

## Sujet de Thèse 2018

### Sujet

Influence de la nature de l'atmosphère sur la tension superficielle des métaux liquides – Application à la fabrication additive métallique

### Mots clés

Tension superficielle - Fabrication additive métallique – Approche bottom-up – Procédés de dépôt laser - Procédés de dépôt à l'arc électrique – camera haute vitesse – mesures thermiques

### Encadrants de thèse

Encadrant : Emmanuel Bertrand - 02 40 68 31 24 – [emmanuel.bertrand@cnrns-imn.fr](mailto:emmanuel.bertrand@cnrns-imn.fr)

Co-encadrant : Mickaël Courtois - 02 97 87 45 03 - [mickael.courtois@univ-ubs.fr](mailto:mickael.courtois@univ-ubs.fr)

Directeur : Pascal Paillard - 02 40 68 31 52 – [pascal.paillard@cnrns-imn.fr](mailto:pascal.paillard@cnrns-imn.fr)

### Description

La tension superficielle d'un métal liquide dépend de nombreux paramètres parmi lesquels la composition chimique du métal – en particulier sa teneur en impuretés comme l'oxygène ou le soufre - et la température [1]. De plus, cette grandeur est difficilement accessible expérimentalement pour de nombreux métaux car elle implique de réaliser des mesures à l'état liquide et donc à haute température (environ 1500°C pour un acier, plus pour des matériaux réfractaire). Or, la tension superficielle – son gradient par rapport à la température en particulier - joue un rôle capital dans les courants de convections qui se forment dans le métal fondu et in fine sur la géométrie du bain fondu. De ce fait, l'aspect de surface d'un objet résultant d'un procédé de mise en forme du métal à l'état liquide avec un refroidissement et une solidification dans un milieu non confiné, comme dans le cas de fonderie, par exemple résulte directement des tensions superficielles du métal fondu lors de sa fabrication.

Un moyen de maîtriser la tension superficielle d'un métal liquide consiste à introduire volontairement des impuretés dans le métal liquide – en particulier de l'oxygène. Pour la fabrication additive, l'approche envisagée consiste à ajouter de de façon maîtrisée du dioxygène dans le gaz de protection inerte (de l'argon) [2].

Tout comme le soudage à l'arc, les procédés de fabrication additive fil-arc font intervenir un grand nombre de domaines de la physique : thermique et mécanique des fluides pour fondre le métal, physique des plasmas et électromagnétisme pour l'arc électrique. Ainsi, des dispositifs particuliers doivent être développés afin de mesurer la tension superficielle du métal liquide en découplant les différents phénomènes interagissant et en fonction de sa température. Ces données sont indispensables pour la réalisation de modélisations multi-physiques les plus proches de la réalité.

L'approche envisagée dans le cadre de cette thèse part de la mesure la plus fondamentale jusqu'au procédé de fabrication additive fil-arc. Le doctorant ou la doctorante interviendra à chacune des étapes suivantes :

1. caractérisation de la tension superficielle d'une bille de métal fondu par laser et en lévitation par un jet de gaz par fusion laser : mesure de tension superficielle à l'équilibre par impact acoustique, mesure de la température (pyrométrie multi-spectrale mise au point lors de

la Chaire IRT JV MAPEPAS), observation grand vitesse (illumination laser + caméra grande vitesse) dans le cas d'un contact entre deux milieux (gaz + métal liquide) ;

2. ces observations seront reconduites dans un deuxième temps mais sur une bille posée sur un substrat refroidi (boîte à eau en cuivre) : mesure de tension superficielle avec un gradient de température dans le cas d'un contact entre 3 milieux (gaz + métal liquide + métal solide) ;

3. fusion d'une extrémité de barreau par fusion laser : passage de la bille de métal à un dépôt en 1 dimension ;

4. fusion d'une bille sur un substrat cuivre par procédé TIG : ajout de la physique de l'arc électrique

5. fusion d'une extrémité de barreau par fusion arc : passage de la bille de métal à un dépôt en 1 dimension ;

6. dépôt de métal type fabrication additive : passage à un dépôt 2D puis 3D.

Pour les 6 étapes, les caractérisations (température, visualisation) seront réalisées in situ (à haute température sur métal liquide).

Les techniques de mesures qui seront employées seront : une caméra haute vitesse couplée à un laser d'illumination afin s'affranchir du rayonnement de l'arc électrique ; une caméra thermique afin de mesurer les champs de température ; un pyromètre multi-spectral développé dans le cadre de la chaire MAPEPAS (projet de l'IRT Jules Verne) afin d'obtenir une mesure quantitative de la température du bain fondu ainsi que les techniques de métallographie classique (coupe métallographique, dureté, MEB, WDS pour la mesure du taux d'oxygène dans la soudure, ...).

Dans un premier temps, l'étude sera réalisée sur un métal simple et connu, un acier inoxydable austénitique, pour se poursuivre ensuite sur du titane pur et/ou ses alliages. Ces derniers étant très sensibles à la contamination par l'oxygène, la question finale pourra être : pour ces alliages quelle est la teneur en oxygène optimale pour avoir le meilleur aspect de surface sans dégradation des propriétés du métal (essentiellement mécaniques).

## Profil

Le/la candidat(e) recherché(e) est un(e) étudiant(e) diplômé(e) (ou en cours de diplomation) d'un M2 ou équivalent en sciences des matériaux avec des connaissances en métallurgie (grandes catégories d'alliages, diagrammes de phases, microstructures, propriétés mécaniques, méthodes de caractérisation associées...) et un fort intérêt pour les sciences expérimentales. L'essentiel de la thèse se passera à l'institut des matériaux Jean Rouxel (IMN) au sein de l'équipe ID2M, spécialisée dans les procédés d'assemblage fil-arc. Des campagnes d'essais seront prévues à l'institut de recherche Dupuy de Lôme (IRDL, Lorient) pour l'utilisation des moyens de caractérisation les plus fondamentaux.

## Financement

Contrat doctoral du CNRS.

## Références

- [1] I.Egry, E.Ricci R.Novakovic S.Ozawa Advances in Colloid and Interface Science, 2010 <https://doi.org/10.1016/j.cis.2010.06.009>
- [2] A Berthier, P Paillard, M Carin, F Valensi and S Pellerin Science and Technology of Welding and Joining, 2012, <https://doi.org/10.1179/1362171812Y.0000000024>