

THESE DE DOCTORAT

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 602

Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes

Spécialité : « *Energétique-Thermique-Combustion* »

Par

« **Djamel Eddine GUERFI** »

« **Etude d'un assemblage de modules de régulation d'outillage utilisant une technologie de refroidissement multi-jets** »

Thèse présentée et soutenue à « IUT Nantes », le «09/01/2025 »

Unité de recherche : Laboratoire GEPEA, UMR 6144

Rapporteurs avant soutenance :

Marie DUQUESNE Professeur, Université de La Rochelle
Benjamin REMY Professeur, Université de Lorraine

Composition du Jury :

Président :

Examineurs : Stéphane FOHANNO Professeur, Université de Reims
Philippe CHEVREL Professeur, IMT Atlantique Nantes
Damien LECOINTE Ingénieur de recherche, IRT Jules Verne, Nantes Université

Dir. de thèse : Nadine ALLANIC Professeur, Nantes Université
Co-dir. de thèse : Alain SARDA Maître de conférences, Nantes Université
Co-dir. de thèse : Stéphane ROUX Maître de conférences, Nantes Université

Titre : Etude d'un assemblage de modules de régulation d'outillage utilisant une technologie de refroidissement multi-jets.

Mots clés : Gestion thermique, Refroidissement intelligent, Jet en écoulement croisé, Méthodes Inverses, Modèle prédictif

Résumé : La maîtrise de la gestion thermique des cycles de refroidissement dans la mise en forme des matériaux composites est cruciale pour améliorer la qualité des pièces produites. Dans ce contexte, des modules de refroidissement intelligents, basés sur des jets d'eau en écoulement croisé avec de l'air et des débits contrôlés indépendamment, ont été développés pour remplacer les canaux de refroidissement traditionnels, souvent limités par une hétérogénéité du refroidissement entre l'entrée et les autres sections du canal. Cette thèse a permis d'optimiser la configuration des jets et les rapports de débits air/eau pour améliorer l'efficacité du refroidissement. Une nouvelle méthode numérique hybride a été mise au point pour quantifier les échanges thermiques au niveau de la paroi refroidie, avec

une précision d'erreur inférieure à 5 °C. Le couplage des modules de refroidissement ainsi développés a permis d'établir un modèle prédictif pour le contrôle des écoulements dans chaque module, prenant en compte les effets de croisement entre les canaux de refroidissement, avec une précision de contrôle thermique variant entre 2 et 3,5 °C selon la vitesse consigne imposée. De plus, ce travail a permis de définir une distance optimale entre les canaux et de proposer une loi générale pour le choix de cet espacement. Enfin, des cycles de refroidissement par paliers ont été conçus pour ralentir le processus dans des plages de température spécifiques, favorisant la cristallisation des matériaux composites pour des propriétés mécaniques améliorées.

Title : Study of a Tooling Regulation Module Assembly Using Multi-Jet Cooling Technology.

Keywords : Thermal Management, Smart Cooling, Jet in Cross-Flow, Inverse Methods, Predictive Model.

Abstract : Mastering thermal management of cooling cycles in the shaping of composite materials is essential for enhancing the quality of produced parts. In this context, Smart Element of Cooling (SEC) based on water jets in cross-flow and independently controlled flow rates have been developed to replace traditional cooling channels, which are often limited by cooling heterogeneity between the inlet and other sections of the channel. This thesis optimized the jet configuration and air/water flow ratios to improve cooling efficiency. A new hybrid numerical method was developed to quantify thermal exchanges at the cooled wall, achieving an error margin below 5 °C.

The integration of the cooling modules enabled the development of a predictive model for flow control in each module, accounting for cross-effects between cooling channels, with thermal control accuracy between 2 and 3.5 °C depending on the target cooling rate. Additionally, this work defined an optimal distance between channels and proposed a general rule for selecting this spacing. Finally, stepped cooling cycles were designed to slow down the process in specific temperature ranges, promoting the crystallization of composite materials for improved mechanical properties