

Proposition de sujet de thèse MESR :

Analyse expérimentale et modélisation FEM de la tenue mécanique des assemblages hétérogènes obtenus par soudage laser

Contacts : Rodolphe BOLOT, rodolphe.bolot@ubfc.fr, 06.87.17.53.40 ou 03.85.73.10.42

Contexte :

La thèse CIFRE d'Antoine Mannucci (partenariat en cours avec la PME Laser Rhône-Alpes) a porté sur l'optimisation des conditions de soudage laser dissimilaire pour le couple titane/inox (et alliage Ti6Al4V/inox). De par les résultats, un soudage direct peut être réalisé mais préférentiellement en décalant la position du faisceau laser relativement au plan de joint. Néanmoins, même dans cette configuration, il reste difficile d'éviter la formation de phases intermétalliques fragiles telles que FeTi et Fe₂Ti, ce qui limite la tenue mécanique de l'assemblage (<170 MPa). La meilleure solution alternative consiste donc à utiliser un matériau intermédiaire (insert) permettant de séparer l'alliage de Titane et l'inox. Cette solution consiste à insérer une lamelle d'un troisième matériau (compatible avec les 2 premiers) et à réaliser deux cordons distincts. Pour ce faire, le matériau le plus adapté s'est avéré être le vanadium. Il est néanmoins coûteux et non biocompatible, ce qui limite son utilisation au cadre de l'industrie aéronautique (mais pas dans le domaine du biomédical). Cette technique nous a permis d'atteindre une tenue mécanique nettement supérieure allant jusqu'à 500 MPa. L'assemblage d'autres couples de matériaux est aussi étudiée par l'équipe Creusotine du LTm (laboratoire ICB).

La modélisation FEM du procédé de soudage a été menée en parallèle à la thèse d'Antoine. Ce type de modélisation peut permettre de mieux comprendre l'effet des paramètres influents sur la tenue mécanique d'un assemblage dissimilaire. Toutefois, pour des prédictions fiables, nous nous sommes heurtés à l'absence de données concernant les propriétés thermomécaniques des matériaux des cordons de soudure fabriqués. Dans le cas d'un soudage direct, le cordon représente un troisième matériau (dont les propriétés mécaniques sont distinctes de celles des matériaux à assembler). De par nos résultats expérimentaux, nous avons constaté qu'il s'agit d'un matériau relativement homogène composé d'un mélange (en termes de composition élémentaire) des deux matériaux à assembler. Néanmoins, les propriétés de ce troisième matériau (pouvant être de composition variable) nous sont pour l'heure relativement inconnues. Dans le cas d'un soudage avec insert vanadium (par exemple), il y a cette fois deux cordons (compositions V/inox et V/Ti) qui présentent là encore des propriétés mécaniques non maîtrisées. **Cette non maîtrise des propriétés des cordons fabriqués constitue pour l'instant un verrou qu'il est important de lever au sein de l'équipe.**

Objectifs :

Les objectifs de la thèse proposée seront multiples :

- Dans un premier temps, l'idée sera d'obtenir les propriétés de cordons de composition élémentaire variable (Ti/inox fraction variable, Ti/V fraction variable, inox/V fraction variable). Pour ce faire, la nano-indentation (et en particulier la méthode d'Oliver-Pharr) semble être la technique la plus appropriée. Toutefois, l'équipe ne disposant pas de cette technique, les mesures correspondantes seront sous-traitées (société Anton-Paar) ou réalisées dans le cadre d'une collaboration avec une équipe de FEMTO disposant des moyens requis.

- Dans un deuxième temps, il sera nécessaire d'implémenter les propriétés ainsi obtenues dans les modèles FEM de soudage que nous développons actuellement (sous ANSYS), et d'utiliser ces modèles pour obtenir des **prédictions fiables** de la tenue mécanique de tels assemblages.
- Validation : le troisième volet de la thèse concernera la validation des résultats des calculs FEM ainsi obtenus. Pour ce faire, il s'agira de réaliser des mesures de la tenue mécanique des assemblages (essais de traction) mais aussi de réaliser des mesures des contraintes résiduelles obtenues dans ces assemblages. Concernant les essais de traction, nous disposons sur site des moyens nécessaires. Concernant les mesures de contraintes, nous avons déjà testé différentes méthodes (mesures par DRX sous-traitées au CETIM et mesures par la méthode du trou incrémental réalisées in-situ au sein de l'équipe). Toutefois, il s'avère que ces deux méthodes ne sont pas parfaites dans le cas de cordons étroits fabriqués par soudage laser. L'idée sera donc d'utiliser une troisième méthode : en particulier la méthode **dite du contour** nous semble aujourd'hui la plus adaptée. Elle consiste à mesurer la déformée du plan de coupe occasionné par une découpe plane. Pour un matériau dépourvu de contraintes, le plan de coupe reste plan, alors que pour un matériau contraint, il se déforme. L'estimation du niveau de contrainte peut donc être obtenue par un modèle inverse adapté qu'il conviendra, là encore, de mettre en œuvre sous ANSYS.

Cadre de l'étude et moyens mis à disposition :

La halle laser Creusotine est équipée des moyens de soudage requis. Elle dispose également de moyens de caractérisation conséquents : tests de traction, préparation d'échantillons, analyses par microscopie optique et MEB, etc. Elle dispose aussi de moyens pour mesurer la plupart des autres propriétés matériaux qu'il convient de maîtriser (mesures dilatométriques, diffusivité thermique, etc.). Par ailleurs, le candidat bénéficiera des compétences de l'équipe pour la mise en œuvre des moyens précités. En sus, il pourra s'appuyer sur l'expérience de l'équipe encadrante pour la modélisation FEM des procédés de soudage sous ANSYS. S'il s'avère plus autonome avec un autre logiciel (COMSOL ou ABAQUS), alors il y aura potentiellement accès.

Profil :

Nous recherchons un candidat rigoureux, dynamique, compétent et sachant faire preuve d'autonomie. Les compétences recherchées sont :

- Génie des procédés / matériaux
- Simulation numérique

Bibliographie récente assemblages Ti/inox :

Articles en revues internationales :

- [1] A. Mannucci, I. Tomashchuk, R. Bolot, A. Mathieu, S. Lafaye, 2020. Microstructure and mechanical properties of dissimilar Ti/Nb/Cu/steel laser joints, *Procedia CIRP*, 94,644-648.
- [2] A. Mannucci, I. Tomashchuk, A. Mathieu, R. Bolot, E. Cicala, S. Lafaye, C. Roudeix, 2020. Use of Pure Vanadium and Niobium/Copper Inserts for Laser Welding of Titanium to Stainless Steel, *Journal of Advanced Joining Processes*, 1, 100022.
- [3] A. Mannucci, I. Tomashchuk, A. Mathieu, E. Cicala, T. Boucheron, R. Bolot, S. Lafaye, 2018, Direct laser welding of pure titanium to austenitic stainless steel, *Procedia CIRP*, 74, 485-490.