

THESE DE DOCTORAT

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 602

Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes

Spécialité : Energétique – Thermique - Combustion

Par

Ahmad FAWAZ

Optimisation topologique basée sur la méthode de densité des échangeurs de chaleur à plaques

Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 04/11/2024

Unité de recherche : Laboratoire de thermique et Energie de Nantes (CNRS UMR 6607)

Rapporteurs avant soutenance :

Qiuwang WANG Professor, KLTSE, Xi'an Jiaotong University
Raphael BOICHOT Maître de conférences (HDR), INP, Grenoble, SIMAP UMR 5266

Composition du Jury :

Examineurs : Lounès TADRIST
Alain BASTIDE
Yilin FAN

Professeur des universités, IUSTI, Aix-Marseille Université
Professeur des universités, PIMENT, Université de La Réunion
Chargé de recherche (HDR), CNRS, LTeN, Nantes Université

Directrice de thèse : Lingai LUO
Co-directeur de thèse : Steven LE CORRE
Co-encadrant de thèse : Yuchao HUA

Directrice de recherche, CNRS, LTeN, Nantes Université
Professeur des universités, LTeN, Nantes Université
Chercheur, LTeN, Nantes Université

Titre : Optimisation topologique basée sur la méthode de densité des échangeurs de chaleur à plaques

Mots clés : Optimisation topologique, échangeurs de chaleur, mécanique des fluides numérique, approche expérimentale, interprétations physiques.

Résumé: Les échangeurs de chaleur (HX) jouent un rôle essentiel dans divers systèmes énergétiques, ce qui peut grandement influencer leur efficacité globale. Plus récemment, l'intérêt pour l'optimisation topologique (TO) pour les problèmes de transfert de chaleur connaît une croissance rapide, ce qui peut donner lieu à des conceptions thermiques innovantes. Par conséquent, la présente thèse étudie l'utilité du TO basé sur la densité pour les unités HX à double flux avec un domaine de conception étroit, ainsi que la CFD (dynamique des fluides computationnelle) et des vérifications expérimentales. Une conception convergente-divergente (C-D) d'ailettes est acquise à l'aide d'un générateur de topologie (TG), dont l'efficacité peut être prouvée par les simulations CFD, malgré une déficience identifiée dans le champ de vitesse de la topologie dérivée du TG.

De plus, après résolution de cette déficience, une nouvelle topologie a été acquise en allouant les solides générés à proximité des limites adiabatiques pour maximiser les performances thermohydrauliques de l'unité HX avec un matériau conducteur modéré. Des approches numériques haute fidélité sont utilisées pour examiner l'efficacité de cette nouvelle conception à travers une analyse comparative avec un cas de référence, et des expériences sont menées pour valider les résultats numériques. Les approches numériques et expérimentales démontrent que l'unité HX dérivée du TO présente les meilleures performances thermohydrauliques, reflétant sa faisabilité en pratique. De plus, des interprétations physiques détaillées sont fournies pour analyser la physique sous-jacente aux topologies obtenues.

Title : Density-based topology optimization of plate heat exchangers

Keywords : Topology optimization, heat exchangers, Computational Fluid dynamics, experimental approach, physical interpretations.

Abstract: Heat exchangers (HXs) play a critical role in various energy systems, which can largely influence their overall efficiency. Most recently, the interest in the topology optimization (TO) for heat transfer problems is growing rapidly, which can derive innovative thermal designs. Therefore, the present thesis investigates the utility of the density-based TO for dual-flow HX unit with narrow design domain, along with CFD (computational fluid dynamics) and experimental verifications. A convergent-divergent (C-D) design of fins is acquired using a topology generator (TG), of which efficacy can be proven by the CFD simulations, despite an identified deficiency in the velocity field of the TG-derived topology. Furthermore, upon the resolution of this deficiency,

a new topology has been acquired by allocating the generated solids in proximity to the adiabatic boundaries for maximizing the thermo-hydraulic performance of the HX unit with moderate conductive material. High fidelity numerical approaches are employed to examine the efficacy of this new design through a comparative analysis with a benchmark case, and experiments are conducted to validate the numerical results. Both numerical and experimental approaches demonstrate that the TO-derived HX unit has the best thermo-hydraulic performance, reflecting its feasibility in practice. Furthermore, detailed physical interpretations are delivered to analyze the underlying physics behind the obtained topologies.