

OPONENTSKÝ POSUDEK

DISERTAČNÍ PRÁCE

Název práce: Fázové změny na povrchu tepelných výměníků s dutými vlákny

Doktorand: Ing. Tereza Brožová

Školitel: prof. Ing. Miroslav Raudenský, CSc.

Oponent: Ing. et. Ing. Aleš Horák, Ph.D., Hanon Systems Autopal Seviles, sro.

Posuzovaná dizertační práce má 106 stran, zahrnuje 44 referencí. Autorka se podílela na vzniku 7 publikací, které se vztahují k tématu dizertační práce.

1. Vyjádření k aktuálnosti tématu dizertační práce

Disertační práce „Fázové změny na povrchu tepelných výměníků s dutými vlákny“ se zabývá polymerními výměníky tepla vyrobených z dutých vláken. Práce je zaměřena experimentálně a posuzuje celou řadu vlivů na přenos tepla, tlakové ztráty a tepelnou účinnost. Autorka zkoumá zejména tepelné výměníky kotlového typu vyrobené z různých plastových materiálů. V současnosti jsou takové výměníky vyráběny zejména z kovů, které mají vysokou tepelnou vodivost. Tato nevýhoda plastových výměníků (chovají se jako izolanty) je potlačena použitím trubic s velmi malou tloušťkou stěny (cca 10% z vnějšího průměru 0,5-1,3mm). Díky tomu lze využít silných stránek plastových výměníků jako je nízká měrná hmotnost, chemická odolnost nebo snadná tvarovatelnost do v dnešní době nezvyklých designů. Experimentální část se zabývá čtyřmi oblastmi – měření tepelných výměníků voda-voda, měření tepelných výměníků voda-pára, měření tepelných výměníků s kondenzací vzdušné vlhkosti a únavové zkoušky polymerních výměníků. Experimentální činnost byla prováděna ve spolupráci s renomovanými partnery z průmyslové praxe.

Na základě výše zmíněného považuji dané téma za aktuální a zvolený přístup řešení za vhodný.

2. Vyjádření ke splnění cílů dizertační práce

Cíle dizertační práce jsou formulovány na str. 11. Autorka si ve své práci vytyčila celkem čtyři cíle:

1. Porovnání výkonových parametrů výměníku bez a s kondenzací
2. Kvantitativní popis vlivu parametru kondenzace na výkon výměníku
3. Vliv geometrie výměníku a polohy vláken
4. Vlivu povrchových vlastností materiálu vlákna

Kromě těchto cílů autorka navíc řešila otázku životnosti tepelných výměníků (Kap. 9) pomocí únavových testů.

Oponent považuje všechny cíle dizertační práce za splněné.

3. Vyjádření k postupu řešení problému, k výsledkům a přínosu disertace

Autorkou zvolené metody a postup odpovídají vytýčeným cílům disertační práce. V kap. 1 je uveden základní přehled tepelných výměníků s ohledem na jejich dělení na jednotlivé typy. Dále je zde rozebírána teorie přestupu tepla v tepelném výměníku a ε -NTU metoda. V kap. 2 je řešena teorie přenosu tepla a proudění uvnitř dutého vlákna. Navazující 3. Kapitola řeší polymerní výměníky tepla a porovnává je s klasickými kovovými typy. Kapitola 4 se zabývá smáčivostí povrchů a dynamickým kontaktním úhlem. V teoretické části této kapitoly jsou uvedeny možné metody zjišťování kontaktního úhlu a určování zda je povrch hydrofobní či hydrofilní. Autorka provedla rozsáhlou rešerši literatury a to zejména té publikované v nedávné době.

Druhá část práce se zaměřuje na experiment. V kapitole 4.1 autorka provedla měření za účelem zjištění dynamického kontaktního úhlu pro polymerní vlákna z několika různých materiálů (např. PP, PC, PA) a s různou povrchovou úpravou (např. plazma, fluór). Toto je nezbytné pro stanovení, zda je dané vlákno hydrofobní či hydrofilní, a tedy jakým způsobem bude probíhat kondenzace. Celkově bylo zkoumáno 10 různých vzorků. Dále byly prováděny měření přestupu tepla na polymerních výměnících. V kapitole 5 byly zkoumány čtyři typy výměníků voda-voda, které měly různou konfiguraci (např. počet vláken a jejich průměr). Měření probíhalo na specifickém test standu ve Velké Británii u externího průmyslového partnera. Na základě experimentálního plánu obsahující široký rozsah parametrů (teploty, průtoky obou medií) byly získány křivky průběhu tepelného výkonu, tlakových ztrát a účinnosti. Autorka uvádí, že tyto výsledky jsou srovnatelné s tradičními kovovými chladiči. Měření v režimu voda-pára (kapitola 7) probíhalo opět u externího partnera ve Velké Británii a bylo provedeno na celkem dvou různých tepelných výměnících, které se opět lišily počtem a průměrem vláken. Kromě vlivu vláken byl zkoumán i vliv gravitace a to tak, že byly testy provedeny s výměníky v horizontální, vertikální poloze a pod úhlem 45° . Experimenty prokázaly, že gravitace má vliv na tepelný výkon a velikost tlakových ztrát pro tento typ tepelných výměníků. Dle závěrů se zdají být nejlepší ty v poloze horizontální. Kapitola 8 rozebírá výsledky měření s kondenzací vzdušné vlhkosti na povrchu polymerních vláken tepelného výměníku. I tato série měření probíhala u externího partnera z průmyslové praxe, ale tentokrát v ČR. Pro tuto sérii experimentů byly postaveny celkem čtyři typy výměníků, které se lišili materiálem vláken, jejich počtem a rozestupem. Testy byly prováděny opět s vlivem gravitace, tzn. v poloze horizontální, vertikální a pod úhlem 45° . Dále pak s rozdílnou rychlostí chladícího vzduchu a vlhkostí. Všechny tyto parametry měly vliv na způsob kondenzace, množství kondenzátu, tepelný výkon, tlakové ztráty a účinnost výměníků. Autorka byla schopna na základě provedených experimentů tyto vlivy kvantifikovat a vyhodnotit optimální design tepelného výměníku. Poslední částí (kapitola 9) byly experimenty zaměřené na únavové zkoušky tepelných výměníků s dutými polymerními vlákny. Autorka teoreticky stanovila maximální přípustný tlak pro vlákna. Dále pak experimentálně ověřila odolnost vůči tlakovým pulzům. Tento test byl proveden na speciálně zkonstruovaném zařízení. Vzorky úspěšně prošli nejméně miliónem cyklů (0 – 0,35 MPa).

Všechny výše popsané postupy a výsledky mají vysokou přidanou hodnotu.

4. Formální a jazyková úroveň práce

Práce je psána v českém jazyce. Po formální, jazykové a grafické stránce má práce vysokou úroveň. Kapitoly a obsah jsou členěny logicky a zcela v souladu s obsahem. Oponent vidí pouze drobné nedostatky:

Kap 1, obr. 1.1 až 1.6 – Pokud nejsou dílem autorky, tak nutno citovat zdroj.

Kap 1.2, str. 17 – Zde je asi popleten tepelný tok (v textu) a hustota tepelného toku (ve vzorci). Dále R (tepelný odpor) jsem nenašel v seznamu zkratk.

Kap. 1 – Rovnice a odvozené vztahy jsou patrně převzaté z nějaké literatury. Prosím citovat.

Kap 2, str. 23 – P_w chybí v seznamu zkratk.

Kap 3, str. 25 – Polymery jsou lehčí než kovy, ale neuváděl bych, že jsou lehčí 4-5 krát. To nemusí být nutně pravda. Hustota PP nebo PA se pohybuje okolo 1,0-1,4 kg/dcm³. Pro Al je 2,72 kg/dcm³ a pro ocel 7,8 Kg/dcm³.

Kap 4, str. 28, obr 4.1 a 4.2 – Pokud obrázky nejsou výtvořem autorky, tak prosím citovat.

Str. 40 obr. 5.5 – Chybí definice účinnosti.

Kap 7, str. 50 – Autorka uvádí, že bezpečnostní ventil propouští kapalinu horkou až 127°C, ale zároveň uvádí, že provozní limit výměníku je jen 120°C.

Kap 7.2, str. 54 – Bylo by vhodnější porovnávat snímky z termo-kamery pro horizontální a vertikální uspořádání pro stejnou teplotu. Pokud změním jak teplotu, tak směr proudu nelze posoudit rozdíly a vyvodit závěry.

5. Vyjádření k těmto disertačním pracím

Posuzované teze disertační práce psané v opět v českém jazyce mají celkem 32 stran a obsahují celkem 17 referencí a životopis autorky. Teze, které jsou zkrácenou verzí disertační práce, obsahují všechny důležité informace, výsledky měření a závěry jako plná verze disertační práce. Oponent opět vysoce hodnotí jazykovou, grafickou a formální úroveň.

6. Otázky

Kap 2, str. 23 – Na čem je postaven předpoklad laminárního proudění v dutém vlákně? Resp. v jakém rozsahu rychlosti resp. Re je tento předpoklad platný?

Kap 5, str. 40 – Jak si vysvětlujete rozdílnou tlakovou ztrátu pro měření s chladičem HE3 a pro HE3_50kPa?

Kap 7.2, str. 53 – Jak si vysvětlujete, že tepelný výměník HE6 (s menším počtem vláken o vyšším průměru a menší teplosměnnou plochou) ohřeje více vody než HE5? Dále pak, HE6 má vyšší průtok ohřáté vody, tepelný výkon, ale nižší součinitel prostupu tepla (W/m².K) než HE5. Jak si to vysvětlujete?

Str. 54 Autorka zmiňuje, že vyšší tlakové ztráty v plášti mohli být způsobeny zhoršeným odtokem kondenzátu z výměníku, který mohl blokovat průtok. Zkoušely se nějaké jiné varianty řešení pro zlepšení odtoku?

Doporučení: bylo by zajímavé vidět i grafy s tlakovou ztrátou uvnitř vláken a grafy s průběhem průtoku v plášti.

Kap 9, str. 73 – V tabulce 9.1 jsou uvedeny maximální přípustné tlaky (6,9 – 17,26 MPa)? Byly tyto vypočtené tlaky ověřeny testem?

Str. 75 – Proč byly tlakové pulzace pro ne-kadeřené a kadeřené výměníky testovány s jinou frekvencí (perioda 1,4s a 2,1s)? Dále autorka uvádí, že výměníky byly zanášeny. Zanášel se vnější nebo i vnitřní povrch? Může to mít vliv na životnost výměníku?

Doporučení: bylo by dobré testovat do zničení třeba za vyšších tlaků a vytvořit Wöhlerovu křivku.

Účastnila se autorka návrhu a výroby testovacích zařízení použitých v kap. 7, 8 a 9?

7. Závěr

Autorka provedla rozsáhlou vědeckou činnost na dané téma. Zpracování disertační práce je na vysoké úrovni. Cílů práce bylo dosaženo a publikované výsledky z provedeného experimentálního plánu jsou přínosné jak pro vědeckou obec, tak pro technickou praxi. Proto doporučuji, aby byl Ing. Tereze Brožové udělen titul Ph.D.



Ve Zlíně 26. 4. 2017

.....
Ing. et. Ing. Aleš Horák, Ph.D.