii a vlastnosti uhlíkových vrstev s přidaným kovem. Tato část práce, byť zahrnuje relativně širokou oblast dané problematiky, je napsána přehledně a výstižně a poskytuje čtenáři dostatečný přehled současného stavu poznání v oblasti, kterou se zabývá disertační práce. V další části (kapitola 3) autor přesně specifikuje cíle práce.

Těžiště disertační práce je v dalších částech práce věnovaných popisu experimentů a vyhodnocení provedených experimentů (tj. v kapitolách 4 a 5). První z těchto experimentálních částí práce (4. kapitola) je věnována popisu experimentu a použitého depozičního systému, metody přípravy uhlíkových vrstev s přidaným kovem (magnetronové naprašování ze skládaného terče kov – uhlík) a popisu dále používaných metod charakterizace struktury a topografie připravených povlaků a měření jejich mechanických a tribologických vlastností. Další z uvedených kapitol (5. kapitola) se zabývá dosaženými výsledky a jejich diskusí. Autor zkoumal vlastnosti uhlíkových vrstev s přidaným titanem (Ti-C) a molybdenem (Mo – C) s důrazem na vzájemný vztah mechanických vlastností a tribologického chování vrstev ve vazbě na depoziční podmínky a množství přidaného kovu. Pokud to bylo možné, autor provedl v této experimentální části práce také porovnání svých získaných výsledků s výsledky získanými za obdobných podmínek jinými autory na jiných pracovištích. Poslední 6. kapitola je věnována přehlednému shrnutí dosažených výsledků a uvedení možností jejich dalšího praktického využití.

Lze konstatovat, že byly zvoleny adekvátní metody a předložená disertační práce zcela splnila stanovené cíle. V práci uvedené výsledky mohou najít uplatnění v praktických aplikacích nových tvrdých povlaků s nízkým koeficientem tření a dobrou odolností proti otěru. Za stěžejní výsledek považují zjištění, že amorfní/nanokrystalické vrstvy složené z nanozrn v amorfní matici vykazující nízké hodnoty E^* a vyhovující podmínkám $H/E^* > 0,1$ a $H^3/E^{*2} \approx 0,25$ se při zatížení deformují převážně elasticky, což otevírá nové možnosti pro vývoj lubrikačních vrstev odolných proti opotřebení.

Práce je napsána výstižným a čtivým slohem, má celkem 90 stránek a je členěna do šesti kapitol. V závěru práce obsahuje českou a anglickou anotaci a seznam použité literatury obsahující celkem 82 odkazů. Disertační práce obsahuje i přehled publikační činnosti autora práce, ze kterého je patrné, že publikační činnost autora zahrnuje výsledky publikované ve 4 mezinárodních recenzovaných časopisech (3 práce publikované a 1 přijata k publikování) a 2 výsledky prezentované formou posteru na mezinárodních konferencích.

Práce je po stránce formální a grafické úpravy na velmi dobré úrovni, ale i přes to mám několik drobných poznámek. Domnívám se, že práce by získala na přehlednosti, kdyby obsahovala seznam všech použitých zkratk. Tak např. na str. 14 je uváděna zkratka tvrdosti H , které je zavedena až na str. 16 a zkratka modifikovaného Youngova modulu pružnosti E^* , která je poprvé zmíněna na str. 14, je zavedena a definována až na str. 33. Některé obrázky

(např. obr. 2.4 a obr. 2.8) neobsahují u popisů fyzikální jednotky veličin, u některých obrázků (5.4, 5.16, 5.18, 5.21, 5.23, 5.25 a 5.27) byla pro popis zvolena nedostatečná velikost písma, které je na hranici čitelnosti. Autor se nevyvaroval několika drobným překlepům (str. 22, 2. řádek v 2. odstavci shora - *způsobující* namísto *způsobujících*, str. 62, 3. věta v odstavci 5.3.1 není úplná (chybí významové sloveso) a str. 84, 2. řádek odspoda se opakuje dvakrát za sebou slovo *dobře*). Na str. 21 na předposledním a posledním řádku dole se uvádí, že „...*hodnoty mechanických vlastností prudce klesají...*“, domnívám se, že by bylo přesnější použít formulaci „*hodnoty tvrdosti a modifikovaného Youngova modulu pružnosti klesají*“. V popisu měření tribologických vlastností (od kapitoly 4.3.5 dále) se pro dráhu po které po vzorku obíhá kulička používá nejednotné označení (ujetá vzdálenost, délka a pod.), sjednocení používaného názvu (např. dráha) by přispělo ke zvýšení formální úrovně práce.

Celkově lze tedy hodnotit předloženou disertační práci následovně:

- a) Práce je po stránce formální a grafické úpravy až na výše uvedené nepodstatné drobné nedostatky jako celek na velmi dobré úrovni.
- b) Hlavní výsledky, kterých autor v této práci dosáhl, jsou původní a rozšiřují doposud známé poznatky v oblasti vývoje nových tvrdých povlaků s nízkým koeficientem tření a dobrou odolností proti otěru.
- c) Autor provedl rozsáhlou řadu systematických měření, ověřoval důsledně reprodukovatelnost experimentů, diskutoval a analyzoval zvolené metody a dosažené experimentální výsledky, které tam, kde to bylo možné, porovnával s doposud známými údaji z literatury.
- d) K věcnému vědeckému obsahu předkládané práce nemám připomínek a v dané práci jsem nenašel podstatné a závažné nedostatky.

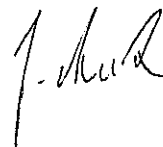
Z hlediska doplnění prováděných experimentů a dosažených výsledků mám k práci pouze následující dotaz:

V kapitole 5.1.1 na str. 38, 6. až 7. řádek odspodu autor uvádí: „*se zmenšujícím se vnitřním průměrem titanového kroužku se zmenšuje plocha ze které je rozprašován Ti a zvyšuje se plocha, ze které je rozprašován uhlík.*“ Z obrázku 4.2 na str. 28 je však patrné, že je tomu právě naopak. Stejně tak v kapitole 5.3.1 na str. 62, 3. řádek odspodu autor uvádí: „*Zvýšení plochy terče zakryté molybdenem způsobuje i pokles depoziční rychlosti*“. Z výše uvedeného obrázku 4.2 je ale zřejmé, že ke zvyšování plochy terče zakryté molybdenem dochází při zmenšování vnitřního průměru molybdenového kroužku a tomu podle Tabulky 5.5 odpovídá nárůst depoziční rychlosti. Může autor práce tuto nesrovnalost vysvětlit nebo okomentovat ?

Autor předloženou disertační práci prokázal tvůrčí schopnost samostatné vědecké práce. Výše uvedené publikace a prezentace výsledků na konferencích dokazují i jeho schopnost prezentovat svou práci odpovídajícím způsobem.

Domnívám se proto, že předložená práce pana Ing. Petra Nováka „*Mechanické a tribologické vlastnosti tenkých uhlíkových vrstev obsahujících vybrané kovy*“ splňuje všechny požadavky, které jsou na disertační práci v oboru Fyzika plazmatu a tenkých vrstev kladeny, doporučuji disertační práci k obhajobě a po úspěšné obhajobě udělení akademického titulu Ph.D.

V Ústí nad Labem 24.11.2012



Doc. RNDr. Jaroslav Pavlík, CSc.
Katedra fyziky PČF UJEP v Ústí nad Labem