

Ecole virtuelle ALMA 2022

Programme provisoire

Première session - Vendredi 25 Mars 2022, 10h30-12h

Vaibhav Nain (IREPA Laser, IRDL Lorient et INSA Strasbourg). Thermo-mechanical model development and experimental validation for parts fabricated by DED

Traditional modeling strategies are not sufficient to tackle the issue of part-scale in DED. Also, considering the computation time (months), the traditional model is unable to simulate hundreds of meters of material deposition for large-scale part. Therefore, an efficient model that considers the deposition planning is developed. This efficient material deposition model is coupled with non-linear thermo-mechanical model that predicts the response of the material within practical computation time (hours/days). Finally, the efficient thermo-mechanical model is/can also be coupled with Inherent Strain model to simulate industrial large-scale parts. This further reduces the computation time and can be done on a conventional laptop within minutes. This model provides the tool to democratize simulation in DED industry where practical computation time and possibility to model large-part is a necessity.

Philippe Pilvin (IRDL Lorient). Sur le rôle de l'écrouissage dans la simulation de procédés thermomécaniques

De nombreux procédés dédiés aux matériaux métalliques sollicitent les points matériels de ces milieux continus de façon répétée (sur quelques cycles) avec des historiques thermiques et mécaniques variés. Pour décrire la réponse mécanique de ces alliages sous ces sollicitations évolutives, la question de la modélisation de l'écrouissage se pose surtout pendant les périodes où la température est inférieure à la moitié de leur température de fusion. Dans cet exposé, on rappelle les principaux modèles d'écrouissage (isotrope, cinématique, mixte) utilisés dans les codes de calcul actuels puis on illustre, par deux ou trois études de cas en soudage, les conséquences de ces choix sur les résultats en termes de distorsions et de contraintes résiduelles.

Deuxième session - Mardi 12 avril 2022, 14h-15h30

Shubham S. Joshi (GPM Rouen). Understanding straining mechanisms in Additively manufactured *vis-à-vis* the Cast Ni20Cr alloy

Additive manufacturing has proven to bring about numerous mechanical changes in the final fabricated product due to substantially high cooling rate. Furthermore, it alters the microstructure completely owing to the 'out of equilibrium conditions'. The typical changes in terms of mechanical properties in AM materials with respect to conventionally manufactured materials (casting) are higher Yield and Tensile stresses and lower degree of ductility. These features may be linked to high initial dislocation density, residual stresses, dislocation arrangement, small grain size, coherent and incoherent precipitates, etc. Yet it is nebulous is how these features are accurately linked to aforementioned alterations in the mechanical properties especially the flow stress. To understand this,

we studied Ni20Cr alloy system fabricated via two different routes i.e. AM (Laser powder bed fusion) and Cast. Cyclic uniaxial test Loading-Relaxation-Unloading (LRU) tests were performed to understand the influence of different flow stress components like Back and Effective stresses on deformation, in which back stress was found to be the major responsible factor for hardening in Cast with equal contributions of the two mentioned partials in LPBF Ni20Cr. And finally, we show how these flow stress partials are connected to microstructural features to understand the physical significance of hardening. Further thermal and thermal stress partials of effective stress and furthermore discuss the activation volume to analyse deformation thoroughly.

A. Oudriss, Xavier Feaugas (LaSIE La Rochelle). Experimental approaches of the correlations between internal stresses and dislocations structures in FCC alloys

La nature des structures de dislocations formée lors d'une sollicitation mécanique et sa possible implication dans l'état mécanique de l'alliage est un sujet ancien. Pour autant, ce dernier anime toujours la communauté de la plasticité que ce soit sous l'angle de la genèse de ces structures que leurs conséquences sur l'état de contraintes internes développées. Bien que de nombreux travaux de modélisation existent, nous nous restreindrons ici à des études associant des observations en microscopie en transmission et des essais mécaniques dédiés à évaluer des états de contraintes internes aux échelles macroscopiques et mésoscopiques. Dans un premier temps nous rappelons, les différents types de structures de dislocations et leurs conditions de formation en fonction de l'orientation du cristal (monocristal et/ou grain) et du type de sollicitations (traction ou fatigue). Nous discutons des différents éléments physiques les caractérisant (densités de dislocations, tailles caractéristiques) pour en venir à des corrélations et des principes souvent énoncés. Dans un deuxième temps, le lien direct entre contraintes internes et structures de déformation est illustré en fatigue comme en traction sur des métaux et alliages tel que le 316L, le nickel, le nickel-chrome et le nickel en présence d'hydrogène. Dans un dernier temps, nous montrons comment la nano-indentation instrumentée ouvre un nouveau champ d'investigation en particulier en termes de mesure locale des états de contraintes internes.

G. Hachet, A. Oudriss, A. Barnoush, T. Hajilou, D. Wang, A. Metsue, X. Feaugas. Antagonist softening and hardening effects of hydrogen investigated using nanoindentation on cyclically pre-strained nickel single crystal (2021) Materials Science and Engineering A, 803, art. no. 140480.

G. Hachet, A. Oudriss, A. Barnoush, R. Milet, D. Wan, A. Metsue and X. Feaugas Impact of hydrogen on the cyclic behaviour of <001> oriented nickel single crystal. Part I: dislocations organisations and internal stresses, International Journal of Plasticity, 126 (2020) 102611.

I.M.A. Ghermaoui, A. Oudriss, A. Metsue, R. Milet, K. Madani, X. Feaugas, A multiscale approach of hydrogen induced softening on f.c.c. nickel single crystal oriented for multi-slips: elastic screening effect, Scientific Report, 9(1) (2019) 13042.

A. Oudriss, X. Feaugas, "Length scales and scaling laws for dislocation cells developed during monotonic deformation of (001) nickel single crystal", International Journal of Plasticity, 78 (2016) 187-202.

G. Girardin, C. Huvier, D. Delafosse, X. Feaugas, "Correlation between dislocation organization and slip bands: TEM and AFM investigations in hydrogen-containing nickel and nickel–chromium", *Acta Materialia*, 91 (2015) 141-151.

C. Keller, E. Hug, X. Feaugas, "Microstructural size effects on mechanical properties of high purity nickel". *International Journal of Plasticity*, 27, 4, (2011) 635-654

X. Feaugas, H. Haddou, "The effects of grains size on dislocations features and internal stresses developed under tensile loading on fcc metals", *Phil. Mag.*, 87 (2007) 989.

X. Feaugas, « On the origin of tensile flow stress in the stainless steel AISI 316L at 300K: Back stress and effective stress », *Acta Materialia*, Vol. 47, N°13 (1999) 3617-3632.

Troisième session - Mercredi 08 juin 2022, 10h30-12h

Lydie Mas (CRISMAT Caen). Étude de l'influence de la microstructure sur les mécanismes de passivité électrochimique d'un alliage Ni20Cr élaboré par fabrication additive

L'objectif de la thèse est d'étudier l'impact microstructural d'un alliage Ni20Cr élaboré par fabrication additive sur la tenue à la corrosion électrochimique. Pour cela, le procédé de fusion laser sur lit de poudre est utilisé pour fabriquer les différents échantillons de Ni20Cr. Ce procédé possède plusieurs paramètres tels que l'énergie de construction, l'angle de rotation entre chaque couche, l'épaisseur de la couche déposée, la vitesse de balayage du laser... Dans ce travail, nous avons fixé l'énergie de construction et fait varier l'angle de rotation entre chaque couche. Ce changement de stratégie permet d'obtenir des configurations de bains de fusion très différentes les unes des autres. Afin d'étudier l'impact de la microstructure sur les mécanismes de passivité de l'alliage Ni20Cr, des courbes de polarisation seront tout d'abord présentées en milieu neutre peu agressif 0,1M Na₂SO₄, pour obtenir les caractéristiques intrinsèques de la couche passive, puis en milieu 0,1M NaCl, pour étudier l'effet des ions Cl⁻ sur la passivité et la piqûration. Ensuite, des courbes de spectroscopie d'impédance électrochimique seront présentées pour mieux comprendre les propriétés électriques de la couche d'oxyde et savoir si elle est plutôt résistive ou capacitive pour le transfert d'électrons. Finalement, dans le but d'étudier les propriétés semi-conductrices de la couche passive, des courbes de Mott-Schottky seront également discutées pour analyser la nature du ou des oxydes présents en surface (Cr₂O₃ et NiO) ainsi que la densité de porteurs de charges. Les différentes techniques électrochimiques seront présentées suivant les différents milieux et la stratégie adoptée. Enfin, des expériences préliminaires en milieu NaCl seront exposées dans le but de mieux comprendre les processus de piqûration en lien avec la stratégie utilisée.

Christine Blanc (CIRIMAT, Toulouse INP). Passivité, corrosion et fabrication additive

La tenue à la corrosion des matériaux est un enjeu industriel majeur, qui ne peut être ignoré dès qu'il est question du développement d'un nouveau procédé d'élaboration et/ou de mise en forme. Très souvent, les mécanismes de corrosion observés doivent être mis en lien avec les propriétés des films passifs développés à la surface des matériaux. Cet exposé débutera par quelques notions fondamentales sur la corrosion et la passivité. Quelques exemples de travaux sur les aciers inoxydables seront ensuite présentés pour montrer la relation entre microstructure du matériau, propriétés du film

passif et tenue à la corrosion. Enfin, l'exposé sera focalisé sur les microstructures héritées de la fabrication additive, en particulier pour un acier inoxydable martensitique, et sur l'impact des spécificités microstructurales associées à ces nouveaux procédés sur les propriétés des films passifs et la tenue en corrosion qui en résulte.

Quatrième session - Mardi 05 juillet 2022, 14h-15h30

Vanina Pelouard (CIRIMAT Toulouse) / Didier Bardel (Framatome). La fabrication additive pour les assemblages de combustible nucléaire et l'application au cas du superalliage 718

La fabrication additive (AM) devient un mode de fabrication de plus en plus accepté dans le monde industriel et de nombreux fabricants d'équipements l'utilisent pour fournir des produits de pointe, non fabricables par des procédés de fabrication conventionnel. La maturité de ces technologies la rend également d'intérêt pour des applications critiques, telles que rencontrées dans le domaine nucléaire.

Après une introduction aux applications et matériaux pour combustible nucléaire, la présente communication focalisera sur la thématique de la corrosion sous contrainte appliquée à l'alliage 718. La présentation permettra de présenter ce mode de dégradation, les enjeux liés à sa compréhension et les verrous qu'induisent le passage à la fabrication additive LPBF. Pour conclure, des premiers résultats obtenus dans le cadre d'une thèse Framatome-CIRIMAT seront présentés.

Cinquième session - Mardi 04 octobre 2022, 14h-15h30

Anthony Dellarre (G-SCOP). Monitoring visuel du bain de fusion lors de la fabrication WAAM pour un asservissement en boucle fermée

La littérature montre des liens entre les défauts des pièces produites en WAAM et une mauvaise maîtrise de la thermique durant la fabrication. Pour augmenter cette maîtrise, nous proposons de réaliser une mesure in-process en condition de fabrication classique. Le choix de la grandeur physique à mesurer est primordial. La zone où se concentrent les événements thermiques principaux est le bain de fusion. Cependant, obtenir le champ de température du bain de fusion est délicat. C'est pourquoi nous avons choisi la mesure d'une grandeur physique fille au champ de température : le rayonnement infrarouge du bain fusion. L'une des problématiques de ma thèse est de relier les informations reçues par le capteur aux paramètres de fabrication pour maintenir les bonnes conditions thermiques pendant la production.

Cyril Bordreuil (LMGC Univ. Montpellier/CNRS). Analyse expérimentale de la stabilité thermo-hydraulique des dépôts en Fabrication Additive Arc Fil

Le procédé de Fabrication Additive Arc Fil se développe de plus en plus aujourd'hui. Il est en général constitué d'un robot anthropomorphe qui déplace une torche de soudage ce qui permet de réaliser des pièces de grandes dimensions. De nombreux projets ont fait la preuve de l'intérêt de cette technologie.

La physique du dépôt de métal liquide est bien maîtrisée pour une opération de soudage lors de l'assemblage de deux pièces ou de deux composants. La fabrication additive modifie considérablement les configurations de dépôt en particulier lors de la réalisation de parois minces. Le phénomène d'effondrement peut être important lorsque l'empilement des couches se fait sur un substrat dont la normale n'est pas dans la direction de la gravité. D'autre part, l'addition successive de matière peut créer une modification de la géométrie du cordon qui peut devenir moins régulier. Des ondulations peuvent apparaître qui ont tendance à s'amplifier au cours de la fabrication et nuire ainsi à l'intégrité de la pièce. La géométrie du cordon est pilotée par un couplage entre la gravité, les tensions de surface (mouillage et leur gradient) et la température de la zone liquide. La compréhension de ces phénomènes et de leur couplage est aujourd'hui encore difficile même avec les nombreux outils numériques performants. Un dispositif de contrôle doit bien souvent être embarqué pour détecter l'apparition de différents défauts lors du dépôt de matière.

Dans cet exposé, on se propose de présenter dans un premier temps des capteurs permettant d'analyser la géométrie et la température du bain en cours de fabrication. Puis, on étudiera en particulier les fluctuations des différentes grandeurs mesurées dans différentes configurations simples pour mettre en évidence les rôles de la gravité, de la température et de la taille du bain. L'un des objectifs est de montrer comment certains paramètres procédés influent sur les physiques (dynamique des fluides et thermique) du bain. Pour conclure, on proposera des pistes pour contrôler la fabrication en cours de dépôt.

Sixième session - Mardi 08 novembre, 14h-15h30

Pablo Wilson / Nicolas Saintier (I2M Bordeaux). Caractérisation et modélisation des populations de défaut pour la prédiction de la tenue mécanique