

Posudek doktorské disertační práce

Jméno doktoranda: **RNDr. Jana Šmilauerová**

Název práce: **Phase transformations in modern titanium alloys** (Fázové transformace v moderních slitinách titanu)

A. Aktuálnost zvoleného tématu, jeho vědecký a praktický význam

Předložená práce se zabývá charakterizací fázových transformací v moderních slitinách titanu, s důrazem na strukturní přeměny související s tvorbou a vývojem tzv. omega-fáze titanu v matici fáze beta. Toto téma je vysoce aktuální jak z vědeckého tak i z praktického hlediska. Přestože fázové přeměny spojené s tvorbou omega-částic v metastabilní beta-fázi titanových slitin jsou intenzivně studovány již řadu let, neexistuje doposud ucelený model, který by konzistentně popisoval související strukturní změny a procesy v jejich pozadí. Popis a pochopení uvedených procesů má přitom zásadní význam pro vývoj a optimalizaci nových titanových slitin a využití jejich jedinečných vlastností v praxi.

Hodnocení bodu A: Téma disertační práce hodnotím z vědeckého i praktického hlediska jako vysoce aktuální a perspektivní pro další výzkum.

B. Cíle disertační práce, zvolené metody zpracování a postup řešení

Práce si klade za cíl studovat a charakterizovat tvorbu omega-fáze ve dvou metastabilních beta-slitinách titanu: slitině Ti-15Mo a slitině Ti-6.8Mo-4.5Fe-1.5Al označované jako LCB (Low Cost Beta). K dosažení tohoto obecného cíle jsou navrženy následující výzkumné kroky:

- Charakterizace a kvantitativní popis růstu omega-částic v průběhu tepelného žhání
- Studium vlivu přítomnosti omega-částic na okolní matici
- Studium prostorového uspořádání omega-částic
- Charakterizace kinetiky růstu omega-částic.

Pro účely následujících experimentů byly metodou optické zonální tavby připraveny monokrystaly uvedených dvou slitin a jejich základní parametry charakterizovány pomocí Laueho metody, EBSD, DSC, EDXA a speciální metody stanovení obsahu lehkých prvků.

Jádro práce tvoří experimentální charakterizace vzorků připravených z uvedených dvou slitin realizovaná metodami RTG difrakce a malouhlového rozptylu (SAXS) a interpretace dosažených výsledků provedená s pomocí k tomuto účelu sestavených teoretických modelů. K difrakční charakterizaci byla využita metoda měření pólových obrazců založená na skenu rozložení orientace pólů zvolených krystalografických rovin vůči s.s. vzorku a dále metoda mapování difrakčních maxim ve zvoleném řezu reciprokého prostoru. Tyto experimenty byly realizovány na vzorcích slitiny LCB reprezentujících výchozí stav a dále stavy po žhání provedeném při teplotách 300, 335 a 370 °C s dobou temperování v rozmezí 2 – 256 h. Výsledky popisující RTG malouhlový rozptyl na studovaných slitinách byly získány v rámci experimentálních kampaní na synchrotronových zdrojích APS v Argon National Laboratory, USA a ESRF v Grenoblu, Francie. Měření na APS byla realizována na vzorcích žháných „ex-

situ“, na ESRF bylo žíhání prováděno „in-situ“, což umožnilo charakterizaci kinetiky studovaných fázových přeměn.

K diskuzi dosažených výsledků byly sestaveny a využity původní teoretické a simulační modely (některé z nich jsou popsány v samostatných publikacích disertantky) umožňující analyzovat souvislosti mezi pozorovanými difrakčními a rozptylovými charakteristikami a mikroskopickými parametry studovaných struktur a dějů a posoudit též vzájemnou koherenci výsledků dosažených různými experimentálními přístupy.

Hodnocení bodu B: Postup řešení, použitá experimentální metodika a teoretické metody zpracování dat a analýzy výsledků jsou na špičkové mezinárodní úrovni a zcela adekvátní stanoveným cílům. Tyto cíle byly beze zbytku naplněny.

C. Dosažené výsledky

Předložená práce dospěla k řadě zajímavých výsledků vztahujících se k morfologii a kinetice fázových přeměn souvisejících s tvorbou a teplotní evolucí omega-fáze ve studovaných slitinách. Zásadní význam má zejména prokázání existence kubického prostorového uspořádání omega-částic v beta-matrici s periodou podél směrů $\langle 100 \rangle$ beta-matrice a souvislosti tohoto uspořádání s elastickými vlastnostmi matrice. K dalším důležitým výsledkům pak patří například ověření topotaktického vztahu mezi omega-částicemi a beta-matricí, potvrzení diskrétní krystalografické orientace elipsoidického tvaru omega-částic, provedená analýza složek rozptylu přispívajících k rozptylové intenzitě v okolí difrakčních maxim obou fází v reciprokém prostoru a prokázání energetické blízkosti procesů difúze metalických příměsí a tvorby omega částic v beta-matrici.

Porovnání výsledků dosažených na binární slitině Ti-15Mo a kvartérní slitině LCB zároveň podtrhlo nárůst komplexity studovaných jevů s rostoucím počtem konstituujících složek matrice. Tento výsledek je výzvou pro další výzkum těchto slitin.

Hodnocení bodu C: Výsledky dosažené v rámci předložené práce představují zásadní příspěvek ke studované problematice v mezinárodním měřítku.

D. Členění textu, formální úprava a jazyková úroveň disertační práce

Obsah práce je rozčleněn do šesti základních kapitol. Po krátkém motivačním úvodu následuje přehled klasifikace titanových slitin, jejich fází, základních fázových transformací a možných aplikací doplněný o výsledky podobných již realizovaných studií a vedoucí k formulaci cílů disertační práce. Následující kapitola popisuje detaily jednotlivých experimentálních postupů a technik. Jádrem práce je pak kapitola s přehledem dosažených výsledků a jejich diskuzí, která pokrývá 50 z celkem 106-ti stran práce. Hlavní výsledky jsou přehledně shrnuty v Závěru. Následuje přehled použité literatury, seznam obrázků, tabulek, použitých symbolů a zkratk a Apendix, ve kterém jsou pro zachování plynulosti hlavního textu umístěny doplňující obrázky.

Disertační práce je psána v anglickém jazyce na velmi dobré jazykové úrovni. Struktura a členění práce jsou výborné úrovní, popisovaná témata na sebe logicky navazují, výklad je velmi přehledný a srozumitelný. Text neobsahuje překlepy.

Hodnocení bodu D: Po formální a stylistické stránce je disertace vypracována velmi pečlivě.

E. Připomínky a dotazy k obsahu disertační práce

- str. 54, ř. 9. Namísto „ageing temperatures“ má být patrně uvedeno „ageing times“?
- str. 30, Fig. 4.4. Orientace ingotu zjištěná pomocí EBSD a zobrazená na pravém obrázku se výrazně liší od udané převažující růstové orientace $[131]_{\beta}$ pro slitinu LCB. Co je příčinou?
- Byly EBSD distribuce měřeny též pro monokrystal Ti-15Mo? Pokud ano, byla i zde pozorována drobná zrna s odlišnou orientací v blízkosti povrchu ingotu?
- str. 48, Fig. 4.12. Proč se liší časová souřadnice počátečních bodů v křivkách žíhání pro jednotlivé testované teploty?
- str. 62, Fig. 4.14. Pozorovaný vývoj SAXS intenzity s dobou temperování je interpretován jako současný růst střední vzdálenosti částic L_0 i jejich střední velikosti. Jakým mechanismem by mohl takový proces probíhat?
- str. 67, Fig. 4.27: V experimentu měřeném „in-situ“ nevykazuje vývoj profilu SANS intenzity podél směru $[100]_{\beta}$ s dobou temperování při teplotě 390 °C anomální chování pozorované v „ex-situ“ experimentu při nižší teplotě 370 °C. Co může být příčinou tohoto rozdílu?

F. Závěrečné hodnocení:

Obsah předložené disertační práce a výsledky v ní obsažené jasně prokazují předpoklady autorky k samostatné tvůrčí vědecké práci.

Doporučuji práci k obhajobě a v případě úspěšného zodpovězení všech dotazů a připomínek navrhuji udělení vědecké hodnosti PhD.

V Kamenici dne 6. září 2016

doc. Ing. Ladislav Kalvoda, CSc.

FJFI ČVUT v Praze