

Projet : COCASSE (COmplex Concentrated Alloys : Sintering and assembly)
Porteur *JOUVARD Jean-Marie - Laboratoire ICB* - jean-marie.jouvard@u-bourgogne.fr

Sujet de thèse

« Fabrication d'alliages à haute entropie (HEA pour High Entropy Alloys) et leur soudabilité par faisceau laser »

Encadrement : *Pierre SALLAMAND (PU) - ICB/PMDM - Equipe LTm (Le Creusot)*

Co-encadrement : *Sophie LE GALLET- ICB/PMDM - Equipe MANAPI (Dijon)*

L'objectif de ce travail est d'étudier la fabrication d'alliages à haute entropie (HEA pour High Entropy Alloys) et leur soudabilité par faisceau laser.

Contrairement aux alliages "classiques" composés à partir d'un élément prédominant, les HEAs contiennent au moins 5 éléments métalliques, dont la proportion est comprise entre 5 et 35% at. Cela offre une grande flexibilité dans le développement de nouveaux matériaux avec des compositions très variées. En effet, le « désordre » présent dans l'organisation atomique par plusieurs éléments aux propriétés atomiques proches ou très proches leur confère des propriétés mécaniques ou électriques hors du commun, bien au-delà des valeurs connues.

Différentes équipes de l'UBFC disposent de techniques d'élaboration de ces types de matériaux. Le principe est de partir d'un matériau précurseur pulvérulent (multiéléments) qui peut être obtenu soit par atomisation (plus grand volume de production), soit par broyage haute énergie (pour faire varier plus facilement les nuances). Ces poudres multiéléments peuvent ensuite être structurées 3D par différents procédés : métallurgie des poudres (frittage SPS), fabrication additive (fusion laser) ou sous forme de dépôt de faible épaisseur (PVD). De plus, afin d'étendre les applications des HEA, leur assemblage dans des systèmes de matériaux similaires ou différents constitue l'un des challenges de ce travail.

La thèse sera divisée en plusieurs phases :

Phase 1 : Elaboration d'HEA par métallurgie des poudres (Dijon)

- Une précédente étude a permis de synthétiser des HEAs de la famille AlCoCrFeNi, par frittage réactif SPS des poudres élémentaires pré-mélangées lors d'un broyage haute énergie. Il a été possible en faisant varier la composition du HEA d'obtenir des structures métallographiques différentes (structure FCC, structure duplex FCC/BCC, structure BCC1+BCC2). Un changement d'échelle permettra de fabriquer ces HEAs pour étudier leur soudabilité.

- D'autres moyens d'élaboration seront ensuite utilisés : en particulier l'atomisation en phase gazeuse (UTBM) pour l'élaboration de la poudre et la micro-fusion laser sur lit de poudre (UTBM) pour l'élaboration de massifs. Cela permettra d'une part de comparer deux procédés de mise en forme indépendamment de la poudre et d'autre part d'évaluer l'impact d'un mode de préparation de poudre sur le procédé SPS.

Phase 2 : Etude de la soudabilité par laser (Le Creusot)

- Maîtrise de l'assemblage de matériaux HEA par l'adaptation des paramètres laser à la structure d'un matériau fabriqué par différents procédés. Il a été observé que pour un même matériau élaboré de façon différente (alliage de fonderie ou matériau fritté) les paramètres d'assemblage pouvaient être différents. On peut déjà présager que les procédés d'élaboration choisis vont entraîner des microstructures variées, et ainsi des différences vis à vis de la durabilité et des propriétés mécaniques

du système assemblé. Il est donc important de **corrélér le procédé d'élaboration du matériau, la microstructure (et les propriétés thermophysiques du matériau à souder) à la phénoménologie de l'interaction laser-matériaux et ensuite d'évaluer l'effet du soudage sur la microstructure de la zone assemblée**. L'étude commencera dans un premier temps par la compréhension de la soudabilité de deux matériaux HEA d'une même famille. Dans ce cas, il sera possible d'observer un appauvrissement de certains éléments dans la zone fondue suite à la vaporisation sélective (des analyses par spectrométrie d'émission atomique peuvent permettre de quantifier ce phénomène). Ensuite le couplage de deux matériaux HEA différents sera étudié.

- Influence de la soudure sur la microstructure et les propriétés du matériau. Les caractérisations porteront sur l'évolution des compositions chimiques et des structures lors des différentes phases de procédés, ainsi que sur les propriétés mécaniques (dureté, résistance..) et d'oxydation à haute température avant et après assemblage par soudage. Une instrumentation in situ lors des procédés sera envisagée.

Profil du doctorant :

L'étudiant devra avoir une solide **formation scientifique et technique** dans laquelle il aura acquis les bases relatives aux matériaux métalliques. Une expérience dans ce domaine serait souhaitable tout comme dans les procédés d'élaboration et/ou de traitements. L'étudiant constitue **l'élément fédérateur de ce projet**. Il devra être mobile et capable de s'adapter à différentes structures d'accueil (équipes localisées sur des lieux distants en Bourgogne-Franche Comté).

En complément de son travail de recherche, le doctorant s'investira pour **présenter à la communauté scientifique et au public** l'impact des HEAs, de leur mode d'élaboration sur les propriétés des matériaux. Ceci pourra faire l'objet d'une communication via le **CCSTI de la région BFC** et d'une participation à l'action « **ma thèse en 180 s** ». Une maquette explicative et illustrative pourrait aussi être développée ainsi qu'un Moodle présentant ce travail. Les acteurs du projet participeront aux **manifestations de la diffusion scientifique** comme le village des sciences, la fête de la science et par exemple l'expérimentarium pour développer un prototype illustrant leurs travaux de recherche.