



*« Impact du procédé de fabrication :
Microstructure et Durabilité »*



Arts et Métiers ParisTech, Campus d'Angers

Impact du procédé de fabrication : Microstructure et Durabilité

	2 avril 2015
HORAIRE	ENSAM d'Angers
8:30-9:00	Accueil des participants
9:00-9:30	Allocution de Bienvenue (E. Hug, F. Morel, E. Giraud)
9:30-10:00	Guillaume Rückert (CESMAN-DCNS) "Comportement mécanique des alliages de titane moulés et forgés: Applications dans le contexte du naval et des Sous-Marins"
10:00-10:30	Patrice Peyre (PIMM, Arts et Métiers Paris) "Développement récents en fabrication additive par projection laser"
10:30-11:00	Jacques Noudem (CRISMAT, Université de Caen) "Frittage par Spark Plasma Sintering des matériaux fonctionnels"
11:00-11:45	Pause - Session Poster
11:45-12:15	Nathalie Baclet (IRT Jules Verne) "Mise en forme couplée Hot Forming / Super Plastic Forming (HF /SPF) d'alliages de titane"
12:15-12:45	Cédric Doudard (LBMS, ENSTA Bretagne) "Prise en compte de l'influence du procédé sur la tenue à la fatigue : application à une tige fémorale"
12:45-14:00	Déjeuner - Session Poster
14:00-14:30	Francisco Chinesta (GeM, Ecole Centrale Nantes) "Le triplet procédé - microstructure - propriétés dans les fluides microstructurés, polymères renforcés et nanocomposites"
14:30-15:00	Dominique Thiaudière (Synchrotron Soleil) "Relation microstructure/durabilité des matériaux: apport des grands instruments"
15:00-15:30	Prix Master Kubat Narynbek Ulu (GeM, Ecole Centrale Nantes) "Influence of Air and Seawater on Fatigue Behavior of Natural Rubber"
15:30-16:15	Pause - Session Poster
16:15-16:45	Conclusion de fin de journée

Introduction

La journée annuelle de la Société Française de Métallurgie et de Matériaux (SF2M section Ouest) se déroule le 2 Avril 2015 au sein du campus d'Angers d'Arts et Métiers ParisTech. Elle est conjointement organisée par le Laboratoire Angevin de Mécanique, Procédés et innovAtion (LAMPA, EA 1427) et la section Ouest de la SF2M.

Cette journée fait partie intégrante d'un grand événement pour la ville d'Angers : le bicentenaire du campus des Arts et Métiers. Pour célébrer cet anniversaire particulier, tous les acteurs de l'école se mobilisent pour organiser des manifestations exceptionnelles, en particulier des conférences historiques, techniques et scientifiques.

La journée SF2M Ouest à vocation scientifique a donc pour objectif d'encourager les échanges entre les laboratoires universitaires du Grand Ouest et les industriels partenaires, ainsi que de promouvoir la recherche dans le domaine de la Science des Matériaux. Le thème retenu pour cette année est :

"Impact du procédé de fabrication : Microstructure et Durabilité"

Ce thème renvoie à des problèmes industriels et/ou académiques fondamentaux complexes sur lesquels une recherche active et innovante est menée au sein du LAMPA mais plus largement dans de nombreux laboratoires du grand Ouest.

Comité d'Organisation

- Franck MOREL
- Eliane GIRAUD
- Christina CABANETOS

Remerciements

Le comité d'organisation remercie chaleureusement l'association ARTS pour leur soutien financier.

Il remercie, de plus, le campus Arts et Métiers ParisTech d'Angers et ses équipes pour la mise à disposition et l'organisation des salles.

Enfin, il remercie le Laboratoire Angevin de Mécanique, Procédés et innovAtion pour son appui logistique.

Table des matières

COMPORTEMENT MECANIQUE DE NANOSTRUCTURES InP/Si, E. Le bourhis.....	1
Mechanical behavior of thin metallic films submitted to cyclic deformation, P. Goudeau [et al.]	2
MISE EN FORME COUPLEE HOT FORMING / SUPERPLASTIC FORMING D'ALLIAGES DE TITANE, A. Giraudet [et al.]	3
Influence des hétérogénéités microstructurales sur la tenue en fatigue multiaxial à grand nombre de cycles des alliages d'aluminium de fonderie, V. Le.....	4
Impact de la technique d'élaboration sur le comportement en corrosion d'alliages de Ni-W, M. Lagarde [et al.]	6
Optimisation de la chimie de superalliages base nickel à l'aide d'algorithmes génétiques multi-objectifs, E. Menou [et al.]	8
Elaboration de surfaces nano/micro-structurées pour limiter l'adhésion de micro-organismes, H. Fabre [et al.]	9
Approches multi-échelles pour l'étude de l'endommagement des outils de matriçage (X40CrMoV5-1), A. Alimi [et al.]	10
Effet des défauts d'usinage sur la tenue en fatigue d'un alliage Al7050, F. Abroug [et al.]	11
DISPOSITIF D'EXPANSION BIAXIALE A HAUTE TEMPERATURE, N. Demazel [et al.]	12
ETUDE DE LA TRANSFORMATION DE PHASE ? ? ? DANS L'ALLIAGE Ti-6Al-4V EN REFROIDISSEMENT CONTINU, N. Kherrouba [et al.]	13
INFLUENCE D'UN PRE-ECROUISSAGE MONOTONE SUR LE COMPORTEMENT CYCLIQUE DE MATERIAUX PRESENTANT DIVERSES ENERGIES DE FAUTE D'EMPILEMENT, G. Marnier [et al.]	14
Influence de la nature des joints de grains sur les mécanismes d'endommagement assisté par l'hydrogène, A. Oudriss [et al.]	15
Influence d'entailles micrométriques sur la résistance à la fatigue d'un alliage de Titane, J. Simon [et al.]	16
Contribution à l'optimisation de la modélisation de l'usinage de l'alliage de titane, M. Yaich.....	17
ETUDE EXPERIMENTALE ET MODELISATION DE LA MISE EN FORME A CHAUD D'ALLIAGES D'ALUMINIUM INNOVANTS, W. Younes.....	19
NOUVELLES CITERNES ROUTIERES EN MATERIAUX COMPOSITES SOUMISES A DES SOLlicitATIONS COMPLEXES, M. Crozatier [et al.]	20
Modélisation des effets de Défauts et d'Intégrité de Surface sur la tenue en Fatigue dans les composants forgés, B. Gerin [et al.]	21
NOUVELLES CITERNES ROUTIERES EN MATERIAUX COMPOSITES SOUMISES A DES SOLlicitATIONS COMPLEXES, M. Haddad [et al.]	22
ETUDE NUMERIQUE ET EXPERIMENTALE DES EVOLUTIONS MICROSTRUCTURALES DANS LES MATERIAUX METALLIQUES SOUS SOLlicitATIONS CYCLIQUES, J. Zghal [et al.]	23
Influence des interactions défauts géométriques / microstructure sur l'endommagement en fatigue à grand	

nombre de cycles d'alliages métalliques, B. Bracquart [et al.]	25
Etude de l'effet de différents traitements thermochimiques de surface sur les propriétés en fatigue des aciers à partir d'essais d'auto-échauffement sous sollicitation cyclique, S. Calloch [et al.]	27
Influence des défauts d'emboutissage de tissus sur la durabilité des structures composites, I. Derbali. 28	
Apport de nouvelles méthodes de caractérisation des champs cinématiques et thermiques en conditions thermomécaniques extrêmes, B. Zeramdini [et al.]	30
Réduction dimensionnelle de type PGD pour le calcul numérique en fatigue à grand nombre de cycles, M. Nasri.....	31
Martensitic transformation effect on the mechanical behavior of TRIP austenitic stainless steel during forming process, Y. Demmouche.....	35
Determination of Shape Memory Alloys fatigue properties by classic and self-heating techniques: processing effect, S. Arbab chirani [et al.]	36
Projet SIMSCEF : SIMulation Stochastique des matériaux Composites Endommagés en Fatigue, E. Gauthier.....	37

COMPORTEMENT MECANIQUE DE NANOSTRUCTURES INP/SI

Eric Le Bourhis¹, Konstantinos Pantzas^{1,2}, Gilles Patriarche², A. Itawi², G. Beaudoin², Isabel le Sagnes², Anne Talneau², David Troadec³

(¹) Institut P', CNRS-Université de Poitiers, 86962 Futuroscope-Chasseneuil

(²) Laboratoire de Photonique et de Nanostructures, UPR20 CNRS, 91460 Marcoussis

(³) IEMN, 59652 Villeneuve d'Ascq

Mots clés : Collage hétéroépitaxial, Interface, Nanoindentation, Microscopie électronique en transmission.

Résumé

Les réseaux de télécommunications requièrent des débits de transmission de plus en plus élevés pour faire face à l'explosion du volume de données transportées ces dernières années. La fabrication de composants hybrides qui combinent des éléments actifs, réalisés en matériaux III-V tels que l'InP, et de guides, passifs réalisés en Silicium, est une voie prometteuse pour atteindre ces débits. Les techniques habituelles de collage se servent de couches oxydes pour coller les III-V sur le Silicium. Cette couche pénalise le composant final car elle induit des pertes optiques, thermiques et électriques.

Le collage hétéroépitaxial permet le transfert direct de composants réalisés en III-V sur le Silicium, sans couche intermédiaire d'oxyde. Dans la présente étude (ANR P2N 2012 COHEDIO), l'adhésion de membranes InP transposées sur Silicium par cette nouvelle technique est étudiée par la combinaison de la nano-indentation et de la microscopie en transmission à balayage (STEM).

L'étude a été menée sur des membranes InP d'une épaisseur de 450nm, transférées sur substrat Silicium par collage hétéroépitaxial. Le détail du transfert des couches d'InP utilisées dans cette étude est donné dans [1]. Les membranes ont ensuite été soumises à des tests de charge dans un nano-indenteur NHT de CSEM équipé d'une pointe Berkovich en diamant. La charge maximale de test a été variée entre 5mN et 50mN [2]. Des lames qui traversent les zones d'indentation ont été ensuite préparées par FIB pour l'observation en STEM.

Sous une charge de 20mN, on observe un empilement de l'InP et un décollement local de la membrane de part et d'autre de la zone indentée (identifiée par l'empreinte de la pointe d'indentation). Ce décollement résulte de la rotation des plans dans l'InP observée au voisinage de la zone indentée, de 16° en moyenne pour une charge appliquée de 20mN. La géométrie et la longueur de la fissure à l'interface InP/Si permettent, en particulier, de calculer l'énergie d'adhésion de la membrane [3]. Les premiers résultats indiquent que l'énergie du joint est de l'ordre de 0.6 J/m², ce qui indique une bonne reconstruction de l'interface InP/Si.

Références

- [1] A. Talneau, C. Roblin, A. Itawi, O. Mauguin, L. Largeau, G. Beaudoin, I. Sagnes, G. Patriarche, C. Pang, H. Benisty (2013) « Atomic-plane-thick reconstruction across the interface during heteroepitaxial bonding of InP-clad quantum wells on silicon », Appl. Phys. Lett., 102, 212101.
- [2] E. Le Bourhis (2014) « Glass mechanics and Technology », 2nd Ed., Wiley, Weinham.
- [3] K. Pantzas, G. Patriarche, E. Le Bourhis, D. Troadec, A. Itawi, G. Beaudouin, I. Sagnes, A. Talneau (2013) « Evaluation of the Surface Bonding Energy of an InP Membrane Bonded Oxide-Free to Si Using Instrumented Nanoindentation », Appl. Phys. Lett., 103, 081901.

MECHANICAL BEHAVIOR OF THIN METALLIC FILMS SUBMITTED TO CYCLIC DEFORMATION

Wei HE, Philippe GOUDEAU, Eric LE BOURHIS, Pierre-Olivier RENAULT

Institut Pprime, CNRS-Université de Poitiers-ENSMA, Futuroscope, France

Keywords : ion beam sputtering, Kapton, uniaxial testing, X-ray diffraction, Bauschinger effect

Abstract

Thin metallic films deposited on polymer substrates are widely used in flexible electronic devices. The lifetime of such systems is strongly dependent on their mechanical performance since they are submitted to complex thermo-mechanical loadings in use. It is well known that plastic deformation in one direction can affect subsequent plastic response in reverse direction. One consequence is the decrease of the yield strength of a metal when the stress direction is changed. This specific mechanical response evidenced in bulk polycrystalline materials is known as the Bauschinger effect. It is then important for flexible electronics applications to verify if this effect appears also in our composites since these systems are subjected to multiple strain cycles. Moreover, the nanometric length scale in such systems may influence the thin film mechanical properties.

Mechanical testing in bulk material using cyclic deformation tests in tension and compression are well established. This is more difficult for thin films due to geometrical constraints since the large lateral dimension/thickness ratio and compliance of polymer substrate may lead to thin film-substrate buckling during compression. Moreover, tension and compression must be applied in the same experiment. Recently, we demonstrated that compressive and tensile stresses can be applied in the film with uniaxial tensile tester when using thin films deposited on pre-stretched compliant substrates [1]. The applied strain is measured thanks to digital image correlation – DIC method while the elastic/plastic response of the film is obtained through x-ray diffraction analysis (figure 1) [2]. 300 nm Ni films have been deposited on dog-bone polyimide substrate. The evolution of the lattice strain versus true strain for three cycles of tensile and compressive testing is shown in Figure 2. As can be seen, in tensile mode, after a short and rapid linear behavior (elastic regime: green line), the lattice strain is lower than the true strain but continues to increase (plastic regime). Upon unloading, the behavior is almost the same. However, it is tricky to determine whether the thin film hardens isotropically or not. Further study needs to be continued especially concerning the damages which may appear at large strains (buckling and cracks) and the role of residual stresses.

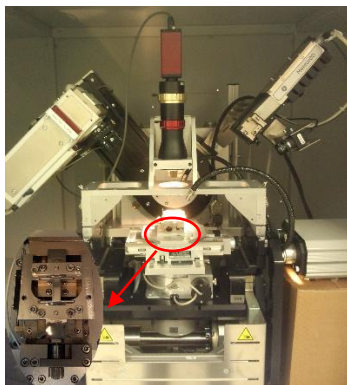


Fig. 1. X-ray diffractometer and DIC system together with tensile tester including pre-stretched grips.

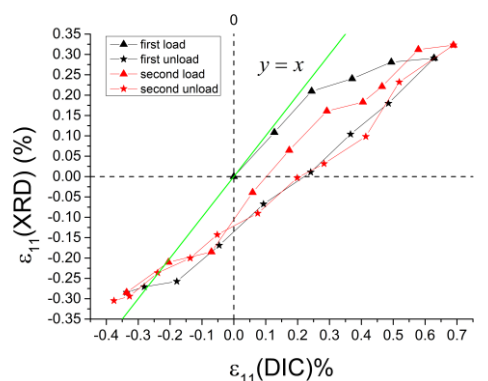


Fig. 2. Lattice strain as a function of true strain for 300nm Ni film.

References

- [1] P.-O. Renault et al. Materials Letters 73 (2012) 99–102.
- [2] S. Djaziri et al. Journal of Applied Physics 116 (2014).

MISE EN FORME COUPLEE HOT FORMING / SUPERPLASTIC FORMING D'ALLIAGES DE TITANE

Arnaud GIRAUDET ^(1,2), Franck TANCRET ⁽²⁾, Frédéric CHRISTIEN ⁽²⁾ ...

⁽¹⁾ Institut de Recherche Technologique Jules Verne, Chemin du Chaffault, 44340 BOUGUENNAIS

⁽²⁾ Institut des Matériaux Jean Rouxel (IMN), Université de Nantes, CNRS, Polytech Nantes, Rue Christian Pauc, 44306 NANTES Cedex 3

Mots clés : Hot Forming, SuperplasticForming, recristallisation.

Résumé

Le « SuperplasticForming » (SPF) permet de former des pièces complexes grâce à une déformation très lente induite par la pression d'un gaz neutre exercée sur une tôle. Ce procédé présente cependant le désavantage d'être cher à cause de la durée importante des cycles. Le Hot Forming a donc été mis au point afin de pallier ce problème, mais ce procédé présente le désavantage de ne pouvoir réaliser que des géométries simples. Ces travaux interviennent dans le cadre d'un projet visant à créer un procédé mixte HF/SPF[1,2](figure 1) combinant les avantages des deux technologies: temps de cycle court et formage de pièces complexes.

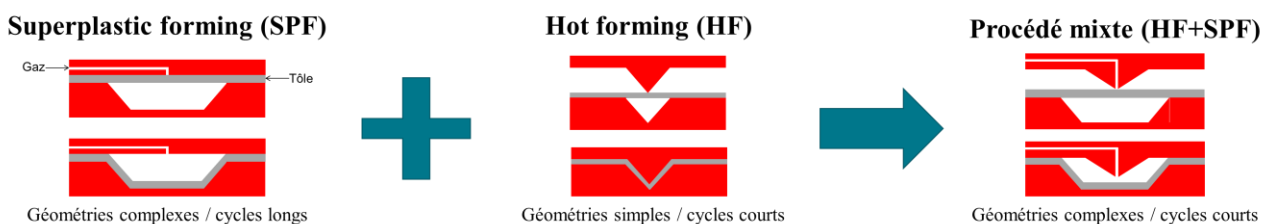


Figure 1 : représentation schématique des différents procédés.

Ces travaux se concentrent sur les aspects métallurgiques de ce procédé hybride dans le cas de l'alliage de titane TA6V. Nos expérimentations sont basées sur des tests de traction uniaxiaux avec deux vitesses de déformation et une température constante. Les phénomènes métallurgiques et mécanismes de déformation étant différents pour chacune des deux étapes du procédé (recristallisation dynamique, grossissement de grain, glissement aux joints de grain...), la microstructure finale (distribution de taille de grains, texture...) ainsi que les propriétés mécaniques (limite d'élasticité, contrainte d'écoulement, ductilité), dépendent de la température et des différents couples de vitesses de déformation appliqués en HF et SPF.

Nos travaux portent notamment sur l'influence de la prédéformation (HF) sur le comportement du matériau lors du basculement vers l'étape de mise en forme superplastique (SPF). Nous nous intéresserons particulièrement aux changements de microstructure induits par cette étape HF et leur influence sur le SPF.

Références

- [1] Luo Y, Luckey SG, Friedman P a., Peng Y. Int J Mach Tools Manuf 2008;48:1509.
- [2] Guo M-L, Liu J, Tan M-J, Chua B-W. Procedia Eng 2014;81:1090.

Etude de l'influence des hétérogénéités microstructurales sur la tenue en fatigue multiaxial à grand nombre de cycles des alliages d'aluminium de fonderie

Viet-Duc LE (^{1,2,3}), Franck MOREL (¹), Daniel BELLETT(¹), Nicolas SAINTIER(²),
Pierre OSMOND (³)

(¹) LAMPA, Arts et métiers ParisTech, Centre d'Angers, FRANCE

(²) I2M, Arts et métiers ParisTech, Centre de Bordeaux, FRANCE

(³) PSA Peugeot Citroën, La Garenne-Colombes, FRANCE

Mots clés : Alliages d'aluminium de fonderie, fatigue, multiaxial, grand nombre de cycles, défaut

Résumé

L'objectif de cette étude est de caractériser expérimentalement et de modéliser les effets des hétérogénéités microstructurales sur la tenue en fatigue à grand nombre de cycles sous des chargements multiaxiaux des alliages d'aluminium de fonderie.

De nombreux travaux de la littérature ont mis en évidence l'effet de la présence des hétérogénéités microstructurales (porosités, inclusions...) sur la résistance en fatigue. Néanmoins, même si cette tendance est qualitativement acceptée, les mécanismes pilotant la dégradation de la durée de vie, tout particulièrement dans le cas de sollicitations multiaxiales, sont encore peu compris. Le groupe PSA désire développer différentes familles de moteurs répondant à différentes contraintes de performance et aussi de concurrence. Il dispose donc de plusieurs technologies de fonderie des alliages aluminium qui présentent différentes natures d'hétérogénéités. Ainsi, si l'on souhaite estimer efficacement le potentiel des différentes solutions procédé à disposition chez PSA, il apparaît nécessaire de se doter d'outils permettant une prise en compte de l'influence des hétérogénéités induits par le procédé dans la filière dimensionnement à la fatigue polycyclique.

En nous basant sur les démarches expérimentales mises en place dans le cadre de la thèse d'Imade Koutiri [1], nous disposons d'une campagne d'essais avec trois nuances différentes (*moulé en coquille par gravité, moulé par moule perdu (PMP) et moulé par moule perdu puis post-traité par Compaction Isostatique à Chaud (CIC)*) qui seront soumises aux différents natures de chargement (uniaxiaux, multiaxiaux). De plus, afin d'avoir des données précises sur la microstructure des nuances étudiées, nous disposons aussi de moyens permettant de caractériser des porosités en 3D (cellule de micro-tomographie) ainsi que de la structure granulaire (EBSD).

Afin de clairement dissocier les effets de la matrice et des pores sur le comportement en fatigue, des observations des mécanismes d'amorçage et de micro-propagation relatives à la nuance ayant subi un traitement CIC ont d'abord été conduites. Elles ont permis de mettre clairement en évidence les rôles respectifs des inclusions (surtout de particules de Si) et de la matrice dans la formation des bandes de glissement persistentes. Ces dernières sont apparues comme la cause principale de l'amorçage des fissures et ceci quel que soit le mode de chargement (traction, torsion et traction

torsion combinées). Pour ce qui est de l'effet des porosités, les résultats sous chargements de traction et de torsion appliqués aux différentes nuances ont permis :

- de démontrer une criticité bien plus faible des défauts en cisaillement pur qu'en traction,
- de pouvoir quantifier le rôle exact des pores sur la résistance en fatigue, et ceci grâce à la connaissance de la réponse en fatigue de la nuance avec CIC, considérée comme référence.

Références

1] Koutiri, I, Morel, F, Bellett, Daniel, Effet des fortes contraintes hydrostatiques sur la tenue en fatigue des matériaux métalliques, Thèse doctorat 2011

Impact de la technique d'élaboration sur le comportement en corrosion d'alliages de Ni-W

M. LAGARDE ⁽¹⁾, N. SHAKIBI NIA⁽¹⁾, C. SAVALL⁽¹⁾, X. FEAUGAS⁽¹⁾, J. CREUS⁽¹⁾

⁽¹⁾LaSIE UMR 7356 CNRS, Université de la Rochelle, Av. Michel Crépeau, 17042 La Rochelle, France.

Mots clés : Ni-W, corrosion, électrodéposition, état métallurgique, élaboration...

Résumé :

De nos jours, les matériaux et revêtements nanostructurés font l'objet de nombreuses études afin notamment de pouvoir répondre à des sollicitations mécaniques et environnementales de plus en plus sévères dans différents domaines tels que l'automobile, l'aéronautique ou encore le nucléaire... Un grand nombre de résultats rapporte une amélioration des propriétés mécaniques lorsque la taille de grains atteint le domaine nanométrique. Au contraire, aucun lien direct n'a réellement pu être établi entre l'évolution de la taille de grains et le comportement en corrosion de ces alliages nanostructurés. En effet, la résistance à la corrosion se trouve aussi être influencée par différents paramètres métallurgiques comme la contamination, la texture cristallographique ou encore la rugosité de surface... Notre objectif est donc de mettre en œuvre une démarche systématique afin de mieux comprendre l'influence des paramètres microstructuraux sur le comportement en corrosion des alliages nanocristallins de Ni-W.

Des revêtements Ni-W de différentes teneurs en tungstène (0 à 18% at.) et tailles de grains (de 5 à 800 nm) sont obtenus par électrodéposition en courant direct ou pulsé à l'aide d'un bain composé de sels et oxydes métalliques de ces deux métaux et de certains additifs. L'état métallurgique des échantillons à différentes échelles est ensuite étudié par plusieurs techniques (MEB, MET, EBSD, DRX...)[Shakibi Nia2014-1]. Des essais électrochimiques sont réalisés en milieu acide (H₂SO₄ 1M) et basique (NaCl 0,6M porté à pH 10) désaérés afin d'obtenir différents paramètres cinétiques caractéristiques du comportement des échantillons en corrosion.

Les résultats obtenus concernant la corrosion montre que l'ajout de tungstène affecte les caractéristiques du film passif en milieu acide et favorise une corrosion localisée en milieu alcalin. L'addition du tungstène a donc une influence notable sur la tenue en corrosion de ces alliages mais cette dernière ne peut être simplement reliée à la diminution de la taille de grains[Shakibi Nia2014-2]. En effet, la corrélation avec d'autres paramètres cités précédemment ne peut être négligée.

Dans l'objectif de compléter ces études sur les alliages de Ni-W, d'autres techniques de synthèses vont être utilisées (Frittage Flash, PVD et SMAT sur Nickel) afin d'évaluer l'impact de la méthode de synthèse sur les états métallurgiques et donc sur la résistance en corrosion de ces nanomatériaux. Des études complémentaires seront réalisées sur des revêtements Ni-W électrodéposés subissant des traitements de recuit afin d'observer les réorganisations pouvant s'opérer et donc les changements de comportement en corrosion qui en découlent à iso-composition en élément d'alliage.

Références :

[Shakibi Nia2014-1] N. Shakibi Nia, J. Creus, X. Feaugas, C. Savall (2014) The effect of tungsten addition on metallurgical state and solute content in nanocrystalline electrodeposited nickel. J. of Alloys and Compounds 609:296-301

[Shakibi Nia2014-2] N. Shakibi Nia (2014) Relations état métallurgique/propriétés dans les alliages électrodéposés de Ni-W nanostructurés. Thèse Université de la Rochelle 155-175

Optimisation de la chimie de superalliages base nickel à l'aide d'algorithmes génétiques multi-objectifs

Edern MENOUE^(1,2), Gérard RAMSTEIN⁽²⁾, Emmanuel BERTRAND⁽¹⁾,

Franck TANCRET⁽¹⁾

⁽¹⁾ Institut des matériaux Jean Rouxel

⁽²⁾ Laboratoire d'informatique de Nantes Atlantique

Université de Nantes, Polytech Nantes, BP 50609, 44306 Nantes Cedex 3

Mots clés : superalliages base nickel, algorithmes génétiques multi-objectifs, processus gaussiens, thermodynamique analytique

Résumé

De nombreux alliages métalliques pour utilisation à haute température ont été créés au cours du siècle dernier pour répondre aux besoins toujours plus exigeants des secteurs aéronautique et énergétique. L'approche historique par essai-erreur, bien que conduisant ponctuellement au développement de matériaux performants, demeure longue et coûteuse.

Les propriétés d'un superalliage dépendent en effet de nombreux paramètres interdépendants : éléments d'addition, microstructure, conditions de fabrication et d'usage... Les propriétés d'un nouvel alliage sont ainsi difficiles à modéliser et quasiment impossibles à prédire sans l'appui de méthodes statistiques, à l'image des réseaux neuronaux [1] et des processus gaussiens [2]. Après un entraînement sur une base de données, ces méthodes sont capables de prédire de manière fiable les propriétés de nouveaux alliages en fonction de leur composition.

Par ailleurs, des outils de thermodynamique analytique comme CALPHAD (CALculation of PHase Diagrams) renseignent sur les phases en présence dans des alliages complexes. Ainsi, la combinaison de méthodes statistiques et thermodynamiques permet de déterminer à la fois la microstructure et les propriétés qui en découlent.

Cette approche a déjà été éprouvée pour le développement mono-objectif d'un superalliage à bas coût [3]. Le présent travail propose une extension de cette approche à des cahiers des charges aux objectifs antagonistes (e.g. propriétés mécaniques élevées et bonne soudabilité) via l'emploi d'algorithmes génétiques multi-objectifs.

Références

[1] Bhadeshia H K D H 1999 ISIJ Int. 39 966–79

[2] Tancret F, Bhadeshia H K D H and MacKay D J C 1999 ISIJ Int. 39 1020–6

[3] Tancret F, Bhadeshia H K D H and MacKay D J C 2003 Mater. Sci. Technol. 19 283–90

ELABORATION DE SURFACES NANO/MICRO-STRUCTUREES POUR LIMITER L'ADHESION DE MICRO-ORGANISMES

Héloïse FABRE ⁽¹⁾, Nicolas DELORME ⁽¹⁾, Jean-Philippe BOUCHARA ⁽²⁾, Hugues BOURGEOIS ⁽³⁾, Jean François BARDEAU ⁽¹⁾

(1) UNIVERSITE DU MAINE, IMMM, Avenue Olivier Messiaen - 72085 LE MANS Cedex 9

(2) UNIVERSITE D'ANGERS, GEIHP, 4, Rue Larrey - 49933 ANGERS Cedex

(3) CLINIQUE VICTOR HUGO, Centre Jean Bernard, 9 Rue Beauverger - 72000 LE MANS

Mots clés : Surface, Rugosité, Topographie, Titane

Résumé

Avec plus d'un million de dispositifs posés par an dans le monde, l'utilisation des chambres implantables s'est maintenant généralisée pour le traitement de certains cancers. Constituées d'un réservoir de quelques dixièmes de microlitres, le plus souvent en titane, relié à un cathéter dont l'extrémité est placée dans une veine à fort débit, ils permettent de délivrer un traitement de chimiothérapie avec un confort augmenté pour le patient. Ces dispositifs permettent aussi le cas échéant d'apporter une nutrition parentérale. Cette dernière utilisation provoque de nombreuses infections, qui conduisent dans la plupart des cas au retrait du dispositif.

Afin de réduire le risque de contamination, il est donc nécessaire de mieux comprendre les facteurs favorisant l'adhérence des micro-organismes (bactéries et levures) dans ces dispositifs médicaux invasifs et leur colonisation ultérieure.

Dans le cadre du projet régional MAT-INNO, nos travaux de recherche visent à mieux comprendre l'impact des propriétés de surface (en termes de topographie, hydrophobicité et fonctionnalisation) sur l'adhésion de bactéries et de levures. En agissant sur les propriétés physiques et/ou chimiques de surface, nous espérons réduire les capacités d'adhérence des micro-organismes et ainsi limiter le risque d'infection. Les études actuelles sont réalisées sur des substrats de silicium sur lesquels est déposée une couche mince nanométrique d'oxyde de titane.

Nos efforts portent, dans un premier temps, sur la maîtrise de la topographie de surface à l'échelle nanométrique et micrométrique, notamment par la mise au point de procédés de fabrication reproductibles. L'utilisation de la pulvérisation cathodique sur les supports de silicium ultra-lisses permet d'obtenir des surfaces d'oxyde de titane ayant des rugosités inférieures au nanomètre. De plus, l'attaque du silicium par l'hydroxyde de potassium permet de modifier la topographie des surfaces avant le dépôt de films minces d'oxyde de titane. Nous présentons sur le poster les résultats obtenus récemment par microscopie à force atomique et par microscopie électronique à balayage sur les différents types de surface. L'analyse des courbes de réflectivité des rayons X nous a permis de déterminer précisément l'épaisseur des films déposés et de suivre les modifications de la composition chimique suivant les paramètres appliqués.

APPROCHES MULTI-ECHELLES POUR L'ETUDE DE L'ENDOMMAGEMENT DES OUTILS DE MATRIÇAGE (X40CRMV5-1)

Amel ALIMI (^{1,2}), Jamal FAJOUÏ (¹), Mohamed KCHAOU (²), Riadh ELLEUCH (²),
Frédéric JACQUEMIN (¹), Ridha MNIF (²)

(¹) *INSTITUT DE RECHERCHE EN GENIE CIVIL ET MECANIQUE (UMR CNRS 6183), 58, rue Michel Ange - BP 420, 44606 Saint-Nazaire Cedex, FRANCE*

(²) *LABORATOIRE DES SYSTEMES ELECTROMECHANIQUES (LASEM-ENIS), BP 3038 Sfax, TUNISIE*

Mots clés : Endommagement, outil de matriçage, contraintes résiduelles, méthode des éléments finis.

Résumé

Dans le cas des applications de mise en forme à chaud, les outils (matrice et poinçon) subissent des chargements très sévères de type mécanique et thermique [1]. Ces sollicitations à caractères transitoires et cycliques peuvent conduire à leur dégradation : c'est le processus d'endommagement par fatigue thermomécanique [2]. Afin d'améliorer leur tenue en service, il est nécessaire de maîtriser les facteurs influant sur la performance de ces outils, en particulier les contraintes résiduelles induites par le matriçage durant la fabrication industrielle.

L'objectif de ce travail consiste en une étude multi-échelle pour identifier, localiser et qualifier l'endommagement d'un outil de matriçage à chaud en couplant des différentes techniques de caractérisation. Deux méthodes sont retenues pour cette stratégie : la technique de diffraction des Rayons X et une approche numérique basée sur la méthode des éléments finis.

Un examen visuel, des observations au MEB et des analyses de phases par EDS ont été menées sur une matrice endommagée afin d'identifier et localiser les différents modes de défaillance. Pour mettre en évidence l'adoucissement cyclique superficiel de l'outil, une mesure de la micro-dureté près de la surface endommagée a été faite. Afin d'approfondir cette étude, une analyse par DRX permet de déterminer la distribution des contraintes résiduelles induites par le procédé de matriçage.

Le comportement de la matrice, durant la mise en service, est modélisé par une loi élastoplastique à écrouissage multilinéaire. Cette loi est implémentée dans le logiciel d'éléments finis ABAQUS via une sous-routine UMAT. Ce modèle numérique constitue un outil de prédiction de la distribution des contraintes internes dans la matrice pendant le service. Il a été validé avec des résultats expérimentaux obtenus de la matrice endommagée. Une bonne concordance simulation – expérience a été constatée. Les zones endommagées par fissuration dans la matrice sont confondues avec celles où la contrainte est maximale dans le modèle numérique.

Références

- [1] M. Kchaou, R. Elleuch, Y. Desplanques, X. Boidin, G. Degallaix., *Failure mechanisms of H13 die on relation to the forging process - A case study of brass gas valves*, Engineering Failure Analysis, Issue 2, Vol.17, pp. 403-415, 2010.
- [2] F. Njeh, M. Kchaou, R. Elleuch, F. El Halouani., *Analysis of Degradation and Failure Mechanisms that Develop in Hot Forging Die*, J. Failure Analysis and Prevention, Issue 3, Vol.12, pp.273-280, 2012.

EFFET DES DEFAUTS D'USINAGE SUR LA TENUE EN FATIGUE D'UN ALLIAGE AL7050

FouedABROUG ⁽¹⁾, EtiennePESSARD ⁽¹⁾, GuénaëlGERMAIN ⁽¹⁾, FranckMOREL ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Arts et métiers ParisTech, LAMPA centre Angers, 02 Bd du Ronceray, 49035, ANGERS CEDEX

Mots clés : Défauts d'usinage; tenue en service; fatigue; alliage d'aluminium; piqûres de décapage.

Résumé

Les pièces en alliage d'aluminium usinées pour le domaine de l'aéronautique sont des composants devant répondre à un cahier des charges très sévère en termes de qualité dimensionnelle et d'état de surface. Lors du fraisage UGV, certains défauts géométriques peuvent être accidentellement générés (ressauts, vibrations), il est alors bien souvent nécessaire de venir rectifier manuellement ces pièces défectueuses.

Les travaux conduits visent à estimer la criticité sur la tenue en fatigue des défauts générés lors de l'usinage d'un alliage Al 7050 tout en prenant en compte l'effet potentiel des traitements de surface imposés. On cherche également à comprendre les mécanismes d'endommagement responsables des variations de la tenue en fatigue. Après avoir fait un bilan des défauts accidentels les plus répandus sur une large catégorie de pièces aéronautiques, des éprouvettes de fatigue en flexion plane ont été fabriquées en reproduisant sur leur surface les défauts les plus critiques.

Les traitements de surface (décapage, anodisation), par les piqûres qu'ils génèrent, sont également reconnus pour dégrader la tenue en fatigue des pièces. Des éprouvettes aux différents stades de traitements de surface ont été testées en fatigue afin de mettre en évidence l'influence de ces opérations. On recherche en particulier à découpler les rôles respectifs des défauts d'usinage et des piqûres de corrosion sur le comportement en fatigue.

Ces premiers travaux de caractérisation devront conduire à terme à mettre en place une méthodologie complète de prise en compte des différentes étapes du procédé de fabrication sur la réponse en fatigue pour ce type d'alliage.

DISPOSITIF D'EXPANSION BIAXIALE A HAUTE TEMPERATURE

Nathan DEMAZEL^a, Hervé LAURENT^a, Muriel CARIN^a, Jérémy COER^a, Philippe LE MASSON^a, Jérôme FAVERO^b, Romain CANIVENC^b

^a Université de Bretagne-Sud, EA 4250, LIMATB, F- 56321 LORIENT

^b ArcelorMittal, Global Research and Development Montataire, F-60761 Montataire Cedex

Mots clés : emboutissage à chaud, effet Joule, expansion biaxiale, caractérisation thermomécanique

Résumé

Dans le but de réduire les émissions de CO₂ et la consommation énergétique, les constructeurs automobiles cherchent à alléger les véhicules. Les aciers trempables à base de bore (type USIBOR®) répondent à ces exigences, grâce à leurs propriétés mécaniques exceptionnelles et leur formabilité à chaud, permettant de réduire les épaisseurs des différentes pièces de la structure d'un véhicule. Ces aciers nécessitent, cependant, une mise en forme à chaud (environ 900°C), suivie d'une étape de trempe qui confère des caractéristiques mécaniques exceptionnelles à la pièce emboutie [1]. Le projet ANR PRICECAT (PRocédé Industriel Compact d'Emboutissage à Chaud des Aciers Trempants) porté par ArcelorMittal réunit deux autres laboratoires de recherche (l'Ecole des Mines d'Albi et le LIMATB) et deux PME (la Société Mécanique de Précision et SREM Technologies). Il a pour ambition de développer un procédé industriel d'emboutissage à chaud multi-step basé sur un chauffage rapide par effet Joule, permettant une augmentation de la cadence de production, un gain d'espace, des économies d'énergie et la réalisation de pièces jusqu'alors réputées non accessibles.

Dans ce projet, les axes d'études du LIMATB sont le développement d'une solution de chauffage rapide et la validation du comportement mécanique de l'acier à haute température. Le LIMATB met ainsi actuellement au point un dispositif d'expansion biaxiale à chaud en vue de caractériser l'USIBOR® dans un état de déformations biaxiales rarement étudié pour l'instant sur ce type de matériau à haute température. La littérature fait état de dispositifs similaires mais limités à 400°C [2]. Notre dispositif est basé sur un chauffage par effet Joule grâce à des électrodes appliquées directement sur le flan à caractériser. La déformation est assurée par l'application d'un gaz inerte à hautes pressions. Le dimensionnement de ce dispositif est réalisé à l'aide de simulations numériques par éléments finis effectuées avec le logiciel Comsol Multiphysics®. Les premiers calculs couplés thermiques-électriques montrent qu'un chauffage homogène à 900°C peut être obtenu grâce à l'utilisation de trois paires d'électrodes alimentées successivement. Des essais ont été réalisés, en parallèle, afin de caractériser les résistances de contact électriques et thermiques, nécessaires au modèle. Le problème de surchauffe prévisible au niveau des électrodes sera également discuté.

Références

- [1] H. Karbasian, A.E. Tekkaya, A review on hot stamping, Journal of Materials Processing Technology, 2010, vol20, Issue 15, p 2103-2118
- [2] C. Li, S. Jiang, K. Zhang, Pulse current-assisted hot-forming of light metal alloy, Int J Adv Manuf Technol (2012) 63:931-938

ETUDE DE LA TRANSFORMATION DE PHASE $\beta \rightarrow \alpha$ DANS L'ALLIAGE Ti-6Al-4V EN REFROIDISSEMENT CONTINU

Nabil KHERROUBA (^{1, 2, 3}), Riad BADJI (¹), Mabrouk BOUABDALLAH (²), Denis CARRON (³)

(¹) Centre de Soudage et Contrôle – CSC, BP 64 16200 CHERAGA

(²) LGSDS – Ecole Nationale Polytechnique, 10 Avenue Hassan Badi EL HARRACH

(³) LIMATB, EA4250, Université de Bretagne-Sud, Rue de Saint-Maudé, 56321 LORIENT

Mots clés : transformation de phase, Ti-6Al-4V, refroidissement continu, modèle KJMA, principe d'additivité.

Résumé

Un modèle de type KJMA est utilisé pour décrire la cinétique de transformation de phase au refroidissement dans l'alliage de titane Ti-6Al-4V. Pour cela le principe d'additivité est utilisé. Ce principe consiste à considérer le refroidissement continu comme une succession de très courts paliers isothermes additifs. Des essais DSC sont réalisés pour suivre expérimentalement la cinétique de transformation $\beta \rightarrow \alpha$. Le cycle thermique imposé consiste en un chauffage à 20 °C/min jusqu'à 1100 °C suivi d'un maintien à cette température pendant 20 min et finalement un refroidissement isochrone jusqu'à l'ambiante (vitesses de 10 à 50 °C/min). Des exemples de microstructure avant et après essai DSC sont présentés en figure 1. A l'état de réception la microstructure du Ti-6Al-4V est constituée d'une matrice de phase α dans laquelle sont présents des grains β intergranulaires. Après refroidissement à 30 °C/min, on observe une microstructure composée d'un liseré de phase α_{GB} se formant le long des joints de grains β/β et de lamelles de phase α_{WGB} qui croissent à l'intérieur de l'ancien grain β . La figure 2 présente les résultats de l'essai DSC correspondant. La fraction transformée durant le refroidissement a été déterminée en utilisant le principe d'additivité. Un bon accord est observé entre fraction expérimentale et fraction calculée.

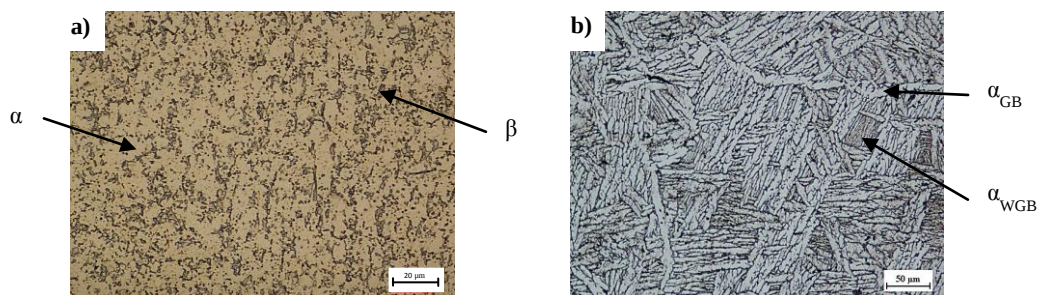


Fig.1: Microstructure du Ti-Al-4V: a) état de réception, b) après refroidissement à 30 °C/min

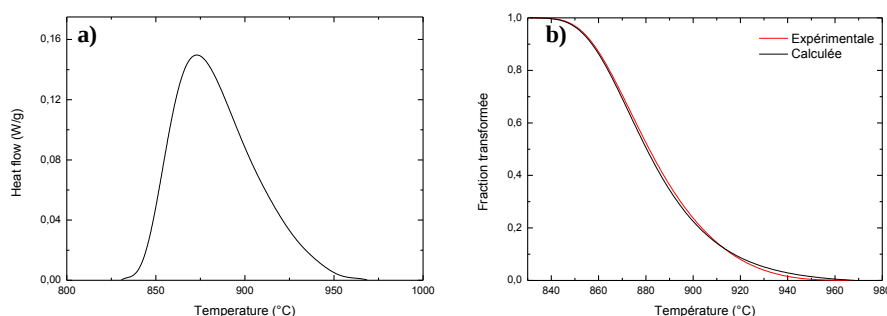


Fig.2: Essai DSC à 30 °C/min a) évolution du flux avec la température, b) comparaison des fractions expérimentales et simulées

INFLUENCE D'UN PRE-ECROUISSAGE MONOTONE SUR LE COMPORTEMENT CYCLIQUE DE MATERIAUX PRESENTANT DIVERSES ENERGIES DE FAUTE D'EMPILEMENT

G. Marnier, C. Keller, L. Taleb.

Groupe de Physique des Matériaux, INSA Rouen, Université de Rouen, CNRS UMR 6634 – Avenue de l'Université, 76800, St. Etienne Du Rouvray (France).

Mots clés : Mémoire de pré-écrouissage, comportement cyclique

Résumé

Les critères de fatigue, basés sur l'exploitation des courbes de Wöhler ou encore la règle de Miner [1], s'avèrent parfois inexacts. Des cas de ruines prématurées ont par exemple été observés sur les tuyaux constitutifs de circuits primaires de centrales nucléaires [2]. L'une des explications à ces phénomènes peut être liée à l'existence d'effets d'histoire de chargement [3].

Il a été montré que la courbe d'écrouissage cyclique d'un matériau n'est pas nécessairement unique [4] et qu'il peut donc exister une mémoire du pré-chargement. Ainsi, la réponse d'un matériau à une sollicitation cyclique peut varier suivant l'histoire vécue par celui-ci (pré-déformation, variations de trajet de chargement ou de température). Sous certaines conditions de chargement, cet effet mémoire se manifeste par un adoucissement incomplet du matériau pré-chargé par rapport au matériau vierge. La mise en place de structures de dislocations, résultantes de l'histoire antérieure et différentes de celles normalement établies lors du cyclage, pourrait être à l'origine de l'adoucissement incomplet du matériau [5].

Les travaux engagés sur ce thème visent à étudier l'influence d'un pré-écrouissage monotone de traction sur le comportement cyclique de matériaux présentant différentes énergies de fautes d'empilement et par conséquent des mécanismes de glissements de dislocations différents. Les matériaux choisis pour cette étude, un Cuivre pur (glissement dévié aisé), un alliage de Nickel-Chrome (glissement majoritairement planaire), et un acier austénitique inoxydable de type 316L (caractère mixte), seront étudiés pour différents niveaux de pré-écrouissage. Les résultats des essais mécaniques seront discutés en termes d'évolution des contraintes internes et effectives en lien avec les structures de dislocations formées pendant la phase de pré-écrouissage. Il sera ainsi possible d'étudier la persistance des structures de dislocations mises en place lors du pré-écrouissage au cours de sollicitations cycliques à différentes amplitudes de déformation imposée et de corréler ces évolutions avec l'existence ou non de l'effet mémoire.

Références

- [1] Miner M.A., J. of Applied Mecha. 67 (A159-A164), 1945
- [2] Blondet E., Faïdy C., 10th Intern. Conf. on Nuclear Engineering, Vol.1, 2002
- [3] Belattar A., PhD Thesis INSA de Rouen, 2013
- [4] Feltner C.E., Laird C., Acta Met. Vol.15, (10) (p.1621), 1967
- [5] Taheri S., Hauet A., Taleb L., C. Kpodekon, Int. J. of Plast. Vol.15, (10) (p.1981), 2011

INFLUENCE DE LA NATURE DES JOINTS DE GRAINS SUR LES MECANISMES D'ENDOMMAGEMENT ASSISTE PAR L'HYDROGENE.

Abdelali OUDRISS⁽¹⁾, Jamaa BOUHATTATE⁽¹⁾, Catherine SAVALL⁽¹⁾,
Juan CREUS⁽¹⁾, Xavier FEAUGAS⁽¹⁾, Frantz MARTIN⁽²⁾, Pierre LAGHOUTARIS⁽²⁾,
Jacques CHENE⁽²⁾

⁽¹⁾ LaSIE-CNRS UMR 7356, Université de La Rochelle, Avenue Michel Crépeau, 17042,
La Rochelle, Cedex 01, France.

⁽²⁾ CEA Saclay, DEN, DANS, DPC, SCCME, LECA, F-91191, France.

Mots clés : Nickel, Hydrogène, Joints de grains, rupture

Résumé

Dans un matériau CFC, la rupture intergranulaire induite par l'hydrogène dépend de la densité et de l'organisation des défauts au voisinage des joints de grains. En particulier, nous illustrons, dans le présent travail, une relation entre la nature des joints de grains et des différents défauts cristallins, et leurs conséquences sur le transport et la ségrégation de l'hydrogène dans le nickel. Ainsi, nous avons identifié deux catégories de joints de grains ; les joints Généraux ou Random de forts angles de désorientation et d'indice de coïncidence et qui présentent une structure avec un excès de volume libre important et une forte énergie, et une seconde catégorie nommée les joints Spéciaux (CSL) qui se caractérise par une structure relativement ordonnée et une désorientation accommodée par un ou deux réseaux de dislocations intrinsèques. Grâce à des traitements thermiques et des procédés d'élaboration par électrodéposition, nous avons développé plusieurs microstructures de nickel polycristallin de taille de grains variant de 20 nm à 168 µm. Cette démarche a permis de varier la fraction de chaque famille de joints de grains. Ensuite, grâce à des essais de perméation électrochimique et de thermo-désorption, nous avons révélé que les joints Généraux constituent des chemins préférentiels à la diffusion de l'hydrogène, alors que les joints spéciaux constituent des zones de piégeage [1]. Ces phénomènes dépendent de plusieurs paramètres, dont la taille de grains, le degré de connectivité des joints de grains, l'énergie des joints de grains et l'excès de volume libre. Dans la seconde partie de ce travail, nous avons tenté d'évaluer le rôle des joints de grains Généraux dans la rupture assistée par l'hydrogène. Ainsi, nous avons montré que sous flux d'hydrogène, une réduction très sensible de l'allongement à rupture se produit lorsque la fraction des joints Généraux augmente [2]. Ces résultats étayent l'idée selon laquelle un flux d'hydrogène favorise la rupture intergranulaire plus qu'une concentration d'hydrogène [2].

Références

[1] A. Oudriss, J. Creus, J. Bouhattate, E. Conforto, C. Berziou, C. Savall, and X. Feaugas, Acta Mater. 60, 6814 (2012).

[2] A. Oudriss, J. Bouhattate, C. Savall, J. Creus, X. Feaugas, F. A. Martin, P. Laghoutaris, and J. Chêne, Procedia Mater. Sci. 3, 2030 (2014).

INFLUENCE D'ENTAILLES MICROMETRIQUES SUR LA RESISTANCE A LA FATIGUE D'UN ALLIAGE DE TITANE

Julien SIMON ⁽¹⁾, Yves NADOT ⁽¹⁾, Alexandre SEROR ⁽²⁾

⁽¹⁾ INSTITUT P' D1 / Axe ENDO, ISAE-ENSMA, Téléport 2 – 1 avenue Clément Ader

BP 40109 – 86961 FUTUROSCOPE CHASSENEUIL Cedex

⁽²⁾ Snecma Villaroche, Rond-point René Ravaud 77550 MOISSY CRAMAYEL

Mots clés : Fatigue grand nombre de cycles, Micro-Entaille, Titane, Etat de surface

Résumé

La durée de vie en fatigue d'un matériau peut être fortement influencé par la présence de petits accidents géométriques (fissures, entailles,...). Ces accidents provoquent des concentrations de contraintes importantes dans le matériau qui abaissent sa résistance mécanique. De nos jours, les effets d'accidents de taille importante peuvent être pris en compte dans les prédictions de rupture sous sollicitations cycliques mais dès que les tailles de ces défauts descendent dans le domaine micrométrique, les prédictions sont plus ardues et moins précises. Cette étude s'insère dans ce contexte et vise à explorer l'influence d'entailles avec des dimensions micrométriques sur la durée de vie en fatigue d'un alliage de Titane aéronautique.

L'étude a comme mission d'usiner des éprouvettes avec des entailles fines, géométriquement précises et avec un état de surface en fond d'entaille contrôlé. Mais aussi de faire des essais de fatigue sur ces éprouvettes pour proposer une méthode de prédiction de durée de vie de ce matériau possédant des micro-entailles. Ces prédictions seront basées sur des calculs par éléments finis et sur des analyses microstructurales afin de comprendre les mécanismes. Les géométries et préparations de nos éprouvettes sont de plus conditionnées pour générer des champs mécaniques proches de ceux observés en fretting fatigue. Nous avons de plus comme contrainte de faire des entailles par meulage pour avoir des états de surfaces d'amorçages créées par le même procédé d'usinage en fretting et sur entailles. Il sera aussi nécessaire d'avoir des entailles inclinées avec la présence d'interaction entre deux entailles. La Fig.1 présente les travaux proposés afin de répondre à l'objectif de la thèse.

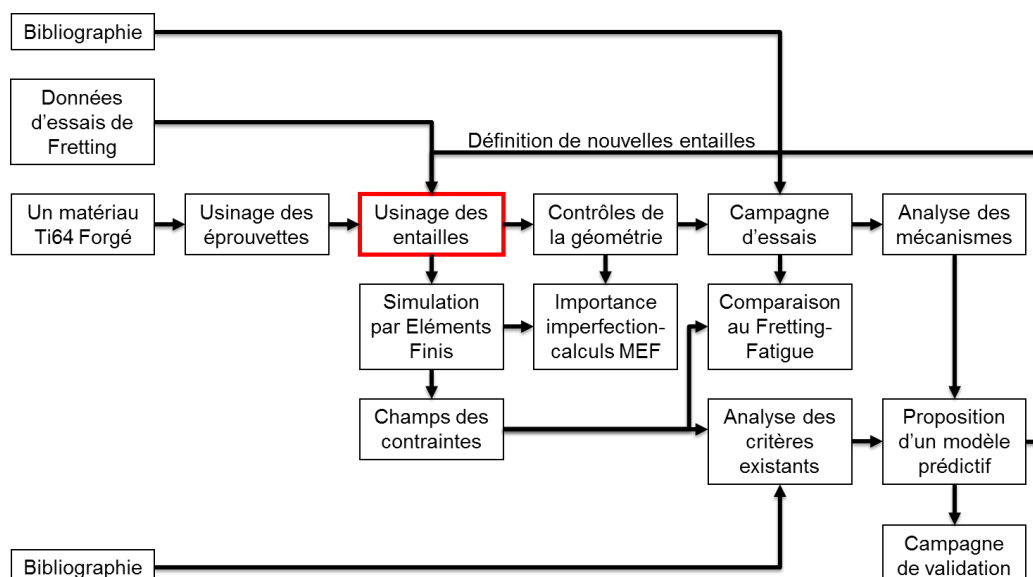


Fig.1. Schéma synoptique des travaux de la thèse

CONTRIBUTION A L'OPTIMISATION DE LA MODELISATION DE L'USINAGE DE L'ALLIAGE DE TITANE

Mariem YAICH (^{1,2}), Guenaël GERMAIN (¹), Anne MOREL (¹),
Zoubeir BOUAZIZ (²)

(¹) ENSAM, 2 Boulevard du Ronceray 49100 ANGERS

(²) ENIS, Route de la Soukra km3,5 3038 SFAX

Mots clés : usinage, modélisation, Ti6Al4V, coupe orthogonale, copeau.

Résumé

Dans le but d'aboutir à une meilleure compréhension des phénomènes accompagnant l'enlèvement de la matière et d'augmenter par suite la productivité de certains matériaux tels que les alliages de titane, une modélisation par éléments finis s'avère intéressante du fait qu'elle rende accessible la détermination des paramètres locaux (champs de température, déformation, intégrité de surface, efforts de coupe, morphologie du copeau...). Cette étude se focalise, d'une part, sur la détermination de l'effet des lois utilisées (de plasticité, d'endommagement et de frottement) et, d'autre part, sur l'étude de l'impact des paramètres liés à la simulation numérique (taille et type des éléments de maillage utilisé, schéma d'intégration temporelle, formulation numérique...). Une série de modélisation par éléments finis (MEF) de coupe orthogonale 2D en déformation plane de l'alliage de titane Ti6Al4V a été développée avec plusieurs codes de calculs (ABAQUS/Explicit et Forge/Implicite). Une loi de plasticité de type Johnson et Cook [1] a été utilisée. Les résultats des simulations numériques ont été comparés avec expérimentaux réalisés par Calamaz [2].

Dans un premier temps, une étude de l'effet du choix adéquat des constantes matérielles de la loi de comportement (A, B, C, m et n) a été faite et elle a montré l'importance de ces paramètres sur la fiabilité des modèles du point de vue prédiction de la morphologie du copeau et détermination des efforts de coupe. Dans un deuxième temps, pour la mise en place d'un modèle robuste, trois formulations ont été utilisées (Lagrangienne pure, Arbitraire Lagrangienne Eulérienne avec des conditions aux limites Lagrangienne ou combinées Eulériennes-Lagrangiennes, Remaillage) sans et avec implémentation du critère d'endommagement [3]. Des meilleurs résultats ont été obtenus suite à l'application de la formulation lagrangienne. La définition du critère d'endommagement dans les MEF permet néanmoins la reproduction du festonnage du copeau, caractéristique de l'usinage de l'alliage Ti6Al4V. Une étude de sensibilité aux éléments de maillage utilisés pour la discrétisation spatiale du modèle a montré que les éléments quadrilatéraux avec intégration réduite permettent une reproduction du festonnage obtenus expérimentalement ainsi qu'une meilleure estimation des efforts de coupe.

Références

- [1] G.R. Johnson, W.H. Cook. « *A constitutive model and data for metals subjected to large strains, high rates and high temperatures* », Proceedings of the Seventh International Symposium on Ballistics, The Hague, the Netherlands, p. 541-547 (1983).
- [2] M. Calamaz. « *Approches expérimentale et numérique de l'usinage à sec de l'alliage aéronautique Ti-6Al-4V* ». Thèse de doctorat, Université Bordeaux 1, (2008).

[3] G.R. Johnson, W.H. Cook. « *Fracture characteristics of three metals subjected to various strains, strain rates, temperatures and pressures* ». J. Eng. Fracture Mech., vol. 21, pages 31–48, (1985).

ETUDE EXPERIMENTALE ET MODELISATION DE LA MISE EN FORME A CHAUD D'ALLIAGES D'ALUMINIUM INNOVANTS

WaelYOUNES (^{1,2}), ElianeGIRAUD (¹), PhilippeDAL SANTO (¹)

(1) Arts et métiers ParisTech, LAMPA centre Angers, 02 Bd du Ronceray, 49035, ANGERS

(2) IRT Jules Verne, Chemin du Chaffault, 44340, BOUGUENAIS

wael.younes@irt-jules-verne.fr, wael.younes@ensam.eu

Mots clés : Etude expérimentale; Modélisation; Mise en forme à chaud; Alliages d'aluminium.

Résumé

La recherche permanente de solutions d'allègement des structures aéronautiques a conduit au développement de nouveaux alliages comme les Al-Cu-Li et les Al-Mg-Li qui se caractérisent par une densité inférieure aux alliages conventionnels et par des propriétés améliorées. Ces développements sont destinés au fuselage métallique et plus particulièrement à la structure pointe-avant des avions : ils concernent à la fois les panneaux de fuselage en double courbure et les profilés. De manière générale, la formabilité de ces alliages, que ce soit à froid ou à chaud est encore assez mal connue. Le projet METAFOR « Formage avancé des alliages basses densité pour application aéronautique » porté par l'IRT Jules Verne se propose d'étudier leur mise en forme à chaud par deux procédés différents (« Hot forming » et « Creep forming »).

Les travaux conduits visent à développer un outil numérique capable de prédire les contraintes internes et le retour élastique observés lors de la mise en forme de panneaux de grandes dimensions par les procédés cités précédemment. Cet outil permettra de définir les conditions optimales de mise en œuvre propres à chaque matériau et à chaque procédé ainsi que la forme des outillages. Pour une bonne représentation du procédé de mise en forme, une modélisation complexe du comportement des matériaux a été choisie. Cette modélisation fait intervenir un modèle de fluage, un critère de plasticité, une loi de comportement viscoplastique, une loi d'endommagement et un modèle de relaxation adaptés pour chaque matériau. Une série d'essais expérimentaux visant à identifier les paramètres d'une partie du modèle matériau (critère de plasticité et loi de comportement viscoplastique) a déjà été effectuée. Ces essais ont été réalisés sur une machine Gleeble 3500 dans des conditions thermomécaniques représentatives des procédés considérés. Une simulation numérique de la mise en forme par *Hot Forming* de tôle épaisse (40mm) a été mise en place sous ABAQUS. Le modèle matériau contenant le critère de plasticité et une loi de comportement viscoplastique a été implémenté dans ABAQUS par le développement d'une subroutine UMAT 3D.

Ces premiers travaux permettront de donner une idée sur la force à appliquer pour mettre en forme la pièce, sur le niveau de contraintes générées et sur le retour élastique après mise en forme. Toutefois, le développement du modèle doit se poursuivre afin d'être le plus représentatif possible de la réponse des matériaux pendant leur mise en forme et ainsi minimiser les erreurs de prédiction.

NOUVELLES CITERNES ROUTIERES EN MATERIAUX COMPOSITES SOUMISES A DES SOLLICITATIONS COMPLEXES

Mathilde CROZATIER¹, Mohamed HADDAD¹
Laurent GUILLAUMAT¹, Svetlana TEREKHINA¹

¹ Laboratoire Angevin de Mécanique, Procédés et innovAtion - LAMPA
Arts et Métiers ParisTech ENSAM – CER Angers
2, Boulevard du Ronceray – 49035 Angers Cedex 01 France

E-mails mathilde.crozatier@ensam.eu ; mohamed.haddad@ensam.eu ;
laurent.guillaumat@ensam.eu ; svetlana.terekhina@ensam.eu

Mots-clés: Matériaux composites ; Enroulement filamentaire ; Caractérisation mécanique ; Durabilité des structures.

Résumé

De nos jours, de nombreux procédés de fabrication existent pour les matériaux composites. L'enroulement filamentaire est un procédé haute performance permettant d'élaborer des composites stratifiés sous forme de cylindre de révolution. Il est notamment utilisé pour la fabrication de citernes de grandes capacités pour le domaine agricole et l'industrie chimique, où sont stockées des denrées, des liquides, *etc.* Le secteur des transports développe aussi cette activité via la fabrication de fuselage d'avion ou de fusée, d'enveloppe de missile, de citerne de camion, *etc.*

Le problème majeur pour la caractérisation mécanique de ces structures passe par le procédé de fabrication. Il convient d'utiliser des éprouvettes représentatives du matériau, et donc du procédé. Concernant l'enroulement filamentaire, celles-ci sont nécessairement cylindriques ou extraites de cylindre, possédant dans ce cas deux bords courbes et deux bords droits (selon la génératrice du cylindre).

Les éprouvettes représentatives des essais menés dans cette étude sont des anneaux en composite verre/époxy avec un enroulement circonférentiel uniquement. L'identification des propriétés mécaniques du matériau constitue notre objectif principal. Le problème de la courbure est pénalisant lors de la détermination des propriétés dans le sens circonférentiel. Ainsi, des essais de compression dans la direction radiale, suivant la norme NF EN 1228, sont menés sur des tubes de différents diamètres. Avec ces essais statiques sur tubes, le module d'élasticité circonférentiel est déterminé en considérant la structure cylindrique dans son ensemble. En outre, l'effet de la courbure des fibres est recherché avec une comparaison des essais sur différents diamètres de tubes.

Au cours des expériences, un suivi de la matière est effectué par le biais d'un mouchetis. Il devient alors possible de connaître le champ de déplacements et de déformations dans l'épaisseur de l'anneau. Les résultats sont traités via un logiciel de corrélations d'images. Par ailleurs, l'endommagement du composite est observé par émission acoustique. Différentes phases d'endommagement sont ainsi perceptibles : rupture de la matrice, décohésion, délaminage, rupture des fibres, *etc.*

MODELISATION DES EFFETS DE DEFAUTS ET D'INTEGRITE DE SURFACE SUR LA TENUE EN FATIGUE DANS LES COMPOSANTS FORGES

Benjamin. Gérin⁽¹⁾, Franck Morel⁽¹⁾, EtiennePessard⁽¹⁾, CatherineVerdu⁽²⁾

⁽¹⁾ LAMPA, Arts et Métiers ParisTech campus d'Angers

⁽²⁾ MATEIS, INSA Lyon

Mots clés : Forgeage, Grenaillage, Défauts, Surface, Fatigue, Flexion

Résumé

Cette étude s'inscrit dans le cadre d'un projet ANR intitulé DEFISURF et consacré à l'étude de l'effet des hétérogénéités sur le comportement en fatigue de composants forgés. Le projet qui regroupe neuf partenaires académiques et industriels, vise plus précisément à la prise en compte des paramètres du procédé de fabrication sur la tenue mécanique en service. Une des grandes originalités des travaux conduits concerne l'utilisation d'un très grand nombre de pièces extraites de la chaîne de production réelle qui conduit à un traitement statistique réellement représentatif des grandes dispersions rencontrées. L'objectif est d'étudier l'influence des gradients de microstructure et de l'intégrité de surface sur le comportement en fatigue de deux composants forgés. Le premier est une bielle forgée à chaud, le second est un composant cylindrique extrudé à froid.

Cet article traite uniquement du premier composant : une bielle en acier C70 forgée à chaud et ensuite grenaillée par shot-blasting pour éliminer la calamine. Cette étape de grenaillage a une grande influence sur le comportement en fatigue.

Afin d'étudier un échantillon représentatif du procédé de forgeage à chaud, 500 bielles consécutives (sans shot-blasting) ont été prélevées dans la production industrielle, ainsi que 500 bielles avec shot-blasting. Ce large échantillon permet une analyse statistique de l'intégrité de surface et ensuite une extrapolation sur la production entière. Pour analyser d'autres conditions d'intégrité de surface, divers grenaillages de shot-peening ont été effectués sur des bielles brutes de forge. Le shot-blasting et le shot-peening affectent beaucoup les caractéristiques de la surface traitée, en plus d'en modifier sa topographie. Le grenaillage modifie la microstructure du composant, sa dureté sa rugosité et introduit des contraintes résiduelles. Cela conduit à un changement du comportement en fatigue à grand nombre de cycles du composant. En plus de la rugosité homogène, les bielles ont de larges défauts surfaciques (avant et après grenaillage), qui ont aussi un effet sur la tenue en fatigue.

L'intégrité de surface a été caractérisée par : essais de dureté, diffraction de rayons X, imagerie EBSD et scans de surface. Le shot-blasting et les conditions de shot-peening choisies ont un effet moindre sur la rugosité (R_a autour de $7\text{ }\mu\text{m}$) mais modifient grandement l'aspect de la surface. De plus, la microstructure est affectée et 500 MPa de contraintes résiduelles de compression sont introduites en surface.

En plus des analyses, des essais de fatigue sur des éprouvettes avec divers états de surface ont été menés. Les éprouvettes sont usinées dans les bielles avant d'être grenaillées. Les essais de fatigue sont effectués en flexion plane avec un rapport de charge min/max $R = -1$ et servent à quantifier l'impact de l'intégrité de surface sur la tenue en fatigue à 2.10^6 cycles.

Les essais de fatigue montrent que le shot-blasting augmente la limite en fatigue de 50% par rapport aux bielles brutes de forge.

Il est également clairement démontré que la sensibilité en fatigue aux défauts géométriques est fortement dépendante des conditions d'écrouissage de l'extrême surface et de la présence des contraintes résiduelles.

NOUVELLES CITERNES ROUTIERES EN MATERIAUX COMPOSITES SOUMISES A DES SOLLICITATIONS COMPLEXES

Mohamed HADDAD¹, Mathilde CROZATIER¹
Laurent GUILLAUMAT¹, Svetlana TEREKHINA¹

¹ Laboratoire Angevin de Mécanique, Procédés et innovAtion - LAMPA
Arts et Métiers ParisTech ENSAM – CER Angers
2, Boulevard du Ronceray – 49035 Angers Cedex 01 France

E-mails : mohamed.haddad@ensam.eu ; mathilde.crozatier@ensam.eu
laurent.guillaumat@ensam.eu ; svetlana.terekhina@ensam.eu

Mots clés : Matériaux sandwichs ; Enroulement filamentaire ; Procédés de mise en œuvre.

Résumé

Légèreté et haute résistance, combinée à la flexibilité et une durée de vie maximale : ce sont les principaux critères que les matériaux composites modernes doivent remplir. En ce qui concerne ce projet, et à partir du principe de l'enroulement filamentaire classique, nous avons cherché des solutions ou des conceptions qui seront les mieux adaptées à l'enroulement d'un matériau sandwich sur un mandrin cylindrique, tout en respectant les paramètres de l'enroulement et leur influence sur la structure et les propriétés.

Plusieurs types d'âmes innovantes sont couramment utilisés comme renfort pour les structures sandwichs. A cause de l'augmentation des applications de haute technologie, le développement des structures d'âmes de formes complexes répond bien aux exigences industrielles. Parmi ces structures innovantes on cite les âmes structurales 3D SAERfoam® et 3DParabeam®, les mousses ArmaFORM PET d'Armacell®, les âmes en nid d'abeilles drapables de Nidaplast® etc. Ces âmes existent en plusieurs épaisseurs et elles peuvent être empilées pour créer des épaisseurs plus importantes. Leur avantage principal est la facilité de mise en œuvre et le fait qu'il n'y a pas de collage donc pas de risque de délaminage. Une fois stratifié, on obtient un sandwich excessivement léger.

Après la sélection de quelques conceptions possibles des solutions d'enroulement des matériaux sandwich, on synthétise les différents procédés et on présente quelques cas de test de mise en œuvre de certains matériaux sandwich choisis, à l'aide d'un équipement d'étude fabriqué au sein du laboratoire de recherche de l'ENSAM d'Angers. Puis on passe à la caractérisation mécanique des échantillons fabriqués, en analysant leur comportement en traction perpendiculaire et flexion trois et quatre points en suivant les normes NF T 54-606 et NF T 54-603. Le but étant de suivre l'évolution des efforts et des déformations des éprouvettes 'test' jusqu'à la rupture, déterminer les caractéristiques élastiques des peaux et de l'âme et calculer le couple nécessaire au décollement des peaux (test d'arrachement) ainsi que l'énergie totale dépensée, appelée énergie d'adhésion.

ETUDE NUMERIQUE ET EXPERIMENTALE DES EVOLUTIONS MICROSTRUCTURALES DANS LES MATERIAUX METALLIQUES SOUS SOLlicitATIONS CYCLIQUES

Jihed ZGHAL ⁽¹⁾, Charles MAREAU ⁽²⁾, Franck MOREL ⁽²⁾

⁽¹⁾ IRT Jules Verne, Chemin du Chaffault, 44340 Bouguenais

⁽²⁾ ENSAM, 2 Boulevard du Ronceray, 49035 Angers

Mots clés : Fatigue, Microstructure, Endommagement, Acier HLE, simulation numérique

Résumé

Cette étude s'intègre au projet APSTRAM (Allègement et Perfectionnement des STRuctures Acier Marine) de l'IRT Jules Verne. Un des objectifs technologiques de ce projet est de fournir des méthodes de dimensionnement en fatigue à grand nombre de cycles (FGNC) pour les assemblages soudés en acier à haute limite d'élasticité (HLE). Une des difficultés associée au dimensionnement des assemblages est liée aux modifications des propriétés induites par les opérations de soudage et de parachèvement. Ces opérations peuvent en effet induire des modifications :

- D'ordre microstructural qui altèrent le comportement mécanique local.
- D'ordre mécanique dont les contraintes résiduelles sont la manifestation principale.
- D'ordre géométrique qui affectent le chargement mécanique appliqué en service.

La complexité de la phase de dimensionnement de tels assemblages est accentuée d'une part par la présence de gradients métallurgiques importants et d'autre part par les possibles changements microstructuraux susceptibles de survenir en service. Le travail mené dans le cadre de cette thèse, qui s'inscrit en amont de ce projet, vise ainsi à mieux appréhender le rôle de la microstructure sur le comportement cyclique et l'endommagement des alliages métalliques. Il s'agit plus particulièrement d'essayer de développer une approche originale basée sur l'adoption d'un point de vue énergétique [1] pour prévoir l'influence de la microstructure sur l'endommagement. En effet, des travaux antérieurs semblent montrer l'existence d'un lien entre la réponse énergétique d'un matériau lorsqu'il est soumis à un chargement cyclique et l'endommagement en fatigue à grand nombre de cycles. Ce lien reste toutefois mal compris [2] et n'a, à l'heure actuelle, pas encore été exploité pour proposer des modèles d'endommagement qui incluent l'influence de la microstructure. Dans le cadre de cette thèse, on souhaite donc développer un modèle d'endommagement en s'appuyant sur le comportement énergétique observé expérimentalement en FGNC pour un acier HLE HC360LA.

Pour cet alliage, les travaux expérimentaux montrent une influence de la contrainte moyenne et du pré-écrouissage sur le comportement en fatigue à grand nombre de cycles. Aussi, on observe une forte corrélation entre l'endommagement et l'énergie stockée ce qui montre la relation étroite entre les grandeurs énergétiques et l'endommagement en fatigue.

Ainsi, à partir de ces observations expérimentales, un modèle de comportement est proposé. Il suppose que l'endommagement en fatigue est gouverné par la plasticité et le stockage d'énergie. Afin d'inclure l'aspect anisotrope des propriétés mécaniques, le modèle est formulé à l'échelle cristalline. Les paramètres de comportement du modèle sont identifiés en se basant sur les boucles contrainte déformation pour différentes configurations de chargement uniaxial ($R=0.1$ et $R=0.3$). Les paramètres d'endommagement sont estimés à partir des résultats des essais de fatigue.

Afin de valider le modèle, les travaux futurs devront permettre de vérifier sa validité dans le contexte de chargements multiaxiaux et en présence de surcharges.

Références

- [1] A. Galtier, O. Bouaziz et A. Lambert, «Influence de la microstructure des aciers sur leur propriétés mécaniques,» *Mécanique & Industries*, 2002.
- [2] B. Berthel, A. Chrysochoos, B. Wattrisse et A. Galtier, «Infrared image processing for the calorimetric analysis of fatigue phenomena,» *Experimental Mechanics*, 2008.

INFLUENCE DES INTERACTIONS DEFAUTS GEOMETRIQUES / MICROSTRUCTURE SUR L'ENDOMMAGEMENT EN FATIGUE A GRAND NOMBRE DE CYCLES D'ALLIAGES METALLIQUES.

Benoît BRACQUART ⁽¹⁾, Franck MOREL ⁽¹⁾, Charles MAREAU ⁽¹⁾, Nicolas SAINTIER ⁽²⁾, Camille ROBERT ⁽¹⁾

⁽¹⁾ LAMPA, Arts et Métiers Paristech, CER d'Angers, 2 Boulevard du Ronceray, 49100 ANGERS.

⁽²⁾ I2M, Arts et Métiers Paristech, CER de Bordeaux, Esplanade des Arts et Métiers, 33400 TALENCE

benoit.bracquart@ensam.eu

Mots clés : fatigue, défaut, microstructure, taille de grains, aluminium.

Résumé

Il est bien connu que la présence de défauts géométriques provoque un abaissement de la limite d'endurance en fatigue à grand nombre de cycles des alliages métalliques. Comme montré par Lukas et al. [1], l'influence du défaut est prépondérante quand celui-ci est grand, et il existe une dimension critique en dessous de laquelle le comportement en fatigue d'un alliage n'est plus affecté par la présence de celui-ci. Bien que la connaissance des tailles de défaut critiques soit d'une grande importance pour le dimensionnement en fatigue, l'influence de la microstructure sur la taille critique reste encore mal comprise.

Des travaux récents [2] ont permis d'étudier, expérimentalement et numériquement, l'influence de la microstructure au voisinage du défaut, mais en ne faisant varier que la taille de ce dernier. Les résultats obtenus ont permis de déterminer l'influence du comportement des grains (anisotropie, plasticité cristalline, etc.), mais ne permettaient pas de statuer sur l'existence d'une taille de défaut critique en dessous de laquelle la limite de fatigue n'est pas affectée. Dans ce travail, on cherche à prolonger ces travaux en s'intéressant à l'impact des dimensions caractéristiques de la microstructure sur la tenue en fatigue en présence de défauts. Il s'agit plus spécifiquement d'étudier l'évolution du comportement en fatigue en fonction du rapport entre les dimensions caractéristiques du défaut et celles de la microstructure (taille de grains moyenne).

Afin de répondre à cet objectif, une démarche à la fois expérimentale et numérique est envisagée. Sur le plan expérimental, différentes séquences de traitements thermomécaniques sont appliquées à des polycristaux d'aluminium 1050 (pureté de 99,50%) afin d'obtenir des tailles de grains moyennes variant de 200 à 2000 μm . Des éprouvettes de fatigue, contenant des défauts superficiels hémisphériques de différentes tailles (200 à 2000 μm), seront alors préparées à partir de ces polycristaux. Pour caractériser la microstructure au voisinage des défauts, des analyses EBSD seront ensuite réalisées avant essai. Les cartographies ainsi obtenues, de même que les résultats des essais de fatigue uniaxiaux réalisés sur les éprouvettes préalablement préparées, devront permettre de mieux comprendre les interactions entre la microstructure locale et les défauts géométriques en fonction des tailles relatives de ces derniers.

Sur le plan numérique, on intégrera les données expérimentales issues des analyses EBSD pour générer des microstructures réalistes contenant des défauts de différentes dimensions. La prise en compte de l'anisotropie du comportement élasto-plastique cristallin permettra d'estimer les champs mécaniques locaux.

L'ensemble des résultats obtenus numériquement et expérimentalement devra alors permettre de mieux comprendre et de quantifier l'impact de la microstructure locale sur le comportement en fatigue des alliages métalliques avec défauts géométriques. Un accent particulier sera mis sur l'influence des hétérogénéités microstructurales sur la dispersion associée aux résultats des essais.

Références

- [1] : P. Lukas et al. Notch size effect in fatigue. *Fatigue Fract. Engng Mater. Struct.*, 12(3), pp 175-186, 1989.
- [2] : R. Guerchais. *Influence d'accidents géométriques et du mode de chargement sur le comportement en fatigue à grand nombre de cycles d'un acier inoxydable austénitique 316L*. Thèse de Doctorat, LAMPA, 2014.
- [3] : P. Lorenzino et al. Naked eye observations of microstructurally short fatigue cracks. *Int. J of Fatigue*, 56, pp 8-16, 2013.

Etude de l'effet de différents traitements thermochimiques de surface sur les propriétés en fatigue des aciers à partir d'essais d'auto-échauffement sous sollicitation cyclique

Graux Nicolas ^{(a)(b)}, Doudard Cédric ^(a), Calloch Sylvain ^(a)

(a) LBMS EA 4325 -- ENSTA Bretagne / UBO / ENIB, 2 rue François Verny, 29806 BREST CEDEX 9 - FRANCE

(b) POCLAIN HYDRAULICS INDUSTRIE BP 106 - 60411 Verberie Cedex - FRANCE

Afin d'améliorer la tenue à la fatigue de pièces soumises à un chargement de contact roulant un traitement de cémentation est souvent réalisé. Ce procédé permet d'obtenir une pièce mécanique avec une couche dure en surface qui offre une bonne résistance à l'usure et de bonnes propriétés en fatigue. Cependant la prédiction quantitative du gain obtenu en appliquant ce procédé ainsi que son optimisation vis-à-vis de la tenue en fatigue reste difficile. En effet, Il s'agit d'un problème complexe à différents niveaux, tout d'abord par le contact roulant qui impose des contraintes multiaxiales non proportionnelles et ensuite par l'hétérogénéité des propriétés à la fatigue de l'élément étudié induite par la cémentation. Cette étude se concentre sur l'influence de trois traitements, trempe revenue, cémentation et cémentation plus recuit ainsi que trois nuances d'acier différentes sur les propriétés en fatigue polycyclique. On ne s'intéressera donc qu'uniquement au problème lié à l'hétérogénéité matériaux. Pour identifier l'évolution des propriétés à la fatigue induites par un traitement de cémentation, un procédé d'obtention d'éprouvettes tubulaires permettant d'assurer la diffusion du carbone depuis le diamètre extérieur et suivant toute l'épaisseur de la zone étudiée a été mis au point. Ainsi on cherche à réaliser des éprouvettes les plus homogènes possible. Pour pallier les problèmes de temps d'essai et de coût des éprouvettes, les propriétés à la fatigue sont évaluées par des mesures d'auto-échauffement sous sollicitations cycliques uniaxial. Finalement l'évolution des propriétés en fatigue mesurée est mise en relation avec les propriétés matériaux des différents cas étudiés.

INFLUENCE DES DEFAUTS D'EMBOUTISSAGE DE TISSUS SUR LA DURABILITE DE STRUCTURES COMPOSITES

Imed DERBALI¹, Laurent GUILLAUMAT¹, Svetlana
TEREKHINA¹, Pierre OUAGNE²

1 : ENSAM d'Angers, Laboratoire Angevin de Mécanique, Procédés et
innovAtion – LAMPA

2 Boulevard du Ronceray, 49100 Angers Cedex 01

2 : Polytech'Orléans, laboratoire Pluridisciplinaire de Recherche en
Ingénierie des Systèmes, Mécanique et Energétique-PRISME
8 rue Léonard de Vinci, 45072 Orléans Cedex 02

E-mails : Imed.Derbali@ensam.eu ; Laurent.Guillaumat@ensam.eu ;
Svetlana.Terekhina@ensam.eu ; Pierre.Ouagne@univ-orleans.fr

Mots clés : Emboutissage; tissu lin/polypropylène; caractéristiques mécaniques.

Résumé

De nos jours, l'utilisation des matériaux composites dans les domaines industriels, en particulier dans les secteurs de l'automobile et de l'aérospatiale est devenue indispensable. L'origine de ce succès s'explique par les nombreux avantages que les composites offrent par rapport aux matériaux traditionnels : gains de masse, bonne résistance à la corrosion, amortissement des vibrations et la facilité de mise en forme de pièces complexes. L'utilisation des fibres synthétiques comme renfort pour ces matériaux soulèvent de plus en plus des questions tant au niveau sanitaire qu'environnementale. De point de vue environnemental, un des enjeux est notamment de remplacer ces fibres par des fibres végétales [1-2]. Il est important donc de faire un point sur les différentes catégories de renforts issus de ressources renouvelables et biodégradables. Certains secteurs industriels, comme l'automobile et l'aéronautique s'intéressent à l'utilisation de fibres cellulosiques qui conduisent à des produits ayant une bonne aptitude à la mise en forme et de bonnes performances. A titre d'exemple, la fibre de lin offre des propriétés mécaniques intéressantes et apparaît comme une solution technologique écologique.

Cependant, l'un des enjeux majeurs des industriels du secteur automobile est de pouvoir obtenir des pièces mécaniques en composites à des cadences comparables avec les technologies utilisées aujourd'hui, soit quelques minutes par pièces au maximum. C'est la raison pour laquelle l'emboutissage de tissus comelés est prometteur puisqu'il permet de mettre en forme des pièces complexes en une ou deux opérations.

Dans le cadre de cette étude, on a mis en place un dispositif expérimental de thermocompression permettant de mettre en forme des tissus lin/polypropylène en une seule phase. L'idée consiste à mettre le tissu sous pression entre le poinçon et la matrice et d'appliquer un cycle thermique de chauffage et de refroidissement.

Cette étude a pour objectifs donc : (i) d'optimiser la phase de mise en forme de pièces composites lin/polypropylène, en gardant une cadence compatible avec des applications industrielles et en réduisant les défauts qui ont tendance à apparaître lors du procédé de fabrication. Et (ii) d'évaluer la fiabilité du procédé à travers l'étude du comportement mécanique des pièces (essais quasi-statiques et dynamiques).

Pour cela, une pièce en forme de V a été fabriquée par le dispositif avec un temps de fabrication réduit (7minutes). Ensuite des essais de flexion trois points, tractions simple et cyclique sont réalisés.

Références

- [1] C. Baley, «Analysis of the flax fibres tensile behaviour and analysis of the tensile stiffness increase ». Composite Part A: Applied Science and Manufacturing, 33. 7, pp.939-948, 2002.
- [2] Joost R. Duflou, Deng Yelin, Karel Van Acker, Wim Dewulf, «Comparative impact assessment for flax fibre versus conventional glass fibre reinforced composites: Are bio-based reinforcement materials the way to go? ». CIRP Annals-Manufacturing Technology, 63. 1, pp.465-48, 2014.

APPORT DE NOUVELLES METHODES DE CARACTERISATION DES CHAMPS CINEMATIQUES ET THERMIQUES EN CONDITIONS THERMOMECHANIQUES EXTREMES

Bessam ZERAMDINI (1), Guénaél GERMAIN (1), Anne MOREL (1),
Thomas POTTIER (2), Camille ROBERT (1)

⁽¹⁾ ARTS ET METIERS PARISTECH, LAMPA, Angers 49100 FRANCE

⁽²⁾ MINES D'ALBI-CARMAUX, ICA, Albi 81000 FRANCE

Mots clés: Champs de déformation, champs thermique, corrélation d'images, simulations numériques, remaillage 3D

Résumé

Cette étude présente la mise en place d'un dispositif d'observation de la zone de coupe afin de déterminer les champs de déformation par corrélation d'images dans le cadre de la coupe orthogonale. Ce dispositif expérimental utilise une caméra rapide couplé à un objectif de fort grossissement. De plus, une analyse thermique aux mêmes échelles spatiale et temporelle complèterai et renforcera fortement l'approche cinématique décrite ci-dessus. En effet, un dispositif permettant de réaliser une observation cinématique et thermique synchrone est en cours de développement. A terme, il serait possible de connaître les champs locaux de déformation et thermique dans les zones de formations de copeau, ce qui permettra d'améliorer considérablement la compréhension des mécanismes thermiques et mécanique mis en jeu. De plus, ces résultats conduiront à une validation des simulations numériques à l'échelle locale, ce qui constituera un critère pertinent pour discriminer des lois de plasticité et d'endommagement utilisées. Aussi un modèle de coupe en 3D avec remaillage adaptatif sera développé pour simuler la propagation des fissures et la formation des festons en conditions extrêmes en usinage.

REDUCTION DIMENSIONNELLE DE TYPE PGD POUR LE CALCUL NUMERIQUE EN FATIGUE A GRAND NOMBRE DE CYCLES

Mohamed Aziz NASRI ¹, Camille ROBERT ¹, Saber EL AREM ¹, Franck MOREL ¹,
Amine AMMAR ¹

(¹) ARTS ET METIERS PARISTECH, CAMPUS D'ANGERS, LAMPA, 2 Boulevard du Ronceray,
49100 ANGERS

Mots clés : éléments finis, fatigue à grand nombre de cycles, agrégat polycristallin, PGD

Résumé

La prise en compte de la naissance et de la propagation des fissures dans le régime de fatigue à grand nombre de cycles (10^6 - 10^7 cycles) s'est heurtée aux difficultés inhérentes à l'échelle où les mécanismes moteurs prennent place (échelle de la microstructure). Plus exactement, après amorçage, les microfissures passent une fraction importante de la durée de vie totale à se propager à travers trois ou quatre grains avant de bifurquer vers un autre mode de propagation. A cette échelle, la plasticité locale, les hétérogénéités microstructurales ainsi que les orientations cristallines jouent un rôle primordial sur l'évolution du dommage.

Généralement, pour prédire la tenue en fatigue, il est nécessaire de connaître l'historique des différentes quantités mécaniques au point d'amorçage de la fissure. D'un point de vue numérique, les modélisations numériques des matériaux à l'échelle de la microstructure se sont fortement développées au cours des deux dernières décennies. Malheureusement les méthodes de résolution classiques ne permettent pas de simuler les agrégats polycristallins au-delà de quelques dizaines de cycles à cause de temps de calcul prohibitifs [1]. Ce travail présente une étude numérique relative à la résolution par la méthode des éléments finis d'agrégats polycristallins soumis à un chargement en fatigue à grand nombre de cycles.

Afin de réduire le temps de calcul, essentiellement dû à la factorisation de la matrice de rigidité, la première idée est de la maintenir constante. Dans notre cas, les seules non-linéarités sont dues à la loi de comportement élasto-visco-plastique. Il est alors possible de mettre ce terme non linéaire dans le second membre du système linéaire [2] et de prendre la matrice de rigidité calculée avec les propriétés élastiques du matériau. Un premier algorithme a été écrit dans ce sens.

La deuxième proposition est d'utiliser une méthode de réduction dimensionnelle en espace/temps. La PGD [3] a été choisie. Le principe générale est de décomposer les variables en produit de fonctions. Ainsi les champs de déplacements ne sont calculés que pour un certain nombre de modes. De plus les non-linéarités sont placées dans le second membre pour ne pas à avoir de décomposition de la matrice de rigidité (gain en mémoire et temps de factorisation).

Les simulations ont été conduites sur un agrégat polycristallin d'un acier 316L composé de 512 grains sollicité en déformation macroscopique imposée et sur 10 cycles de chargements. Les résultats des deux méthodes sont comparés avec la méthode incrémentale classiquement utilisée

(Newton Raphson) et montrent une bonne estimation des champs mécaniques moyennés par grain, ainsi qu'un gain de temps significatif.

Références

[1] : C. Robert, N. Saintier, T. Palin-Luc, F. Morel. (2014). Micro-mechanical modelling of high cycle fatigue behaviour of metals under multiaxial loads. *Mechanics of Materials*, 55:112-129.

[2] : Konstantinos V. Spiliopoulos, Konstantinos D. Panagiotou (2012). A direct method to predict cyclic steady states of elastoplastic structures. *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg*, 223-224:186-198.

[3] : A. Ammar. (2010). The proper generalized decomposition : a powerful tool for model reduction. 55:112-129. *Int J Mater Form*, 3:89-102.

REDUCTION DIMENSIONNELLE DE TYPE PGD POUR LE CALCUL NUMERIQUE EN FATIGUE A GRAND NOMBRE DE CYCLES

Mohamed Aziz NASRI ¹, Camille ROBERT ¹, Saber EL AREM ¹, Franck MOREL ¹,
Amine AMMAR ¹

(¹) ARTS ET METIERS PARISTECH, CAMPUS D'ANGERS, LAMPA, 2 Boulevard du Ronceray,
49100 ANGERS

Mots clés : éléments finis, fatigue à grand nombre de cycles, agrégat polycristallin, PGD

Résumé

La prise en compte de la naissance et de la propagation des fissures dans le régime de fatigue à grand nombre de cycles (10^6 - 10^7 cycles) s'est heurtée aux difficultés inhérentes à l'échelle où les mécanismes moteurs prennent place (échelle de la microstructure). Plus exactement, après amorçage, les microfissures passent une fraction importante de la durée de vie totale à se propager à travers trois ou quatre grains avant de bifurquer vers un autre mode de propagation. A cette échelle, la plasticité locale, les hétérogénéités microstructurales ainsi que les orientations cristallines jouent un rôle primordial sur l'évolution du dommage.

Généralement, pour prédire la tenue en fatigue, il est nécessaire de connaître l'historique des différentes quantités mécaniques au point d'amorçage de la fissure. D'un point de vue numérique, les modélisations numériques des matériaux à l'échelle de la microstructure se sont fortement développées au cours des deux dernières décennies. Malheureusement les méthodes de résolution classiques ne permettent pas de simuler les agrégats polycristallins au-delà de quelques dizaines de cycles à cause de temps de calcul prohibitifs [1]. Ce travail présente une étude numérique relative à la résolution par la méthode des éléments finis d'agrégats polycristallins soumis à un chargement en fatigue à grand nombre de cycles.

Afin de réduire le temps de calcul, essentiellement dû à la factorisation de la matrice de rigidité, la première idée est de la maintenir constante. Dans notre cas, les seules non-linéarités sont dues à la loi de comportement élasto-visco-plastique. Il est alors possible de mettre ce terme non linéaire dans le second membre du système linéaire [2] et de prendre la matrice de rigidité calculée avec les propriétés élastiques du matériau. Un premier algorithme a été écrit dans ce sens.

La deuxième proposition est d'utiliser une méthode de réduction dimensionnelle en espace/temps. La PGD [3] a été choisie. Le principe générale est de décomposer les variables en produit de fonctions. Ainsi les champs de déplacements ne sont calculés que pour un certain nombre de modes. De plus les non-linéarités sont placées dans le second membre pour ne pas à avoir de décomposition de la matrice de rigidité (gain en mémoire et temps de factorisation).

Les simulations ont été conduites sur un agrégat polycristallin d'un acier 316L composé de 512 grains sollicité en déformation macroscopique imposée et sur 10 cycles de chargements. Les résultats des deux méthodes sont comparés avec la méthode incrémentale classiquement utilisée

(Newton Raphson) et montrent une bonne estimation des champs mécaniques moyennés par grain, ainsi qu'un gain de temps significatif.

Références

[1] : C. Robert, N. Saintier, T. Palin-Luc, F. Morel. (2014). Micro-mechanical modelling of high cycle fatigue behaviour of metals under multiaxial loads. *Mechanics of Materials*, 55:112-129.

[2] : Konstantinos V. Spiliopoulos, Konstantinos D. Panagiotou (2012). A direct method to predict cyclic steady states of elastoplastic structures. *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg*, 223-224:186-198.

[3] : A. Ammar. (2010). The proper generalized decomposition : a powerful tool for model reduction. 55:112-129. *Int J Mater Form*, 3:89-102.

Martensitic transformation effect on the mechanical behavior of TRIP austenitic stainless steel during forming process

Y. Demmouche¹, E. Alarcon Tarquino^{1,2}, L. Saint-Sulpice², N. Laurain³, O. Yousfi³, S. Arbab Shirani², S. Calloch¹

¹ENSTA Bretagne – Laboratoire Brestois, de Mécanique et des Systèmes (EA 4325), 2 rue F. Verny 29806 Brest Cedex 9, France

²ENIB, Laboratoire Brestois, de Mécanique et des Systèmes (EA 4325), Technopôle Brest-Iroise, CS73862, 29238 Brest Cedex 3, France

³GTT (GAZTRANSPORT & TECHNIGAZ)SA- 1 route de Versailles - 78470 Saint-Rémy-Lès-Chevreuse – France

E-mail: younes.demmouche@ensta-bretagne.fr

e1alarco@enib.fr

Transformation-induced-plasticity (TRIP) steels exhibit complex material behavior, because of martensitic transformation during plastic deformation. This study aims to modeling the mechanical behavior for such TRIP materials using a two kinematic and isotropic hardening model taking into account the evolution of the martensitic transformation rate during mechanical loading. This model was developed on austenitic stainless steels material and could be extended to describe different TRIP materials behavior. This model was then implemented in FE software abaqus/explicit in order to describe mechanical properties and martensitic transformation evolution during isothermal mechanical process. Simulation of forming process with FE abaqus/explicit was carried out and compared to experimental data. It was concluded that the numerical results show a good agreement with experimental ones in terms of mechanical properties and martensitic transformation rate.

Keywords: Martensitic transformation, modeling, FE simulation, mechanical behavior, forming, TRIP Steels

DETERMINATION OF SHAPE MEMORY ALLOYS FATIGUE PROPERTIES BY CLASSIC AND SELF-HEATING TECHNIQUES: PROCESSING EFFECT

V. Legrand¹, L. Saint-Sulpice¹, L. Pino¹, S. Arbab Chirani¹, S. Calloch²

¹*LBMS – ENIB, Brest, France*

²*LBMS -ENSTA Bretagne, Brest, France*

Mots clés : NiTi, superelasticity, self-heating, thermomechanical coupling, fatigue criterion

Résumé

Shape Memory Alloys (SMA) are materials which are able to recover a large inelastic deformation (up to 8%) under thermomechanical loadings. It is due to a solid-solid diffusionless phase transformation called martensitic transformation. This interesting property makes these alloys suitable for the development of original applications in various domains like biomedical, transport, etc. These materials can generate different types of behavior. Superelasticity is one of these behaviors which is obtained under isothermal mechanical loading. This effect is widely used in applications. But their fatigue is still a relatively unexplored area. Currently in the design phase of structures based on these materials, fatigue is not considered. In this study, we focus on superelastic SMA fatigue by the study of self-heating phenomena. It begins with a primary stage based on fatigue tests using fast technique: self-heating. It permits to determine the fatigue properties of these materials. Then classic fatigue tests are carried out. By this way, Wöhler curves are obtained. Classic fatigue results have permitted to validate fast techniques. Thus the effect of a large number of processing parameters like heat treatment, electropolishing, or rate wire drawing on fatigue properties are then studied by this fast technique.

PROJET SIMSCEF : SIMULATION STOCHASTIQUE DES MATERIAUX COMPOSITES ENDOMMAGES EN FATIGUE

Edouard Gauthier ^(1, 2), Laurent Guillaumat ⁽¹⁾, Tanguy Moro ⁽²⁾

(1) Arts et métiers ParisTech, LAMPA centre Angers, 02 Bd du Ronceray, 49035, ANGERS

(2) IRT Jules Verne, Chemin du Chaffault, 44340, BOUGUENAIS

edouard.gauthier@irt-jules-verne.fr, edouard.gauthier@ensam.eu

Mots clés : Mise en forme, Défauts, Plissement, Porosité, Variabilité, Endommagement.

Résumé

Le projet SIMSCEF a pour objectif de proposer une méthodologie de dimensionnement mécano-probabiliste des structures composites en tenant compte des effets du procédé de mise en œuvre sur la « santé matière » du composite. Le projet sera articulé en 4 phases principales :

- La définition de modèles mécaniques déterministes de comportement et d'endommagement de matériaux composites soumis à des sollicitations cycliques de fatigue,
- La définition d'une méthodologie de caractérisation expérimentale déterministe et stochastique des caractéristiques intrinsèques de structures en composites,
- La définition d'une méthodologie de calcul mécano-probabiliste,
- La rédaction d'un guideline méthodologique, à vocation industrielle, permettant un transfert vers les membres industriels des résultats du projet.

L'étude qu'on mène va se concentrer sur les 2 premières parties du projet. Dans un premier temps, elle se focalisera sur la définition des modèles mécaniques d'endommagement. Ces modèles physiques devront intégrer de manière pertinente deux types de défauts intéressant les membres industriels du projet : les porosités et les plissements (wrinkles en anglais) dans le matériau. Ces deux défauts étant de natures différentes (le premier résultant du procédé d'infusion retenu, le second du placement manuel des renforts) et multi-échelles (le premier à l'échelle microscopique de la matrice et de la fibre, le second aux échelles méso/macrosopique des plis et du matériau), deux modèles seront proposés, en se basant sur l'état de l'art. Ils seront par ailleurs intégrés dans deux codes de calculs par éléments finis.

Dans un deuxième temps, l'étude va s'intéresser à l'étude fiabiliste des 2 défauts : paramètres géométriques, répartition. Le choix des moyens de mesures sera fait en tenant compte du déploiement industriel futur de cette méthodologie, en trouvant les meilleurs compromis entre performance, rapidité et coût de la caractérisation. Un fort travail de modélisation par outils statistiques de ces caractéristiques constituera le deuxième volet original de cette phase, en prenant en compte la physique intrinsèquement hétérogène et aléatoire des matériaux composites. Le troisième portera sur la réflexion et la création d'une base de données déterministes et probabilistes.

Le projet SIMSCEF a une vocation d'apporter de nouvelles méthodes et de nouveaux outils de validation mécano-probabiliste et de répondre aux principales interrogations industrielles sur conformité d'une pièce structurale en composite : quels défauts sont admissibles à l'issue de la fabrication pour assurer, en service, l'intégrité de la pièce.

Index des auteurs

Abroug, Foued.....	11
Alimi, Amel.....	10
Arbab Chirani, Shabnam	36
Badji, Riad.....	13
Bardeau, Jean-François	9
Bertrand, Emmanuel.....	8
Bouabdallah, Mabrouk	13
Bouchara, Jean-Philippe.....	9
Bouhattate, Jamaa.....	15
Bourgeois, Hugues.....	9
Bracquart, Benoît.....	25
Calloch, Sylvain.....	27, 36
Canivenc, Romain.....	12
Carin, Muriel.....	12
Carron, Denis	13
Christien, Frédéric.....	3
Coër, Jérémy.....	12
Creus, Juan.....	6, 15
Crozatier, Mathilde.....	20, 22
Delorme, Nicolas.....	9
Demazel, Nathan.....	12
Demmouche, Younes.....	35
Derbali, Imed.....	28
Doudard, Cédric.....	27
Elleuch, Riadh.....	10
Fabre, Héloïse.....	9
Fajoui, Jamal.....	10
Favero, Jérôme.....	12
Feaugas, Xavier.....	6
Gauthier, Edouard.....	37
Gerin, Benjamin.....	21
Germain, Guenael.....	11
Germain, Guénaël.....	30
Giraudet, Arnaud.....	3
Goudeau, Philippe.....	2
Graux, Nicolas.....	27
Haddad, Mohamed.....	20, 22
He, Wei.....	2

Jacquemin, Frédéric	10
Jacques, Chêne.....	15
Kchaou, Mohamed.....	10
Keller, Clément	14
Kherrouba, Nabil.....	13
Lagarde, Matthieu.....	6
Laghoutaris, Pierre.....	15
Laurent, Guillaumat	20, 22
Laurent, Hervé.....	12
Le Bourhis, Eric.....	1, 2
Le Masson, Philippe	12
Le, Viet-Duc.....	4
Legrand, Vincent.....	36
Mareau, Charles	23, 25
Marnier, Gael.....	14
Martin, Frantz.....	15
Menou, Edern	8
Mnif, Ridha.....	10
Morel, Anne.....	30
Morel, Franck	11, 21, 23, 25
Nadot, Yves	16
Nasri, Mohamed Aziz.....	31
Oudriss, Abdelali.....	15
Pessard, Etienne	11, 21
Pino, Laurent.....	36
Pottier, Thomas.....	30
Ramstein, Gérard.....	8
Renault, Pierre-Olivier.....	2
Robert, Camille	25, 30
Saint-Sulpice, Luc.....	36
Saintier, Nicolas	25
Savall, Catherine	6, 15
Seror, Alexandre	16
Simon, Julien.....	16
Taleb, Lakhdar.....	14
Tancret, Franck.....	3, 8
Terekhina, Svetlana.....	20
Verdu, Catherine.....	21

Yaich, Mariem..... 17

Younes, Wael.....19

Zeramdini, Bessam.....30

Zghal, Jihed..... 23

