

### **Oponentský posudek habilitační práce**

RNDr. Martina Vlacha, Ph.D.  
Matematicko-fyzikální fakulta University Karlovy v Praze

#### **Charakterizace precipitačních procesů v Al(-Mn)-Sc-Zr a Mg-Tb(-Nd) slitinách a tenkých Pd-H filmech**

Habilitační práce RNDr. Martina Vlacha, Ph.D., se zabývá studiem precipitačních procesů jednak v terciárních a kvaternárních slitinách Al a Mg a jednak tenkých vrstvách Pd s vloženým vodíkem pomocí fyzikálních metod. V práci jsou studovány mechanické vlastnosti těchto materiálů v závislosti na koncentraci vložených legujících prvků. Legující prvky přitom způsobují významné změny struktury, které jsou sledovány především elektronovou mikroskopií, RTG difrakcí a resistometrií, a také moderní metodou pozitronové anihilace. Studované materiály mají značný aplikační potenciál. U slitin Al a Mg hraje hlavní roli nízká hustota, což je předurčuje pro využití především v průmyslu dopravních prostředků. Jak je v práci poznamenáno, snížení hmotnosti vede ke snížení spotřeby paliva a tím i k žádané menší produkci oxidů uhlíku. Navíc slitiny Mg jsou perspektivním materiálem pro předpokládanou novou generaci samodegradovatelných biomateriálů. Vrstvy Pd jsou velice slibným materiálem pro palivové články. Tyto vrstvy by mohly být využity jako zásobníky vodíku v motorech nevytvářejících škodlivé spaliny.

Předkládaná habilitační práce v rozsahu 40 stran textu, je vytvořena z 23 publikací autora se spoluautory, z toho deseti, kde je M.Vlach první autor, a poměrně rozsáhlým spojovacím textem. Práce byly publikovány většinou v impaktovaných časopisech. Kromě vlastních prací uvádí autor dalších 125 citací. V části věnované slitinám Al se autor věnuje přehledu a popisu vzniku a působení  $Al_3(Sc,Zr)$  částic, probírá jejich stabilitu v Al-Sc-Zr systému včetně změn jejich konfigurace při tepelných procesech. Tyto materiály mají zvýšenou teplotu rekrystalizace, lepší svařitelnost a korozní odolnost. Změny struktury byly v tomto případě sledovány především

pomocí změn elektrické vodivosti materiálu. V pracích P1-P5 je autor citován jako první.

V kvaternárním systému Al–Mn–Sc–Zr byl studován efekt přidání Mn do systému pomocí mechanických zkoušek na dodaných a žíhaných vzorcích. Bylo prokázáno, že přidání Mn do systému nemělo žádný efekt (kromě odlišné velikosti  $Al_6Mn$  částic) na mikrostrukturu, vodivost a tvrdost této slitiny. U částic  $Al_3Sc$  byla určena aktivační energie precipitace u dodané Al–Mn–Sc–Zr slitiny na  $(116 \pm 9)$  kJ/mol. To souhlasí se zdánlivou aktivační energií nalezenou pro obdobné systémy v literatuře. Studium těchto materiálů bylo zakončeno studiem vlivu tepelného a mechanického zpracování zmíněné slitiny (případně obdobné slitiny připravené práškovou metalurgií) na precipitační procesy, které přitom probíhají.

Další část práce je věnována roli vzácných zemin (Tb, Nd) na stárnutí hořčíkových slitin. Opět se nejčastěji jedná o vytváření a změny precipitujících fází při tepelných procesech. Byl studován binární Mg–Tb systém a ternární Mg–Tb–Nd systém.

Třetí část práce je pak věnována roli vodíkem indukovaných defektů v tenkých vrstvách Pd. Byla studována struktura nanokrystalických a polykrystalických vrstev Pd na různých podložkách a epitaxní vrstvy na safírových podložkách a slídě. Speciálním bodem jsou velmi tenké vrstvy. Vrstvy Pd jsou schopny absorbovat velké množství vodíku, přitom však dochází k významným změnám jejich struktury; vzniká plastická deformace, která působí vznik dalších defektů.

Při tloušťce větší než 100 nm se může nanosená vrstva oddělit od podložky a vytvořit zvlnění povrchu (tzv. "buckling"). Toto zvlnění začíná u nanokrystalických vrstev u koncentrace vodíku  $c_H > 0.05$ , zatímco u polykrystalické vrstvy žíhané na 800 °C je vazba Pd atomů se safírovou podložkou lepší a počátek zvlňování nastává při koncentraci vodíku  $c_H > 0.4$ . Adhese nanokrystalické vrstvy Pd na křemíkovou podložku je vyšší než na polystyrenu, kde zvlnění nastává velmi často. Změny chování Pd vrstev nanosených na polystyren oproti masivnímu materiálu mohou být přisouzeny jejich nanokrystalické struktuře zatímco vrstvy, nanosené na křemíkovou podložku, jsou ovlivněny také napětím vytvořeným kontaktem



vrstvy s podložkou. Epitaxní vrstvy vytvářené při vyšší teplotě vykazují lepší vazbu na podložku a žádné zvlnění u nich nebylo pozorováno.

Hlavní cíle výzkumu, řešené v předložené práci jsou tedy následující

1. Vliv struktury na stabilitu ternárního Al–Sc–Zr a kvaternárního Al–Mn–Sc–Zr systému hliníkových slitin.
2. Vliv vzácných zemin (Tb, Nd) na stárnutí hořčíkových slitin.
3. Zjištění příčin a zvýšení stability Pd vrstev po absorpci vodíku.

V průvodních autorských odkazech jsou citovány publikace kolektivu, jehož práce se uchazeč zúčastnil. Většina prací je publikována v časopisech s vysokým impakt-faktorem Tyto původní práce prošly v časopisech recenzním řízením, lze tedy tvrdit, že všechny odpovídají tehdejšímu stavu dané problematiky. Všechny části práce jsou logicky ucelené. Podle mého názoru by bylo velice vhodné, kdyby uchazeč nějakým způsobem zdůraznil ve spojovacím textu vlastní podíl a výsledky v presentovaných publikacích. Podle mého názoru se jedná pravděpodobně o resistometrii studovaných vzorků a výsledky, které z měření změn elektrického odporu vyplývají.

Z pohledu mé odbornosti pak považuji za nejzajímavější a nejdůležitější část třetí, kde autor využil svých zkušeností s resistometrií a v problematice tenkých vrstev a jejich aplikace vytvořil ucelený soubor poznatků o vlivu podmínek přípravy na mechanické vlastnosti a morfologii Pd vrstev. Vzhledem k potenciální možnosti aplikace Pd vrstev jako zásobníku vodíku je toto studium velice nadějně pro praktické využití a perspektivní pro energetické aplikace.

K práci bych měl jednu poznámku a několik upřesňujících dotazů:

Poznámka: Další dotazy jsou směřovány většinou na spojovací text, vlastní články přiloženy nebyly. Samozřejmě není jasné, jestli se týkají příspěvku autora nebo dalších spoluautorů.

Str. 4 a další : „glimmer“ je slída německy, v angličtině se obvykle užívá „mica“

Str. 24 : jak velkou objemovou expanzi může způsobit H v intersticiálních polohách?

Str. 26 : „peak-to-background ratio – by mělo být uvedeno jaké veličiny?

Str. 28 : epitaxní vrstvy na safíru – v práci není uveden žádný výsledek, potvrzující, že jsou ty vrstvy epitaxní? Podle mého názoru epitaxní znamená definovaná krystalografická orientace vzhledem k určitým směrům v podložce, nejen ke kolmici k povrchu (to je textura)

Str. 32 : jaký je předpokládaný mechanismus antirekrytalizačního efektu  $Al_3(Sc,Zr)$  částic ve slitinách Al a dispersních nanočástic obsahujících Sc a Zr a hrubých částic obsahujících Mn?

Doplňující dotaz na článek P19::

1. str. 12117: Na polykrystalické a epitaxní vrstvě difrakce v BB uspořádání určuje mřížkovou konstantu in-plane nebo out-of-plane? A jak se určí mřížková konstanta v in-plane orientaci?
2. jaká je představa důvodu vzniku laterální orientace u polykrystalických vrstev?

V práci je také několik podle mého názoru neanglických slov nebo spojení např. „unusually stable“ nebo překlepů (na str. 6 „přidání Zr atomů“, má být asi Sc atomů)



Strana 5/5

Shrnutí celé práce v spojovacím textu je výstižné, podepřené citovanými pracemi. Souhrn prací pochází z let 2007 – 2016 a je tedy poměrně aktuální. Co je však metodicky velmi významné je výběr studovaných systémů, jak moderních slitin Al a Mg, tak Pd systémů. Návaznost starších a novějších prací v jednotlivých tématech ukazuje, že všechny přiložené práce posunuly stav studované problematiky zásadním způsobem dopředu. Z předchozího rozboru práce vyplývá, že práce přináší nové významné vědecké poznatky v oboru materiálového výzkumu a dosahuje vynikající kvality, především z hlediska publikací ve významných renomovaných impaktovaných časopisech jak autora habilitační práce, tak celé skupiny. Závěrem proto doporučuji práci přijmout v předložené formě a na jejím základě udělit titul docent pro obor

fyzika - fyzika kondensovaných látek.

V Praze 21. dubna 2017

Doc. RNDr. Vladimír Starý  
Ústav materiálového inženýrství  
FS ČVUT v Praze

