

## **Oponentský posudek disertační práce Mgr. Mariána Vlčka „Investigation of defects in quasicrystals“**

Školitel: doc. Mgr. Jakub Čížek, Ph.D.

Školící pracoviště: Universita Karlova v Praze, Matematicko-fyzikální fakulta

Oponent: doc. RNDr. František Hnilica, CSc.

Předkládaná disertační práce se zabývá studiem hořčikových slitin typu Mg-Zn-Y, resp. slitiny WE43 s přídatkem zinku, se zvláštním zřetelem na studium defektů v kvazikrystalech vyskytujících se v těchto slitinách. Hlavním cílem, uvedeným v úvodu práce, bylo získat nové poznatky o typech defektů v ikosahedrických fázích a objasnit vliv tepelného zpracování a struktury s ultrajemnými zrny na tyto defekty.

Kvazikrystaly tvoří skupinu látek se zvláštní krystalografickou symetrií, které byly objeveny teprve v nedávné době. Slitiny obsahující fáze s touto strukturou jsou proto ve středu pozornosti základního výzkumu. Hořčikové slitiny díky svým vlastnostem, zejména nízké specifické hmotnosti a dobrým mechanickým vlastnostem, jsou perspektivním materiálem pro letecký i automobilový průmysl. V současné době jsou rovněž hořčík a jeho slitiny předmětem intenzivního studia jako možné biodegradovatelné látky s uplatněním ve zdravotnictví. Z výše uvedených důvodů je téma předložené práce aktuální a dobře zvolené.

Popis současného stavu poznatků ve studované oblasti, kterými doktorand prokazuje, že se dostatečně hluboce seznámil s problematikou, je shrnut v teoretické části práce zahrnující kapitoly 2 a 3. V souladu se zaměřením práce je hlavní pozornost v této části věnována fyzikálním principům spektroskopie pozitronové anihilace. Dostatečně podrobně a výstižně je v kapitole 3 popsána i problematika kvazikrystalů. V části zabývající se systémem Mg-Zn-Y jsou logicky nejprve rozebrány binární systémy Mg-Zn a Mg-Y, na které pak navazují poznatky o vyskytujících se fázích v ternární soustavě a jejich možný výskyt v závislosti na poměru zinku a yttria obsažených v systému.

V kapitole 4 jsou uvedeny experimentální techniky, které autor používal při experimentálním studiu struktury a v omezené míře mechanických vlastností vybraných hořčikových slitin. Uvedené základní údaje o použitých experimentálních technikách považují za zcela postačující pro účely předkládané práce. Studiu struktury bylo provedeno na řádkovacím elektronovém mikroskopu s využitím zpětně odražených elektronů s rozlišením fází podle středního atomového čísla, podíl fází byl v některých případech hodnocen kvantitativně pomocí obrazového analyzátoru, lokální chemická energiově dispersní analýza sloužila k určení chemického složení fází. Krystalografická struktura fází byla hodnocena rtg difrakcí, přitom bylo v některých případech využito in situ měření difrakcí v průběhu tepelného zpracování, resp. v průběhu zkoušky tlakem. Pro určení fázové transformace byla využita rovněž diferenční skenovací kalorimetrie. Přítomnost defektů byla analyzována pomocí spektroskopie života pozitronů a koincidenční spektroskopie Dopplerovského rozšíření anihilačního píku studovaných slitin. Hodnocení mechanických vlastností bylo omezeno na měření tvrdosti a u slitin po úhlovém protlačování (ECAP) na zkoušky tlakem. Pouhé vyjmenování použitých experimentálních metod ukazuje na komplexní rozbor struktury a z dosažených výsledků a jejich rozboru je zřejmé, že byly autorem vhodně zvoleny a použity.



Těžiště práce leží ve výsledcích vlastních experimentů (kapitola 5) a v jejich diskusi (kap. 6). Autor nejdříve v kapitole 5.1. podrobně analyzoval strukturu slitin v dodaném stavu po odlití. Fáze obsažené ve studovaných vzorcích byly rozlišeny na základě jejich rozdílných středních atomových čísel zobrazením pomocí SEM, kvantitativně byl určen jejich objemový podíl a dán do souvislosti s celkovou tvrdostí slitin. Pomocí rtg difrakce byla přítomnost fází v jednotlivých slitinách dále specifikována. Hodnocení fází přítomných ve slitinách v dodaném stavu je věnována bližší pozornost i v dalších částech práce ( kap. 5.2, 5.3), kde jsou přítomné fáze blíže určeny a na metalografických obrázcích označeny písmeny. Pro snadnější orientaci čtenáře by bylo vhodné toto označení provést také již v této části práce, tj. v kap. 5.1. U slitiny Mg<sub>4</sub>Y<sub>2</sub>Zn autor rozlišuje na základě pozorování v SEM přítomnost dvou odlišných fází. Při bližším pohledu na obr. 5.10 lze uvnitř „šedé“ fáze rozlišit další tmavší oblast. Jedná se o oblasti tvořené jemným eutektikem zobrazeným při větším zvětšení na obr. 5.11, které je tvořeno stejnými fázemi jako v práci uváděná fáze s lamelární strukturou a proto není uváděna jako další strukturní složka?

V kapitole 5.2. jsou shrnuty výsledky vlivu tepelného zpracování na strukturu a mechanické vlastnosti studovaných slitin. Tepelné zpracování bylo voleno jednak tak, aby byl zjištěn vliv rychlosti ochlazování na vývoj struktury po rozpuštění fází izotermickým žháním 500°C/1 hod. V tomto případě byly určeny jednak změny fázového složení slitin včetně kvantifikace jejich objemového podílu a některých strukturních parametrů, u slitiny Mg<sub>4</sub>Y<sub>2</sub>Zn bylo navíc metodou energiově dispersní lokální chemické analýzy (EDS) zjištěno chemické složení metodou SEM identifikovaných fází. Provedené studium prokázalo, že rychlostí ochlazování po uvedeném způsobu žhání je struktura významně ovlivněna. K uvedenému části práce mám připomínku k nejasnému označení jednotlivých strukturních složek uvedených v tabulce 5.11, resp. 5.12. Není vždy jasné zda se jedná o jednotlivou fázi tvořící eutektikum, či o toto eutektikum. Vzhledem k velikosti některých fází je pravděpodobné, že metodou EDS bylo určeno složení celého eutektika, což z tabulky zcela jasně nevyplývá.

V druhém případě tepelného zpracování bylo provedeno izochronní žhání, resp. ohřev a ochlazování jednotlivých vzorků slitin v rozsahu teplot od teploty pokojové do 440°C, případně až 620°C podle jednotlivých typů slitin. V případě izochronního žhání autor stanovil u slitin na bázi WE43 průběh teplotní závislosti tvrdosti, kterou dává do souvislosti se strukturním stavem slitin při dané teplotě. Při spojitým ohřevu a ochlazování slitin byla určena tepelná stabilita vyskytujících se fází a metodou in situ rtg difrakce změřena změna mřížkových parametrů jejich krystalografických mříží. Zajímavým zjištěním je nelineární růst mezirovinných vzdáleností s teplotou u icosahedrání fáze.

Třetí, poslední částí experimentální práce, bylo studium chování slitin při úhlovém protlačování (ECAP) a jejich tepelně-mechanické vlastnosti v tomto stavu (kapitola 5.3.). Byly stanoveny mechanismy deformace slitin a jejich jednotlivých strukturních složek v průběhu protlačování a tepelná stabilita slitin po protlačení s různým počtem průchodů. Zajímavým zjištěním je výrazná změna mechanických vlastností při zkoušce tlakem, kdy slitina po protlačení vykazuje nižší mez kluzu a výrazně vyšší tažnost oproti slitinám v dodaném stavu. Změnu chování autor vysvětluje změnou deformace z deformace plastickým skluzem, doprovázeným popraskáním fází, na deformaci pokluzem po hranicích zrn, kdy k praskání nedochází ani u křehkých icosahedrání fází. Metoda in situ rtg difrakce ukázala obdobné průběhy teplotní závislosti mřížkových parametrů přítomných fází jako u slitin v dodaném stavu, tepelná stabilita fází je však zejména u icosahedrání fáze odlišná. V práci toto zjištění není nijak komentováno.

Hlavní pozornost v experimentální části práce, ve shodě s názvem práce, je věnována studiu defektu v dodaném stavu slitin a jejich ovlivnění tepelným a mechanickým zpracováním slitin. Výsledky tohoto studia a jejich hodnocení jsou součástí všech kapitol

uvádějících dosažené výsledky a jejich diskusi. Hlavním původním zjištěním pomocí metody spektroskopie pozitronové anihilace je tvorba defektů typu vakancí na rozhraní icosahedrál ní fáze a Mg matrice.

#### **Celkové zhodnocení:**

**Předložená disertační práce Mgr. Mariána Vlčka má celkově velmi dobrou úroveň, splňuje vytčené cíle a přináší nové původní výsledky. Diskuse a hodnocení výsledků je vedeno na velmi dobré úrovni a plně prokazuje schopnost doktoranda kriticky analyzovat experimentální poznatky. Práce je i po formální stránce pečlivě zpracovaná. Doktorand jednoznačně prokázal schopnost samostatné vědecké práce a schopnost srozumitelné písemné presentace získaných výsledků. Proto doporučuji práci k obhajobě.**

V Praze 10. srpna 2015

A large rectangular area of the document is redacted with a solid pink color, obscuring the signature of the reviewer.

doc. RNDr. František Hnilica, CSc.