

## OPONENTSKÝ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

Autor práce: Josef STRÁSKÝ

Název práce: **Optimization of properties of Ti based alloys for biomedical and structural applications**

Oponent: prof. Dr. RNDr. Miroslav KARLÍK  
ČVUT - FJFI, katedra materiálů

Slitiny titanu patří v současné době mezi nejpoužívanější implantační materiály, protože nejlépe splňují požadavky na pevnost, biokompatibilitu a odolnost vůči korozi. Titan je polymorfní kov, který se vyskytuje ve dvou krystalografických strukturách. Za nízkých teplot je stabilní hexagonální těsně uspořádaná struktura ( $\alpha$ -fáze), kubická prostorově centrovaná struktura ( $\beta$ -fáze) je u čistého titanu stabilní jen při vysoké teplotě. Titanové slitiny lze pak rozdělit dle zastoupených fází do tří skupin: slitiny  $\alpha$ , slitiny  $\alpha + \beta$  a slitiny  $\beta$ .

Předložená práce se zabývá jednak studiem mikrostruktury a vlastností dvoufázové slitiny Ti-6Al-4V, která se v současné době používá v ČR jako materiál pro kloubní implantáty. Významnou nevýhodou tohoto materiálu z biomedicínského hlediska je jeho relativně vysoký modul pružnosti ve srovnání s modulem kosti. To způsobuje některé problémy s životností implantátu, zejména degradaci kostní tkáně v okolí implantátu, která potenciálně vyžaduje předčasnou reoperaci.

Druhým tématem disertace je pak studium nových jednofázových slitiny  $\beta$ -Ti, které zachovávají všechny pozitivní vlastnosti Ti (pevnost, korozní odolnost, biokompatibilita), a navíc mají výrazně nižší modul pružnosti, který se u některých slitin dokonce blíží modulu pružnosti kosti.

Oba dva okruhy prezentovaných prací jsou vzhledem k ortopedickým aplikacím velmi aktuální. Fyzikální procesy (zejména fázové transformace) probíhající v metastabilních slitinách  $\beta$ -Ti jsou mnohem komplikovanější než v osvědčené stabilní dvoufázové slitině Ti-6Al-4V a jejich studium je z hlediska základního výzkumu originální.

Disertační práce má 104 stran textu a je rozčleněna do 6 kapitol. V úvodní kapitole autor čtenáře seznamuje s historií vzniku tématu disertace a se strukturou předložené práce. Kapitola 2 (25 stran) shrnuje problematiku Ti a jeho slitin, vliv příměsových prvků na fázový diagram, zpevňovací mechanismy, hlavní požadavky na ortopedické implantáty a povrchové úpravy slitin pro biomedicínské aplikace: elektrojiskrové obrábění, chemické leptání a kuličkování. Tuto teoretickou část, zpracovanou s pedagogickým talentem, je možné bez úprav použít pro výuku dané problematiky. V kapitole 3 jsou formulovány hlavní i jednotlivé dílčí cíle práce. Následující kapitola (15 stran) popisuje způsob přípravy studovaných materiálů a použité experimentální techniky, kterými byly: elektrojiskrové obrábění, chemické leptání, kuličkování, světelná

metalografie, rastrovací elektronová mikroskopie, měření drsnosti povrchu, měření mikrotvrlosti, tahová zkouška, akustická emise, únavové zkoušky v ohybu za rotace a rezonanční ultrazvuková spektroskopie. Nejobsáhlejší kapitola 5 – Výsledky a jejich diskuse (43 stran), je rozdělená na dvě části: Zkoumání vlivu povrchových úprav na mechanické vlastnosti slitiny Ti-6Al-4V a Studium vlivu různých přísad (Fe, Si, O) na strukturu a vlastnosti slitin  $\beta$  na bázi Ti-Nb-Zr-Ta. Celkem bylo připraveno a prozkoumáno 15 nových slitin  $\beta$ . Dosažené výsledky jsou ihned po jejich prezentaci podrobně diskutovány a konfrontovány s literárními údaji (bibliografie čítá celkem 171 položek).

V Závěru autor na blokovém schématu výstižně shrnuje komplexnost různých požadavků na materiál pro kloubní implantáty a uvádí hlavní výsledky své práce. Významným výsledkem je patentovaná povrchová úprava spočívající v kombinaci elektrojiskrového obrábění, chemického leptání a kuličkování, která zachovává únavovou odolnost základního materiálu při morfologii povrchu vhodné pro růst kostních buněk. Kromě zajímavých výsledků z hlediska fyzikální metalurgie bylo i u slitin  $\beta$ -Ti dosaženo aplikace: dvě vybrané slitiny z 15 zkoumaných byly čínskou firmou Huizhou Top Metal Material vyrobeny ve větším množství pro testování u českého výrobce kloubních implantátů, firmy Beznoska.

Práce, napsaná velmi dobrou angličtinou, je přehledná a graficky dobře zpracovaná. Po stránce obsahové je vynikající. Kromě dosažených biomedicínských aplikací otevírá v oblasti studia metastabilních slitin  $\beta$ -Ti na katedře fyziky materiálů MFF UK v Praze atraktivní směr výzkumu, který v budoucnu jistě přinese řadu zajímavých výsledků.

K diskusi při obhajobě bych měl následující náměty:

- 1) Nejlepší statické i dynamické mechanické vlastnosti vykazuje materiál s duplexní (bimodální) strukturou (obr. 4.1). Podle čeho jste vybíral relativně komplikovaný způsob tepelného zpracování k dosažení této mikrostruktury?
- 2) U povrchových úprav uvádíte jako referenční materiál po elektrolytickém leštění. Za jakých podmínek toto leštění probíhalo? Proč nebylo použito popsané chemické leštění?
- 3) Jakým způsobem se tak reaktivní materiál, jako je Ti, leguje kyslíkem?
- 4) Modul pružnosti slitin  $\beta$  byl měřen metodou rezonanční ultrazvukové spektroskopie na velmi malých vzorcích. Při relativně nízkém obsahu příměsí Si, Fe a O se výsledné hodnoty pohybují v širokém rozmezí od 62 do 110 GPa. Nemůže být toto široké rozmezí způsobeno případnou nehomogenitou chemického složení slitin?
- 5) Proč nebyla tahová zkouška provedena pro všechny slitiny  $\beta$  a měření modulu pružnosti a mikrotvrlosti ano?

## *Závěr*

Doktorská disertační práce Josefa Stráského je zpracována na velmi aktuální téma studia slitin titanu pro biomedicínské aplikace. Byla získána řada zajímavých výsledků o mikrostruktuře a mechanických vlastnostech studovaných materiálů po různém termomechanickém zpracování. Plánované cíle byly beze zbytku splněny. V práci vyvinutý způsob povrchové úpravy materiálu byl patentován. Autor prokázal schopnost samostatně pracovat tvůrčím způsobem a dosažené výsledky kvalitně prezentovat. V seznamu literatury jsou odkazy na pět publikací autora v mezinárodních časopisech či na mezinárodních konferencích, což je na doktoranda výborná publikační aktivita.

Práce splňuje všechny obsahové i formální požadavky, stanovené na doktorské disertační práce v §47 Zákona o vysokých školách č.111/98 Sb. Proto je možné bez jakýchkoliv pochybností doporučit, aby byla přijata k obhajobě.

V Praze, dne 5. srpna 2014



