



**Oponent: Prof. Ing. Františka Pešlová, Ph.D, Ústav strojírenské technologie,
ČVUT, Praha**

**Oponentský posudek disertační práce Ing. Jana Krčila
„Studiu oxidických vrstev pro úpravu povrchu biomateriálů“**

**Ústav materiálového inženýrství, Karlovo náměstí, Fakulta strojní, České
vysoké učení technické v Praze, ČR**

Na základě dekretu č.j. 529/12921/O/2021 jsem byla jmenovaná oponentem na předloženou disertační práci Ing. Jana Krčila, děkanem strojní fakulty, ČVUT v Praze.

Cílem disertační práce (DP) bylo využití řízené oxidace na úpravu titanu a titanových beta-slitin, určených pro medicínské účely, se zaměřením na implantáty. Dále materiály takto upravené studovat z pohledu charakteru a vlastností oxidických vrstev jak po stránce jejich chemického složení a krystalické struktury, tak i z pohledu bioaktivity. Následně využít vliv růstu kalcium-fosfátové vrstvy (jako náhrady hydroxylapatitu) na uměle vytvořených oxidických vrstvách a vyhodnotit biologickou aktivitu pomocí živých buněk osteoblastní linie MG63. Po prostudování celé disertační práce a fotografické dokumentace mikro a makrostruktur potřebných pro řešení dané problematiky, lze konstatovat, že *stanovené cíle DP byly splněny*.

Jak disertant uvádí, jedná se o studium povrchové úpravy pro biomateriály s úmyslem zlepšení biokompability, pro urychlené hojení v operovaných implantátů. Z uvedených literárních odkazů (počet 128ks), které Ing. Jan Krčil v teoretické části své práce uvádí a vychází z jejich výsledků (a odkazů) je patrné, že se v současnosti úpravou povrchů implantátů, zabývá poměrně velký počet autorů z důvodu, že se jedná o materiál, který interaguje se živými buňkami. Na základě uvedených citací a prací v teoretické části DP, provedl Ing. Krčil plánování experimentů, pomocí kterých vybral metodiku anodické oxidace pro vytvoření oxidické vrstvy na vybraných materiálech, získaných z ČR výroby (T, TAV, TN, TNZ, TNTS). Autor DP, na základě studia velkého počtu uvedené literatury provedl v teoretické části své práce kritickou rešerš. *Teoretickým přínosem DP lze označit konfrontaci dosažených výsledků na Ústavu materiálového inženýrství, ČVUT v Praze, s poznatky získanými z publikací na zahraničních pracovištích.*

Umělé vytvoření oxidické vrstvy na povrchu vybraného materiálu umožní její studium jak z pohledu kvality, tak i kvantity. Sledování změny zbarvení a drsnosti



zoxidovaných povrchů na základě tloušťky vrstvy, ukázalo, že do chemických reakcí jsou vtaženy některé chemické prvky, které se těchto reakcí ve větším nebo menším měřítku zúčastňují. Tento proces bude závislý na aktivitě prvků vůči kyslíku. Proto nevzniká definovatelná uspořádaná struktura, ale mikrostruktura oxidů, která má své specifikum v deformovaných krystalických mřížkách původních oxidů majoritních prvků. Vzhledem na charakter a morfologii těchto oxidů lze předpokládat i heterogenní napjatost v povrchové vrstvě odlišnou od napjatosti v základním materiálu. Problematika modelové oxidace na uvedených materiálech je velmi komplikovaná vzhledem k tomu, že se jedná o dva diametrálně rozdílné materiály. Základní materiál je Ti nebo Ti slitna, tedy kov vrs. oxidická vrstva (anorganický materiál), se zásadně odlišnými materiálovými vlastnostmi. Tato heterogenita se projeví i v interakci se živými buňkami v daném prostředí. Buňky by reagovaly s oxidickou vrstvou (ovlivněnou základním materiálem), která podle autora DP, má své specifické vlastnosti a je více či méně pórovitá, nerovnoměrná s různou drsností a tloušťkou.

Praktickým přínosem DP jsou získané nové poznatky z umělé oxidace, které se dají aplikovat i na proces koroze, která je v daném případě nežádoucí. Ing. Jan Krčil poukázal mikroskopickou cestou na morfologické změny v povrchových vrstvách. Mikrostruktura je jedna ze základních atributů, která ovlivňuje mechanické a fyzikální vlastnosti a na kterou jsou živé buňky různě citlivé. Pokud je mikrostruktura nehomogenní, s velkým výskytem různorodých fází jak obsahově, tak morfologicky, odrazí se to na celkovém chování a přijetí takového materiálu živým organismem.

Mikroskopické zkoumání detailních fází vyžaduje propojenost poznatků z teoretických a praktických zkušeností tak, aby mohl být vytvořený komplexní obraz o materiálu, na který jsou v medicíně kladeny vysoké nároky. Na tomto místě mohou vyzvednout velmi precizní a detailní přístup Ing. Jana Krčila, při zkoumání jednotlivých fází z vybraných mikrostruktur jak z pohledu kvalitativního, tak i z kvantitativního.

Pokud shrnu celkový přístup doktoranda k řešení předkládané problematiky, mohu konstatovat, že získané výsledky z této vědecké práce se mohou stát dobrým vodítkem při návrhu bioinertního materiálu s oxidicky strukturovaným povrchem. Bude důležité v konkrétním experimentu vzít v úvahu procentuálním zastoupení jednotlivých prvků (jak ve vrstvě, tak základního materiálu) při dané teplotě, na co Ing. Krčil ve své práci upozornil při určování výsledných produktů v uměle vytvořené oxidické vrstvě.

Vzhledem k tomu, že se jedná o disertační práci, která je dílem odborné prezentace s vědeckým přínosem disertanta, lze konstatovat, že *volba*



experimentálních technik, které prokazují změnu povrchu byla adekvátní a v některém případě velmi výstižná.

Z formální stránky je možné vyzvednout to, že práce je napsaná přehledným způsobem, byť se jedná o materiály, které mají komplikovanou mikrostrukturu, u nichž je velmi náročná jejich interpretace. Popisy jednotlivých procesů a mikrostruktur a jejich propojení s kolonizací živých buněk jsou přehledné a snad na nepatrné nepřesnosti, výstižné.

Na základě předložených hodnocení a výsledků v disertační práci je vidět, že konečné využití některých poznatků bude vycházet z mnoha proměnných vstupních parametrů, které mohou dlouhodobě ovlivňovat interakci lidského organismu s vybraným materiálem a jeho povrchovou úpravou. Tyto aspekty bude nutné zvažovat z pohledu změny kvality konečné mikrostruktury (výskyt pórovitosti), která bude v přímém kontaktu se živými buňkami. Chemické složení, materiálové vlastnosti případně jiné fyzikální, chemické a termodynamické chování vybraných materiálů bude mít vliv na jejich užívání jako náhrady některých živých orgánů.

K diskuzi o dané problematice mám několik poznámek a dotazů:

Co by ukázalo porovnání kolonizace buněk na povrchu anodicky oxidovaného materiálu „TAV“ s neoxidovaným materiálem „T“ (v literatuře jsou uvedené výsledky z ukládání a reakcí živých buněk na čistém titanu).

Jak bylo zabráněno okamžité pasivaci povrchu uvedených materiálů (tyto materiály jsou charakteristické okamžitou pasivací) a pokud ne, daly se rozlišit vrstvy přírodně vznikajících oxidů od uměle vytvořených? V podstatě umělá oxidace nevznikala na čistém kovovém povrchu vybraných materiálů.

Vzhledem na rozdílnost základních materiálů a chemické sloučeniny uměle vytvořené na povrchu implantátu, nebude nebezpečí, že dojde v živém organismu za určitý čas k odlamování heterogenních oxidických částic (a vzniku metalózy).

Je identifikace barevných kontrastů na povrchu přesným hodnotícím parametrem (nebude ovlivněný pozorovatelem).

Ukázala by obrazová analýza více o složení oxidických vrstev a pórovitosti oxidů?

Může disertant specifikovat co bylo motivací celého výzkumu. Je předpoklad, že bude zájem některých výrobců implantátů o tuto metodiku povrchové úpravy.

Při zamyšlení se nad náročnou technologií výroby čistého titanu, která vychází z oxidů titanu (např. rutil, anatas) tedy stabilních fází je předpoklad, že bude mít čistý kov tendenci se z nestabilního nebo metastabilního stavu, za vyhovujících



podmínek a času, vrátit znovu do jeho stabilních fází oxidů. Jaký je názor disertanta na tento přirozený vrs. umělý proces.

Závěrem lze konstatovat, že výsledky získané z předložené disertační práce mohou sloužit pro další zkoumání ve vědecko-technických projektech vzhledem na rozšíření poznatků v daném oboru. Výběr a volba podstatných experimentů pomůže získat důležité parametry o materiálech, které mohou být v medicíně uplatněny. Disertační práce se vyznačuje jasnou formulací, přehledným zpracováním získaných dat a dobrou interpretací mikrostruktur.

Na základě, prostudování předložené disertační práce a získaných poznatků z dané problematiky, mohu pana Ing. Jana Krčila, doporučit k obhajobě a po jejím obhájení a zodpovězení všech odborných otázek udělit titul

„Ph.D“

V Praze dne 29.8.2021

Prof. Ing. Františka Pešlová, Ph.D