

## Oponentský posudek disertační práce

**RNDr. Veronika Kodetová: „Precipitační procesy v lehkých vytvrditelných slitinách a možnosti začlenění termické analýzy do středoškolské výuky fyziky“**

Předložená disertační práce je rozdělena do dvou částí a spojuje tak pedagogický a vědecko-experimentální přístup.

První, pedagogická část, na 57 stranách rozdělených do šesti kapitol, popisuje zavedení diferenciální skenovací kalorimetrie (DSC) do středoškolské výuky fyziky. V této části jsou popsány jak základy termodynamiky, tak jsou vysvětleny principy několika experimentálních technik. Jednotlivé techniky jsou doplněny ilustrativními obrázky. Tato část převážně psaná formou učebnice zahrnuje rovněž princip metody DSC a její využití pro výuku na střední škole. Ve čtvrté kapitole první části je podrobně popsán princip a vlastní měření. Jako modelové experimenty byly zvoleny: určení teploty tání různě koncentrovaných vodných roztoků solí, určování teploty tání pevných látek - několika druhů čokolád a určení krystalizace běžně dostupných a používaných olejů.

Rovněž byl vypracován pracovní list z fyziky (termodynamiky) pro středoškolské praktikum a k němu studijní text. Velmi dobrou volbou pro vlastní experimenty bylo použití materiálů, se kterými se studenti běžně setkávají.

Praktikum bylo testováno na třech gymnáziích, celkově v sedmi studijních skupinách po 10-15 studentech v jedné skupině. Výsledky testování byly statisticky vyhodnoceny. Nepříjemným zjištěním byla nepropojenost teoretických znalostí studentů z fyziky a jejich praktická aplikace při zjišťování termických vlastností měřených látek.

Studenti i vyučující hodnotili jak studijní text, tak i praktikum jako nevšední a zajímavé. Podle oslovených pedagogů v testovaných gymnáziích by praktikum v předložené podobě mohlo být použito při tematických hodinách.

Druhá část práce se věnuje velmi aktuální problematice lehkých vytvrditelných slitin. Tato část je na 86 stranách textu rozdělena do šesti kapitol. V úvodu této části se autorka detailně věnuje teoretickým základům vzniku a charakterizace krystalické fáze a kinetice fázových přeměn. Pro svůj rozsah a obsah by tato část mohla být k obhajobě použita samostatně. Jedná se o detailní analýzu teplotního vývoje (laboratorní teplota až 500 °C) fázových transformací v hliníkových slitinách typu AlZnMg a AlZnMgCu se společným přídavkem Sc a Zr. Slitiny AlZnMg(ScZr) byly studovány ve stavu po odlití a po válcování za studena s celkovou redukcí 21 %. Slitiny AlZnMgCu(ScZr) byly studovány ve stavu po odlití, po válcování za studena a za tepla, v obou případech s celkovou redukcí 10 %.

V této části se autorka nejprve věnuje přípravě studovaných slitin. Pro popis chování studovaných slitin byla použita řada experimentálních metod (DSC, měření mikrotvrdosti, relativní změny rezistivity, měření korozní charakteristiky, transmisní a skenovací mikroskopie, mikroskopie atomárních sil, rentgenová difrakce a pozitronová a anihilační spektroskopie). Autorka rovněž popisuje principy těchto metod.

Těžištěm druhé části práce jsou výsledky s diskuzí. Z výsledků vyplývá, že společný přídavek příměsí Sc a Zr do studovaných slitin zjemňuje zrna. Válcování za studena ani za tepla nemá vliv na velikost zrn slitin ve výchozím stavu. Velikost zrn ve slitinách AlZnMgCu ve výchozím stavu byla ~1 000 μm, ve výchozím stavu slitin AlZnMgCu(ScZr) ~20 μm. Velikost zrn ve slitinách AlZnMg(ScZr) nebyla stanovena.

Válcování za studena mělo pozitivní vliv na výchozí hodnoty mikrotvrlosti slitin AlZnMg, AlZnMgCu a AlZnMgCu(Sc,Zr). Přídavek Sc a Zr tyto hodnoty prakticky neovlivnil. Pozitivní vliv válcování za studena na hodnoty mikrotvrlosti byl pozorován u všech slitin do teploty žhání 180 °C. U slitiny AlZnMg(ScZr) byl pozitivní vliv válcování patrný až do teploty žhání 460 °C.

Při válcování za tepla byly zjištěny vyšší hodnoty mikrotvrlosti slitiny AlZnMgCu(ScZr), pravděpodobně vlivem precipitace částic obsahujících Sc a Zr, vznikajících při tepelné přípravě na 300 °C/ 60 min. Tyto částice měly vytvrzující efekt při teplotách nad 300 °C.

Autorka se rovněž zevrubně zabývá vlivem izochronního a izotermického žhání slitin na změnu struktury a na vybrané vlastnosti slitin. Výsledné vlastnosti studovaných slitin jsou tedy dány přípravou, jejich žháním a typem válcování. Při izochronním žhání AlZnMg(ScZr) a AlZnMgCu(ScZr) slitin do teploty 360 °C válcovaných za tepla bylo pozorováno a podrobně popsáno odlišné chování při tvorbě nových fází. Při izotermickém žhání na teplotě 350 °C/10 hod. byla ve slitinách AlZnMgCu ve stavu po dolití a válcování za studena pozorována částečná rekrystalizace. Příměsi Sc a Zr do slitiny AlZnMgCu stabilizovaly zrna a rekrystalizace nebyla pozorována při žhání na teplotě 350 °C/10 hod. ani při teplotě 450 °C/10 hod.

Rovněž byla zjišťována hustota dislokací a její vliv na vlastnosti slitin. Ve slitinách ve stavu po odlití se válcování za studena hustota dislokací výrazně zvýšila, zejména na hranicích zrn. Na hranicích zrn byla ve všech studovaných slitinách pozorována eutektická fáze. Její objemový podíl byl ve všech studovaných slitinách přibližně stejný, bylo však prokázáno odlišné chemické složení pro různé varianty slitin. Studium chemického složení a struktury těchto fází autorka věnuje velkou pozornost.

Bylo zjištěno, že pokles hodnot mikrotvrlosti a relativních změn rezistivity, společně s výrazným endotermickým procesem patrným na DSC křivkách do ~150 °C byl způsoben rozpouštěním tzv. GP zón anebo klastrů ve všech slitinách ve stavu po odlití a po válcování za studena. U slitin válcovaných za studena se tento proces posouval k nižším teplotám pravděpodobně v důsledku snazší difúze atomů Mg a Zn podél dislokací. Vlivem společného přídavku Sc a Zr se tento proces posouval k nižším teplotám, pouze u slitin AlZnMgCu(ScZr). Ve slitinách válcovaných za tepla výše uvedené změny nebyly pozorovány.

Významným přínosem práce je obrovské množství experimentálních dat a jejich detailní analýza, což je jednoznačně přínosem s ohledem na případný aplikační potenciál těchto materiálů. Práce obsahuje množství tabulek, grafů a obrázků, které usnadňují orientaci ve velkém množství textu. Autorka prokázala schopnost orientace v odborné literatuře (166 citací).

K práci mám několik otázek a připomínek:

- V práci je použito množství experimentálních metod. Jak se autorka podílela na uvedených měření?
- Byly zjištěny některé velmi odlišné vlastnosti slitin vlivem válcování za studena a za tepla. Je pro to nějaké obecné vysvětlení?
- Dá se blíže popsat vliv izotermického a izochronního žhání na vlastnosti slitin?
- Je uvedeno (str. 99), že slitiny byly skladovány při teplotě kapalného dusíku (196 °C, 77 K). Nemohlo dojít ke změně struktury nebo ke zkrěhnutí připravených slitin?
- Práce je psána velmi čtivě. Přehlednosti a lepší orientaci v datech by pomohlo stejné psaní vzorců slitin. Jedna slitina je uváděna jako: Al-Zn-Mg-Cu-(ScZr) a AlZnMgCuScZr a AlZnMg(-CuScZr) a AlZnMgCu(ScZr).
- Po formální stránce je práce napsaná velmi pečlivě s malým množstvím chyb a překlepů, např. str. 143.

Výše uvedené otázky a připomínky však nikterak nezpochybnují kvalitu a cenné výsledky celé práce a spojují pedagogický a vědecko-experimentální přístup.

Výsledky práce jsou součástí grantového projektu, byly publikovány v mezinárodních časopisech a prezentovány na konferencích.

RNDr. Veronika Kodetová prokázala schopnost samostatné pedagogické i vědecké práce, kritické analýzy výsledků a jejich interpretace.

Práci **doporučuji k obhajobě**, a věřím, že po úspěšné obhajobě bude RNDr. Veronice Kodetové udělen **titulu Ph.D.**

V Pardubicích, 9. 7. 2020

doc. Ing. Eva Černošková, CSc.  
SLChPL, FChT, Univerzita Pardubice