

Liens procédé-microstructure-propriétés en traction de l'acier inoxydable austénitique 316L élaboré par fabrication additive

Léo Monier

Supervised by Arthur Despres (SIMaP), Guilhem Martin (SIMaP), Jean-Jacques Blandin (SIMaP),
Muriel Veron (SIMaP) and Flore Villaret (EDF)

Thursday, December 14th 2023 – 13:30PM

Amphithéâtre Phelma Campus, 351 rue de la Chimie Domaine Universitaire 38400 Saint Martin
d'Hères

Jury :

Muriel VERON, Directrice de thèse
Julien ZOLLINGER, Rapporteur
Stephane GODET, Rapporteur
Sophie Cazottes, Examinatrice
Remy DENDIEVEL, Examineur
Benoit Malard, Examineur
Flore Villaret, Invité

Abstract : La mise en œuvre d'aciers inoxydables austénitiques 316L par fabrication additive, notamment par fusion laser sur de lit de poudre (LPBF) ou fusion par arc fil (WAAM) présente encore de nombreuses difficultés à la fois au niveau des procédés, des propriétés obtenues et de leur qualification. Il est notamment constaté que (i) la microstructure obtenue présente une certaine variabilité à la composition ; et que (ii) les propriétés en traction sont très différentes de celles de mesurées sur des produits issus de voies d'élaboration plus traditionnelles telles que le coulage et le forgeage. L'amplitude de ces différences peut être considérable, remettant alors en question leur utilisation dans diverses applications (nucléaire notamment) ainsi que la conception même des pièces sur la base de lois de comportement qui n'intègrent pas ces particularités. L'origine des différences de propriétés entre le matériau coulé/forgé et le matériau hérité de la fabrication additive est sa microstructure particulière qui revêt un caractère « hors équilibre » du fait de très grandes vitesses de refroidissement (de l'ordre de 10⁶ °C/s en LPBF) et un caractère anisotrope à cause du caractère directionnel du dépôt. Un premier volet de cette thèse a été consacré à la compréhension de l'origine de cette variabilité de microstructure à la composition. Deux aciers présentant deux microstructures différentes ont été élaborés par le procédé LPBF et leur microstructure a été caractérisée à différentes échelles. Plusieurs hypothèses ont été successivement envisagées et discutées pour déterminer l'origine de cette variabilité microstructurale. Il est probable que cette variabilité provienne d'une différence de phases primaire lors de la solidification, d'une solidification en austénite à une solidification en ferrite suivie d'une transformation de phase dite massive. Un second volet s'attache à dissocier l'effet des différents éléments microstructuraux (contraintes résiduelles, microségrégations, organisation des dislocations) sur les propriétés en traction. Des traitements thermiques ont été réalisés sur les deux aciers de manière à pouvoir mieux

dissocier l'effet de différents éléments de la microstructure. Des essais de traction sur plusieurs orientations de fabrication ont été menés. Pour mieux appréhender la loi de comportement de l'acier 316L hérité du LPBF, un modèle de Kocks-Mecking modifié intégrant l'effet de la taille des grains et du maillage a été utilisé. Il est montré que les paramètres décrivant la plasticité d'un état recristallisé peuvent décrire la plasticité de l'acier élaboré par LPBF, malgré les différences importantes de microstructure. Un troisième volet s'attache à la compréhension de la microstructure du 316L élaboré par WAAM ainsi que de son évolution avec les traitements thermiques. Cette évolution est hétérogène au sein du matériau. Sur la base des résultats de ce travail de thèse, des recommandations industrielles pour contrôler la microstructure et les propriétés mécaniques associées via un contrôle de la composition nominale et l'optimisation des traitements thermiques post-fabrication sont proposées.