

Oponentní posudek disertační práce

Ústav: Středoevropský technologický institut VUT

Akademický rok: **2023/2024**

Student : **Ing. Vojtěch Mařák**

Doktorský studijní program: **Pokročilé materiály a nanovědy**

Studijní odbor: **Pokročilé materiály**

Vedoucí disertační práce: **Ing. Daniel Drdlík, Ph.D.**

Oponent disertační práce: **doc. Ing. Klára Částková, Ph.D.**

Název disertační práce: Keramické materiály a kompozity pro pokročilé aplikace

Aktuálnost tématu disertační práce:

Tématem práce jsou pokročilé oxidové keramiky a jejich kompozity, jejichž vývoj je pro jejich široký aplikační potenciál vysoce aktuální. Získané výsledky mohou významně přispět k rozšíření znalostí v oblasti přípravy keramických materiálů spojené s optimalizací složení a struktury vzhledem k požadovaným vlastnostem. Práce poskytuje řadu přínosných informací nejen technologického charakteru, ale také specifické analytické přístupy a jejich vyhodnocení, které přispívají ke komplexnímu popisu nových materiálů, a přestože je většina výsledků v rovině základního výzkumu, mohou tak posunout studované materiály a přístupy blíže praktickému využití.

Splnění stanovených cílů:

V rámci definice souhrnného cíle práce, což je “posunout vědění v oblasti vlastností a zpracování keramických materiálů, poskytnout náhled na optimalizaci funkčnosti a řešit kritická omezení v různých aplikacích“ autor vymezuje šest dílčích cílů. Ty jsou zaměřeny na různé keramické materiály se společným záměrem a tím je příprava materiálů s lepšími vlastnostmi poskytujícími lepší výkon, a to pomocí optimalizace jednotlivých kroků zpracování: syntézy prášku, funkcionalizace, konsolidace a slinutí. Výsledky disertační práce naplňují dílčí cíle a tím i souhrnný cíl. Splnění cílů je podpořeno čtyřmi publikacemi v impaktovaných časopisech. U dvou publikací je student hlavním autor a lze předpokládat jeho příspěvek k publikaci za většinový, u ostatních publikací není podíl specifikovaný. Další dvě práce jsou přijaty k recenzi. Z uvedeného lze konstatovat, že stanovené cíle byly jednoznačně splněny.

Postup řešení problému a výsledky disertace:

Na počátku práce student poskytuje teoretický úvod do problematiky pokročilých oxidových keramik přehledem materiálů v práci studovaných a procesů syntézy, funkcionalizace povrchu prášků, konsolidace a tepelného zpracování se zaměřením na metodiky v práci prakticky využitě. Přesto, že tato část je podložena více než 100 odkazy na recenzované publikace, je text značně obecný a postrádá aktuální informace současného stavu řešení problematiky s konkrétními přístupy a výsledky studia přípravy vybraných materiálů jinými autory. Čtenář se tak nemůže dozvědět v jakém stavu poznání je EPD hydroxyapatitu s funkcionalizovaným povrchem, nebo příprava $\text{Al}_2\text{W}_3\text{O}_{12}$ keramiky či pokročilé slinování keramiky na bázi BTO a jeho kompozitů. Nelze tak bohužel přímo posoudit, jak řešená problematika reflektuje aktuální stav studia, zda navazuje na uveřejněné výsledky, nebo naplňuje dosud nestudovanou oblast.

Praktická část je pak v oblasti popisu výsledků v souladu s definovanými dílčími cíli rozdělena na 6 podkapitol a autor postupně popisuje a diskutuje získané výsledky. V první části se student věnuje přípravě hydroxyapatitových povlaků pomocí elektrofretické depozice. Zde byl jednoznačně prokázán benefit plazmové aktivace povrchu hydroxyapatitového prášku pro danou metodiku, kdy plazmové ošetření vedlo po optimalizaci tepelného zpracování k hutné a bez defektní struktuře, Ta byla také formou povlaku na chirurgickém šroubu demonstrována jako bioaplikace daného výsledků. Tato část byla shrnuta a publikována v impaktovaném časopisu (doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2023.11.044 Q1, hlavní autor).

Další část výsledků popisuje přípravu keramiky na bázi wolframanu hlinitého s nízkým pozitivním koeficientem tepelné roztažnosti. Optimalizací syntézy prášku, procesu zhuštění a slinutí byla připraven $\text{Al}_2\text{W}_3\text{O}_{12}$ prášek a z něj keramika s definovaným složením, slinovacím chováním a potvrzeným nízkým koeficientem teplotní roztažnosti. Byl ukázán efekt slinování na mikrostrukturu a mechanické vlastnosti keramiky. Tyto výsledky jsou součástí dvou publikací v impaktovaných časopisech (doi: 10.1021/acs.jpcc.3c06264 Q2, resp. doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2024.04.036 Q1, spoluautor, resp. hlavní autor).

Poslední část práce se soustřeďuje na studium materiálů na bázi BTO a výsledky jsou popsány ve čtyřech podkapitolách. První z nich se zabývá popisem vlivu nekonvenčního slinování na mikrostrukturu BTO. Užití nekonvenčních beztlakových rychlých slinovacích metod umožnilo popsat pro BTO typický abnormální růst zrn při teplotách nad 1200 °C v rámci vzniku hutné struktury a vzájemných mikrostrukturních odlišností při užití jednotlivých přístupů. Další podkapitoly jsou věnovány přípravě a popisu kompozitů na bázi BTO a popisu interakcí jednotlivých složek. Byly připraveny částicové kompozity oxidu hlinitého a zirkoničitého s BTO a popsán efekt částic na složení, mikrostrukturu, elektrické a mechanické vlastnosti. Vznik vedlejších fází při slinování kompozitů byl definován jako klíčový pro ovlivnění vlastností a funkčnosti materiálu a studiu jedné z nich titaničitanu-hlinitanu barnatému je věnována separátní část. Poslední část práce tvoří výsledky studia vrstevnatých kompozitů BTO a BCTZ s oxidem zirkoničtým připravené elektroforetickou depozicí a slinuté konvenčně nebo pomocí SPS. Jsou popsány jak vývoj chemického, fázového složení na rozhraní vrstev, tak mechanické vlastnosti kompozitů. Pokročilé slinování se ukázalo vhodné pro přípravu pevných vrstevnatých kompozitů s piezoaplikačním potenciálem. Tato část byla také publikována (doi: 10.1016/j.matlet.2023.135424 Q2, spoluautor)

V závěru práce výstižně student shrnuje uvedené výsledky a zdůrazňuje přínos inovativní technik v keramickém procesu pro zlepšení funkčních vlastností keramik.

Význam pro praxi nebo rozvoj vědního oboru:

Oblast studia, získané výsledky a inovativní přístup k přípravě pokročilých keramik s širokým aplikačním potenciálem lze považovat za multidisciplinárně přínosné a perspektivní pro praktická využití.

Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň:

Disertační práce je sepsána standardní formou s členěním na teoretický úvod, experimentální část, výsledky a diskuse a závěr, doplněné o seznam obrázků a zkratk, reference k textu a souhrnu aktivit a výstupů studenta v rámci studia. Práce je přehledně a pečlivě zpracována s minimem chyb, překlepů nebo nejasností. Z nich uvádím ty, které mohou přispět k nejasnostem při čtení, ale nesnižují vědecký význam práce:

- 1) Cíl práce není jednotně a jasně formulován v abstraktu a v kapitole Cíle práce, byť specifikace dílčích cílů celkový záměr respektují.
- 2) V práci chybí seznam tabulek – nekonzistentně se seznamem obrázků.

Jazyková úroveň je z mého pohledu nerodilého mluvčího v pořádku.

Zda dizertační práce splňuje podmínky uvedené v § 47 odst. 4 zákona:

(4) Studium se řádně ukončuje státní doktorskou zkouškou a obhajobou disertační práce, kterými se prokazuje schopnost a připravenost k samostatné činnosti v oblasti výzkumu nebo vývoje nebo k samostatné teoretické a tvůrčí umělecké činnosti. Disertační práce musí obsahovat původní a uveřejněné výsledky nebo výsledky přijaté k uveřejnění. 1)

Práce uvedené podmínky splňuje

Připomínky a dotazy:

- 1) V kapitole Cíle práce uvádíte, že „tato práce zahrnuje přístup shora dolů (top-down) k designu materiálů. Můžete tento přístup podrobněji specifikovat obecně a demonstrovat na některém z vašich témat?
- 2) Můžete zhodnotit reálnost využití EPD plasmou ošetřeného HA prášku v aplikační praxi (Je EPD pro povlaky komerčně užívaná? Jaká je „životnost“ ošetřeného prášku? Je možné očekávat u složitějších povrchů reprodukovatelné výsledky? ...apod.)? Je povlak na chirurgickém šroubu tepelně zpracován? Lze očekávat nějaké interakce mezi substrátem a povlakem při tepelném zpracování?
- 3) Můžete detailněji popsat jaké změny reakčních parametrů vedly k optimalizaci koprecipitační syntézy $Al_2W_3O_{12}$?

¹ § 10 zákona č. 35/1965 Sb., o dílech literárních, vědeckých a uměleckých (autorský zákon).

- 4) Vysvětlíte prosím, proč jste při nekonvenčním slinování BTO zvolil u dvou srovnávaných přístupů slinování rozpětí slinovacích teplot vzájemně nesrovnatelné? Jaký význam má pak konstatování, že se abnormální růst zrn objevil u těchto slinovacích postupů v různých teplotních rozpětích, když plné rozpětí nemáte prostudované?
- 5) Na Obr. 19 prezentujete podlouhlé útvary v kompozitu BTO-ZrO₂ částice, které definujete jako prodloužené artefakty sekundární fáze (jejich velikost je abnormální a z XRD na obr. 22e pro Z5 není jiná fáze patrná), můžete je přesněji definovat? Proč jsou v textu srovnávány mikrostruktury a chem. složení vzorků BTO-Al₂O₃ a BTO-ZrO₂ s různým objemovým zastoupením částic (10vol.% a 5vol.%)? Můžete zhodnotit potenciál ZrO₂ jako materiálu pro částicový nebo jiný kompozit s BTO?
- 6) Můžete specifikovat Váš podíl na přípravě publikací, u nichž nejste hlavní autor?
- 7) V seznamu publikací máte uvedenou publikaci na téma modifikace slinování BTO pomocí oxidů vzácných zemin. Proč tato studie není součástí vaší disertační práce, přestože do ní tematicky zapadá?

Celkové zhodnocení disertační práce:

Disertační práce shrnuje výsledky získané studiem pokročilé oxidové keramiky a jejich kompozitů za přispění pokročilých metod a analytických přístupů s cílem definovat kritické body přípravy vedoucí ke zhoršení jejich vlastností a optimalizovat je. Přehledně a výstižně prezentované výsledky přinášejí nové zajímavé informace vědecké komunitě a mohou vést k posunutí studovaných materiálů blíže potenciálním aplikacím. Jejich originální význam je podložen publikovanými články v impaktovaných časopisech.

Disertační práci Ing. Vojtěcha Mařáka doporučuji k obhajobě pro udělení akademického titulu “doktor“ (Ph.D.).

V Brně dne 4. 6. 2024

.....

doc. Ing. Klára Částková, Ph.D.