

Doc. Dr. Dipl.-Min. Willi Pabst (oponent)
Ústav skla a keramiky VŠCHT Praha
Vysoká škola chemicko-technologická v Praze
Technická 5, 16628 Praha 6

Oponentský posudek disertační práce

„Vrstevnaté keramiky připravené metodou termoplastické koextruze“ (autor: Jaroslav Kaštyl)

Předložená disertační práce se zabývá přípravou vrstevnaté keramiky, včetně reologie, a charakterizací jejich mechanických vlastností. Práce má velmi pěkné členění se shrnutím současného stavu (kap.2), včetně detailního popisu vysvětlení procesu koextruze (kap.3), a experimentální částí (kap.5) na prvních 42 stranách. Dalších 55 stran je věnováno výsledkům a jejich diskusi (kap.6). Velké množství grafů a obrázků obsahuje ještě příloha.

Jak po formální, tak po obsahové stránce se jedná o rozsáhlou a zároveň velmi vyváženou práci. Co se týká rozsahu jednotlivých kapitol, je zvolen naprosto adekvátně podle věcných hledisek, bez zbytečných informací, které s prací nesouvisí. Z obsahového hlediska bych vyzdvihнул vedle výsledků a jejich diskuse zejména kapitoly 3 a 5. V kapitole 3 je podrobně vysvětlena reologie keramických suspenzí a všech důležitých znalostí, které jsou nezbytné k získání spolehlivých rychlostních profilů, včetně Weissenberg-Rabinowitschovy korekce rychlosti deformace, Bagleyho korekce smykového napětí a diskuse efektu skluzu na stěně. Dále je v této kapitole dobře vysvětleno odstraňování pojiva, slinování a vznik možných defektů, vše bez zbytečných informací přímo s ohledem na aplikaci v této práci. Kapitola 5 uvádí experimentální údaje a to v takové kompletnosti (včetně statistického popisu dat) a tak svižným a příjemným stylem, že ani tato část není pro čtenáře nudná. Tyto kapitoly a mnoho jiných částí této práce jsou vynikající a skutečně bych nevěděl, jak je vylepšit.

Jak celkový dojem, tak detailní pohled této práce je vynikající a svědčí o tom, že práce byla evidentně vypracována s velkou pečlivostí. Velmi chválím také podařenou unifikaci grafů a obrázků, jak v hlavním textu, tak v přílohách.

Vážné nedostatky jsem v této práci nenašel a také počet překlepů je až neuvěřitelně malý. Měl bych pouze následující drobné připomínky:

1. Na str. 7: „Modul pružnosti“ je velmi obecný pojem a zahrnuje mj. i smykový modul a modul stlačitelnosti, lepší by bylo definovat E konkrétně jako „modul pružnosti v tahu“ (tahový modul = Youngův modul).
2. Na str. 8: výrazy „spodní limitní pás“ a „Reussův a Hashin-Shtrikmanův spodní pás“ jsou zřejmě převzaty z nějakého automatického počítačového překladače a nejsou správné. Správný překlad je „dolní mez“ resp. „Reussova a Hashin-Shtrikmanova dolní mez“.

3. Na str. 8, Tab. 2.1: Exponenciální model, který autor uvádí jako rovnici 5, není obsažen v citované referenci 29 [Markov 2000], a „upravený exponenciální model“, který autor uvádí jako rovnici 6, rozhodně není obsažen v citované referenci 21. Musí se jednat o nedorozumění. Ve skutečnosti se rovnice 5 snad poprvé objevuje v referenci 22 [Pabst & Gregorová 2004], zatímco rovnice 6 je evidentně nesprávná a nikde jsem ji nenašel.
4. Na str. 8 při metodě IET se nejedná o „frekvenci prvotní vlny“ (co to je?), ale o tzv. „fundamentální mód“ rezonanční frekvenci.
5. Na str. 22 překlad „metoda zhutňování škrobem“ není asi optimální; lepší je podle mého názoru „metoda zpevnění škrobem“, protože – ačkoliv bezesporu dochází ke zhutnění matrice mezi škrobovými zrny – z makroskopického hlediska se těleso zpevňuje, aniž by se zhutňovalo.
6. Na str. 25 obr. 3.9 je „viskozitní křivka“; jako „toková křivka“ se obvykle označuje závislost smykového napětí na rychlosti (smykové) deformace, viz. obr. 3.8 vlevo.
7. Na str. 31 a 44: „Arrhenius“ musí být „Arrhenius“.
8. Je nějaký důvod, proč doktorand používal tapiokový škrob, když přece rozdělení velikosti a reologické chování tohoto škrobu je prakticky stejné jako kukuřičného škrobu – jak jsme ukázali v některých našich publikacích? Kukuřičný škrob je přece ve střední Evropě i v severní Americe mnohem běžnější.
9. Seznam referencí je zpracován velmi pečlivě a jednotně (až na názvy článků, které jsou občas psány kapitálkami, občas ne); pouze jedna drobná (bohužel systematická) formální chyba ruší tento celkový dojem: jména druhých a dalších autorů jsou od iniciál předchozích autorů oddělena čárkou bez mezery (zatímco iniciály autorů jsou odděleny od jejich příjmení čárkou s mezerou, a mezera je i mezi nimi).
10. Celková pórovitost (porozita) keramických vzorků po výpalu je menší než obsah škrobu v suspenzi, jak ukazuje obr. 6.49. Nabízí se však otázka, jak by vypadala tato závislost, pokud by se vynášela celková pórovitost proti obsahu všech organických přísad. Do jaké míry je tato pórovitost ovlivněna přítomností těchto dalších organických přísad? Zdá se, že závislost by byla ještě nižší, protože s obsahem škrobu roste i množství dalších organických přísad (viz tab. 5.4). Co tento závěr podle doktoranda znamená? Není zvláštní, že celková pórovitost po výpalu je dokonce menší než objemový obsah škrobu v suspenzi, když přece póry pocházející ze škrobu jsou prakticky „neslinutelné“, tzn. ve srovnání s keramickými zrny tak velké, že prakticky nepřispívají ke smrštění? Pokud ostatní organické složky nemají vliv na výslednou pórovitost, jak by vypadala tato závislost, kdyby se vztahoval obsah škrobu nikoliv na suspenzi, ale na keramický prášek? Jak se staví doktorand v tomto kontextu k našemu návrhu „afinní limitní porozity“ („affine limit porosity“) [viz Gregorová & Pabst JECS 2011]?
11. Obr. 6.50 velmi pěkně potvrzuje výsledky našich prací týkajících se rozdělení velikosti pórů naměřených rtuťovou porozimetrií. Pouze označení „sekundární póry“ bych v tomto případě pro „spojující hrdla“ nepoužíval, protože se jedná nikoliv o jiný druh pórů, ale de facto pouze o otvory (to, co v našich pracích nazýváme „pore throats“ nebo „cell windows“, tzn. v podstatě 2D objekty), které spojují „primární“ póry („pore cavities“, „cells“). Vedle toho by mohly ovšem existovat skutečné „sekundární póry“, např. jako relikty jiných organických přísad, ale to spíše v případě neúplného slinování, což tento případ, zdá se, není.

12. Obr. 6.63 a 6.64 potvrzují, že hodnoty modulů pružnosti naměřené dynamickou metodou (IET) jsou podle očekávání vyšší než hodnoty modulů pružnosti naměřené statickou metodou (3PB), protože se měří v podstatě dvě různé vlastnosti, totiž adiabatické a izotermní elastické moduly (tj. vlastnosti, které jsou srovnatelně rozdílné jako např. specifická tepla c_P a c_V). Nicméně, zvýšení o 8 GPa je přece jen příliš velké. Jaké zvýšení by doktorand u svých kompozitů teoreticky očekával [viz Pabst et al. JECS 2014]?
13. Na obr. 6.71 nás samozřejmě těší skutečnost, že naměřené hodnoty jsou blízké námi navrženému exponenciálnímu vztahu (tj. rovnici 5). To se schoduje s výsledky, které známe jak od ZrO_2 tak od mnoho jiných materiálů s podobnou mikrostrukturou. Odkud se vzala rovnice 6 a jaký má být její význam je mi však záhadou – od nás rozhodně není (viz bod 3). Navíc, proložení naměřených hodnot jednoduchou (Spriggsovou) exponenciálou se mi zdá zbytečné. Tato rovnice nemá žádné racionální opodstatnění, protože – nezávisle na exponentu – pro dostatečně velkou pórovitost vždy překročí horní Hashin-Shtrikmanovu mez, a proto je v ní přímo “předprogramováno” selhání. Na druhé straně, pokud akceptujeme Riceovou empirickou hodnotu 3 pro numerický faktor v exponentu v případě kulovitých pórů (jak to autor této disertační práce dělá), pak vede Spriggsova exponenciální rovnice pro kulovité póry v případě nekonečně malé pórovitosti ϕ k výrazu

$$E_r = 1 - 3\phi,$$

což je v rozporu s exaktním řešením (“dilute approximation” = “non-interaction approximation”), které je známo pro tento případ, tj.

$$E_r = 1 - 2\phi.$$

Spriggsova exponenciála je tedy nepřípustná pro predikci a ani pro fitování nemá žádné výhody oproti naší exponenciále (kterou lze samozřejmě také použít k fitování, stačí nechat místo numerického faktoru 2 v čitateli exponentu volný fitovací parameter). Je však třeba si uvědomit, že většina autorů o těchto skutečnostech neví a naši exponenciálu ještě nezná. Proto je pochopitelné, že se Spriggsova jednoduchá exponenciála nadále v literatuře objevuje, a proto bych rozhodně ani doktorandovi její použití v této práci zvlášť nevyčítal. Doporučil bych ale tyto skutečnosti brát v úvahu v případných budoucích publikacích.

V rámci obhajoby by doktorand mohl stručně reagovat na body 3, 8, 10, 12 a 13.

Závěrem lze konstatovat, že cíle disertační práce byly jednoznačně splněny. Jedná se o vynikající práci se značným technologickým významem, jejíž formální úprava svědčí o nesmírné pečlivosti doktoranda. Této práci nelze vyčítat nic podstatného, pouze lze proti ní – stejně jako proti názorům některých významných autorů v literatuře – polemizovat v některých podrobnostech z hlediska jiného vědeckého názoru. Proto **doporučuji** bez jakýchkoliv

námitek, aby byla předložená práce přijata **k obhajobě** pro **získání akademicko-vědeckého titulu Ph.D.**

Doc. Dr. Dipl.-Min. Willi Pabst