

*Durabilité des matériaux : endommagement,
dégradation, fatigue et rupture*



Introduction

La journée annuelle de la SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MÉTALLURGIE ET DE MATÉRIAUX (SF2M section Ouest) se déroule le 17 avril à Tours dans les locaux de [Polytech Tours](#) (Département Mécanique et Système) et est conjointement organisée par le Laboratoire de Mécanique et Rhéologie ([LMR](#), EA 2640) et la section Ouest de la SF2M.

Cette journée a pour vocation 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 :

"Durabilité des matériaux : endommagement, dégradation, fatigue et rupture"

Ce thème renvoie à des problèmes industriels et/ou académiques fondamentaux complexes sur lesquels une recherche active et innovante est menée. Ainsi le spectre exploré couvrira tout aussi bien des démarches expérimentales nouvelles, des approches "procédés", de la caractérisation de matériaux, de leurs mécanismes de dégradation, le développement ou l'utilisation d'outils de modélisation et la prévision de la tenue en service de pièces complexes...

Le caractère vaste et pluridisciplinaire du thème de cette année permettra d'inviter des orateurs d'horizons différents (mécanique, matériaux, procédés...) venant du monde industriel ou de la recherche universitaire (et bien souvent en collaboration étroite) et tentera de s'intéresser à divers matériaux (métalliques, polymères, matériaux agrégataires, céramiques...). Ces orateurs sont choisis et invités par le bureau de la section Ouest de la sf2M ainsi que les membres du comité d'organisation.

Comité d'organisation

- Naima Benyagoub
- Anna Dos Santos
- Gaëlle Berton
- Florian Lacroix
- Stéphane Méo

Remerciements

Le comité d'organisation remercie chaleureusement :

- la société INSTRON
- Polytech Tours

pour leur soutien financier.

Il remercie, de plus le Département Mécanique et Systèmes de Polytech Tours pour la mise à disposition des salles.

Enfin, merci aussi au Laboratoire de Mécanique et Rhéologie pour son appui logistique.

08:30 - 08:50 Accueil des participants, café d'accueil

08:50 - 09:20

Allocution de bienvenue

B. Huneau, E. Néron, S. Méo

09:20 - 09:50

Endommagement et rupture d'aciers à haute résistance mécanique : application aux sièges d'automobile

Jérôme CHOTTIN (FAURECIA)

09:50 - 10:20

Comportement mécanique et réactif d'un matériaux énergétique

Didier PICART, CEA

10:20 - 10:50

Endommagement des polymères en conditions couplées diffusion de gaz - mécanique

Sylvie CASTAGNET, Institut P'

10:50 - 11:40 Pause Pause café - Posters

11:40 - 12:10

Fatigue des polyamides chargés en fibres de verre

Ida Raoult (PSA)

12:10 - 12:40

Renforcement des polymères par des fibres végétales. Intérêts, Enjeux et cohérence

Christophe BALEY (LIMATB)

12:40 - 14:00 Pause Déjeuner

14:00 - 14:30

Micro-mechanical modelling of high cycle fatigue behaviour of metals under multiaxial loads

Franck MOREL (LAMPA)

14:30 - 15:00

Dissipation et fatigue des matériaux

Narayanawami RANGANATHAN, LMR

15:00 - 15:30

Prix SF2M Ouest du meilleur master : Étude des transitions volume-surface du cobalt polycristallin de haute pureté, influence de la température et de la transformation allotropique

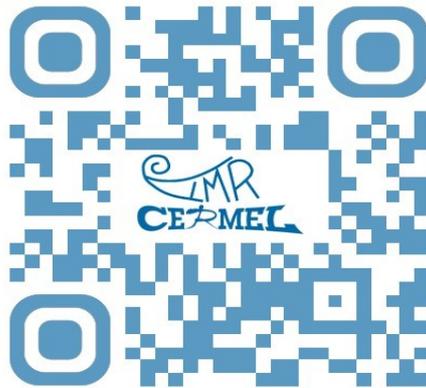
Gwendoline FLEURIER (CRISMAT)

15:30 - 16:00 Pause Pause café - Posters

16:00 - 16:30 Discours Conclusions de fin de journée. Remises des prix

Bertrand Huneau

Conférences



The energy based approach to Fatigue

N. Ranganathan

*Professor, Director Laboratory of Mechanics and Rheology
University François Rabelais de Tours
Polytech Tours
7 Avenue Marcel Dassault, 37200 Tours, France*

Mots clés : Fatigue, dissipation

Résumé

The author has been working in the energy based models in Fatigue over the past 30 years. This paper is a review of this approach.

In the case of fatigue crack initiation, initial models based on dislocation kinetics are reviewed. As a recent application, the models developed in the microelectronics applications are presented.

In the case of fatigue propagation, recent developments of the model developed by the author are highlighted. It is shown that most effects attributed to crack closure can be successfully described based on Energy concepts. It is proposed that two fundamental modes of crack growth exist

- one based on cycle by cycle crack growth by striation formation at moderated growth rates,
- second based on a step by step growth at low growth rates.

Based on these facts, a unique crack growth model is proposed that permits the description of fatigue crack growth covering 7 decades, irrespective of the environment.

In the case of variable amplitude loading, the energy based analysis shows a similar evolution, based on the existence of two modes of crack growth.

The model is extended to fatigue of elastomers – where it is shown that hysteretic energy describes the effects of frequency and the load ratio.

A viscoelastic model is developed and it can be shown that specific aspects of elastomer fatigue, such as the strain induced crystallization can be described by energy concepts.

Finally multi-axial fatigue behavior in an elastomer is successfully described based on the energy model.

Comportements mécanique et réactif d'un explosif comprimé soumis à un impact

Didier PICART, Maxime BIESSY, Eric BOUTON, Hervé TRUMEL

CEA, Le Ripault F-37260 MONTS

Mots clés : matériau énergétique, allumage, modélisation, simulations aux éléments finis

Résumé

Le matériau que nous étudions est un composite hétérogène fortement chargé en cristaux de HMX (octahydro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazocine). Quelques pourcents d'un liant plastique lui confèrent, après compaction isostatique, une excellente tenue. Si le seuil de transition choc-détonation (TCD) est bien connu pour cette composition, la prédiction de la violence des réactions pour des sollicitations inférieures au seuil de TCD reste difficile. Alors que baisser l'énergie cinétique fait généralement baisser la violence de la réaction, des régimes extrêmement violents (combustion vive, déflagration) et inattendus sont observés même pour une faible vitesse du projectile. La simulation de ces agressions nécessite donc la mise au point d'un outil numérique prenant en compte le comportement mécanique de l'explosif à l'échelle globale, une méthode de changement d'échelle permettant de connaître l'amplitude des champs mécaniques à l'échelle de la microstructure et un mécanisme de formation de point chaud avec traitement des transferts de chaleur à cette échelle.

Aux plus faibles vitesses de déformation et pour des pressions de confinement modérées (inférieures à 20 MPa), les essais de compression simple, de traction simple ou les trajets de compression sous confinement permettent d'explorer le comportement [Le07, Benelfellah13]. Ils montrent une forte dépendance du matériau à la direction du chargement (traction ou compression) et à la pression de confinement. Ces essais mettent en évidence un mécanisme d'endommagement par microfissuration. Toute la déformation n'est pas recouverte.

La réalisation d'expérience mécanique devient plus complexe dans le domaine des fortes pressions de confinement. Nous disposons toutefois des résultats obtenus entre 20 et 800 MPa de confinement. Ces essais montrent que le comportement initialement fragile, exhibant une déformation à rupture de l'ordre du pourcent, devient plus ductile au-delà de 30 MPa. Pour les pressions de confinement excédant 200 MPa et compte tenu des moyens métrologiques utilisés dans ces expériences (jauges de déformation), on ne distingue plus de pic de contrainte.

Peu de données mécaniques sont disponibles pour les conditions de chargement couplant la pression de confinement et les hautes vitesses de déformation. Dans ces régimes et pour ces matériaux très fortement chargés, on peut s'attendre à ce que la mobilisation des contacts intergranulaires par frottements prenne petit à petit le pas sur les déformations pilotées par le liant visqueux. Si le comportement visqueux n'est probablement pas totalement inhibé, il

pourrait avoir une importance bien moindre que la consolidation due au confinement. Cette hypothèse a été confirmée récemment par la réalisation d'essais de compression rapide dans un système de barres d'Hopkinson. L'échantillon cylindrique était confiné latéralement dans une bague métallique instrumentée de jauge de déformation. Des premiers essais confirment cette affirmation [Vial13].

Plusieurs mécanismes dissipatifs ont été proposés par le passé en fonction de la violence de l'impact. Dans le domaine des chocs, la compression rapide des porosités est le mécanisme qui a recueilli le plus d'intérêt ces dernières décennies. Les mécanismes de dissipation par frottement des lèvres des microfissures ou par échauffement dans des bandes de plasticité cristallines sont les deux mécanismes actuellement les plus probables pour les sollicitations qui nous concernent ici. Nous adoptons un modèle permettant facilement de travailler avec l'un ou l'autre des mécanismes en fonction des développements futurs.

D'autre part, l'échelle à laquelle se situent les points chauds (le micromètre) est différente de l'échelle caractéristique à laquelle les calculs d'impact sont réalisés (typiquement de l'ordre du millimètre). Pour cela, il conviendrait d'invoquer une méthode de changement d'échelle. La transition d'échelle que nous effectuerons sera délibérément empirique puisque nous relierons proportionnellement les champs mécaniques identiques des différentes échelles.

Finalement, la loi que nous utilisons ne comporte que quatre paramètres identifiés sur des essais quasi-statiques triaxiaux. Deux autres sont ajoutés pour modéliser à la fois la transition d'échelle et le calcul thermique simplifié que nous effectuons.

Plusieurs expériences ont été simulées avec ce modèle telle que des essais de chute au mouton vertical, des essais dynamiques aux barres d'Hopkinson, des essais de friabilité (essai de Taylor), des essais Susan-test, des essais de poinçonnement, des essais Steven-test et des essais d'impact dans la tranche. Plusieurs résultats seront présentés.

Références

[Le07] Le VD, Modélisation et identification du comportement plastique visco-élastique endommageable d'un matériau agrégataire. thèse, université de Tours 2007.

[Benelfellah13] Benelfellah A, Modélisation de l'anisotropie induite par endommagement pour des matériaux agrégataires énergétiques. thèse, université de Tours 2013.

[Vial13] Vial J, Picart D, Bailly P, Delvare F, Numerical and experimental study of the plasticity of HMX during a reverse edge-on impact test, Modelling Simul. Mat.Sci. Eng. 2013.

Endommagement de polymères en conditions couplées diffusion de gaz – mécanique

Sylvie CASTAGNET, Julien JARAVEL, Ousseynou KANE DIALLO,
Jean-Claude GRANDIDIER

Institut PPRIME, ISAE-ENSMA, 1 Avenue Clément Ader, 86961 Futuroscope cedex

Mots clés : cavitation, élastomère, hydrogène, décompression, simulation numérique

Résumé

La diffusion d'un gaz au sein d'un polymère est susceptible d'affecter le comportement mécanique et des mécanismes d'endommagement tels que la cavitation. Un effet plastifiant du gaz entraîne un moindre recours à la cavitation. Inversement, au cours d'une décompression, l'expansion du gaz dissous peut contribuer à la nucléation et à la croissance de multiples cavités [1]. Selon la nature du couple gaz-polymère, ces deux effets antagonistes peuvent co-exister [2].

Le second phénomène, dit de « décompression explosive », a été étudié expérimentalement dans un élastomère silicone, avec la particularité de pouvoir suivre optiquement l'apparition de l'endommagement pendant la phase de décompression. L'influence des conditions de décompression (vitesse et pression de saturation) sur le temps d'apparition a ainsi pu être cartographiée. Ces résultats ont permis de démontrer qu'il n'était pas possible de baser un critère de cavitation sur une pression hydrostatique critique, contrairement à ce qui est majoritairement proposé dans la littérature.

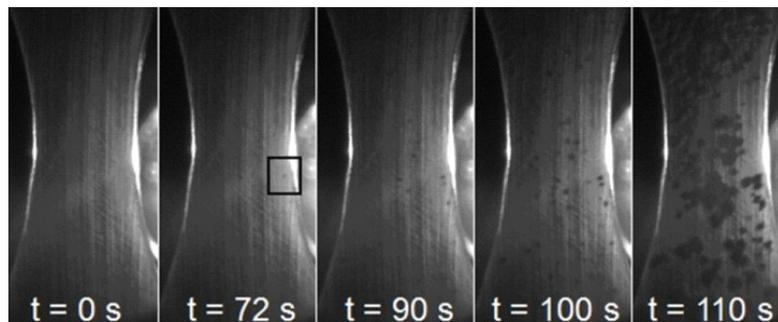


Figure 1 : évolution temporelle de la cavitation dans un vinyltrimetoxysilane transparent sous décompression d'hydrogène à 9MPa/min depuis 9MPa

Pour pallier les difficultés d'accès expérimental à l'échelle du défaut, les mécanismes d'échange de gaz et d'expansion d'une cavité pré-existante sont simulés numériquement par un modèle de sphère creuse en conditions couplées. Les conditions aux limites mécaniques et

diffusionnelles sont déduites du problème macroscopique. Par ce biais, il est possible de raisonnablement prédire le temps d'apparition des cavités en fonction de la vitesse de décompression, ainsi que l'épaisseur de la couche superficielle non-endommagée.

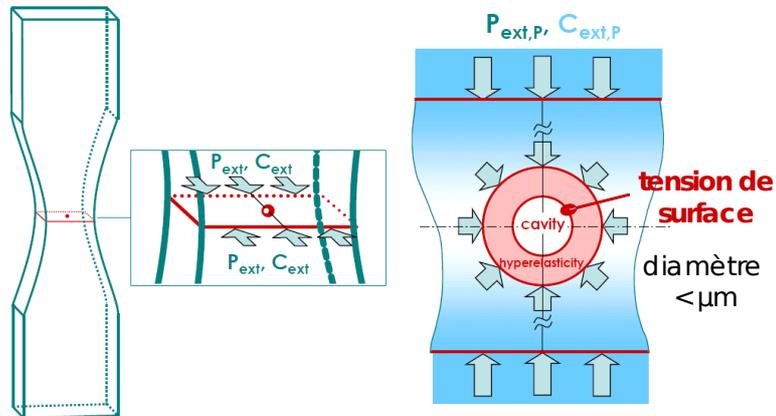


Figure 2 : cadre du modèle de sphère creuse diffuso-mécanique

Le cadre de résolution sphérique de ce modèle de sphère creuse ne permet néanmoins pas de traiter la diversité de phénomènes accessibles par l'expérience : interaction entre cavités voisines, effet d'un chargement mécanique complexe. Un objectif fort du travail en cours est donc d'étendre la simulation au cadre tridimensionnel. Ceci permet d'appréhender dans l'immédiat les effets d'interaction entre cavités voisines. Ces effets sont parallèlement regardés à l'échelle macroscopique en caractérisant la distribution spatiale de champs de cavités dans un EPDM.

Références

- [1] A.N. Gent, D.A. Tompkins, *J. Appl. Phys.* 40 (6) (1969) 2520.
- [2] S.A.E. Boyer, M. Gerland, S. Castagnet, *Gas environment effect on cavitation damage in stretched PolyVinylidene Fluoride*, DOI: 10.1002/pen.23759, à paraître dans *Polymer Engineering and Science*
- [3] J. Jaravel, S. Castagnet, J.C. Grandidier, G. Benoît, *On key parameters influencing cavitation damage upon fast decompression in a hydrogen-saturated elastomer*, *Polymer Testing*, 30(8), pp. 811-818, 2011.
- [4] J. Jaravel, S. Castagnet, J.C. Grandidier, M. Gueguen, *Real-time tracking and numerical simulation of cavity growth upon explosive decompression in hydrogen-saturated rubbers*, *International Journal of Solids and Structures*, 50(9), pp. 1314-1324, 2013.

Fatigue des polyamides chargés en fibres de verre courtes

A. LAUNAY ^(1,2), H. MAITOURNAM ⁽³⁾, Y. MARCO⁽⁴⁾, I. RAOULT ⁽¹⁾

(1) *PSA Peugeot-Citroën, route de Gisy, 78943 Vélizy-Villacoublay Cedex*

(2) *HERAKLES, rue de Touban, 33185 Le Haillan*

(3) *Laboratoire de Mécanique des Solides, Ecole Polytechnique, 91128 Palaiseau*

(4) *Laboratoire Brestois de Mécanique et des Systèmes, ENSTA Bretagne, 2 rue François Verny, 29806 Brest Cedex 9*

Mots clés : PA66GF, comportement cyclique, température, humidité, anisotropie, viscosité, plasticité, fatigue

Résumé

Pour se conformer aux normes environnementales de plus en plus contraignantes, les constructeurs automobiles recherchent des solutions techniques pour alléger leurs véhicules. Pour certaines applications, les thermoplastiques renforcés en fibres de verre courtes sont une solution intéressante en raison de leurs propriétés mécaniques spécifiques, de leur mise en forme aisée grâce au moulage par injection et de leur coût modéré. Leur introduction se heurte toutefois aux difficultés de dimensionnement que rencontrent les bureaux d'étude. En effet, contrairement à la plupart des matériaux structuraux utilisés dans l'automobile, ils présentent un comportement non-linéaire dans leur plage de fonctionnement usuelle, fortement dépendant de l'environnement (température et hygrométrie) et inhomogène sur la structure. Des travaux ont alors été engagés pour mieux comprendre ce comportement et proposer une première méthode de dimensionnement à la fatigue pour un polyamide chargé à 35 % en masse de fibres de verres courtes.

La méthode proposée comporte deux étapes. La première étape est la proposition d'une loi de comportement cyclique, qui modélise les composantes non linéaires de la déformation (viscoélasticité, viscoplasticité, adoucissement) dans différents environnements hygrothermiques. Le modèle anisotrope décrit le lien avec le procédé d'injection, en s'appuyant explicitement sur la distribution d'orientation des fibres, et est validé sur structures.

Dans une seconde étape, la connaissance des chargements mécaniques locaux et des mécanismes non linéaires permet de construire un critère de fatigue à l'amorçage d'une fissure, fondé sur la densité d'énergie dissipée par cycle. Ce critère, proposé à partir d'essais multiaxiaux de la littérature, est ensuite identifié et appliqué avec succès sur le matériau de l'étude, pour différentes microstructures, conditions hygrothermiques et chargements mécaniques.

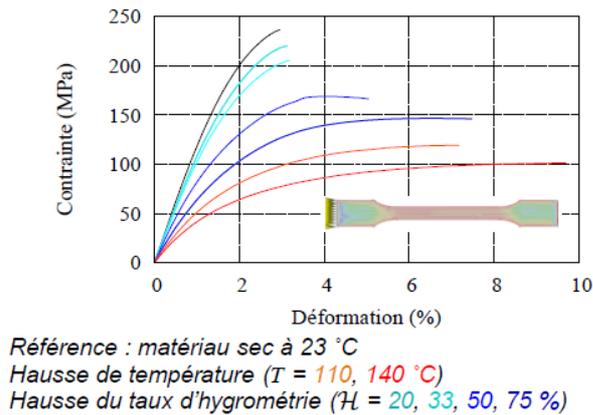


Figure 1 : Influence de la température et de l'hygrométrie sur la réponse monotone du matériau

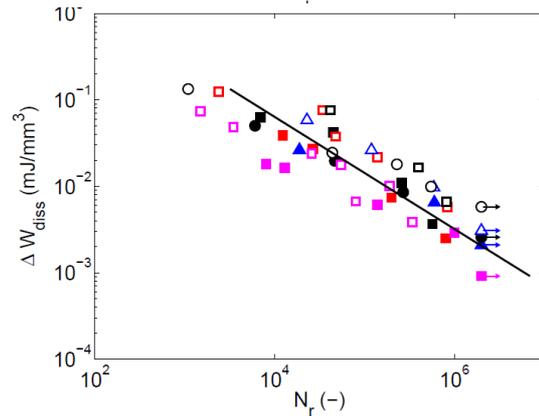


Figure 2 : Durée de vie en fonction de la densité d'énergie dissipée pour divers essais de fatigue multiaxiaux de la littérature ([Klimkeit 2011])

Références

- [1] Multiaxial fatigue life assessment for reinforced polymers, Klimkeit B., Nadot Y., Castagnet S., Nadot-Martin C., Dumas, C., Bergamo S. Sonsino C. M., Büter A., Int. J. Fatigue, 2011
- [2] Cyclic behaviour of short glass fibre reinforced polyamide: Experimental study and constitutive equations, A. Launay, M.H. Maitournam, Y. Marco, I. Raoult, F. Szymtka, Int. J. Plasticity, Vol. 27, Issue 8, 2011
- [3] Multiaxial fatigue models for short glass fiber reinforced polyamide – Part I: Nonlinear anisotropic constitutive behavior for cyclic response, and Part II: Fatigue life estimation, A. Launay, M.H. Maitournam, Y. Marco, I. Raoult, Int. J. Fatigue, Vol. 47, 2013
- [4] Modelling the influence of temperature and relative humidity on the time-dependent mechanical behaviour of a short glass fibre reinforced polyamide, A. Launay, Y. Marco, M.H. Maitournam, I. Raoult, Mechanics of Materials, Vol. 56, 2013

Biocomposites : des polymères renforcés par des fibres végétales. Etat de l'art et enjeux.

Christophe BALEY

Laboratoire d'Ingénierie des Matériaux de Bretagne (Limab), E.A.4250, Université de Bretagne sud, rue saint Maudé, 56100 Lorient, France. Adresse électronique : christophe.baley@univ-ubs.fr

Compte tenu des spécificités de certains éléments de la biomasse, les applications utilisant des biocomposites (polymères renforcés par des parois végétales) progressent. Le terme renfort concerne principalement les fibres végétales, mais il existe aussi des charges végétales telles que les écorces de riz. A ce jour, ces matériaux n'ont pas atteint une grande maturité ce qui explique que la part de marché qu'ils occupent reste modeste. Le développement des biocomposites, qui sont donc des matériaux en devenir, demande une démarche d'innovation, ce qui impose des approches pluriculturelle, pluridisciplinaire, transdisciplinaire, multi-échelles et pluri-partenariales. Le terme transdisciplinaire signifie que les SHS (sciences humaines et sociales) ont un rôle majeur à jouer pour cette problématique à fort enjeu sociétal. L'aspect pluri-partenarial illustre le fait que de nombreux domaines de connaissance sont nécessaires provenant du monde académique mais aussi des mondes agricole et industriel. Il est important de rappeler l'importance des savoir-faire dans le domaine des matériaux composites. Les parois végétales présentent des spécificités dont il faut tenir compte.

L'usage des fibres végétales n'est pas simplement une opération de substitution; elles ont des spécificités qu'il est intéressant de valoriser [1-5], par exemple:

- Une origine renouvelable.
- Elles sont durables et biodégradables.
- Les performances mécaniques spécifiques de certaines fibres sont importantes.
- Elles demandent peu d'énergie pour être produites (en comparaison avec les fibres de verre).
- Leur incinération permet de récupérer de l'énergie...

Les industriels exploitent ces spécificités et utilisent les biocomposites avec différents arguments car ils permettent :

- Une réduction des impacts sur l'environnement [6-9].
- Des gains de masse dans certains cas.
- Différents scénarios en fin de vie (recyclage si la matrice est de type thermoplastique, valorisation énergétique, biocompostage sur la matrice si elle le permet et qu'aucun élément écotoxique n'a été introduit dans la formulation).
- La possibilité de donner une finition naturelle aux pièces.
- La réduction des impacts sur la santé humaine des opérateurs.
- De se préparer à la mise en place d'une législation avec des contraintes environnementales (Reach par ex.).
- De donner une valeur stratégique à des produits...

On note que la notion d'image verte (green washing) n'est pas un argument très durable. Il y a donc des logiques à l'utilisation des biocomposites et non un simple effet de mode. Cet exposé présentera un état des connaissances et les verrous scientifiques à lever pour permettre dans le futur leur

développement à grande échelle. Evidemment les biocomposites sont aussi concernés par les challenges des matériaux composites « courants » renforcés par des fibres de verre, voire de carbone.

Références

- [1] Baley C., « Biocomposites : utopia or reality ? », JEC Composites. 9 (2004), pp28-29.
- [2] Baley C., “High-performance natural fibres ?”, JEC Composites Magazine, 37 (2007), pp 47-49
- [3] Baley C., “A review of biocomposite development”, JEC Composites Magazine 46 (2009), pp 32-33
- [4] Baley C., «Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites », Techniques de l’Ingénieur. Ref. AM. 5 130, (2013), 22 pages
- [5] CELC. “Flax and hemp fibres: a natural solution for the composite industry”, Editeurs : JEC Composites and CELC (2012), 216 pages
- [6] Joshi S, Drzal L., Mohanty A., Arora S., “Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites?”, Composites: Part A. 35 (2004) pp. 371–376
- [7] Pervaiz M., Sain M., “Carbon storage potential in natural fiber composites”, Resources, Conservation and Recycling, 39 (2003) pp. 325-340
- [8] Le Duigou A., Davies P., Baley C., « Environmental impact analysis of the production of flax fibres to be used as composite material reinforcement”, Journal of Biobased Materials and Bioenergy. 5, (2011), pp 1–13
- [9] Le Duigou A., Davies P., Baley C., « Replacement of glass/unsaturated polyester composites by flax/PLLA biocomposites : Is it justified ?”, Journal of Biobased Materials and Bioenergy, 5, (2011), pp 1–17

Micro-mechanical modelling of high cycle fatigue behaviour of metals under multiaxial loads

Franck MOREL

Laboratoire Arts et Métiers ParisTech d'Angers

Mots clés :

Résumé

The high cycle fatigue (HCF) strength assessment methods are generally based on mechanical quantities calculated at macroscopic or mesoscopic scales and validated by the model's ability to accurately reproduce experimental results. Multiaxial mesoscopic fatigue strength criteria are usually based on scaling transition assumptions aiming at capturing the stress or strain state in the grain. In the case of critical plane based criteria (Dang Van, Papadopoulos, Morel), fatigue crack initiation is supposed to be controlled by a mechanical quantity linked to a particular orientation (critical plane).

Several investigations conducted by the research teams of Arts et Métiers ParisTech aim to highlight the influence of both the microstructure, the loading path and the defects on the multiaxial high cycle fatigue behaviour of different metallic materials, using finite element simulations of polycrystalline aggregates. High cycle fatigue tests have been conducted under uniaxial and multiaxial loading conditions with both smooth specimens and specimens containing artificial defects. The experimental results are compared with those of finite element crystal plasticity computations on synthetic microstructures. Statistical information regarding mesoscopic mechanical fields provides useful insight into the microstructural dependence of the driving forces for fatigue crack nucleation at the mesoscopic scale (or the scale of individual grains). The application of different crack initiation criteria at the mesoscopic (grain) scale shows a strong variability of the hydrostatic, normal and shear stresses. At the fatigue limit level, this variability is greater for anisotropic elastic behavior, while the role of crystal plasticity seems to be secondary.

The results from these FE models are used along with an original probabilistic mesomechanics approach to quantify the loading path and defect size effects. The resulting predictions, which are sensitive to the microstructure, include the probability distribution of the high cycle fatigue strength.

The results offered hence new insights into the multiaxial fatigue modeling of metals and structures taking into account the microstructure. The usual assumptions of scaling transition rules used in multiaxial fatigue models can be in particular discussed.

ENDOMMAGEMENT ET RUPTURE D'ACIERS À HAUTE RÉSISTANCE MÉCANIQUE : APPLICATION AUX SIÈGES D'AUTOMOBILE

Jérôme Chottin

FAURECIA

*Le Pont de Vère
F-61100 CALIGNY*

Mots clés : Acier, endommagement, Rupture

Résumé

Les contraintes environnementales appliquées au secteur automobile conduisent à utiliser des matériaux à plus haute résistance mécanique. Les métallurgies de ces nouveaux aciers mis au point par les sidérurgistes deviennent plus complexes et ainsi difficiles à appréhender. Dans le cadre de sièges d'automobile, la sécurité des occupants passe alors par une maîtrise sans faille du comportement des matériaux utilisés.

Le but de la présentation est donc de montrer comment Faurecia parvient avec le secours de partenaires académiques à intégrer les notions d'endommagement et de rupture sur ses matériaux dans un flux process complexe. En particulier, la quantification de l'endommagement d'aciers dual phase (DP) à haute résistance sera présentée. L'approche adoptée pour la détermination d'un critère de fissuration et de rupture sera également détaillée.

Etude des transitions volume-surface du cobalt polycristallin de haute pureté

Influence de la température et de la transformation allotropique

Gwendoline FLEURIER ⁽¹⁾, Eric HUG ⁽¹⁾, Mayerling MARTINEZ ⁽¹⁾, Pierre-Antoine DUBOS ⁽²⁾

⁽¹⁾ Laboratoire CRISMAT/ENSICAEN/UCBN/CNRS, UMR6508, 6 bd Maréchal Juin 14050 CAEN Cedex 4

⁽²⁾ ENSICAEN, 6 bd Maréchal Juin 14050 CAEN Cedex 4

Mots clés : effets de taille, cobalt polycristallin, loi de Hall-Petch, transformation allotropique.

Résumé

L'étude des propriétés mécaniques des métaux purs pour leurs applications aux nouvelles technologies développées par la miniaturisation, comme les composants électromécaniques (micro-vis ou micro-ressort) est l'une des principales thématiques d'étude de notre groupe de recherche. Plus particulièrement, nous nous intéressons à l'influence du nombre de grains dans l'épaisseur d'une plaque mince vis-à-vis de ses propriétés mécaniques avec influence de la température. Il a été montré qu'il existe un nombre de grains critique dans l'épaisseur de la plaque en dessous duquel les propriétés mécaniques des métaux sont modifiées. On appelle cette modification transition volume-surface.

L'étude réalisée au cours de ce projet s'est portée sur les transitions volume-surface du cobalt en température. Les deux métaux étudiés jusque-là (nickel [1] et cuivre [2]) ont une configuration cubique à faces centrées et ne présentent pas de transformation allotropique alors que le cobalt présente une structure hexagonale compacte à basse température et une structure cubique à faces centrées à haute température. En effet, nous pouvons vérifier l'existence d'une transition volume-surface pour une nouvelle structure dont le mécanisme de déformation est le glissement basal assisté par le maclage et comparer le comportement mécanique du cobalt CFC avec celui des autres métaux bien connus de notre groupe thématique.

En plus d'une méconnaissance des propriétés mécaniques du cobalt, il s'est avéré qu'il existe peu de bibliographie sur sa microstructure. Donc, en parallèle de la caractérisation mécanique assez routinière dans notre équipe, il a fallu effectuer la caractérisation microstructurale du cobalt dans son état initial. L'analyse EBSD nous a permis de localiser la phase secondaire (Figure 1). De plus, des observations au microscope électronique en transmission ont révélé la présence de fautes d'empilement mises en évidence par l'analyse de clichés de diffraction électronique.

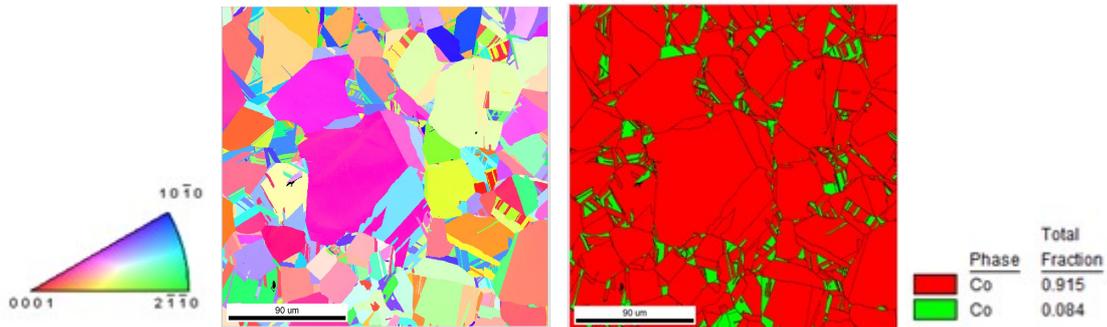


Figure 1 : Analyse EBSD du cobalt dans son état initial avec la microstructure à gauche et la cartographie de phase à droite (Co HC en rouge et Co CFC en vert).

Les essais mécaniques ont démontré l’existence d’une transition volume-surface à toutes les températures étudiées, c’est-à-dire 20 °C et 100 °C lorsque le cobalt est sous forme hexagonale compacte et 500 °C lorsqu’il est sous forme cubique à faces centrées. Pour mettre en évidence cette transition, on trace en Figure 2, la loi de Hall-Petch (contrainte vraie en fonction de l’inverse de la racine carrée de la taille de grains) pour différents niveaux de déformation vraie et elle apparaît lorsqu’on observe une rupture de pente qui correspond à une taille de grains critique. Le nombre de grains critique dans l’épaisseur $(t/d)_c$ est obtenu en divisant l’épaisseur de la plaque t par la taille de grains critique d_c . Il est apparu qu’à température ambiante, ce nombre de grains critique est d’environ 14 mais qu’il évolue avec la température en suivant la même tendance que celle de l’énergie de faute d’empilement.

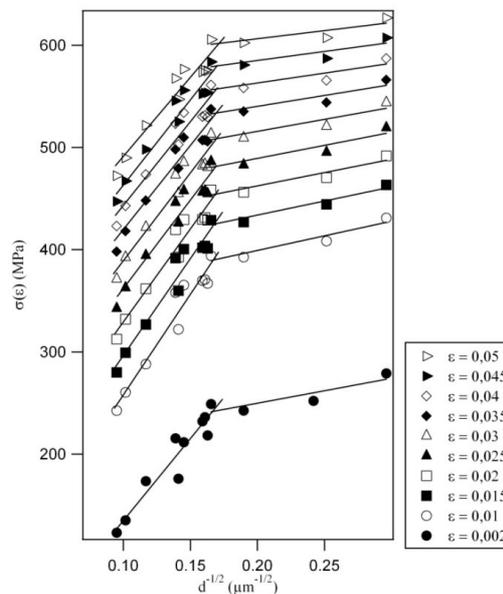


Figure 2 : Mise en évidence du nombre de grains critique par la relation de Hall-Petch.

Références

[1] C. Keller, E. Hug, and X. Feaugas, “Microstructural size effects on mechanical properties of high purity nickel,” *Int. J. Plast.*, vol. 27, no. 4, pp. 635–654, avril 2011.
 [2] E. Hug, P. A. Dubos, and C. Keller, “Temperature dependence and size effects on strain hardening mechanisms in copper polycrystals,” *Mater. Sci. Eng.*, vol. 574, pp. 253–261, juillet 2013.



Journée 2014 de la SF2M, Section Ouest

Tours, le 17 avril 2014

SF2M

Posters



Table des matières

Etude du comportement mécanique de deux familles d'aciers frittés-durcis pour des applications dans l'industrie automobile, M. Gilmas [et al.]	1
Conception optimisée de manilles, J. Cochet [et al.]	3
Caractérisation d'un procédé de mise en forme superplastique avec pré-déformation, A. Giraudet [et al.]	4
Etude de l'aire de l'hystérésis dans le cadre d'essais de fatigue sur un élastomère synthétique, C. Christophe	6
Endommagement anisotrope induit : modélisation du comportement d'un matériau agrégataire, A. Benelfellah [et al.]	8
Study of the RFL/rubber interface in a cord-rubber composite, C. Valantin.....	10
Comportement mécanique des caoutchoucs élaborés par frittage de poudrette de pneus usagés à hautes température et pression., S. Seghar.....	12
Etude du comportement mécanique d'une tôle de Ti-6Al-4V, H. Francillette.....	14
Residual stress measurements in Nickel thin films deposited on polyimide substrates, W. He.....	16
Etude mécanique de films minces nanostructurés sous déformation biaxiale contrôlée, R. Guillou [et al.]	18
Étude comparative de la résistance à l'oxydation de superalliages base nickel, E. Menou [et al.]	20
Etude expérimentale et numérique de la dégradation cyclique des électrodes en CuCr1Zr lors du soudage par résistance par point, D. Carron [et al.]	22
Determination of Elastic Properties from Vickers Indentation Testing of Porous Silicon Low Dielectric Constant Thin Films, K. Rahmoun.....	24
Etude du comportement mécanique du Polycarbonate par indentation conique, L. Rabemananjara [et al.]	25
Identification du comportement en fatigue de matériaux élaborés par projection plasma, W. Rmili.....	27
Etude du comportement mécanique de l'alliage d'aluminium 2017 par indentation instrumentée., M. Idriss [et al.]	29

Etude du comportement mécanique de deux familles d'aciers frittés-durcis pour des applications dans l'industrie automobile

Margaux GILMAS ^(1,2), Eric HUG ⁽¹⁾, Jérôme CHOTTIN ⁽²⁾

⁽¹⁾ CRISMAT, 6 boulevard Maréchal Juin 14050 CAEN Cedex 4

⁽²⁾ Faurecia, Le Pont de Vère 61100 CALIGNY

Mots clés : porosité, aciers frittés-durcis, loi élastoplastique, endommagement

Résumé

Les équipementiers automobiles sont sollicités afin de lancer des programmes ambitieux dédiés à l'amélioration des performances environnementales pour chaque pièce d'un véhicule. Néanmoins, ces axes de développement ne peuvent se substituer au confort ou à la sécurité. Ainsi de nouvelles voies d'innovation (nouveaux matériaux, procédés...) doivent être explorées. La métallurgie des poudres est une alternative aux voies classiques (forgeage, coulage...) grâce à sa capacité à obtenir des formes complexes, des pièces plus légères, combinée à de bonnes propriétés tribologiques.

La métallurgie des poudres est une technologie en constant développement depuis quelques décennies. Les matériaux produits par cette méthode sont caractérisés par des pores résiduels au sein de la microstructure. Cette porosité influence les propriétés mécaniques des matériaux frittés puisque les pores agissent comme des concentrateurs de contrainte et de déformation [1]. Un autre paramètre influençant les propriétés mécaniques est la distribution hétérogène des éléments d'alliages, et en particulier le nickel [2].

Bien que les aciers faiblement alliés Fe-Ni-Cu-Mo-C frittés ont déjà été largement étudiés [3], ce n'est pas le cas des aciers Fe-Ni-Cu-Mo-C frittés-durcis. Le but de cette thèse est d'étudier l'influence de la triaxialité des contraintes sur le comportement à rupture quasi-statique de deux familles d'aciers frittés-durcis. Après la caractérisation des matériaux afin d'avoir connaissance de leur état de référence sans dommage, différentes géométries d'éprouvettes seront utilisées pour étudier leur comportement mécanique. Ces expériences permettront de choisir une loi de comportement élastoplastique. Cette loi sera couplée à un modèle d'évolution du dommage [4] avant d'être implémentée dans un logiciel de simulation numérique destiné à prédire le comportement jusqu'à rupture de pièces frittés.

Références

[1] R.J. Bourcier, D.A. Koss, R.E. Smelser, O. Richmond, The influence of porosity on the deformation and fracture of alloys, Acta Metall. 34 (1986) 2443–2453.

- [2] M.W. Wu, L.C. Tsao, G.J. Shu, B.H. Lin, The effects of alloying elements and microstructure on the impact toughness of powder metal steels, *Mater. Sci. Eng. A.* 538 (2012) 135–144.
- [3] G. Straffelini, V. Fontanari, Stress state dependent fracture behaviour of porous PM steels, *Eng. Fract. Mech.* 78 (2011) 1067–1076.
- [4] S. Ma, H. Yuan, Damage evolution and modeling of sintered metals under multi-axial loading conditions, *Comput. Mater. Sci.* 80 (2013) 123–133.

Conception optimisée de manilles

Julien COCHET¹, Pierre-Yves MANACH¹, Sandrine THUILLIER^{1a}, Nicolas DECULTOT²

(¹) UNIVERSITE DE BRETAGNE-SUD, EA 4250, LIMATB, F-56100 Lorient, France

(²) LE BEON Manufacturing, 7 bd Louis-Nail, C.P. 19, F-56326 Lorient, France

(^a) auteur correspondant, sandrine.thuillier@univ-ubs.fr

Mots clés : forgeage, optimisation, modélisation numérique

Résumé

Considéré comme l'un des plus anciens arts de la métallurgie, le forgeage à chaud confère à la pièce finale des propriétés mécaniques ainsi qu'une fiabilité supérieures à celles obtenues en fonderie, et reste, à l'heure actuelle, le procédé recommandé par l'industrie pétrolière [1]. Cependant, l'influence des phénomènes mis en jeu lors de son procédé de fabrication tels que la plasticité, la température, le contact avec les outils voire le type même de presse (hydraulique ou inertielle) qui joue sur la diffusion de l'énergie dans la pièce, font qu'il nécessite dans la plupart des cas une approche par essais et erreurs, augmentant ainsi son coût de revient [2]. En association avec les forges LeBéon Manufacturing, cette étude présente la méthode mise en place afin de mieux comprendre et de prédire les aspects influant sur la mise en forme par forgeage et cintrage des manilles de levage *Wide Body (WB)* 125 t.

A partir d'une approche thermo-mécanique découplée, une campagne de mesure de température est présentée dans un premier temps, mettant en évidence la difficulté d'obtention d'une *Net-Shape* (où le contour fini de la pièce formée est atteint sans enlèvement de matière). Pour démontrer le lien existant entre la température et les propriétés mécaniques, une simulation numérique de la montée en température ainsi que de la trempe a été établie. Elle permet d'expliquer ce qui est classiquement considéré lors du traitement thermique de pièces forgées comme le moyen de trempe, la microstructure ou encore les propriétés mécaniques désirées. Finalement, une simulation par éléments finis des opérations de forge comprenant (i) l'établissement d'une loi de comportement, (ii) le choix d'un modèle de cinétique des transformations de phases ainsi que (iii) la définition des conditions limites est présentée.

References

- [1] P. Hughes and W. Flores, "The Effects of Large Scale Forgings and Heat Treatment on the Mechanical Performance of Mooring Connectors," in *Offshore Technology Conference*, Houston, TX, 2010.
- [2] G. E. Dieter, *Mechanical metallurgy*, New York: McGraw-Hill, 1961.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le Conseil Général du Morbihan et la Région Bretagne pour leur soutien financier.

Caractérisation d'un procédé de mise en forme superplastique avec pré-déformation

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

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

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

Mots clés : Superplasticité, Hot forming, TA6V.

Résumé

Les pièces en titane sont encore souvent usinées dans la masse afin d'éviter les assemblages, ce qui est un non-sens économique au vu de l'importante perte de matière. Au cours des dernières décennies, la mise en forme à partir de tôles a donc été favorisée aussi souvent que possible. Le formage superplastique (SPF) a été privilégié dans un premier temps. Ce procédé présente cependant le désavantage d'être cher à cause de la durée importante des cycles. Le Hot Forming (HF) 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. Aujourd'hui, l'objectif est de développer un procédé mixte HF/SPF permettant de réaliser des pièces complexes avec des temps de cycle courts.

Ce procédé est aujourd'hui simulé en laboratoire sous la forme d'un essai de traction à deux vitesses dont on peut voir le principe sur la figure 1. Cet essai se déroule à température constante avec une première phase rapide, puis une seconde phase plus lente dans le domaine du SPF.

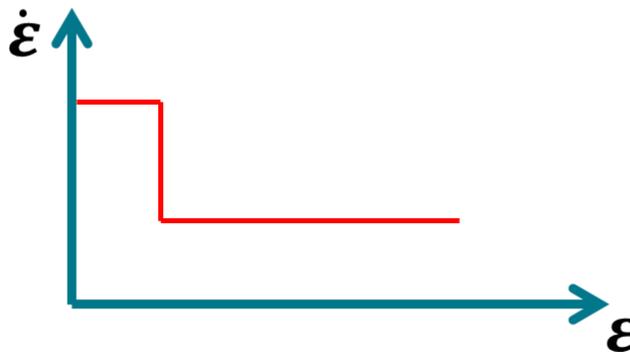


Figure 1 : représentation schématique du cycle de déformation

Notre objectif est de caractériser les évolutions métallurgiques consécutives à la déformation et leur impact sur les propriétés finales des pièces. Si le comportement des alliages de titane déformés superplastiquement est documenté [1,2], il semble essentiel de déterminer et comprendre l'influence d'une prédéformation rapide sur les propriétés mécaniques de ces matériaux.

Références

- [1] M.T. Cope, D.R. Evetts, N. Ridley, Post-forming tensile properties of superplastic Ti-6Al-4V alloy, *Mater. Sci. Technol.* 3 (1987) 455–461.
- [2] F. Pitt, M. Ramulu, Post-Processing Effect on the Fatigue Behavior of Three Titanium Alloys under Simulated SPF Conditions, *J. Mater. Eng. Perform.* 16 (2007) 163–169.

Etude de l'aire de l'hystérésis dans le cadre d'essais de fatigue sur un élastomère synthétique

Christophe CRUANES ⁽¹⁾, Gaëlle Berton ⁽¹⁾, Florian Lacroix ⁽¹⁾,
Stéphane Méo ⁽¹⁾, Naranayaswami Ranganathan ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Laboratoire de Mécanique et Rhéologie, Université François Rabelais de Tours

Mots clés : fatigue, élastomère, hystérésis

Résumé

L'aire de l'hystérésis est étudiée dans le cadre de la fatigue des élastomères depuis le début des années 2000. Lacroix 2004 [1] a dans un premier temps montré la pertinence de s'intéresser à un tel paramètre et Poisson 2012 [2] a prouvé qu'il pouvait être un très bon critère de durée de vie en fatigue. Il faut pour cela définir comment mesurer une valeur représentative de l'essai de fatigue en cours. En effet, dans les travaux précédents, la mesure était faite en fin d'essai indépendamment du fait qu'il y ait ou non rupture de l'éprouvette. Or, dans une communication précédente, Cruanes et al.[3] ont montré à l'aide de mesures thermiques que cette façon de procéder peut poser un problème. Il est donc nécessaire de regarder en détail l'évolution de l'aire de l'hystérésis lors d'un essai de fatigue.

Cette évolution a été étudiée lors d'essais à effort contrôlé sur des éprouvettes en polychloroprene à une fréquence de 5Hz et un rapport de charge de 0,1. Il se trouve alors que l'aire de l'hystérésis évolue selon deux phases. Une première pendant laquelle l'aire augmente et tend à se stabiliser autour d'une certaine valeur, puis une seconde où l'aire augmente très rapidement.

Cela peut s'expliquer de la façon suivante. Il est bien connu aujourd'hui que lors d'un essai de fatigue sur un élastomère qui peut cristalliser sous tension, c'est le cas ici, la propagation de fissure est fortement affectée par ce phénomène (Le Cam & Toussaint 2010 [4]). Ce que nous voyons dans notre étude c'est que lors de la première phase d'évolution, des fissures apparaissent. Cependant leur propagation est de plus en plus contrariée par la cristallisation comme le montre le passage par un plateau. Or, la cristallisation sous tension est également sensible à la température du matériau, plus celui-ci est chaud moins la création de cristallites est aisée. C'est la raison pour laquelle le plateau laisse place à une forte augmentation de l'hystérésis : l'éprouvette s'est trop échauffée et la ou les fissures peuvent se propager plus facilement.

Pour détailler ce comportement, des essais ont été menés de la manière suivante : dans une première étape l'éprouvette est soumise à effort maximal F pendant N_{bloc} cycles allant de 100 cycles à 90% de la durée de vie dans ces conditions. Elle est ensuite détachée de la machine et laissée à refroidir pendant 25 minutes. Dans une seconde étape, l'éprouvette est soumise au même effort maximal F appliqué dans la première étape jusqu'à rupture.

Il se trouve alors que l'hystérésis varie de la même manière que lors d'un essai de fatigue classique lors de l'étape 1, indépendamment de sa durée. Par contre, de grandes différences sont observées lors de la seconde étape. On observe entre autre un très important gain de durée de vie dépendant de N_{bloc} pouvant aller jusqu'à sept fois la durée de vie d'un essai de fatigue classique au même effort maximal.

L'explication dans ce cas est assez simple : si on compare l'état de l'éprouvette avant l'étape 1 et l'étape 2, elle est à la même température (celle de l'ambiante) mais elle commence l'étape 2 en étant endommagée. Cela veut dire qu'au moment de débiter l'étape 2, il y a plus de fissure et donc plus de zones où le matériau va cristalliser sous tension. Cela explique le renforcement observé dès le début de l'étape 2 ainsi que l'augmentation de la durée de vie ; tout cela restant bien entendu fonction de la durée de l'étape 1.

Dans cette étude deux idées sont confirmées : l'hystérésis est un bon marqueur de l'endommagement et la cristallisation en bout de fissure a un rôle prépondérant durant un essai de fatigue. Il a été possible d'utiliser ces propriétés pour observer des gains de durée de vie significatifs.

Références

- [1] Lacroix F., *Etude du comportement en fatigue des caoutchoucs synthétiques*, 2004, Université François Rabelais, Tours.
- [2] Poisson J.-L., *Détermination d'un critère de fatigue multiaxial appliqué à un élastomère synthétique*, 2012, Université François Rabelais, Tours.
- [3] Cruanes C., Berton G., Lacroix F., Poisson J.-L., Méo S., Ranganathan N., *Study of the fatigue behavior of rubber-like materials with infrared thermography methods*, ECCMR 2013.
- [4] Le Cam J.-B. & Toussaint E., *The mechanism of fatigue crack growth in rubbers under severe loading : the effect of stress-induced crystallization*, 2010, *Macromolecule*, 43, 4708-4714

Endommagement anisotrope induite : modélisation du comportement d'un matériau agrégataire

Abdelkibir BENELFELLAH ⁽¹⁾, Michel GRATTON ⁽²⁾, Arnaud FRACHON ⁽²⁾, Michael CALIEZ ⁽²⁾, Didier PICART ⁽³⁾

⁽¹⁾ Institut Pprime UPR 3346 CNRS – ENSMA – Université de Poitiers, Département physique et Mécanique des matériaux, 1 Avenue Clément Ader, BP 40109, 86961 FUTUROSCOPE CHASSENEUIL CEDEX, France

⁽²⁾ INSA Centre Val de Loire, Laboratoire de Mécanique et Rhéologie, 3 rue de la Chocolaterie, CS 23410, 41034 BLOIS CEDEX, France

⁽³⁾ CEA, DAM, Le Ripault, F-37260 Monts France

Mots clés : endommagement, anisotropie induite, effectivité, modèles microplans, base tensorielle de Walpole

Résumé

L'endommagement dans les matériaux quasi-fragiles est souvent anisotrope et induite par le chargement. Cet endommagement présente un caractère unilatéral lié à la fermeture des fissures. Seules certaines classes de modèles sont aujourd'hui capables de décrire de manière thermodynamique saine ce genre de comportement. Une analyse de ces modèles est tout d'abord proposée. On y compare les effets sur les grandeurs ingénieurs (module d'Young, module de cisaillement et coefficient de Poisson), effets résultants des variables d'endommagement introduites dans les quatre modèles basés sur des contributions additives de dommage sur des directions fixes : Bargellini 2008 [1], Bazant 2007 [2], Zhu 2008 [5] ou Dienes 1996 [3]. Une attention toute particulière est apportée à l'évolution de l'effet Poisson. La base tensorielle de Walpole [4] est privilégiée pour cette comparaison.

Le modèle microplans VDT ressort comme le seul permettant d'ajuster l'évolution de l'effet Poisson indépendamment des autres grandeurs. Ce modèle est donc repris et complété à la fois afin de décrire le caractère unilatéral anisotrope de l'endommagement, mais aussi afin d'être capable de produire des déformations irréversibles. Ainsi, une partie plastique sensible à la pression hydrostatique, et formulée en contrainte effective à « l'échelle globale », est introduite. Le découplage qui en résulte facilite l'intégration de la plasticité, tout en introduisant une anisotropie plastique dans l'espace des contraintes réelles.

Des comparaisons modèle-essais sont proposées pour des essais monotones avec et sans confinement, mais également pour des essais non monotones pour lesquels une effectivité de l'endommagement est constatée expérimentalement.

Références :

- [1] R. Bargellini, D. Halm, and A. Dragon, Modelling of quasi-brittle behaviour: a discrete approach coupling anisotropic damage growth and frictional sliding, *Eur. J. Mech. A-Solids* 27(4) (2008) 564–581.
- [2] A. Beghini, Z.P. Bazant, Y. Zhou, O. Gouirand, and F.C. Caner, Microplane model m5f for multiaxial behavior and fracture of fiberreinforced concrete, *J. Eng. Mech.-ASCE* 133(1) (2007) 66–75.
- [3] J.K. Dienes, Unified Theory of Flow, Hot Spots and Fragmentation with an Application to Explosive Sensitivity in: Springer-Verlag New York, Inc., Lee Davison et al., eds., High-Pressure Shock Compression of SolidsII, 1996 pp. 366–398.
- [4] L.J. Walpole, Elastic behavior of composite materials: Theoretical foundations, *Adv. Appl. Mech.*, 21 (1981) 169–242.
- [5] Q.Z. Zhu, J.F. Shao, and D. Kondo, A micromechanics-based non-local anisotropic model for unilateral damage in brittle materials, *CR Acad. Sci. II B Mech.* 336(3) (2008) 320–328.

Study of the RFL/rubber interface in a cord-rubber composite

C. Valantin⁽¹⁾, M.P. Deffarges⁽¹⁾, F. Lacroix⁽¹⁾, J. Morcel⁽³⁾, N. Aït Hocine⁽²⁾

⁽¹⁾ LMR, CERMEL, Université François Rabelais de Tours, 29 rue des Martyrs, 37300 Joué-lès-Tours

⁽²⁾ LMR, CERMEL, INSA Centre Val de Loire, 3 rue de la Chocolaterie BP 3410, 41034 Blois

⁽³⁾ Hutchinson, France

Mots clés : textile ; rubber ; composite ; interface ; fatigue

Résumé

Tires, belts, hoses are cord-rubber composites. To enhance interfacial adhesion, the thermoplastic cords are coated with resorcinol–formaldehyde–latex (RFL) aqueous dips. Since the 1930s, these kinds of adhesives have been used because of their low viscosity and good wetting properties. After curing, an insoluble latex/thermosetting resin bi-component system is achieved at the cord surface. The latex gives required flexibility and co reacts with rubber during the vulcanization of the composite. The tridimensional resorcinol-formaldehyde resin provides good temperature resistance and static bonding with cord, thanks to its methylol or hydroxyl groups^{[1][2]}.

To predict service life of cord-rubber composites, many authors studied interfacial adhesive strength by developing static tests, as cord peeling or pulling out. This mechanical approach was sometimes combined with surface analysis^{[3][4][5][6][7][8]}. Despite all of this, mechanisms involved in the cord to rubber adhesion still need thorough investigation.

This work deals with the properties evolutions of the RFL/rubber interface in a fatigue loaded composite reinforced with polyamide cords. SEM-EDX analyses have pointed out some interfacial defects, dimensions of which grow with fatigue. Then, for a better understanding of the damages, two types of investigations have been carried out:

- **A characterization of the cord-rubber composite interface at different fatigue times:** chemical composition (TOF-SIMS, EDX), cracks growth (SEM), damping studies (DMA), local mechanical properties (nanoindentation) and global peeling strength evolutions.
- **An in-depth study of the RFL adhesive from its liquid to its solid state:** chemical composition (FTIR-ATR, XPS, pyrolysis-GC/MS), morphology (TEM, SEM-EDX, AFM), reactivity (DSC, TGA, rheometry) and mechanical properties (DMA, tensile testing).

Références

- [1] W.B. Wennekes, *Adhesion of RFL-treated Cords to Rubber: New Insights into Interfacial Phenomena*, University of Twente, **2008**.
- [2] R.B. Durairaj, *Resorcinol: Chemistry, Technology and Applications*, Springer**2005**.
- [3] S. Luo, *Surface Modification of Textile Fibers and Cords by Polymeric Matrices*, University of Cincinnati, **2002**.
- [4] M. Shen, J. Zhang, Q. Chen, *Journal of Applied Polymer Science* **2009**, *113*, 3550-3556.
- [5] M. Jamshidi, F. Afshar, N. Mohammadi, S. Pourmahdian, *Applied Surface Science* **2005**, *249*, 208-215.
- [6] K.-H. Chung, W.-B. Im, S. Kaang, T.-H. Yoon, *Polymer International* **2004**, *53*, 344-348.
- [7] G.R. Bakhshandeh, T.D. Farahani, M. Emamikia, *Polymer* **2008**, 1-12.
- [8] N. a. Darwish, a. a. El-Wakil, A.I. Abou-Kandil, *International Journal of Adhesion and Adhesives* **2009**, *29*, 745-749.

Comportement mécanique des caoutchoucs élaborés par frittage de poudrette de pneus usagés à hautes température et pression.

Said SEG HAR ^(1,3), Mathieu VENIN ⁽¹⁾, Agathe CHAUVIN ⁽¹⁾, Nourredine AIT HOCINE^(1,2), Said AZEM⁽³⁾.

⁽¹⁾ LMR/CERMEL, université Francois Rabelais, 37000 Tours

⁽²⁾ LMR/CERMEL, INSA Centre Val de Loire, 3 Rue de la chocolaterie, 41000 Blois

⁽³⁾ Université Mouloud MAMMERI, 15000 Tizi-Ouzou, Algerie.

Mots clés : Recyclage des caoutchoucs, Dévulcanisation, Frittage.

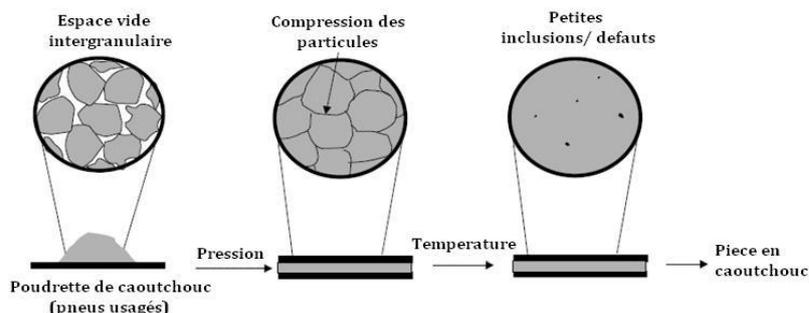
Résumé

La hausse de la demande en caoutchouc, en particulier dans le domaine du pneumatique, génère une forte augmentation des prix de la matière première et une accumulation de résidus inutilisables (pièces usagées), ce qui constitue un problème à la fois économique et écologique.

Le recyclage des pneus usagés est donc un défi majeur à surmonter pour contribuer à la résolution des problèmes environnementaux et pour proposer une source alternative de matière première à faible coût.

Deux grandes voies de valorisation sont ainsi pratiquées sur les pneus usagés non réutilisables : la valorisation matière et la valorisation énergétique.

L'objectif de ce travail est d'étudier le recyclage des caoutchoucs issus de ces pneus, sous forme de poudrette, en utilisant uniquement la chaleur et la pression : frittage à haute température et pression (figure 1). Nous avons précisément tenté de comprendre, entre autres, les différents mécanismes intervenant dans le processus de frittage. Ces mécanismes jouent un rôle clef dans l'adhésion entre particules qui est un des paramètres principaux qui contrôlent les performances mécaniques des produits recyclés.



Figur.1. Schéma de la technique de frittage à hautes température et pression

Nous avons analysé l'influence de quatre paramètres sur les caractéristiques des revulcanisats : la granulométrie, la température de revulcanisation, la dévulcanisation par les micro-ondes ainsi qu'un agent de réticulation (TMTD).

Différentes techniques ont été utilisées pour la caractérisation de ces revulcanisats. En effet, la microstructure des différents produits a été observée au microscope électronique à balayage (Jeol 6480 LV) et leur densité de réticulation déterminée par des essais de gonflement. Les propriétés mécaniques ont été évaluées à l'aide d'essais statiques (traction rupture et dureté Shore A) et dynamiques (balayage en déformation).

Les caractéristiques des matériaux recyclés laissent à penser que la dévulcanisation superficielle de la poudrette de pneus recyclés lui confère une meilleure tenue mécanique et un meilleur état de surface après son frittage.

Etude du comportement mécanique d'une tôle de Ti-6Al-4V

Henri FRANCILLETTE ⁽¹⁾, Christian GARAND⁽²⁾

⁽¹⁾ ISCR/CM-INSA, UMR CNRS 6226, INSA, 20 avenue des Buttes de Coësmes, 35708
RENNES

⁽²⁾ LGCGM, EA3913, INSA, 20 avenue des Buttes de Coësmes 35708 RENNES

Mots clés : Ti-6Al-4V, Compression plane, Texture cristallographiques

Résumé

Les alliages de titane et en particulier le Ti-6Al-4V présentent de nombreuses applications du fait de leurs bonnes propriétés spécifiques. On observe généralement une forte influence de la microstructure dans ce type de métaux liée à la structure hexagonale compacte de la phase α [1]. Dans cette étude, des essais de compression plane sont entrepris à la température ambiante sur des éprouvettes de Ti-6Al-4V. Ce mode de sollicitation a déjà été envisagé pour ce type matériau à l'ambiante pour la détermination de surface de charge [2]. Bien que la ductilité soit relativement importante à la température ambiante, de l'endommagement peut apparaître à cause de la texture cristallographique, notamment en laminage, pouvant conduire assez rapidement à la rupture du matériau. Dans cette étude, des éprouvettes parallélépipédiques ont été découpées dans une tôle de référence avec les dimensions finales suivantes : $L_0 = 11$ mm, $b_0 = 10$ mm et $h_0 = 5$ mm. Après un recuit de 2h à 490°C sous un vide de 10^{-6} mbar, on présente en Figure 1 la microstructure du matériau observée dans un Jeol JSM-7100F.

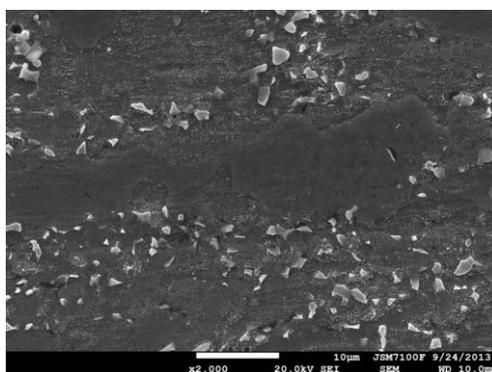


Figure 1 : Microstructure après traitement thermique.

Des éprouvettes prélevées selon le sens long et le sens transverse de la tôle initiale sont ensuite déformées en compression plane à la température ambiante. Les résultats sont analysés grâce à la mesure des textures cristallographiques.

Références

- [1] F. Coghe, W. Tirry, L. Rabet, D. Schryvers, P. Van Houtte, Mater. Sci. Eng. A 2012;537:1-10.
- [2] M.A.W. Lowden , Hutchinson B, Metall Trans A 1975;6:441-448.

Residual stress measurements in Nickel thin films deposited on polyimide substrates

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

Institut Pprime, UPR3346 CNRS-Université de Poitiers-ENSMA, SP2MI, Bd Marie et Pierre Curie, BP30179, 86962 Futuroscope Cedex

Keywords: Thin film, soft substrate, x-ray diffraction, curvature method, residual stresses

Abstract:

Flexible electronic devices play an increasing significant role in new technical applications which include paper-like electronic displays, electronic sensitive skins and solar cells. As an elementary substructure among them, functional metallic thin films are often supported by a deformable polymer substrate. The substrates can sustain large deformation – in compression and in tension - during application, while the thin films can undergo only small strains.

The general aim of our study is to mimic the deformation of the film/substrate set using uniaxial tensile tester and to study in situ the mechanical behavior of the film and the substrate, and more particularly, the film/substrate interface (toughness, strain transmission). It is difficult to compress thin films on soft substrates while still keeping rather small curvature of film-substrate composites at the same time. Recently, we demonstrated that compressive stresses can be applied in the film with uniaxial tensile tester when using thin films deposited on pre-stretched compliant substrates. Thanks to this new technology, the compression/tension response of thin films deposited on compliant polymer substrate can be analyzed (1) and the elastic strains of compressive films can be measured using an in situ X-ray diffraction technique(2).

In the thin film-substrate composite system, residual stresses are an important factor which affects the reliability and performance of advanced devices. These stresses may arise due to the presence of impurities or voids within the film, partial grain growth or thermo-mechanical differences between film and substrate. The excessive compressive stress may produce film buckling, while tensile stress can cause cracks. In this work, we present two methods to measure and calculate the average stresses in the film.

The soft substrates used in our study were 127.5 μm polyimide foils (Kapton ®HN). Additional silicon wafers were employed for curvature stress measurements. After cleaning with acetone and ethanol, nickel thin films were deposited on the substrates surface with ion beam sputtering. It should be noted that no adhesion layer was used. The film thickness was measured after deposition with a mechanical profilometer DEKTAK II A to be 297 ± 5 nm. X-ray diffraction shows that the film is polycrystalline with a weak (111) texture, and the grain size is nanometric.

The average stress over the whole thin film volume was determined by curvature method using Stoney formula. 93 ± 3 μm thick silicon (100) substrates were used. The curvature radius

before and after film deposition were measured thanks to the DEKTAK II A profilometer. Finally, an equi-biaxial compressive stress of -0.94 ± 0.08 GPa was obtained.

Furthermore, $\sin^2\psi$ method was applied to extract the average in plane residual stresses in grains. We performed the measurement with a 4-circles x-ray diffractometer from Seifert – GE Group Company using Copper $K\alpha$ X-ray source and a 2mm collimator. The (111) diffraction peak was considered with 20 values of ψ ranging from 0 to 75° and $\varphi=0$.

Assuming that the material is elastically quasi-isotropic which experiences in plane equi-biaxial stresses ($\sigma_{11}=\sigma_{22}=\sigma$; $\sigma_{33}=0$)(3), the $\sin^2\psi$ equation becomes:

$$\ln\left(\frac{1}{\sin\theta_{hkl}}\right) = \frac{1}{2}S_2(111)\sigma\sin^2\psi + S_1(111)2\sigma + \ln\left(\frac{1}{\sin\theta_0}\right)$$

Where X-ray elastic constants ($\frac{1}{2}S_2(111)$ and $S_1(111)$) are average values of Voigt and Reuss limits which equals to $4.70 \times 10^{-6} \text{ MPa}^{-1}$ and $-0.97 \times 10^{-6} \text{ MPa}^{-1}$ respectively(4).

Ultimately, with the linear relationship between $\ln\left(\frac{1}{\sin\theta_{hkl}}\right)$ and $\sin^2\psi$ (Fig. 1), we got the stress value which equals to -1.09 ± 0.10 GPa. The uncertainty takes into account an evaluation of the instrumental errors.

As can be seen, the residual stresses determined from Stoney and XRD show a quite good agreement which means that the weak texture of the film does not affect the measurement method and also that contributions of grain boundaries and interface to the whole macroscopic stresses are negligible.

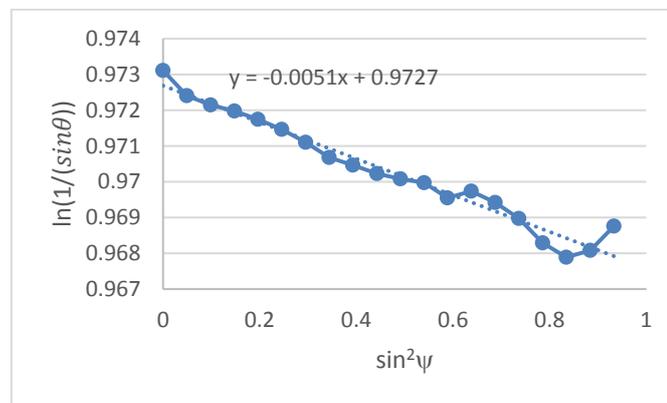


Fig. 1. $\ln\left(\frac{1}{\sin\theta_{hkl}}\right)$ versus $\sin^2\psi$

References

1. P. Renault, D. Faurie, E. Le Bourhis, G. Geandier, M. Drouet, D. Thiaudière, P. Goudeau, Deposition of ultra-thin gold film on in situ loaded polymeric substrate for compression tests. *Materials Letters* **73**, 99-102 (2012).
2. D. Faurie, P. O. Renault, E. Le Bourhis, M. Drouet, P. Goudeau, X-ray elastic strain analysis of compressed Au thin film on polymer substrate. *Surface and Coatings Technology* **215**, 322-326 (2013).
3. V. Hauk, *Structural and residual stress analysis by nondestructive methods: Evaluation-Application-Assessment*. (Elsevier, 1997).
4. G. Simmons, H. Wang, Single crystal elastic constants and calculated aggregate properties. (1971).

Etude mécanique de films minces nanostructurés sous déformation biaxiale contrôlée

Raphaëlle GUILLOU¹, Eric Le BOURHIS¹, Philippe GOUDEAU¹, Pierre-Olivier RENAULT¹, Pierre GODARD¹, Damien FAURIE², Guillaume GEANDIER³, Cristian MOCUTA⁴, Dominique THIAUDIERE⁴

¹Institut PPRIME – CNRS/Université de Poitiers, Futuroscope, France

²LSPM – Université Paris 13, Villetaneuse, France

³IJL – CNRS/Université de Lorraine, Nancy, France

⁴Synchrotron SOLEIL, Gif sur Yvette, France

Mots clé : Multicouches métalliques nanostructurées, composite, diffraction des rayons X, corrélation d'images numériques, comportement mécanique

Résumé :

La technologie des films minces est omniprésente dans les domaines de la micro-électronique flexible, de l'optique... Par ailleurs, la stabilité mécanique de ces structures de taille nanométrique est cruciale pour les applications car elle est reliée à la durée de vie de l'appareil. La diffraction des Rayons X (DRX) sur synchrotron est un outil puissant pour analyser les propriétés mécaniques de matériaux multiphasés grâce à la sélectivité de la diffraction des rayons X. En utilisant la machine de traction biaxiale développée sur la ligne de lumière DiffAbs au synchrotron SOLEIL (Figure 1) [1], nous avons effectué des essais de traction biaxiale contrôlée sur des composites constitués de films minces métalliques déposés sur substrats polyimide (Kapton). Des analyses simultanées de déformation dans les deux phases d'une multicouche W/Cu de 150 nm d'épaisseur (7 x (6 nm W+18 nm Cu)) ont été faites pendant un essai equi-biaxial continu en appliquant la méthode des $\sin^2\psi$. Pendant le test, les déplacements des pics de Bragg de chaque sous-couche sont mesurés grâce à un détecteur bi-dimensionnel (2D).

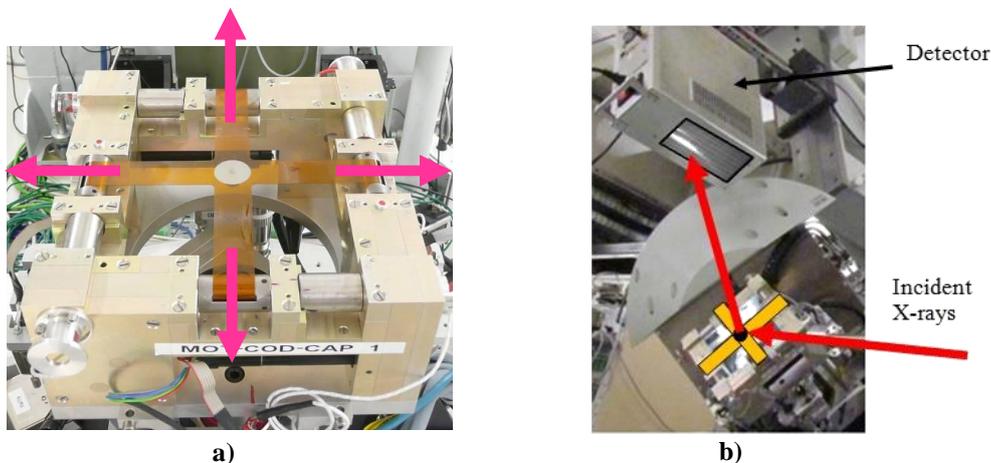


Figure 1 : a) Machine de traction biaxiale sur la ligne de lumière DiffAbs et son éprouvette cruciforme. La multicouche métallique est déposée sur le centre de l'éprouvette. b) Machine de traction sur le goniomètre de la ligne de DiffAbs au synchrotron SOLEIL. Le microscope optique est situé sous la machine pour permettre les mesures des déformations macroscopiques au centre de l'éprouvette cruciforme. Un détecteur 2D XPAD, placé à une grande distance de l'échantillon, est utilisé pour collecter les diagrammes de diffraction obtenus par DRX.

Les déplacements des pics de Bragg permettent de déterminer les déformations et ensuite de calculer les contraintes alors que les déformations macroscopiques dans le plan sont mesurées grâce à la corrélation d'image numérique (CIN). Afin d'obtenir des analyses de déformation précises, le détecteur 2D est placé à une grande distance de l'échantillon.

L'évolution de la contrainte totale (somme des contraintes résiduelles et appliquées) pour le W et le Cu est étudiée pendant l'essai de traction grâce aux courbes $\ln(1/\sin\theta) - \sin^2\psi$. L'amplitude des contraintes, dans les deux phases, augmente de façon linéaire en fonction de la force appliquée et atteint un plateau qui correspond au stade de fissuration (Figure 2) [2]. Le mécanisme d'endommagement des sous-couches de W et de Cu a été étudié afin de déterminer dans quelle phase (W ou Cu) les fissures s'initient.

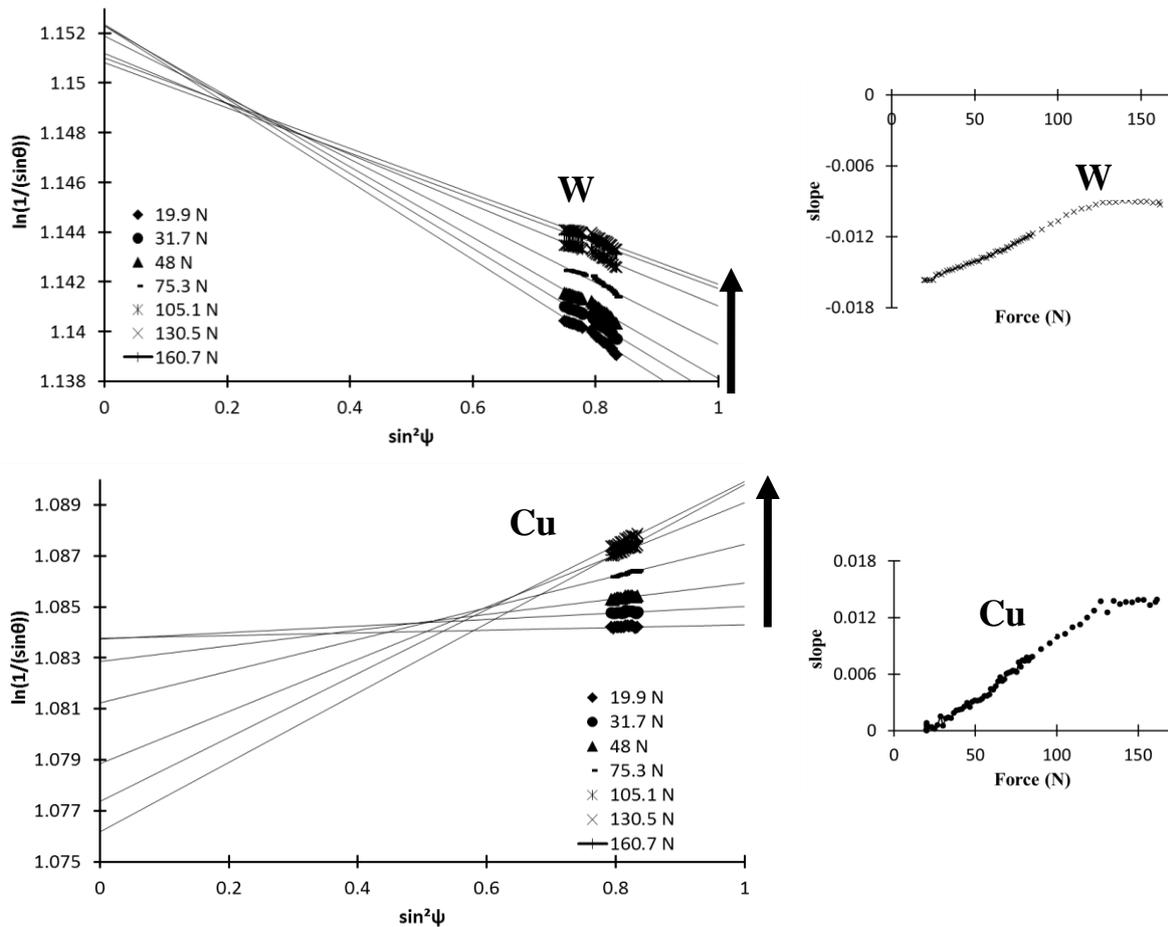


Figure 2: Courbes $\ln(1/\sin\theta)$ en fonction de $\sin^2\psi$ pour les phases W et Cu de la multicouche pour différents chargements. Les régressions linéaires correspondantes soulignent l'évolution de la pente lorsque la force augmente (comme le montrent les flèches sur le côté droit). L'insert montre l'évolution des pentes des courbes $\ln(1/\sin\theta) - \sin^2\psi$ en fonction de la force appliquée.

Références

[1] Geandier, G., Thiaudière, D., Randriamazaoro, R. N., Chiron, R., Djaziri, S., Lamongie, B., Diot, Y., Le Bourhis, E., Renault, P. O., Goudeau, P., Bouaffad, A., Castelnau, O., Faurie, D., Hild, F., Rev. Sci. Instrum., 81(2010) 103903.

[2] Djaziri, S., Faurie, D., Renault, P. O., Le Bourhis, E., Goudeau, P., Geandier, G., Thiaudière, D., Acta Mater., 61 (2013) 5067-5077.

Étude comparative de la résistance à l'oxydation de superalliages base nickel

Edern MENOUE, Franck TANCRET, Emmanuel BERTRAND

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

Mots clés : superalliages, oxydation

Résumé

De nombreux alliages métalliques pour utilisation à haute température ont été développés au cours du siècle dernier pour répondre aux besoins toujours plus exigeants des secteurs aéronautiques et énergétiques. En particulier, la recherche de meilleurs rendements thermiques des turbines à gaz impose l'augmentation perpétuelle de leurs températures et pressions de fonctionnement. De par leur unique comportement à haute température, les superalliages base nickel constituent une solution adaptée aux environnements de travail chauds et agressifs (carburants soufrés, sel marin, ...) en combinant propriétés mécaniques, notamment à chaud (fluage...), et résistance à l'oxydation et à la corrosion [1].

La résistance à l'oxydation des superalliages base nickel résulte de la formation d'une couche continue composée d'éléments oxydables (*e.g.* Al, Cr, Mn, Si). La teneur en éléments d'alliage conditionne les cinétiques d'oxydation ainsi que la morphologie et la stabilité des oxydes formés (*e.g.* [2]). Les éléments d'addition, parmi lesquels Co, Fe, Mo, Nb, Ta, Ti, W voire Hf, Re et Ru, complexifient la prédiction des mécanismes d'oxydation ; la modélisation de ces phénomènes est ainsi l'objet de plusieurs travaux récents [3, 4].

Une étude comparative de la relation entre composition et résistance à l'oxydation est menée sur sept alliages différents dont la composition est indiquée en table 1. Des échantillons présentant une surface de 0,5 cm² à 3 cm² sont découpés, recuits et oxydés pendant une semaine à 900°C, au four sous atmosphère ambiante ou en ATG sous flux d'oxygène. À l'issue du cycle d'oxydation, la surface des échantillons est caractérisée par DRX et leur section est observée au MEB. Des cartographies X sont réalisées à l'EDS.

TABLE 1 – Composition des alliages étudiés (%m., Ni bal.)

	Cr	Al	Mn	Si	Mo	Nb	Ti	Fe	Co	W
Inconel 625	21,5	0,2		0,2	9	3,6	0,2	2,5		
Inconel 718	19	0,5	0,2	0,2	3	5,1	0,9	18,5		
Hastelloy X	22		0,5	0,5	9			18,5	1,5	
FT750 _{DC}	20	2,3					2,1	5		3,5
7015	16	0,2	3	0,4		2,2	0,4	6		
7015Mo	16		3	0,4		2,2	0,5	6		
75-15M	16			0,2				8,5		

Résultats préliminaires Les figures 1 et 2 présentent les cartographies X et le diagramme de diffraction X permettant notamment la caractérisation de la morphologie et de la nature des

oxydes formés à la surface de l'Inconel 718. La cinétique d'oxydation est explicitée au travers de la constante parabolique issue de la modélisation de la courbe obtenue à l'ATG (figure 3).

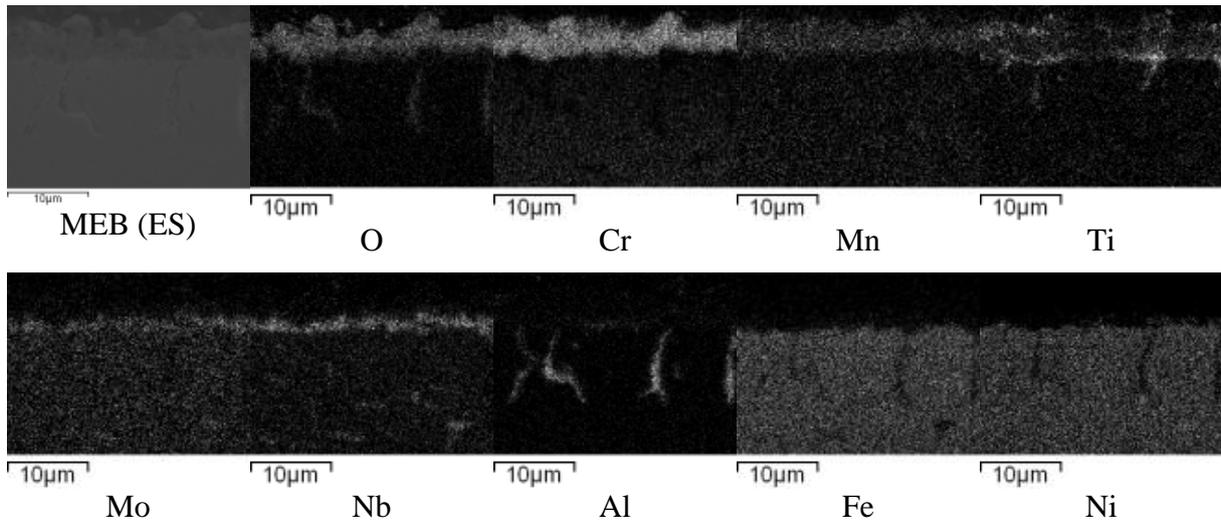


FIGURE 1 – Cartographie X de l'interface métal-oxyde de l'Inconel 718

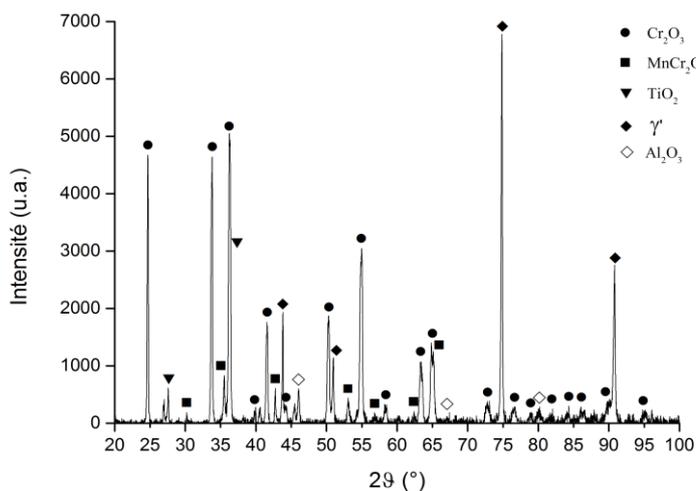


FIGURE 2 – Diagramme DRX de l'Inconel 718 oxydé

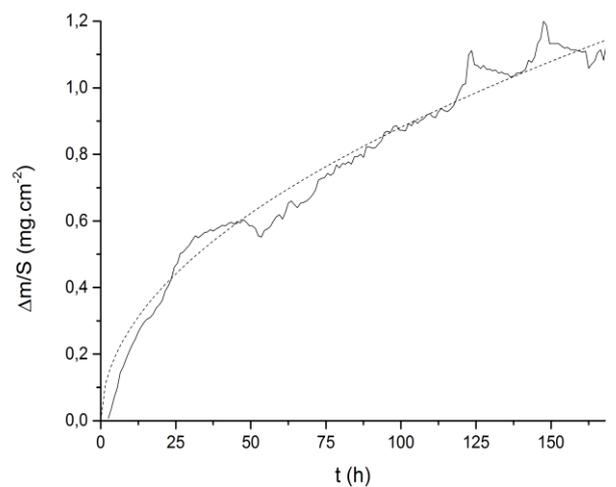


FIGURE 3 – Gain de masse par unité de surface en fonction du temps d'oxydation de l'Inconel 718

Références

- [1] R.C. Reed, The superalloys: fundamentals and applications, Cambridge University Press, 2006.
- [2] G.R. Holcomb, D.E. Alman, Scripta Materialia, Volume 54, Issue 10, May 2006, Pages 1821-1825
- [3] A.M. Bensch *et al.*, Acta Materialia, Volume 60, Issue 15, September 2012, Pages 5468-5480
- [4] D.W. Yun *et al.*, Journal of Alloys and Compounds, Volume 587, 2014, Pages 105-112

Etude expérimentale et numérique de la dégradation cyclique des électrodes en CuCr1Zr lors du soudage par résistance par point

Elise GAUTHIER, Jocelin RICHERT, Denis CARRON, Philippe ROGEON,
Cédric POUVREAU, Philippe PILVIN

Université de Bretagne Sud, LIMATB, EA 4250, Rue de St Maudé, F-56100, LORIENT

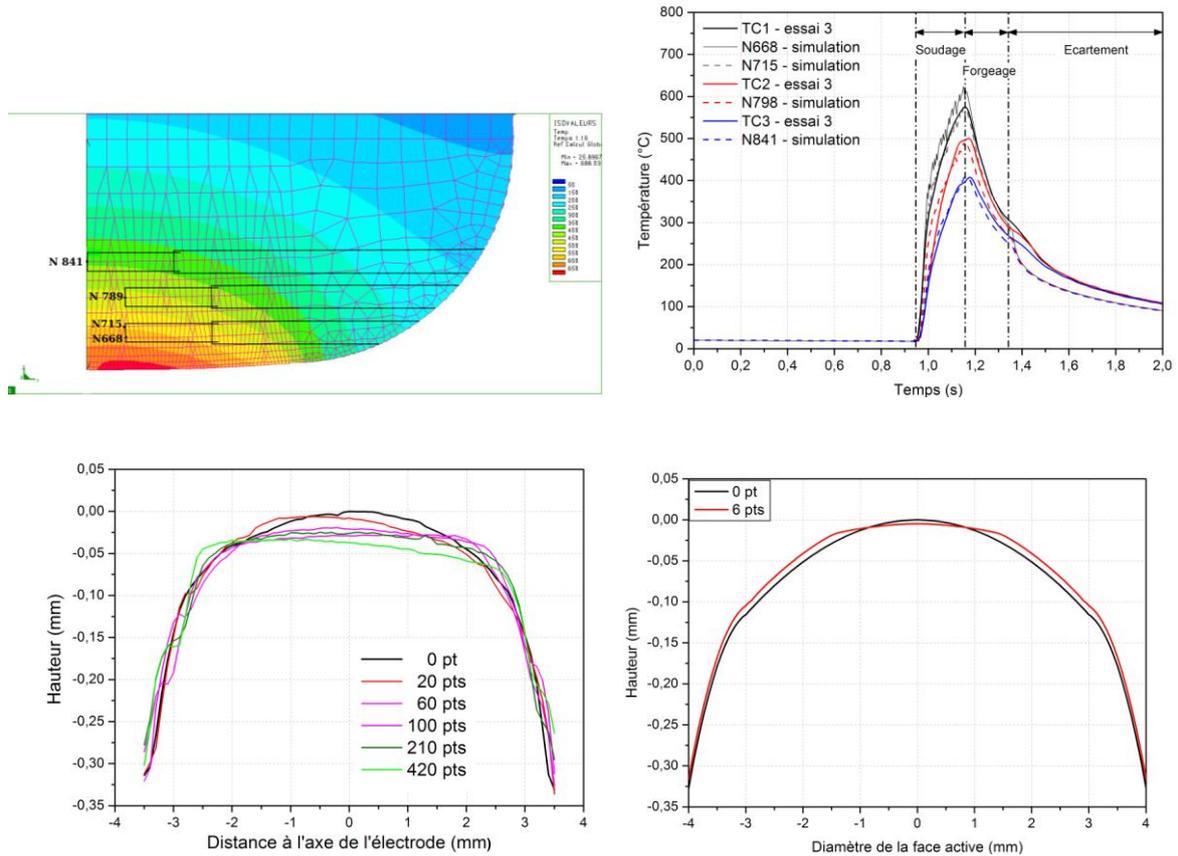
Mots clés : Alliages cuivreux, soudage par point, dégradation des électrodes, couplage électro-thermo-mécanique, simulation par éléments finis

Résumé

Le soudage par point est utilisé par l'industrie automobile pour assembler des tôles minces en acier. L'accumulation des points de soudage entraîne une usure des faces actives des électrodes, particulièrement aggravée dans le cas du soudage de tôles galvanisées et à haute limite d'élasticité. L'élargissement des faces actives doit être compensé par des incréments successives du courant de soudage. In fine cela se traduit pas une diminution de la qualité des points de soudure, un remplacement prématuré des électrodes et une usure accélérée des outils de rodage. Les mécanismes de dégradation font intervenir l'adoucissement de l'alliage (vieillessement en lien avec son état de précipitation), la fatigue thermo-mécanique, la contamination par le zinc et l'érosion associée [1-3]. Des modèles numériques ont été développés pour étudier la déformation des électrodes, l'adoucissement ou le laitonnage [4-6] mais n'ont pas été intégrés à un modèle numérique de soudage par point qui permettrait de prédire correctement les effets des mécanismes de vieillissement sur la dégradation des électrodes. La présente étude [7-8] est menée en partenariat avec les sociétés PSA Peugeot Citroën et Le Bronze Industriel, et porte sur la compréhension des mécanismes de dégradation des électrodes en CuCr1Zr, avec une attention particulière portée à l'influence des mécanismes d'adoucissement de l'alliage cuivreux.

Le comportement thermomécanique de l'alliage et ses propriétés thermo-physiques ont été caractérisés dans différents états microstructuraux. Des essais de soudage par point instrumentés en microthermocouples ont permis d'étudier la cinétique de dégradation des électrodes. Ces essais fournissent par ailleurs des données pour valider les simulations numériques, réalisées avec le code SYSWELD[®], dans le but d'évaluer la contribution respective des principaux paramètres contrôlant la durée de vie de l'électrode. La difficulté provient, d'une part, du caractère multi-physique fortement couplé du problème et, d'autre part, de l'aspect cyclique lié à la répétition des points soudés. Un modèle couplé électro-thermo-métallurgique permet d'évaluer les contributions respectives des paramètres de soudage et des conditions aux limites qui influencent l'adoucissement. Un second modèle électro-thermo-métallurgique-mécanique, intégrant une loi de comportement élasto-viscoplastique avec une variable de vieillissement, permet de calculer la déformation de l'électrode au cours d'une dizaine de cycles de soudage. Au plan thermique, le modèle décrit bien les évolutions de température dans l'électrode au cours d'une séquence de soudage ainsi

que la cinétique de formation du noyau dans la tôle. Au plan mécanique, même si le nombre de points simulés est insuffisant, les tendances observées sont intéressantes. Il reste néanmoins à résoudre les difficultés numériques, pour pouvoir simuler au moins une centaine de points soudés afin d'obtenir des résultats significatifs en terme de déformations des profils des faces actives et se confronter à l'expérience.



Remerciements

Les auteurs remercient les sociétés PSA Peugeot-Citroën et LBI pour leurs conseils et leur support technique, et la région Bretagne pour son soutien financier (bourse ARED ELECSOUD). La machine d'essais thermomécaniques Gleeble 3500, le diffusivimètre à méthode flash LFA 457 NETZSCH et les stations de calcul de l'Université de Bretagne-Sud ont été co-financés par le Fonds Européen de Développement Régional (FEDER).

Références

- [1] A. De, L. Dorn, O. Gupta, *Science and technology of welding and joining*, 5, 49-57, 2000.
- [2] T. Dupuy, *Thèse de doctorat*, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 1998.
- [3] V. Kondo, T. Konishi et al., *Science and Technology of Welding and Joining*, 15: 76-80, 2010.
- [4] P. Dong, M. Li, M. Kimchi, *Science and Technology of Welding and Joining*, 3, 59-64, 1998
- [5] J. Khan, L. Xu, Y. Chao, K. Broach, *Num. Heat Transfer A*, 37, 425-446, 2000.
- [6] Z. Hou, S. Kim, Y. Wang, C. Li, C. Chen, *J. of Materials Proc. Technology*, 187, 160-165, 2007.
- [7] E. Gauthier, *Thèse de doctorat*, Université de Bretagne Sud, 2014
- [8] E. Gauthier, D. Carron, P. Rogeon, P. Pilvin, C. Pouvreau et al., *J. of Mat. Eng. and Performance*, 2014, DOI 10.1007/s11665-014-0908-9

Determination of Elastic Properties from Vickers Indentation Testing of Porous Silicon Low Dielectric Constant Thin Films

Khadidja RAHMOUN¹

¹ *UNIVERSITY OF TLEMCEM, Unit Research in Materials and Renewable Energy, URMER,*

B.P.119, TLEMCEM, 13000, Algeria

k_rahmoun@mail.univ-tlemcen.dz

Keywords

Microindentation, mechanical properties, porous silicon

Abstract

Porous silicon is studied in recent years as potential candidates for low-k applications. This paper reports on micro-instrumented indentation of a porous silicon structure obtained by electrochemical etching of a p type doped (100) silicon substrate in function of the current density. Correlations between mechanical and microstructural properties of the films are discussed.

Etude du comportement mécanique du Polycarbonate par indentation conique

Liva RABEMANANJARA¹, Gérard MAUVOISIN^{1,2}, Adinel GAVRUS⁴, Xavier HERNOT^{1,2}, Jean Marc COLLIN^{1,3}

¹LGCGM, Université de Rennes 1, 20 Avenue des buttes des Coësmes, 35708 Rennes Cedex 7, France

²IUT, Université de Rennes 1, 3 Rue de Clos Courtel, 35700 Rennes Cedex

³IUT de Nantes, 2 avenue du professeur Jean Rouxel, 44475 Carquefou Cedex

⁴LGCGM, INSA de Rennes, 20 Avenue des buttes des Coësmes, 35708 Rennes Cedex 7, France

Mail : livarabemananjara@yahoo.fr

Mots clé: Polycarbonate, Indentation, viscoélasticité, viscoplasticité.

Résumé

Le Polycarbonate est un polymère amorphe beaucoup utilisé dans le domaine industriel du fait à la fois de sa transparence et de sa résistance aux chocs. Malgré cela, les modèles de comportement proposés dans la bibliographie [1,2 et 3] ne sont souvent applicables que pour des essais uni axiaux simples. Ainsi, nous avons utilisé le modèle de comportement de G'sell beaucoup cité dans la bibliographie pour simuler l'indentation conique avec un indenteur de demi-angle respectif $\theta = 80^\circ$ et $\theta = 70,3^\circ$. La loi de G'sell ne prenant pas en compte la partie élastique ; nous l'avons modifiée en ajoutant un terme élastique linéaire qui influe beaucoup sur la réponse en indentation des matériaux. La courbe d'indentation obtenue par simulation numérique de l'essai d'indentation par la méthode des éléments finis en utilisant la loi de G'sell donne une courbe un peu plus raide que celle obtenue expérimentalement, dans les mêmes conditions. Cependant, si la loi de G'sell modifiée semble très bien modéliser le comportement en indentation dans la partie chargement, elle conduit à une courbe de déchargement bien différente de celle obtenue expérimentalement. Certains phénomènes, non pris en compte dans la loi de G'sell, semble avoir une grande influence sur le retour élastique après indentation. Dans ce travail, plusieurs modèles de comportement sont utilisées pour simuler l'essai d'indentation et les résultats seront discutés.

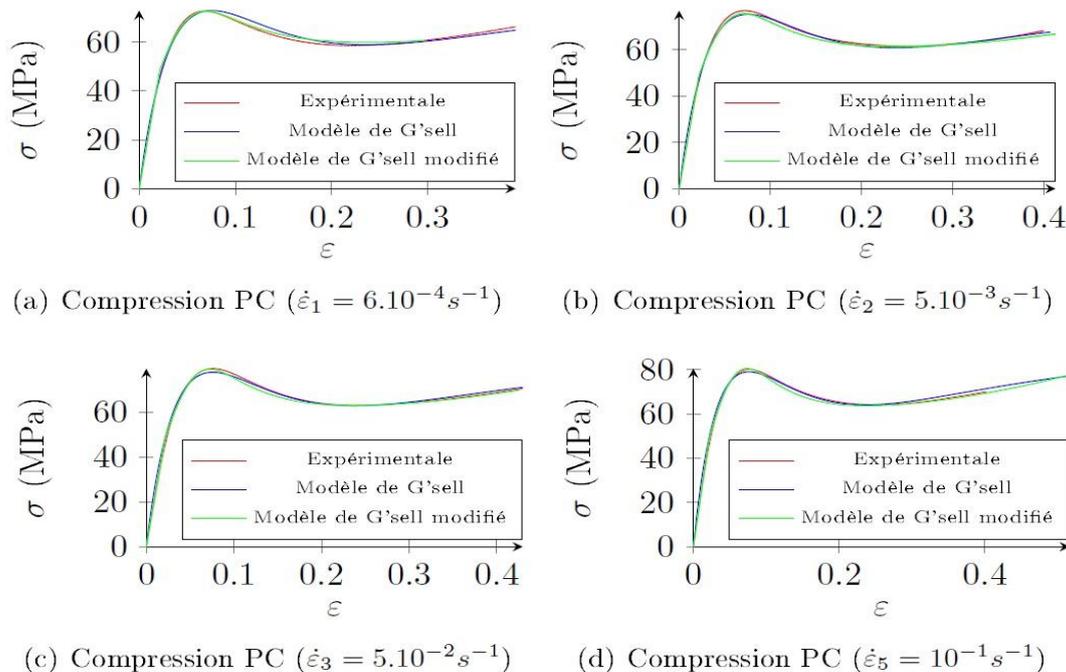


Figure 1: Comparaison entre la courbe contrainte-déformation obtenue par essai de compression et celle obtenue par différents modèles

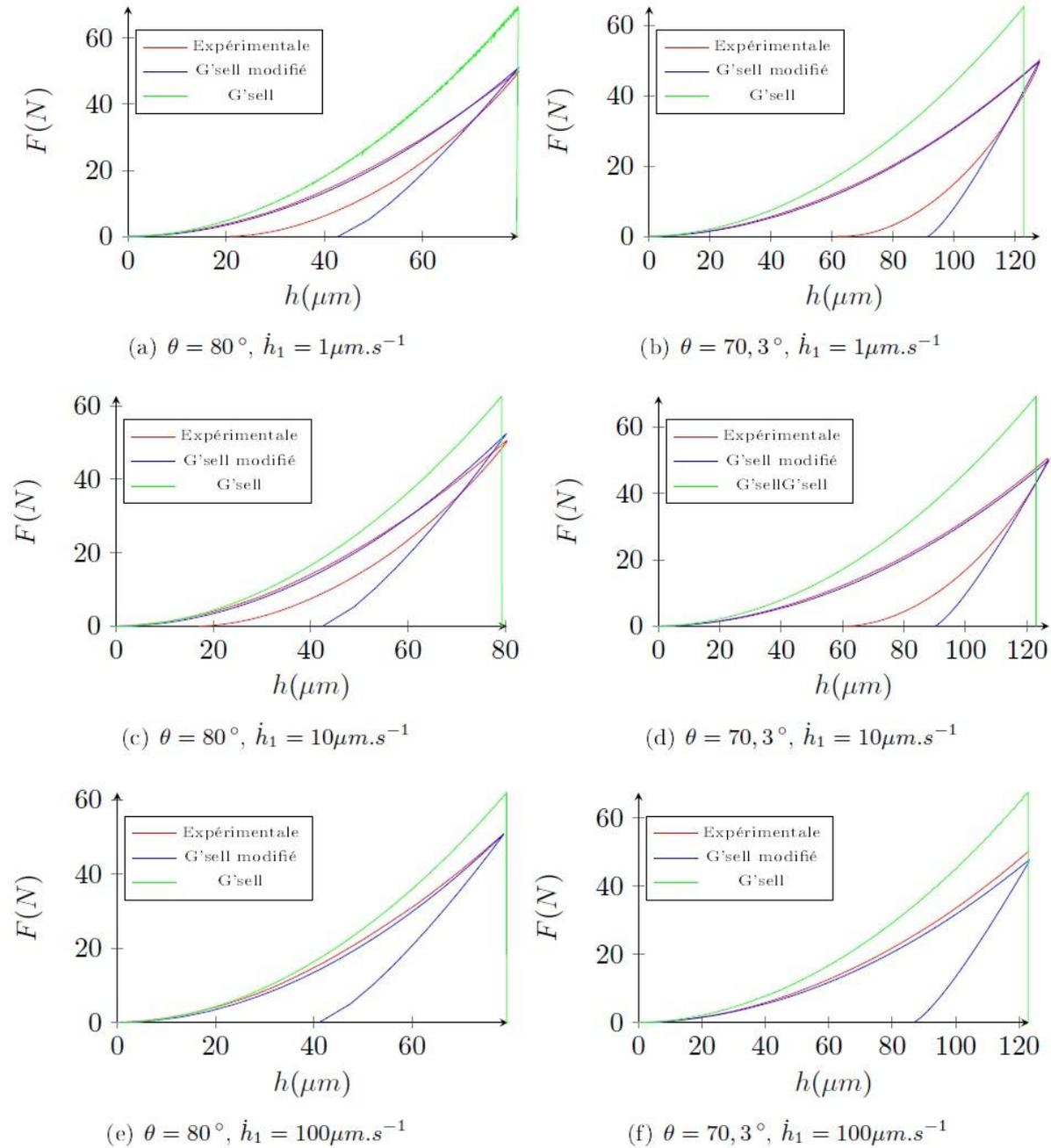


Figure 2: Comparaison entre l'essai d'indentation expérimental et les différents modèles à plusieurs vitesses d'enfoncement

Références

[1] Marie Laure BISILLIAT. *Comportement mécanique d'un polycarbonate à grande vitesse de sollicitation. Etude expérimentale et simulation*. PhDthesis, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 1997.

[2] J. L. Bucaille G. Hochstetter, E. Felder. *Identification of the viscoplastic behavior of a polycarbonate based on experiments and numerical modeling of the nanoindentation tests*. Journals of Materials Science, 2002.

[3] C. G'Sell. *Instabilités de déformation pendant l'étirage des polymères solides*. Revue Phys. Appl., 1988.

Identification du comportement en fatigue de matériaux élaborés par projection plasma

Wafaa RMILI ⁽¹⁾, Guillaume HUCHET ⁽²⁾, Florent CHALON ⁽¹⁾,
Sophie DE VITO ⁽²⁾, Tristan LE BIHAN ⁽²⁾ et Mohan RANGANATHAN ⁽¹⁾
⁽¹⁾ LABORATOIRE DE MECANIQUE ET RHEOLOGIE, polytech'Tours DMS, 7av. Marcel
Dassault, 37200 TOURS

⁽²⁾ CEA DAM, Le Ripault, B.P.16, 37260 MONTS

Mots clés : Projection plasma, résistance à la fatigue, Lois de Paris, faciès de rupture, MEB.

Résumé

La projection thermique est une des voies d'élaboration pour réaliser des revêtements céramiques et métalliques épais. La caractérisation des performances mécaniques de ces revêtements est essentielle pour évaluer la durée de vie des pièces revêtues face à des sollicitations cycliques d'origine thermique et/ou mécanique.

Cette étude aborde la caractérisation d'une des principales performances mécaniques, qui est la résistance à la fatigue de deux matériaux métalliques. Ces deux matériaux sont des revêtements autoportés millimétriques élaborés par projection plasma à partir de poudres d'aluminium pur pour le premier et de poudres d'aluminium allié pour le second.

L'objectif de cette étude est de réaliser une analyse générale en fatigue de ces deux matériaux, en les classant par rapport à un alliage d'aluminium classique, pour définir ainsi un domaine de survie vis-à-vis d'une sollicitation cyclique des deux matériaux.

Dans ce travail, nous avons mis en place deux campagnes d'essais de fatigue afin de suivre, pour les deux matériaux, la propagation de fissures en fonction de différents chargements. Les essais de fatigue sont pratiqués sur des éprouvettes entaillées de type CT (compact tension). Les éprouvettes ont été sollicitées avec un chargement d'amplitude constante sur une machine de fatigue de marque *INSTRON*, modèle *Electropulse E 3000*. La progression de la fissure est suivie en temps réel tout au long des essais de fatigue à l'aide d'une lunette optique montée sur la machine. Les mesures issues des deux campagnes d'expériences ont été dépouillées en s'appuyant sur la Loi de Paris.

Par ailleurs, une observation des faciès de rupture a été effectuée sur un Microscope Electronique à Balayage (MEB) afin d'apporter un diagnostic micrographique global sur le comportement en fatigue ainsi que la nature de la rupture de ces deux matériaux très hétérogènes à l'échelle locale.

L'analyse des courbes de fatigue et des micrographies montrent que ces matériaux élaborés par projection plasma présentent une forte hétérogénéité mais suivent un comportement en fatigue similaire aux métaux classiques avec une résistance moindre.

Etude du comportement mécanique de l'alliage d'aluminium 2017 par indentation instrumentée.

Mohamad IDRIS (1,3), Olivier BARTIER (1,2), Xavier HERNOT (1,2), Gérard MAUVOISIN (1,2), Eddie GAZO-HANNA(3),

(1) LGCGM, Université de Rennes 1, 20 avenue des Buttes de Coesmes, 35708 Rennes

(2) IUT, Université de Rennes 1, 3 Rue de Clos Courtel, 35700 Rennes

(3) ESI-Group, Campus de KerLann, Rue Maupertuis, 35710 Bruz.

Mots clés :Retour élastique, indentation instrumentée, analyse inverse.

Résumé

La prédiction du phénomène de retour élastique est essentielle pour la conception des outils utilisés dans l'opération d'emboutissage des tôles.

Le retour élastique est un phénomène au cours duquel le métal se détend par redistribution des contraintes résiduelles après une opération de formage. Le retour élastique dépend essentiellement des propriétés mécaniques et géométriques des tôles, des paramètres de processus et de la déformation plastique imposée.

Les exigences visant à réduire la masse des véhicules nécessitent de revoir le choix des matériaux. Les alliages d'aluminium sont des métaux intéressants pouvant répondre aux nouvelles exigences de l'industrie d'automobile compte tenu de leur faible masse volumique. En revanche, pour ces métaux, la déformation plastique par emboutissage de certaines zones après retour élastique est difficile à évaluer correctement par les techniques de modélisations numériques classiques.

L'essai d'indentation instrumentée peut être utilisé pour mieux comprendre l'état de déformation plastique de ces zones. C'est un test qui présente l'avantage d'être local, non destructif et qui de plus ne nécessite qu'un faible volume de matière. Il est possible de tester par indentation instrumentée des zones très déformées par emboutissage même là où l'extraction d'un échantillon de traction n'est pas toujours possible.

Le test d'indentation consiste à imposer l'enfoncement d'un indenteur dans le matériau testé. Au cours du test, on mesure l'évolution de l'effort d'indentation F en fonction de la profondeur de pénétration h de l'indenteur (**Figure 1**).

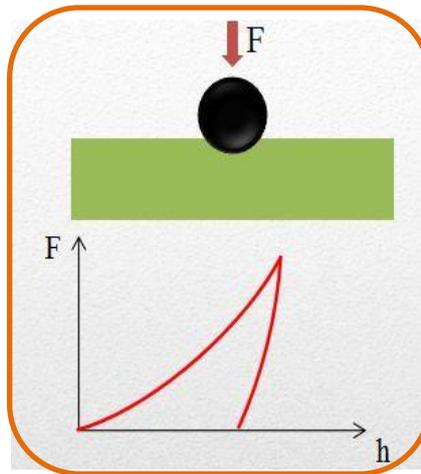


Figure 1 : Test d'indentation instrumentée et la courbe d'indentation F-h obtenue.

L'exploitation de la courbe d'indentation F-h, notamment grâce à l'analyse inverse (**Figure 2**), peut déterminer certains paramètres mécaniques des matériaux testés.

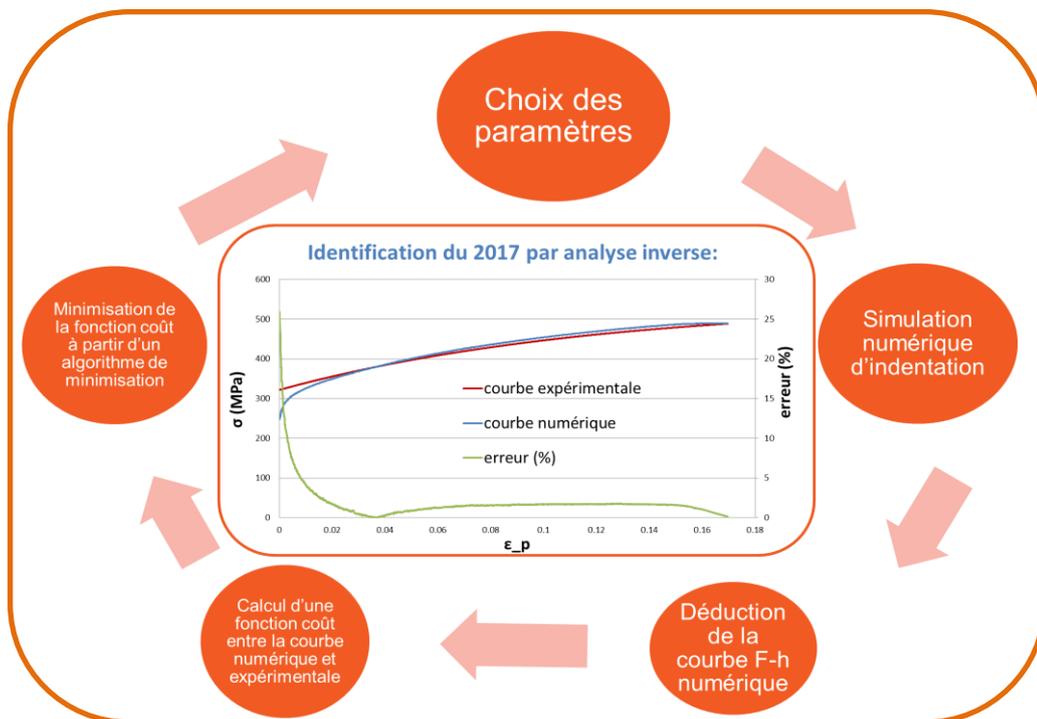


Figure 2 : Technique d'analyse inverse et le résultat obtenu pour l'AA2017.

Les travaux présentés montrent la capacité du test d'indentation instrumentée couplé à l'analyse inverse à identifier localement la courbe d'écrouissage de l'alliage d'aluminium testé (AA2017). Les résultats obtenus sont comparables à ceux obtenus à partir d'un test classique de traction uniaxiale. Dans la suite des travaux de thèse, on utilisera cette technique de caractérisation mécanique pour étudier les zones fortement déformées plastiquement des tôles embouties. La comparaison à la loi de comportement identifiée avant déformation devra contribuer à évaluer le niveau de déformation plastique locale et le retour élastique.

Remerciements: Nous tenons à remercier le Conseil Régional de Bretagne, Rennes Métropole et ESI Group de leur contribution au financement du projet.

Index des auteurs

Bartier, Olivier.....	29
Benelfellah, Abdelkibbir.....	8
Bertrand, Emmanuel.....	20
Caliez, Michael.....	8
Carron, Denis.....	22
Chottin, Jérôme.....	1
Christien, Frédéric.....	4
Christophe, Cruanes.....	6
Cochet, Julien.....	3
Collin, Jean Marc.....	25
Decultot, Nicolas.....	3
Faurie, Damien.....	18
Frachon, Arnaud.....	8
Francillette, Henri.....	14
Gauthier, Elise.....	22
Gavrus, Adinel.....	25
Gazo-Hanna, Eddie.....	29
Geandier, Guillaume.....	18
Gilmas, Margaux.....	1
Giraudet, Arnaud.....	4
Godard, Pierre.....	18
Goudeau, Philippe.....	18
Gratton, Michel.....	8
Guillou, Raphaëlle.....	18
He, Wei.....	16
Hernot, Xavier.....	25, 29
Hug, Eric.....	1
Idriss, Mohamad.....	29
Le Bourhis, Eric.....	18
Manach, Pierre-Yves.....	3
Mauvoisin, Gérard.....	25, 29
Menou, Edern.....	20
Mocuta, Christian.....	18
Picart, Didier.....	8
Pierre-Olivier, Renault.....	18
Pilvin, Philippe.....	22
Pouvreau, Cédric.....	22
Rabemananjara, Liva.....	25

Rahmoun, Khadidja.....	24
Richert, Jocelin.....	22
Rmili, Wafaa.....	27
Rogeon, Philippe.....	22
Seghar, Said.....	12
Tancret, Franck.....	4, 20
Thiaudière, Dominique.....	18
Thuillier, Sandrine.....	3
Valantin, Chloé.....	10

