

Fabrication Additive d'aciers à gradient de composition chimique : comportement mécanique et électrochimique

I. Contexte, positionnement et objectif(s) du projet

Souvent, deux matériaux sont soudés ensemble pour apporter une continuité dans la pièce de structure. Cependant, ces procédés fragilisent mécaniquement la pièce et la résistance à la corrosion est souvent amoindrie. Un exemple issu du nucléaire où sont utilisés les aciers austénitiques inoxydables de type 316L dans les zones nécessitant une bonne résistance au fluage à haute température ou à la corrosion et les aciers martensitiques, moins onéreux, dans les zones de plus basses températures. Aujourd'hui, les techniques de fabrication additive ouvrent une nouvelle voie d'élaboration pour la jonction de matériaux. C'est principalement ce qu'a mis en exergue Flore Villaret, dans le cadre de sa thèse¹, en utilisant le procédé de fusion de poudres projetées (Directed Energy Deposition, DED), par lequel elle a pu élaborer des aciers à gradient de composition chimique (316L/9Cr) par contrôle des zones de dilution entre les cordons. Il a été montré que la pièce présentait un gradient de teneur en chrome et par conséquent, un gradient de dureté, bien que la microstructure n'ait pu être complètement maîtrisée.

La preuve de concept s'est arrêtée à quelques éprouvettes, sans pouvoir mesurer les propriétés mécaniques complexes (résilience, fatigue) et fonctionnelles (corrosion). Ces propriétés sont pourtant essentielles d'un point de vue applicatif et posent aussi plusieurs questionnements liés au rôle du gradient de chrome (et d'autres éléments diffusant comme le carbone) sur le comportement mécanique et électrochimiques de ces nouvelles jonctions à gradient. D'un point de vue mécanique, la variation de propriété mécanique fait présager une compétition entre ductilité et plasticité, notamment en fatigue. D'un point de vue tenue à la corrosion, une étude préliminaire, sur les matériaux issus de la thèse, a permis de révéler la sensibilité de la corrosion cavernueuse de l'acier 9Cr. Le comportement électrochimique global des différents matériaux élaborés n'a pas permis de mettre en évidence de couplage galvanique entre les deux matériaux (316L et 9Cr). Une étude de la réactivité locale, à l'aide de la micro-cellule électrochimique et un résultat préliminaire obtenu par microscopie électrochimique (résolution de l'ordre d'un grain de poudre) a confirmé le comportement obtenu à l'échelle plus importante. Par la résolution de ces techniques électrochimiques locales, il sera possible de mesurer la réactivité entre deux grains, sur les zones d'interdiffusion des deux matériaux en fonction des paramètres d'élaboration des échantillons à gradient de composition.

II. Programme de thèse

L'objectif de la thèse est d'élaborer des matériaux à gradient de composition chimique, et de caractériser et de comprendre leurs comportements mécanique et en corrosion, en faisant le lien entre la composition chimique, la microstructure et les propriétés du gradient. Les étapes de la thèse et les enjeux relatifs à la mécanique et à la corrosion sont donnés ci-après et schématisées à la figure A-1.

1/ Etape 1 : élaboration des échantillons de référence : de T0 à T0+6 mois

Des échantillons à composition homogène et à gradients de chrome seront élaborés par compaction de poudres (CIC) et par fusion laser de poudres projetées (DED-LMD-p). Les deux types de procédés engendrent des microstructures suffisamment différentes pour attendre un comportement en fatigue et en corrosion différents. Les compositions des poudres ainsi que les paramètres de fabrication seront modifiées afin de maîtriser la sévérité du gradient de composition et de propriétés.

2/ Etape 2 : Caractérisation du comportement électrochimique

Les échantillons élaborés lors de l'étape 1 seront caractérisés par voie électrochimique, de l'échelle globale à locale. Un focus sera porté sur la caractérisation des interfaces entre les grains (présence d'oxyde ou zone d'interdiffusion). Il pourra être envisagé de développer un dispositif de traction monté sur le microscope électrochimique.

3/ Etape 3 : Caractérisation du comportement mécanique

Le comportement mécanique sera quantifié sur échantillons homogènes puis sur échantillons à gradient de composition :

- (i) essais sur mini-éprouvettes de traction avec corrélation d'images surfaciques, afin de mettre en évidence le lien microstructure/composition/propriétés dans le gradient
- (ii) essais de fatigue en traction/traction et analyse des surfaces de rupture et du chemin de fissuration ;

4/ Etape 4 : Optimisation de la composition chimique du gradient en fonction des résultats obtenus lors des caractérisations. Cette dernière étape visera à modifier la composition chimique du gradient en changeant, par exemple, la composition chimique d'une des deux poudres pour améliorer les propriétés (corrosion et/ou fatigue) des matériaux fabriqués. Cela dépendra de la nature des résultats issus de la première campagne. La poudre de nouvelle composition identifiée pourra être produite par atomisation gazeuse à l'INSA.

Fabrication Additive d'aciers à gradient de composition chimique : comportement mécanique et électrochimique

Annexe 1

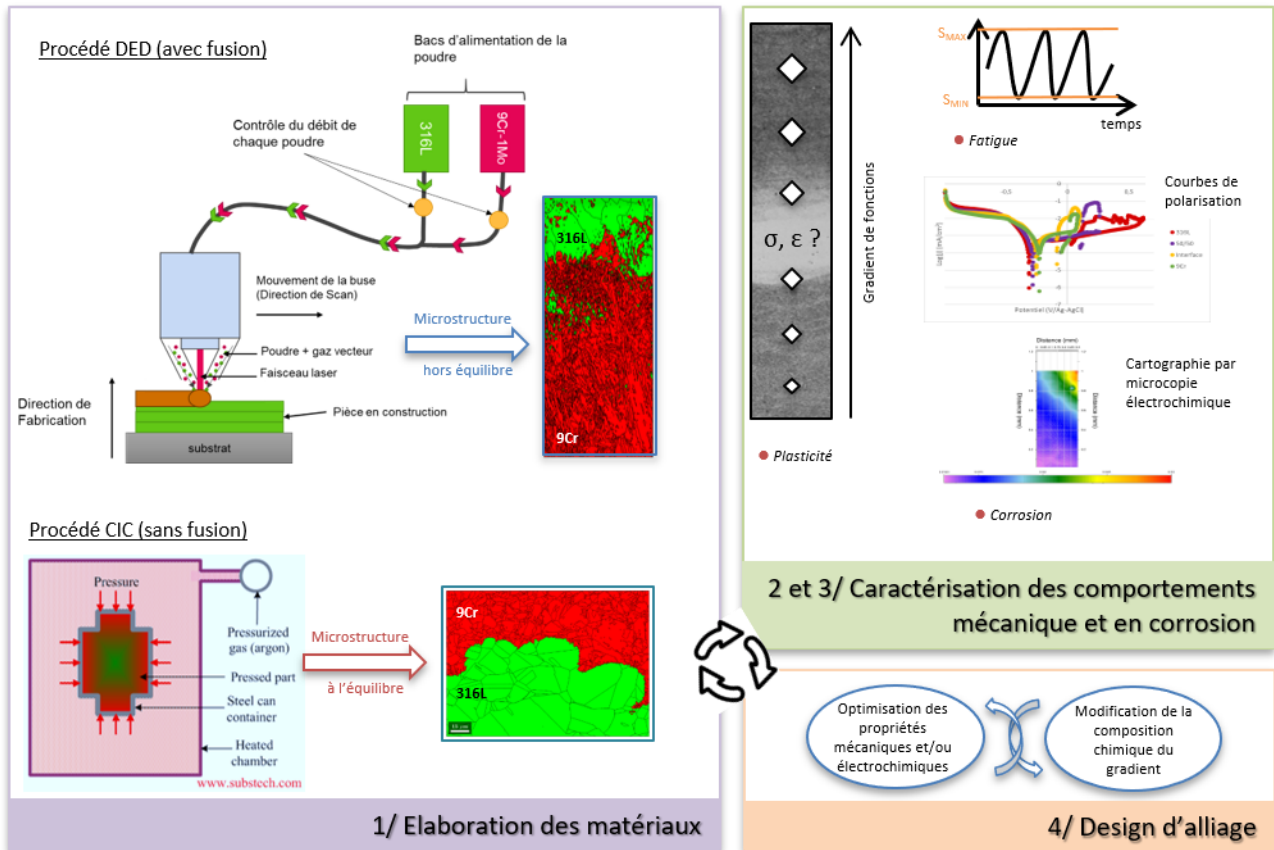


Figure A-1 : Représentation schématique des 4 étapes de la thèse et de la relation recherchée entre microstructure, comportements mécaniques et en corrosion de matériaux à gradient de composition.

Lieux et encadrants :

- Laboratoire MATEIS UMR CNRS 5510 (équipes METAL et CorriS)
Xavier Boulnat (xavier.boulnat@insa-lyon.fr)
François Ropital (françois.ropital@insa-lyon.fr)
Sabrina Marcelin (sabrina.marcelin@insa-lyon.fr)
- Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures (LaMCOS UMR 5259)
Nicolas Tardif (nicolas.tardif@insa-lyon.fr)

Traitement :

- Bourse ministérielle (1650 nets/mois)
- Possibilité de réaliser des vacances en enseignements.