

Axe Transverse Industrie 4.0

Séminaire du 30 Janvier 2025



Programme

14H00 – 14H15 - Introduction – Sihao DENG & Ralph SEULIN

14h20 – 16h00 - Présentations

14h20 – Hybrid Approach for Crack Detection and Monitoring in Heterogeneous Structures: SOM Clustering and HHT Analysis of AE raw data - **Seif-Eddine HAMDJ**

14h40 - Fabrication de poudre métallique par atomisation de cible tournante : amélioration du rendement par contrôle visuel du régime d'atomisation - **Alexandre MATHIEU**

15h00 - Fabrication de liners en acier inoxydable par mécano-soudage dans le contexte de la construction de citernes routières – **Hichem ABERBACHE**

15h20 - Chaîne numérique pour la fabrication additive par procédé Cold Spray - **Ralph SEULIN, Sihao DENG, Christophe VERDY, Rajat KAWALKAR**

15h40 - Fabrication Additive WAAM à l'aide d'une solution robotisée – **Rodolphe BOLOT**

16h00 – 17h00 - Discussions sur les actions de l'Axe Industrie 4.0

Présentations

Les résumés des 5 présentations sont disponibles ci-après.

Hybrid Approach for Crack Detection and Monitoring in Heterogeneous Structures: SOM Clustering and HHT Analysis of AE raw data

Seif-Eddine HAMDJ

Structural Health Monitoring (SHM) is essential for ensuring the integrity of complex materials like wood, where Acoustic Emission (AE) offers real-time damage detection. Traditional AE methods face challenges in classifying overlapping signals, particularly in heterogeneous materials. This study introduces a hybrid framework combining unsupervised and supervised machine learning to enhance real-time crack monitoring in wood. A Self-Organizing Map (SOM) is used to cluster raw AE signals into distinct damage patterns, followed by the Hilbert-Huang Transform (HHT) to extract time-frequency features. These features and clusters are processed through a feed-forward neural network to classify damage mechanisms, including crack initiation and delamination. Experimental results on Douglas fir and White fir demonstrate high accuracy in identifying damage types. This approach addresses limitations in traditional AE methods, providing scalable, robust SHM for wood and other complex materials in real-world applications.

Fabrication de poudre métallique par atomisation de cible tournante: amélioration du rendement par contrôle visuel du régime d'atomisation

Alexandre MATHIEU

L'objet de ce projet était la réalisation d'un prototype d'atomiseur qui permet l'obtention de poudre métallique ayant une sphéricité élevée et un niveau d'impureté le plus faible possible, ou tout au moins, que l'atomisation ne génère pas, elle-même, des impuretés supplémentaires par rapport au procédé de fabrication de la cible métallique. La cible métallique est un barreau de quelques cm de hauteur pour un diamètre compris en 1 et 2 cm. La cible est mise en rotation à très haute cadence, puis l'extrémité est fondue au moyen d'un faisceau Laser de forte puissance, à onde continue. La nappe liquide qui se forme est alors soumise à un intense effet de centrifugation qui induit un écoulement jusqu'au bord du barreau puis l'éjection de ligaments de liquide qui se fragmente sous l'effet de l'instabilité de Rayleigh-Plateau. Les gouttelettes de métal liquide se solidifient, en vol, pour former les grains de poudre attendus. La taille et la distribution des grains de poudres dépendent du régime d'atomisation atteint. Des modélisations anciennes basées sur l'atomisation en bol/plateau tournant permettent d'identifier les frontières entre 3 différents régimes d'atomisation, sachant que leurs domaines d'existence se distinguent à la fois suivant les propriétés des métaux atomisés à l'état liquide (viscosité, tension de surface, ...) et suivant les conditions opératoires (débit, vitesse de rotation, diamètre du barreau, ...). Afin de contrôler le régime d'atomisation, il a été envisagé d'utiliser l'imagerie rapide pour identifier, in-situ, les caractéristiques de l'écoulement en surface du barreau, soumis au rayonnement Laser, et le régime d'éjection des particules.

Fabrication de liners en acier inoxydable par mécano-soudage dans le contexte de la construction de citernes routières

Hichem ABERBACHE

Cette étude se concentre sur la simulation du soudage multi-procédés TIG et CMT, pour optimiser la fabrication des citernes routières. L'objectif est de réduire leurs poids en réduisant l'épaisseur des tôles tout en conservant la rigidité de la structure. Pour y parvenir, un revêtement composite (fibre et résine) est ajouté par enroulement filamentaire sur un Liner métallique mécano-soudé. Le Liner a une épaisseur de 1 mm au lieu de 3 mm pour la fabrication d'une citerne classique tout inox.

Des essais expérimentaux et des simulations numériques ont été menés pour prédire les distorsions induites par le soudage. Les mesures comprenaient des relevés de courant et de tension de soudage, des températures via des thermocouples, ainsi que des déplacements et déformations obtenus par corrélation d'images numériques. Les prototypes, citernes à l'échelle 1/4, ont été contrôlés par scanning 3D.

Les simulations thermomécaniques, utilisant une source thermique équivalente et prenant en compte la transition liquide/solide, ont produit des résultats satisfaisants pour les calculs thermiques et la détermination de l'angle de pliage des tôles dû au soudage. Une méthode simplifiée a également été développée pour réduire le temps de calcul, permettant de reproduire les déformations observées sans recourir à des simulations thermomécaniques transitoires.

Chaîne numérique pour la fabrication additive par procédé Cold Spray

Ralph SEULIN, Sihao DENG, Christophe VERDY, Rajat KAWALKAR

Cette présentation dresse un état des lieux de la chaîne numérique mise en œuvre dans nos travaux en projection thermique. Nous aborderons en particulier la fabrication additive par Cold Spray en introduisant les principes et avantages de ce procédé. Nous montrerons ensuite la richesse et la complexité des problématiques à traiter pour optimiser les propriétés du dépôt en fonction des paramètres opératoires : robotique, instrumentation, capteurs, modélisation et traitement des données. Nous terminerons avec les travaux en cours sur l'hybridation des procédés qui amplifie encore le niveau de maîtrise et de fiabilité nécessaires pour la réparation et fabrication additive de pièces à géométrie complexe.

Fabrication de pièces en FA WAAM à l'aide d'une solution robotisée

Rodolphe BOLOT

Le WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing) est une technologie permettant d'imprimer des pièces métalliques de grandes dimensions à l'aide d'un robot. Il s'agit de déposer/empiler des cordons de soudure pour construire la pièce. La résolution est bien moindre (cordons de quelques mm de largeur contre une centaine de μm ou moins en LPBF) mais la vitesse de déposition est supérieure (2-3 kg/h), ce qui en fait un procédé particulièrement efficace pour imprimer des pièces métalliques de grandes dimensions. Le process est toutefois moins standardisé (pas de solutions commerciales par une multitude de fabricants de machines comme en LPBF) mais plutôt des solutions orientées "génération des trajectoires" pour chaque marque de robot. Dans notre cas, nous avons développé un "trancheur maison" qui permet le "slicing" d'une pièce dessinée en DAO et exportée au format STL.

Le trancheur convertit aussi les trajectoires obtenues en instructions robot (pour nous il s'agit du langage KRL spécialement dédié aux robots Kuka). Le process se rapproche ainsi de ce qui est réalisé en impression 3D conventionnelle (slicing / génération des déplacements de la tête ou du laser).

Nous avons déjà pu imprimer un certain nombre de pièces plus ou moins sophistiquées avec ce process. L'un des verrous reste d'obtenir un meilleur contrôle de la hauteur de chaque cordon. En effet, cette hauteur dépend notamment de l'histoire thermique de la pièce en cours de fabrication (et plus particulièrement de la température du matériau sous-jacent).

Par exemple, à paramètres équivalents, une épaisseur de 32 mm peut être déposée en 20 passes avec un temps d'attente de 10s entre chaque passe, mais cette épaisseur peut être réduite à 29 mm pour un temps de 5s entre chaque passe. Le temps entre passes successives agit donc sur la température du matériau sous-jacent et in-fine sur la morphologie du cordon déposé (plus large et moins haut si le matériau est plus chaud, et inversement).

La prédiction et le contrôle de l'histoire thermique de la pièce, devient donc un impératif en vue d'un meilleur contrôle des épaisseurs, et indirectement d'une bonne correspondance géométrique entre le modèle et la pièce imprimée, ce qui est impératif pour une pièce industrielle.

Le process de contrôle devra inclure des boucles de rétroaction permettant d'agir "en cours de fabrication" sur le procédé. Des exemples de schémas permettant ce contrôle seront proposés. Une autre problématique concerne les limites d'avancement lors de l'impression de parois inclinées: en effet, lorsque l'inclinaison d'une paroi devient trop élevée, les cordons tendent à être déposés sur un support décalé, voire même (pour des angles encore plus élevés) partiellement sans support sous-jacent, mais plutôt avec un support simplement juxtaposé. Les limites d'angle d'inclinaison seront donc testées et des solutions (dont raffinement de slicing) seront discutées/testées.

La présentation sera donc focalisée sur ces 2 objectifs.