

Mgr. Radim Čtvrtilík, Ph.D.
Společná laboratoř optiky UP a FZÚ AV ČR
třída 17. listopadu 50A
772 07 Olomouc

Posudek oponenta disertační práce Ing. Karla Tesaře

s názvem

Tenké hořčíkové dráty pro biodegradabilní implantáty

Posuzovaná disertační práce se zabývá problematikou přípravy a charakterizace drátů z hořčíku a jeho slitin. Konkrétně jsou v práci shrnuty výsledky dosavadního úsilí při vývoji implantátů na bázi hořčíku použitelných pro fixaci hrudní kosti po mediální sternotomii převážně u dětských pacientů.

Práce je koncipována jako komentovaný soubor publikací k danému tématu v logickém sledu, kdy jsou dosažené výsledky dodatečně komentovány v kontextu vývoje konkrétních Mg implantátů. Jednotlivé publikace, publikované v prestižních vědeckých časopisech, poskytují komplexní informace o přípravě a charakterizaci drátů a lanek vytvořených z různých slitin Mg, včetně čistého Mg. Nad rámec publikovaných výsledků jsou prezentovány také doposud nepublikované výsledky spolu s diskusí dalšího směru experimentálního výzkumu.

Práce má celkem 132 stran a je v podstatě rozdělena na dvě části. V první části o rozsahu 71 stran je nejprve uvedena motivace práce a stručně vysvětleny "mezery" v poznání a znalostech o Mg a jeho slitinách, zejména v kontextu implantologie. Následně jsou jednoznačně nadefinovány jednotlivé dílčí cíle práce reflektující velmi komplexní problematiku od nalezení vhodné slitiny, přes optimalizaci výroby až po pokročilou charakterizaci mikrostruktury, textury, mechanických charakteristik a korozní odolnosti, nevyjímaje povrchové modifikace vhodným polymerem. Součástí jsou také in vitro a následně i in vivo testy vybraných drátů a lanek vyrobených z nejperspektivnějších Mg slitin. Po těchto úvodních částech jsou dále v logickém sledu komentovány výsledky jednotlivých šesti publikací, ze kterých primárně disertační práce vychází. Následuje představení spolupracujících institucí podílejících se na tomto multidisciplinárním výzkumu a vývoji. V závěru této první části je uvedeno shrnutí dosažených výsledků spolu se směry dalšího výzkumu. Seznam literatury čítá 91 položek a obsahuje významné základní práce z oboru. Druhá část práce potom obsahuje jednotlivé výtisky zmíněných šesti článků.

1 Aktuálnost zvoleného tématu

Vzhledem k unikátní kombinaci fyzikálních a mechanických vlastností patří hořčík a jeho slitiny k velmi atraktivním materiálům pro celou řadu praktických aplikací. Důležitost hořčíku je navíc umocněna jeho biogenní povahou, která skýtá ohromný potenciál pro biomedicínské využití. Pro jeho masovější nasazení v implantologii je však třeba přesně popsat a pochopit jakým způsobem probíhají degradační procesy na lokální úrovni a do jaké míry tyto procesy omezují jeho použití. Dalším logickým krokem je potom studium možnosti zlepšování užitečných vlastností slitin na bázi hořčíku s cílem dosáhnout dostatečné korozní odolnosti tak, aby nedocházelo k předčasnému porušení strukturní integrity implantátu.

Téma této disertační práce v sobě tedy kombinuje hned několik aspektů celospolečensky prospěšného výzkumu s výrazným aplikačním přesahem a praktickou využitelností v humánní medicíně v případě

úspěšného dosažení svého vytyčeného cíle. Nicméně i samotné dílčí výsledky mají důležitou relevanci pro řadu konstrukčních aplikací hořčíku a jeho slitin.

2 Zvolené metody zpracování disertační práce

Cíle a problematika řešená v rámci této disertační práce jsou časově i odborně velmi náročné, zahrnují mnoho technologických problémů a vyžadující širokou a multidisciplinární škálu charakterizačních technik. Proto byla zcela logicky tato práce řešena v rámci mezioborové spolupráce napříč fyzikou, chemií, metalurgií, aplikovanou mechanikou, biomechanikou, biologií a medicínou, na které se podílely přední výzkumné instituce v ČR.

Disertační práce obsahuje výsledky celé řady moderních experimentálních technik, které byly použity pro charakterizaci Mg drátů vytvořených pomocí metody přímé extruze za tepla. Zásadními technikami byly SEM, FIB-SEM, EBSD, GDOES, Ramanova spektroskopie, optická mikroskopie. Funkční vlastnosti byly testovány zejména pomocí korozních testů a tahových zkoušek. V neposlední řadě je třeba zdůraznit fraktografickou analýzu. Díky tomuto ucelenému souboru experimentálních technik a jejich adekvátnímu vyhodnocení byl dosažen unikátní set výsledků, stejně tak byly získány zásadní poznatky o přípravě a chování Mg slitin s vysokým potenciálem v implantologii.

Zvolená forma disertační práce jako komentovaného souboru publikací je opodstatněná a poskytuje ucelený přehled studovaných problematik. Text vycházející z autorem již publikovaných prací je dobře organizován a je psán srozumitelně s minimem stylistických nedokonalostí, obrázky potom text vhodně doplňují. Jedinou výtku mám k anglickému textu v některých obrázcích a potom k chybějící škále u některých z nich.

3 Dosáhnuté výsledky a přínos pro další rozvoj vědy a techniky

Disertační práce splnila vytyčené cíle, kdy se podařilo připravit, experimentálně charakterizovat vybrané strukturální, fyzikální a chemické parametry a následně in vitro a in vivo ověřit funkčnost Mg slitin s různým podílem Zn pro aplikace v implantologii. Je patrné, že prováděný interdisciplinární výzkum Mg-Zn drátů byl prováděn v širokém vědeckém kolektivu, nicméně za výrazného a nezpochybnitelného přispění kandidáta. Kromě úspěšného splnění vytyčených cílů kandidát jednoznačně potvrdil svou schopnost provádět kvalitní vědeckou práci v mezinárodním vědeckém týmu. Jednotlivé dílčí výsledky práce byly opakovaně přijaty vědeckou komunitou a publikovány v prestižních impaktovaných časopisech a konferenčních sbornících, což podtrhuje jejich kvalitu a důležitost. Za zmínku stojí také uznání ve formě editoriale v prestižním časopise Materials Today.

Vzhledem k výše uvedenému **doporučuji disertační práci Ing. Karla Tesaře k obhajobě**

V Olomouci, dne 14. listopadu 2022

Mgr. Radim Čtvrtlík, Ph.D.

Příloha: Otázky k obhajobě

- 1) Která konkrétní studovaná Mg slitina je nejslibnější z hlediska reálného praktického nasazení v implantologii?
- 2) Vezmeme-li v úvahu výsledky předkládané práce, bude do budoucna výhodnější pro aplikace v implantologii dále optimalizovat binární systém Mg-Zn nebo se věnovat ternárním systémům jako jsou např. Mg-Zn-Y nebo Mg-Zn-Gd?
- 3) V případě, že byla ochranná vrstva aplikovaná na spletené lanko, byla studována kvalita povrstvení? Například z hlediska tloušťky a/nebo její rovnoměrnosti.
- 4) Byl studován samotný ochranný vliv polymerů používaných k ochraně Mg drátů a lanek? Z prezentovaných snímků na Obr.26 není ochranná funkce polymeru patrná. Navíc vezmeme-li v úvahu popis na str. 56 „Lze pozorovat, že povrch některých drátů je plně nahrazen korozními produkty, zatímco jiné jsou stále v kovovém stavu.“
- 5) Na straně 58 je uvedeno „Přestože jsou mechanické vlastnosti lanka dány zejména zbylými dráty v kovovém stavu, příspěvek korozních produktů ke zpevnění může být nezanedbatelný.“ Z prezentovaných výsledků je patrné, že korozní vrstva má spíše nekompaktní charakter. Není tedy jasné, jak by mohla efektivně přispět ke zlepšení ke zlepšení mechanických charakteristik.