

Fatigue de pièces métalliques obtenues par fabrication additive

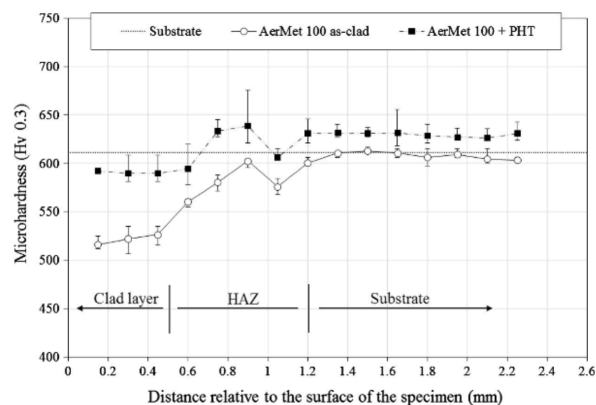
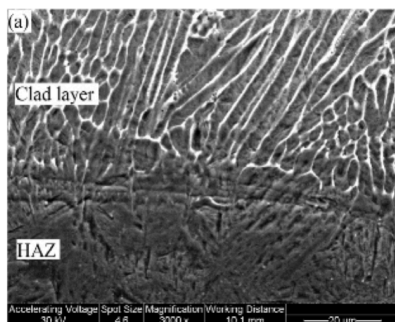
Sujet proposé par :

Eric CHARKALUK (DR CNRS) et Andrei CONSTANTINESCU (DR CNRS)

Laboratoire de Mécanique des Solides, UMR 7649 – Ecole Polytechnique

I. Problématique générale

La production et la réparation de pièces métalliques obtenues par fabrication additive pour différentes industries (spatial, aéronautique, bio-ingénierie, ferroviaire, ...) se développent aujourd'hui à très grande vitesse. Elles possèdent plusieurs avantages : utilisation de la matière juste nécessaire, initialement sous forme de poudre micrométrique, pas d'usage de moules ou outillages coûteux, obtention de formes complexes optimisables, ... Cette technique vient donc concurrencer des moyens de fabrication conventionnels comme les assemblages soudés, la fonderie, la forge ou l'usinage. Comme pour tout moyen de fabrication, les microstructures induites par ces nouveaux procédés sont très dépendantes des paramètres choisis (type et taille des poudres, type de procédé, puissance, vitesse de balayage, direction de construction, traitements de parachèvement, ...) et ces microstructures ont un impact direct sur les propriétés mécaniques obtenues, en particulier en fatigue [CHA15, REA15, LI16]. Dans le cas de la réparation de pièces, par exemple par un procédé de Laser Cladding, on retrouve alors des problématiques semblables à celles rencontrées dans les structures soudées (zone affectée thermiquement, gradients microstructuraux, ...) qui sont des zones de concentration de contraintes et d'amorçage de fissures [LOU16].



A gauche, microstructure obtenue par Laser Cladding sur un acier AerMet 100 et, à droite, variations de dureté entre la couche réparée, la zone affectée thermiquement et le métal de base [LOU16].

De nombreuses études ont ainsi démarré récemment afin de mieux comprendre les liens entre procédés, microstructures induites et propriétés mécaniques [SF215]. La plupart des résultats actuellement disponibles, encore très insuffisants par ailleurs, ont porté sur des techniques dits « à lit de poudre » dont les procédés principaux sont l'EBM (Electron Beam Melting) et le SLM (Selection Laser Melting). Les premiers résultats sur la résistance en fatigue d'éprouvettes obtenues par ce type de

procédé commencent tout juste à être publiés dans le cas d'alliages d'aluminium et de titane [BRA12, LI16,].

Les techniques de réparation par Laser Cladding, qui sont d'une grande importance dans de nombreux domaines industriels (aéronautique [CHE16], ferroviaire [RIN05], énergie [SHI12]), ont pour l'instant été moins étudiées et de nombreuses questions restent posées quant aux gradients de microstructure induits entre le métal déposé et le métal de base, au rôle joué par l'interface dans les mécanismes d'endommagement et la tenue en fatigue de telles structures réparées.

Dans ce projet, on propose d'étudier la fatigue de pièces métalliques obtenues par fabrication additive et l'optimisation du processus afin de pouvoir optimiser localement, dès la conception, la microstructure du matériau ainsi que l'état de surface de manière à obtenir, dans les zones les plus critiques au regard de la fatigue, un matériau « optimal ». On s'intéressera plus particulièrement aux techniques de Laser Cladding, procédés stratégiques pour la réparation locale de structures métalliques.

II. Programme de la thèse

Au sein de cet objectif général, on peut dégager des pistes plus précises dans le cadre de ce projet de thèse. Il s'agit de :

- participer à une meilleure compréhension du lien entre paramètres du procédé / microstructure / propriétés en fatigue, plus particulièrement dans le cas du procédé iClad,
- développer des techniques de détermination rapide des propriétés en fatigue adaptées à ces matériaux (type d'éprouvettes, zones d'analyse, chargements cycliques, ...),
- adapter les critères de fatigue existants aux spécificités des pièces réparées par fabrication additive (concentration de contraintes, gradient de microstructure, etc).

Références de l'équipe :

[AUR14] Auricchio, F., A. Constantinescu, and G. Scalet. "**Fatigue** of 316L stainless steel notched **µm-size components**." *International Journal of Fatigue* 68 (2014): 231-247.

[AUR16] Auricchio, F., et al. "A **shakedown analysis** of high cycle fatigue of shape memory alloys." *International Journal of Fatigue* (2016).

[BAU16] P. Baudoin, V. Magnier, A. El Bartali, J-F. Witz, P. Dufrenoy, F. Demilly and E. Charkaluk. Numerical investigation of **fatigue strength of grain size gradients materials** under heterogeneous stress states in a notched specimen, *Int. J. Fat.*, 87 :132-142, 2016.

[BER07] G. Bertolino, A. Constantinescu, M. Ferjani, P. Treiber, A multiscale approach of **fatigue and shakedown for notched structures**, *Theo. Appl. Frac. Mech.*, 48 : 140–151, 2007.

[BOS12] S.Bosia and A. Constantinescu. "Fast time-scale average for a **mesoscopic high cycle fatigue criterion**." *International Journal of Fatigue* 45 (2012): 39-47.

[CHA14] E. Charkaluk, A. Constantinescu, F. Szmytka, and S. Tabibian. Probability density functions : **from porosities to fatigue lifetime**. *Int. J. Fat.*, 63 :127–136, 2014.

[DEZ16] S. Dezecot, J-Y. Buffiere, A. Koster, V. Maurel, F. Szmytka, E. Charkaluk, N. Dahdah, A. ElBartali, N. Limodin, and J-F. Witz. In situ 3D characterization of high temperature **fatigue damage**

mechanisms in a cast aluminum alloy using synchrotron X-ray tomography. *Scr. Mat.*, 113 : 254-258, 2016.

[MBIA15] Mbiakop, A., A. Constantinescu, and K. Danas. "An analytical model for **porous single crystals** with ellipsoidal voids." *Journal of the Mechanics and Physics of Solids* 84 (2015): 436-467.

[MOU15] A-R. Moustafa, B. Berthel, S. Fouvry, and E. Charkaluk. Experimental study of **the stress gradient effect** under fretting loading by full field measurement techniques. *Wear*, 330-331 :160–169, 2015.

[TAB13] S. Tabibian, E. Charkaluk, A. Constantinescu, A. Oudin, and F. Szymtka. TMF criteria for **Lost Foam Casting aluminum alloys**. *Fat. Frac. Engng. Mat. Struct.*, 36(4) :349–360, 2013.

IV. Références

[BRA12] E. Brandl, U. Heckenberger, V. Holzinger, D. Buchbinder, Additive manufactured AlSi10Mg samples using Selective Laser Melting (SLM): Microstructure, high cycle fatigue, and fracture behavior, *Mat. Des.* 34 : 159–169, 2012.

[CHA15] V. Chastand, Y. Cadoret, W. Maia-Filho, A. Bernard, P. Quaegebeur, E. Charkaluk, Mechanical characterization of Aluminium specimens produced by Additive Manufacturing, Assises Européennes de la Fabrication Additive, juin 2015, Paris.

[CHE16] Y. Chen, K. Zhang, J. Huang, S.R.E. Hosseini, Z. Li, Characterization of heat affected zone liquation cracking in laser additive manufacturing of Inconel 718, *Mat. Des.*, 90 : 586–594, 2016.

[LI16] P. Li, D.H. Warner, A. Fatemi, N. Phan, Critical assessment of the fatigue performance of additively manufactured Ti–6Al–4V and perspective for future research, *Int. J. Fat.*, 85 : 130–143, 2016.

[LOU16] J.M. Lourenço, S. Da Sun, K. Sharp, V. Luzin, A. N. Klein, C.H. Wang, M. Brandt, Fatigue and fracture behavior of laser clad repair of AerMet 100 ultra-high strength steel, *Int. J. Fat.*, 85 : 18–30, 2016.

[MIMECA] <http://www.lms.polytechnique.fr/accueil/recherche/plateforme-microscopie-mesure-de-champs-et-analyses/>

[REA15] N. Read, W. Wang, K. Essa, M.M. Attallah, Selective laser melting of AlSi10Mg alloy: Process optimisation and mechanical properties development, *Mat. Des.* 65 : 417–424, 2015.

[RIN05] J.W. Ringsberg, A. Skyttebol, B.L. Josefson, Investigation of the rolling contact fatigue resistance of laser clad twin-disc specimens: FE simulation of laser cladding, grinding and a twin-disc test, *Int. J. Fat.*, 27 : 702–714, 2005.

[SF215] Colloque : « La métallurgie en fabrication additive », 18 et 19 novembre 2015, ENSAM Paris, <http://sf2m.fr/FabAdditive/>

[SHI12] S. Shi, A. Xu, J. Fan, H. Wei, Study of cobalt-free, Fe-based alloy powder used for sealing surfaces of nuclear valves by laser cladding, *Nucl. Engng. Des.* 245 : 8–12, 2012.

[STADY] <http://www.lms.polytechnique.fr/accueil/recherche/plateforme-moyens-d-essais-statiques-et-dynamiques/>