

Oponentský posudek na disertační práci Ing. Richarda Pavlici, Ph.D.

Sdílení tepla při výrobě kompozitů

Disertační práce svým tématem přispívá k vědeckému pokroku v oblasti matematického modelování technologických procesů, kdy je systém ohříván jednak přestupem tepla z vnějšku (od stěn nádoby, tvářecího nástroje), jednak reakčním teplem. S postupující reakcí se mění řada parametrů, které bylo nutné změřit, popsat a zahrnout do modelu. Model je aplikován na výrobu kompozitních materiálů sklo/polyester metodou pultruze a exotermní chemickou reakcí je vytvrzování polyesterové pryskyřice.

Práce má klasické členění. V kapitole „Současný stav řešení problematiky“ jsou uvedeny materiály na výrobu kompozitů, technologie pultruze a průběh vytvrzování včetně probíhajících změn vlastností kompozitu. Pak jsou podrobně formulované cíle práce a text pokračuje kapitolou „Zvolené metody zpracování“, kde jsou popsány použité suroviny, příprava studovaných materiálů a zvolené hodnotící metody. Dosažené výsledky jsou v kapitole „Hlavní výsledky práce“ prezentovány a diskutovány přehledně a logicky, díky jejímu členění podle použitých metod a oddělením poloprovozních experimentů. Hlavní výsledky jsou pak stručně shrnuty v kapitolách „Závěr“ a „Přínos práce pro vědu a praxi“. Poté je uveden seznam použité literatury a následují přílohy s podrobnými výsledky.

Z textu práce je zřejmé, že doktorand se seznámil s teoretickým základem potřebným pro dosažení cílů práce. Dokládá to jednak zvolenými metodami k charakterizaci chemických dějů a fyzikálních změn, kde využívá klasické i moderní instrumentální metody, jednak výběrem a aplikací vhodných matematických metod pro popis dějů. Použité experimentální postupy a zařízení jsou výstižně popsány. Tam, kde je to vhodné, využívá autor platných technických norem.

K práci mám několik připomínek, otázek nebo námětů k diskusi:

- str. 17 – $\text{tg } \delta$ – není to úhel, ale jeho tangenta. Neboť charakterizuje míru energetických ztrát, nazývá se ztrátový činitel (faktor, ...).
- str. 21 – Zajímal by mne příklad epoxidů na bázi aromatických aminů. Nejedná se o epoxidové pryskyřice vytvrzované aromatickými aminy?
- str. 25 – V čem je ekologičtější přímé dávkování pryskyřice do hlavy?
- str. 33 – Pro úplnost by bylo vhodné zmínit i přenos na polymer.
- str. 34 – Z formulace „... vznik tepla během reakce je úměrný počtu dvojných vazeb v systému ...“ zřejmě vypadlo slovo.
- str. 42, legenda k obr. 1.7. – G není ztrátový modul
„Lineární α_T “ – v češtině se mi zdá vhodnější název „délkový“. Ve vzorci 1.43 je pro délku použit obvyklý symbol „ l “. Tento však není uveden v seznamu symbolů, tam je pro délku neobvyklý symbol „ v “. Proč tato volba?
- str. 43 – „... Výše uvedený vztah platí pouze pro amorfní polymery, protože u krystalických polymerů se β mění při teplotě tání skokově.“ Prosím ukažte, jak se bude měnit β při přechodu přes T_g a T_m , vyjdeme-li z obr. 1.8?
- str. 49 – Proč je v rovnici 1.65 u polymerizačního smrštění znaménko minus? Přece nemá opačný charakter, než celkové smrštění.
- str. 56 nahoře – Není zřejmé, co se kalibruje.

- str. 58 – V textu se uvádí, že vztah 3.1 je pro kapalné látky. Pak nerozumím některým symbolům, např. v_0 by měla být počáteční délka vzorku.
- str. 59 dole a str. 127 – Nesouhlasím s tvrzením, že maximum teploty odpovídá největší rychlosti reakce.
- str. 89, tab. III – Zaujal mne velký rozdíl reakčního tepla při izotermním vytvrzování následovaném neizotermním dotvrzením ($\Delta H_{ISO} + \Delta H_{RES}$) vůči neizotermnímu vytvrzení (ΔH_{DY}). Má autor pro tak velký rozdíl vysvětlení nebo je to u těchto materiálů v literatuře popsáno?
- str. 129 – „... Obecně lze říci, že s rostoucí teplotou formy lze zvyšovat stupeň konverze polymerní matrice, neboť roste maximální dosažená teplota v profilu a tím i dosažený stupeň konverze, ...“ Nesouhlasím. Vyšší konverze znamená vývin více tepla a následkem je větší zvýšení teploty v profilu nad teplotu formy. V daném případě však tento rozdíl kolísal mezi 4 – 7 °C bez jednoznačného trendu. Lze tedy říci, že se měnil v mezích experimentálního rozptylu a stupeň konverze se tedy neměnil.
- str. 139 – Nesouhlas vypočteného průběhu teploty s průběhem naměřeným při poloprovozní zkoušce je opravdu nečekaný. Na druhou stranu to je výzva k pokračování práce na tomto problému. Uznávám modifikaci řešení úpravou okrajové podmínky, tj. formálním snížením teploty vnitřního povrchu pultrúzní hlavy. Z matematického hlediska elegantní řešení, z fyzikálního hlediska však tato varianta poněkud pokulhává. Pokud by měl být při tloušťce stěny hlavy 15 mm rozdíl teploty vnitřního a vnějšího povrchu 60 °C, vyžadovalo by to k jeho udržení velký odvod tepla do kompozitu, které by asi nebyl schopen přijmout díky nízké tepelné vodivosti a tím by se teplota vnitřního povrchu hlavy rychle zvyšovala.

V reálném procesu teplota narůstala výrazně pomaleji, než předpověděl matematický výpočet. Při „zkumavkových“ testech samotné pryskyřice tato neshoda nenastala. První reakce vede k úsudku, že problém by mohl být ve způsobu zakomponování skleněné výztuže do modelu. Neodpustím si tedy banální otázku, jak je tato skutečnost do daného modelu promítnuta? Z porovnání údajů v tab. XV a XXI je vidět, že došlo ke změně pouze hustoty a reakčního tepla. Jak je např. zohledněno to, že je-li vyráběn profil o konstantním průřezu z kompozitu s 80 % skla (materiálu zhruba o dvojnásobné hustotě než samotná pryskyřice), klesne tím plocha pláště (= teplosměnné plochy) jednotkové hmotnosti kompozitu na polovinu a sníží se tak i přijaté množství tepla. Byly provedeny nějaké „zkumavkové“ testy pryskyřice se skleněným plnivem (vlákna, kuličky)?

Práce je napsána srozumitelně a čtivě. V textu se objevují občas chyby, nejčastěji charakteru překlepů, ve většině případů snadno odhalitelných. V několika případech je odhalení obtížnější (např. na str. 79 je 115,9 J/g a patří 215,9 J/g nebo v tab. III na str. 82 pro teplotu 58 °C je 62,9 místo 69,2, aby součet byl správně. Některé chyby však čtenář nedohledá, jako v případě odkazů [170] až [172] v tab. XV a XVI na str. 120, neboť seznam literatury končí číslem 110. V této souvislosti se zdá, že kromě autora se touto problematikou již nikdo nezabývá, neboť kromě odkazů na své publikace nejsou v seznamu publikace mladší devíti let.

Jako kantor si neodpustím poznámku, že v práci by měl být používán jednotný způsob chemického názvosloví (např. na str. 16 je „polymethylmetakrylát“, na str. 49 „methylmetakrylát“). Rovněž slangové výrazy (např. na str. 24 „... Ve většině případů se jedná o konstrukci reku, ...“) by měly být používány výjimečně a s patřičným vysvětlením. Množství počestlých anglických termínů sice v odborném jazyce roste, ale pro lidi mimo obor nemusí být jejich význam zřejmý. Stejně tak schéma či popisky os v angličtině (obr. 1.4 a 1.5. na str. 26) by se v české publikaci neměly objevovat. Práce má po formální a grafické

stránce průměrnou úroveň. Autor zřejmě příliš nekontroloval nejen text, ale ani obrázky – např. popis osy grafů na obr. 4.16 až 4.19 je nečitelný, legenda na grafů na obr. 4.48 a 4.19 je mimo.

Závěr

V práci jsem nenalezl po odborné stránce nedostatky zásadního charakteru, které by mohly vést k mylným závěrům či svědčily o nepochopení zkoumané problematiky. Předložená disertační práce splňuje požadavky kladené na doktorskou práci. Jednoznačně ukazuje, že autor ovládá metody vědecké práce, má odpovídající teoretické znalosti a experimentální dovednosti. Práce přispívá tvůrčím způsobem k matematickému modelování pultruze. Dosažené výsledky jsou povzbudivé pro praktické využití. Práci **doporučuji** k obhajobě.

V Praze dne 29.6.2011



Doc. Ing. Antonín Kuta, CSc.