

Posudek disertační práce

Jméno kandidáta:	Ing. Jan Štěpánek (Ústav energetiky, Fakulta strojní, České vysoké učení technické v Praze)
Název disertační práce:	Dynamics of Heat transfer During Cooling of Overheated Surfaces, 2018
Školitel/konzultant:	Doc. Ing. Václav Dostál, Sc.D. / Ing. Václav Bláha, CSc.
Studijní doktorský program/obor:	Strojní inženýrství/Energetické stroje a zařízení
Oponent:	Doc. Ing. Petr Eret, Ph.D. (Katedra energetických strojů a zařízení, Fakulta strojní, Západočeská univerzita v Plzni)
Termín odevzdání posudku:	13. 02. 2019

Obsah doktorské práce

Předložená disertační práce pana Ing. Jana Štěpánka se zabývá experimentálním vyšetřováním jevů při smáčení rozežhátých povrchů, které jsou stále v zájmu výzkumu - zejména ve spojitosti se selháním ochlazování nukleárních reaktorů. Zvolené téma disertační práce je žádoucí.

Rozsah disertace je 173 stran a obsahuje 15 kapitol. Základem práce jsou kapitoly 6 – 10, kde jsou řešeny dílčí cíle práce. Celkovým cílem práce je prohloubit pochopení výše uvedeného fenoménu na případu prudkého ochlazení rozežháté trubky na vnější stěně pomocí chladicí vody. Za tímto účelem bylo vybudováno experimentální zařízení s anulárním průtočným kanálem pro případ zaplavování zdola o různých variantách tloušťek stěn (kap. 6, 7). Obsáhlá experimentální měření se 4 odlišnými průtoky chladiva a 10 různými počátečními teplotami stěny trubky (250 – 700 °C) byla analyzována a byly vytvořeny korelace pro všechny důležité teploty v procesu smáčení (kap. 9, 10). Kandidát se navíc pokusil originálně o stanovení koeficientu místního tepelného toku. Kromě toho, že autor ověřil několik již známých poznatků, práce nabízí nové výsledky (např. relativní rychlost fronty smočení nezávisí na průtoku chladiva) nebo upozorňuje na ne zcela probádané jevy související s rychlostí šíření fronty smočení (tlakové pulzace během zaplavování). Jeho práce tak přímo podněcuje k navazujícímu výzkumu.

Dosažení v disertaci stanoveného cíle

Kandidát stanovené cíle v disertaci naplnil. Nutno podotknout, že vytyčené cíle nejsou snadné a jejich splnění tak poukazuje na velmi schopného studenta.

Úroveň rozboru současného stavu řešené problematiky

Rešerše problému ochlazování vysoce rozežhátých povrchů a s tím spojených jevů je velmi dobrá. Autorův přehled je fundovaný, citace odborné literatury jsou dostatečné.

Teoretický přínos disertace

Ačkoliv je práce založena na experimentech a zpracování získaných dat, autor nabízí i netradiční algoritmy jako je kaskádový koncept pro výpočet teploty chladiva za ochlazovací frontou. Prokazuje tak schopnost tvůrčí vědecké práce i v teoretické rovině.

Praktický přínos disertace

Přínos disertace je značný v tom, že se vybuďovalo experimentální zařízení, což je vždy náročný úkol. Tento druh zařízení se již ojediněle ve světě vyskytuje a osvědčil se pro upřesňující pochopení zkoumaných jevů. Doktorand se zasloužil o plně funkční zařízení (včetně metodiky vyhodnocení dat), které poslouží pro navazující výzkum. Jím získané výsledky jsou také použitelné pro další studie a do jisté míry přenositelné i pro praxi.

Vhodnost použitých metod řešení a způsob, jak byly použité metody aplikovány

Doktorand použil veskrze vhodné metody. Osvojil si experimentální techniky, pokročilé analýzy dat i pomocné numerické simulace. Práci obohatil o některé neobvyklé teoretické přístupy. Věrohodné výsledky dokazují, že metody byly aplikovány správně.

Prokázání odpovídajících znalostí v oboru

Disertační práce ukazuje, že autor řešenou problematiku, která není vůbec jednoduchá, dobře ovládá. Je schopen samostatné vědecké práce, dosažené výsledky jsou hodnotné a snesou mezinárodní konfrontaci. Doložená publikační činnost potvrzuje, že je autor schopen obor rozšířit o nové poznatky.

Formální úroveň práce

Práce je napsána v dobrém anglickém jazyce, gramatické chyby a překlepy jsou minimální. Grafické provedení disertace má vysokou úroveň. Vše je systematické a přehledné, výběr nalezených nedostatků k formální úrovni práce je uveden níže.

- 1) Některé obrázky např. 9.14 na str. 105 a 9.20 na str. 113 nejsou okomentovány/vedeny v textu.
- 2) Chybí obrázek 10.2.
- 3) Na str. 133, odstavec 2: u výrazu „Critical CHFs“ je slovo „Critical“ zbytečné.
- 4) Není uvedeno, jakých hodnot nabývá horní mez „ n “ sumačního indexu „ i “ v nečíslované rovnici na straně 150.
- 5) Autor zmiňuje, že výhodou experimentálního zařízení s průhlednou vnější stěnou je možnost vizuálního pozorování zkoumaného jevu. Je škoda, že disertační práce neobsahuje některé průkazné fotografie.

Jednoznačné vyjádření oponenta k doporučení či nedoporučení disertační práce k obhajobě (dle zákona č. 111/1998 Sb. 47)

Autor odvedl značný kus kvalitní práce, nenašel jsem v předložené disertaci závažné chyby a práci **doporučuji** k obhajobě.

V průběhu obhajoby prosím o zodpovězení následujících otázek.

Otázky

- 1) Jaká byla vzorkovací frekvence pro signály z termočlánků na zapisovači dat Agilent/Keysight 34972A? Obrázek 9.3 na straně 87 ukazuje, že některá naměřená data mohou být nedostatečná - teplotní profily při ochlazování/smočení vykazují na krátkém časovém intervalu značný skok, který není důkladně proměřen. Autor potom prokládá podvzorkovaná data pomocí interpolačních křivek a ty nemusí vždy odpovídat realitě. Jelikož se teploty smočení, bublinkového varu a kritického tepelného toku určují z časových derivací teplotních profilů, lze očekávat značný rozptyl a nejistotu v následných výsledcích (zejména při chaotickém a dynamickém chování ochlazovací fronty).
- 2) Proč tepelná bilance u elementu trubky v kap. 9.7.1.2 na str. 97 nezahrnuje radiaci? Například během procesu zaplavování na obr. 9.10 (str. 99), kde jsou ukázány průběhy jednotlivých tepelných toků z tepelné bilance v okolí termočlánku 1, by se měla projevit alespoň zpočátku.
- 3) Při experimentech je použito nekalibrovaných termočlánků. Například v kap. 9.7.4 na str. 106 autor hledá funkční závislosti T_{OTC1} a T_{OTC2} na T_{OTC3} (počáteční stěnové teploty u modelu C s proměnnou tloušťkou stěny) a tedy lze očekávat chyby v obou - závislých a nezávislých - proměnných. Byla použita metoda totálních nejmenších čtverců pro regresní analýzu (obr. 9.16, str. 106) ke stanovení rovnic 9.33 a 9.34?
- 4) Jaké je přímé srovnání z výpočtů teplot chladiva těsně před a za ochlazovací frontou (kap. 9.8.1, str. 107 a 9.8.2, str. 108)?
- 5) Proč nebyly korelace predikcí teplot smočení a bublinkového varu v kap. 10.2 provedeny pomocí bezrozměrových parametrů, jak je to většinou typické? Navíc při řešení podobné úlohy v Lymperea et al. (2015) je konstatováno, že hustota materiálu a průměr trubky nemají vliv na teplotu smočení. Kdežto z výsledků Nelder-Mead minimalizace v tabulce 10.1 na straně 124 vyplývá, že vliv hustoty je identifikovatelný. Nelze tedy vliv hustoty zanedbat?
- 6) Očekává se, že korelace nebudou procházet bodem [0,0]?
- 7) Lze nějak zahrnout/odvodit projev limitní teploty smočení (kap. 10.2.1.2) v rámci následných korelací (kap 10.2.1.3)?
- 8) Proč byla pro aproximaci hodnot koeficientu kritického tepelného toku $h = f(\rho C \delta)$ na obrázku 10.18 (str. 134) zvolena záporná kvadratická funkce (rovnice 10.5, str. 134)? Očekává se nějaké maximum hodnoty h a potom pokles? To samé a ještě průkaznější pro obrázek 10.21 (str. 138) a rovnici 10.8. Korelace neprocházejí bodem [0,0], má tomu tak být?
- 9) Opět proč autor nepoužil bezrozměrné korelace v kap. 10.3.2? Například součin podobnostních čísel a rozměrových parametrů „ $Re \cdot Pr \cdot Pe \cdot \delta$ “ (obr. 10.22) je nezvyklý a v rovnici 10.9 (str. 139) má potom každý koeficient jiný rozměr.
- 10) Čím si autor vysvětluje inflexní body v trendech rychlostí front smočení na obrázcích 10.27 – 10.29 (str. 144 - 145)?
- 11) Je nějaký fyzikální důvod proč byly při korelaci teploty smočení použity materiálové vlastnosti pro 2/3 počáteční teploty na stěně a při korelaci středního koeficientu přestupu tepla pro 1/2 počáteční teploty na stěně?