

Titre : Identification en temps réel des systèmes dynamiques et surveillance hybride du procédé de thermo-estampage avec des réseaux de neurones à ensembles (sets) informés par la physique

Mots clés : Surveillance du procédé, Apprentissage automatique, Apprentissage automatique informé par la physique, Modélisation hybride, Matériaux composites, Procédé de thermo-estampage, Systèmes Dynamiques

Résumé : La surveillance des procédés permet d'évaluer la qualité de sortie à partir des paramètres de procédé et des variabilités des matériaux. Dans ce contexte, le suivi et le contrôle hybrides de procédé sont très prometteurs, car ils utilisent conjointement toutes les données historiques ainsi que les connaissances a priori du procédé. Les modèles d'apprentissage automatique informés par la physique peuvent être utilisés dans ce contexte puisqu'ils combinent les méthodes d'apprentissage automatique, la physique (connaissances) et les données (historique) lors de leur entraînement. Dans ce travail, les Réseaux de Neurones Informés par la Physique (PINNs), un réseau de neurones basé sur la physique qui peut être entraîné à la fois sur les données et sur la physique, sont étudiés. Ce modèle est reconfiguré afin de s'adapter en temps réel aux changements des paramètres de procédé et des propriétés des matériaux en utilisant un encodeur de séquences tel que Deep Set. De plus, en utilisant la physique via les PINNs, le modèle est entraîné hors ligne. Enfin, le modèle extrapole dans le temps, 'on the fly', sans avoir besoin de résoudre un problème d'optimisation.

Cela fournira une connaissance préalable de la qualité du procédé et pourra ensuite être utilisé pour le contrôler et assurer un bon avancement du procédé. Dans ce travail, nous nous concentrons sur un procédé de mise en forme, plus spécifiquement le thermo-estampage des matériaux composites thermoplastiques renforcés de fibres continues. Le modèle est d'abord construit et testé sur des EDP/EDO, montrant des résultats prometteurs, avant d'être validé sur les étapes de chauffage, de transfert et de début de refroidissement du procédé de thermo-estampage. Le modèle démontre une très bonne capacité à gérer des données bruitées et limitées avec des paramètres de procédé et des propriétés matériaux variables, ainsi que la capacité d'être utilisé en temps réel, et prouve l'intérêt d'intégrer la physique dans l'entraînement pour compenser le manque de données.

Title: Real time System Identification and Hybrid Monitoring in Thermo-stamping Process using Physics-Informed Set Neural Networks.

Keywords : Process Monitoring, Machine learning, Physics-Informed Machine Learning, Hybrid modeling, Composite materials, Thermo-stamping process, Dynamical systems

Abstract : Process monitoring is used to assess the output quality from the process parameters and materials' variabilities. In this context, hybrid process monitoring and control is very promising, as it jointly uses all historical data alongside with prior knowledge of the process. Physics-Informed machine learning models could be used in this context as it combines machine learning methods, physics (knowledge), and data (history) in their training. In this work, Physics Informed Neural Networks (PINNs), a physics based neural network that could be trained on both data and physics, are explored. This model is reconfigured so as to adapt in real time to changes in process parameters and material properties using a Sequence Encoder such as Deep Set. Furthermore, using physics through PINNs, the model is trained offline. Finally, the model extrapolates in time, on the fly, without the need to run an optimization problem.

This will gives a prior knowledge on process quality and could be next used to control it and ensure a good process advancement. In this work, we focus on a forming process, more specifically the thermo-stamping of continuous fiber reinforced thermoplastic composite materials. The model is first built and tested on benchmark PDEs/ODEs, showing promising results, before being validated on the heating, transfer, and early cooling steps of the thermo-stamping process. The model demonstrates a promising ability to handle noisy and limited data with variable process and material parameters and properties, as well as the ability to be used in real time, and shows how physics can be integrated into training to compensate for the lack of data.