

MATÉRIAUX

2014

24-28 nov.

Montpellier



RECUEIL DES RÉSUMÉS
Colloques 07

Sommaire

- [07 - Comportements mécaniques](#) (n=134)
- [Index des auteurs](#)

07 - Comportements mécaniques

AF-07-1

Etude numérique et expérimentale de l'orientation de la chaîne moléculaire de PC durant le processus ECAE-90°

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-1

F. Zairi.

Laboratoire de Mécanique de Lille (LML), - Lille (France).

Dans ce travail, une analyse par éléments finis a été réalisée pour examiner le comportement de polymères amorphes tel que le polycarbonate extrudé par le processus ECAE. Un modèle de comportement viscohyperélastique - viscoplastique à base physique a été adopté dans le but de décrire le comportement de (PC) en grande déformation. Dans ce modèle les mécanismes de déformation sont divisés en une résistance intermoléculaire et une résistance de réseau moléculaire. Des essais de traction ont été réalisés à la fois en traction au moyen de la technique de la vidéo-traction dans une large gamme de vitesses de déformation et comparés au modèle. Expérimentalement, les tests par la technique de diffraction de rayons X au grand angle (WAXS) ont été effectués sur les échantillons extrudés afin d'analyser l'orientation progressive de la chaîne moléculaire durant le processus ECAE. Les résultats numériques sont en bon accord avec les observations expérimentales.

CM-07-9

Modélisation de la rupture intergranulaires: apport des simulations atomistiques

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-9

D. Tanguy.

Institut Lumière Matière CNRS UMR5306 Université Lyon 1 - Villeurbanne (France).

On commencera par reprendre la définition d'une "zone cohésive" en montrant le lien entre ses paramètres (niveau de contrainte maximale, ouverture critique) et le travail idéal de rupture et la taille de la process zone, dans le cas le plus simple (modèle de Barenblatt). Ensuite, on montrera les possibilités des simulations atomistiques pour calculer ces paramètres. Dans le cas de la rupture idéalement fragile, on peut simplement séparer rigidement deux blocs et mesurer l'énergie en fonction de la séparation, puis par dérivation, on obtient la loi traction/ouverture recherchée. Malheureusement, dès qu'on quitte le cas idéal, il devient difficile d'utiliser la séparation de blocs. Dès qu'il faut appliquer des relaxations, par exemple dans le cas de la séparation le long d'un plan de solutés (fragilisation par ségrégation), ou le cas d'un joint de grains, la courbe traction/ouverture dépend du nombre de plans relaxés. Van der Ven et Ceder ont tenté de résoudre ce problème en définissant des grandeurs d'excès, on décrira leur modèle, mais il ne semble fonctionner que dans des cas particuliers. D'un autre point de vue, on peut simuler la propagation de fissures fragiles par dynamique (ou statique) moléculaire. On donnera quelques exemples qui montrent que le chemin de fissuration peut dépendre du détail de la rupture des liaisons en pointe de fissure et que les surfaces de rupture ne sont pas forcément de faible énergie. Donc le travail idéal de rupture qui sert à définir, en partie, les paramètres de la zone cohésive, n'est pas lié à des énergies de surface simples (les surfaces sont définies par le processus de rupture lui-même). Finalement, simuler à l'échelle atomique, de manière réaliste, peut être hors de portée des techniques actuelles, si le processus de rupture est lent. On conclura en donnant un exemple d'identification des paramètres sur un profil d'ouverture de fissure fragile intergranulaire obtenu par dynamique moléculaire (Yamakov).

A. Van der Ven and G. Ceder, Phys. Rev. B 67 060101

V. Yamakov et al. JMPS 54 (2006) p. 1899

AF-07-25

Comportement à l'indentation de matériaux composites à renfort naturel - Influence de la géométrie de l'indenteur -

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-25

B. Hachemane ¹, A. Bouarissa ², S. Dahmouni ², B. Bezzazi ¹.

¹Unité de Recherche Matériaux Procédés et Environnement, Université de Boumerdès - Boumerdès (Algérie), ²Département Génie des Matériaux, FSI, Université de Boumerdès - Boumerdès (Algérie).

L'important essor qu'ont pris les matériaux composites au cours de ces dernières années est principalement dû à l'alliance entre un bon comportement mécanique et une étonnante légèreté. Ils sont de plus en plus utilisés dans les domaines les plus stratégiques (aéronautique, naval, aérospatial, bâtiment ...). L'étonnante évolution de leur technologie fait d'eux les matériaux du futur par excellence. Nous remarquons qu'ils sont arrivés à supplanter des matériaux classiques (acier) même dans des fonctions structurelles.

Contrairement aux matériaux conventionnels, les matériaux composites renforcés par fibres sont anisotropiques et non homogènes. Alors que l'anisotropie est responsable de la dépendance des propriétés des matériaux à l'orientation des fibres, la non-homogénéité cause une dépendance locale des propriétés mécaniques. La disparité de la rigidité combinée avec la faible résistance de la matrice, font que les matériaux composites soient sensibles au délaminage. En général, aussi grand est le degré de disparité de la rigidité entre les strates, la résistance au délaminage du composite stratifié est faible. Les matériaux composites renforcés en fibres naturelles ont de très bons potentiels de substitution des matériaux bois dans plusieurs applications. Le développement de matériaux environnementaux est une conséquence de : la biodégradabilité des fibres naturelles, leurs poids légers, leurs bas prix, leurs grandes résistances spécifiques comparativement au verre et au carbone et leur recyclage et leurs ressources naturelles renouvelables. L'utilisation des fibres naturelles dans le renforcement des matériaux composites est en constante augmentation. Notre étude porte sur une analyse expérimentale du comportement mécanique d'un

matériau composite soumis à des sollicitations d'indentation quasi-statique. Ce matériau composite est de type stratifié renforcé en fibres de jute, additionnées à la résine époxy. Afin d'étudier l'influence de la géométrie de l'indenteur, différentes formes de l'embout de ce dernier sont utilisées (plat, pointu, tronc-conique ...). Dans l'étude de l'effet de la forme géométrique de l'indenteur sur le comportement mécanique du stratifié jute/époxy, la forme de l'indenteur influence énormément sur le comportement mécanique du composite suscité ainsi que sur l'énergie maximale transmise à la plaque stratifié lors de l'essai d'indentation.

CM-07-39

Fabrication et caractérisation par tomo X de matériaux poreux à surface spécifique contrôlée à base de fils ou de feuilles

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-39

E. Maire ¹, O. Bouaziz ², D. Fabregue ³, S. Cottrino ³, J. Adrien ³.

¹mateis insa de Lyon - Villeurbanne (France), ²LEM3 - Metz (France), ³mateis insa Lyon - Villeurbanne (France).

L'exposé présentera un procédé simple de fabrication de matériaux poreux métalliques à surface spécifique contrôlée. Le procédé consiste à enchevêtrer des feuilles métalliques froissées ou des fils métalliques à l'intérieur d'un moule de volume contrôlé. Les propriétés mécaniques des matériaux résultants, en relation avec leur architecture, étudiées par tomographie aux rayons X, seront présentées. L'analyse de ces propriétés par simulation sera aussi décrite au moins dans le cas des matériaux fabriqués sous forme de fils.

KN-07-81

Elasticité non linéaire et Dilatance au-delà de la transition de Jamming

07 - Comportements mécaniques

#KN-07-81

A. Seguin ¹, C. Coulais ², O. Dauchot ³.

¹Univ. PSud / FAST - Orsay (France), ²Leiden Institute of Physics - Leiden (Pays-bas), ³ESPCI / Gulliver - Paris (France).

Nous explorons expérimentalement la réponse mécanique d'une couche simple de grains frictionnels bidisperses à une sollicitation de cisaillement inhomogène au-delà de la transition de Jamming. Nous gonflons un intrus à l'intérieur de l'empilement et nous utilisons des techniques de suivi de particules et de photoélasticité pour mesurer l'état de déformation local et l'état de contrainte local à l'échelle du grain. Nous déterminons expérimentalement les relations de comportement pour des déformations de l'ordre de $10e-3$ et pour des fractions volumiques d'empilement qui varient de 2% autour du point de Jamming. A cette transition, des effets non linéaires apparaissent : le module de cisaillement et le module de dilatance diminue lorsque la déformation augmente, jusqu'à une valeur de déformation critique où la linéarité effective est retrouvée. Les dépendances de la déformation critique et de la contrainte critique associée avec la distance au point de Jamming sont extraites avec une analyse d'échelle. Nous validons que les lois de comportement obtenues, quand elles sont injectées dans l'équation d'équilibre, conduisent au profil de déformations mesurées. Ces profils présentent une transition entre un régime linéaire effectif en zone proche de l'intrus et un régime non linéaire en zone lointaine. La longueur associée à cette transition diverge au point de Jamming.

AF-07-114

Analyse des conditions de coupe du perçage à sec d'un alliage d'aluminium (Al 7175-T5173) par la Méthode des surfaces de réponse

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-114

M.F. Ameer ¹, M. Habak ², M. Kenane ³, H. Aouici ¹.

¹Ecole Nationale Supérieure de Technologie - Rouiba Alger (Algérie),

²Laboratoire des Technologies Innovantes (LTI), IUT d'Amiens - Amiens (France), ³Laboratoire des Sciences et Génie des Matériaux, Faculté de Génie Mécanique et Génie des Procédés USTHB, BP 32, El-Alia, Bab Ezzouar - Alger (Algérie).

The aim of this experimental study is to define the cutting conditions allowing the dry drill of (Al 7175-T5173) aluminum alloy to get good surface quality results. The experiments were performed under cutting conditions (different spindle speeds of 3000, 6000 and 9000 rev/min and feed rates of 1, 2 and 3 mm/s). Drilling tests were carried out using carbide, high speed steel (HSS) and TiN coated carbide drills. The Experiment Designs completed with a statistical analysis of variance (ANOVA) was applied. The results show that the thrust force is influenced principally by the spindle speed and feed rate. On the other hand, both feed rate and tool materials have statistical significance on the surface roughness. In addition, the objective of correlations between spindle speed and feed rate with the evolution of the machining parameters was established. These correlations were obtained by quadratic regression using the response surface methodology (RSM).

CM-07-CM-07-115

Propriétés élastiques effectives des matériaux nanoporeux à cavités sphériques et ellipsoïdales

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-115

X. Haller ¹, Y. Monerie ², S. Pagano ², P.G. Vincent ¹.

¹Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire et MIST - B.p. 3, 13115 Saint-Paul-Lez-Durance Cedex France (France), ²Laboratoire de Mécanique et Génie Civil et MIST - 860, Rue De St Priest, 34090 Montpellier, France (France).

Ce travail concerne la modélisation des propriétés élastiques effectives d'un matériau nanoporeux contenant des cavités sphériques et ellipsoïdales. L'application visée concerne le combustible nucléaire UO_2 fortement irradié, étudié par l'Institut de Radioprotection de Sûreté Nucléaire (IRSN) afin d'estimer la tenue des crayons combustibles lors d'un accident de réactivité. Ce matériau possède deux populations de cavités : des cavités intragranulaires sphériques et nanométriques et des cavités intergranulaires lenticulaires et micrométriques. Les travaux de dynamiques moléculaires de [1] ont montré l'existence d'un effet de surface à l'échelle des bulles nanométriques dans l' UO_2 qui influence le comportement élastique apparent.

Les modèles micromécaniques analytiques [2] sont ici étendus au cas d'un matériau avec : a/ deux populations de cavités, b/ des cavités de forme ellipsoïdales et c/ une distribution spatiale ellipsoïdale des hétérogénéités. Le modèle proposé dérive de l'approche par motifs morphologiques représentatifs [3]. Il est favorablement comparé aux modèles existants et met en évidence l'effet de taille des cavités et l'effet du rapport de forme des cavités ellipsoïdales. La figure ci-dessous présente l'évolution du module de compressibilité effectif normalisé par celui de la matrice dans le cas particulier d'un matériau contenant une seule population de cavités ellipsoïdales orientées aléatoirement de rapport de forme w en fonction de la longueur du grand axe b des ellipsoïdes pour une porosité de 10 %.

[1] Jelea, A., Colbert, M., Ribeiro, F., Trégliia, G. et Pellenq, R.-M. (2011). J. of Nucl. Mater., 415(2) : 210–216.

[2] Duan, H., Wang, J., Huang, Z. et Karihaloo, B. (2005). J. of Mech. Phys. Solids,

53(7) :
[3] Bornert, M. (1996). Thèse, ENPC.

1574–1596.

CM-07-127

Caractérisation du comportement et de la rupture du béton à l'échelle de l'interface ciment-granulats

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-127

B. Mielniczuk¹, M.S. El Youssoufi², F. Jamin³, M. Jebli⁴, Y. Monerie², C. Pelissou⁵.

¹Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, IRSN, B.P. 3, 13115 Saint-Paul-lez-Durance, Laboratoire de Micromécanique et d'Intégrité des Structures MIST, IRSN-CNRS-Université Montpellier 2 - Montpellier (France), ²LMGC UMR 5508 UM2-CNRS, Université Montpellier 2, Laboratoire MIST, IRSN-CNRS-Université Montpellier 2 - Montpellier (France), ³LMGC UMR 5508 UM2-CNRS, Université Montpellier 2 - Montpellier (France), ⁴Université Cadi Ayyad - Marrakech (Maroc), ⁵Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, IRSN, B.P. 3, 13115 Saint-Paul-lez-Durance, Laboratoire MIST, IRSN-CNRS-Université Montpellier 2 - Saint-Paul-Lez-Durance (France).

Pour certaines structures construites en béton, il est primordial d'assurer leur durabilité et leur bon vieillissement sur une longue durée. C'est par exemple le cas des enceintes de confinement des centrales nucléaires. Or le béton passe par une structuration progressive au cours de la réaction d'hydratation, accompagnée d'une évolution de ses propriétés. Le béton durci a une bonne résistance à la compression, mais il est sensible à la fissuration, qui affecte ses propriétés mécaniques et sa durabilité. L'apparition de fissures est souvent localisée à l'interface ciment-granulats, fragilisée par une porosité plus élevée et donc une résistance plus faible. Pour prédire l'endommagement du béton, il est important d'améliorer la connaissance du comportement de cette interface, notamment par une analyse fine des mécanismes de fissuration.

L'objectif de cette étude porte sur la caractérisation du comportement du béton à l'échelle de l'interface ciment-granulat lors de l'hydratation. Les interactions sont analysées expérimentalement lors d'essais mécaniques avec un dispositif spécifique. Les essais portent sur un doublet de grains sphériques de même diamètre (8 mm), en quartz ou en calcite, cimentés par une pâte de ciment portland. Le volume de pâte, le rapport Eau/Ciment et l'espacement entre les grains sont maintenus

constants. Les échantillons sont conditionnés dans une atmosphère à température constante (20°C) et à humidité relative élevée (»100%), afin de minimiser l'évaporation et éviter le retrait de séchage. À différents stades de l'hydratation, des échantillons sont soumis à des essais de traction et de compression, enregistrés par une caméra rapide et un appareil photo. Les relations force-déplacement permettent d'accéder à la raideur et à la résistance en traction et en compression. L'analyse des images permet de déterminer des grandeurs géométriques (ouverture fissure, longueur fissure, ...) nécessaires à la reconstruction de paramètres de fissures (comme la tortuosité) et à la cinétique de fissuration (temps de propagation de la fissure, vitesse d'ouverture de la fissure, vitesse moyenne et maximale de propagation, ...). Les résultats obtenus montrent que les propriétés mécaniques et la cinétique de fissuration sont fonction du temps d'hydratation et du type de sollicitation.

En plus d'une contribution à la compréhension du comportement du béton, une telle caractérisation des interactions mécaniques et physico-chimiques à l'échelle du lien cimenté devrait permettre à terme de proposer des lois d'interaction locales pour alimenter les modélisations numériques à l'échelle du Volume Élémentaire Représentatif (VER).

CM-07-146

Simulation en dynamique moléculaire du comportement mécanique des polymères et élastomères

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-146

M. Mahaud, L. Chazeau, C. Fusco, J. Morthomas, M. Perez.

INSA Lyon, MATEIS - Villeurbanne (France).

Les gaines des câbles électriques présentent une large gamme de composition, à la fois dans leur réseau élastomère et dans les additifs ajoutés. Pour mieux appréhender les propriétés mécaniques de ces élastomères qui sont assez mal comprises à l'heure actuelle, on réalise des simulations en dynamique moléculaire. Ces simulations reproduisent le comportement à l'échelle nano d'un polymère, d'un élastomère et, enfin, d'un élastomère chargé. Elles partent du domaine élastique pour aller jusqu'à la rupture. L'influence des paramètres extérieurs (température, vitesse de traction) et inhérents aux matériaux (longueur et nombre des chaînes, densité et répartition des réticulations, type, taille et répartition des charges...) sont considérés. Cette étude montre que l'architecture du réseau de particules, ainsi que la topologie des chaînes, influencent grandement le comportement mécanique global.

CM-07-158

Comportement mécanique de tôles métalliques ultra-minces pour la fabrication de connecteurs miniatures

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-158

C.H. Pham, S. Thuillier, P.Y. Manach.

2014 - Lorient (France).

La mise en forme par déformation plastique de pièces métalliques de très petites dimensions prend une place de plus en plus importante dans l'industrie (secteurs automobile et électronique en particulier), avec l'utilisation plus intensive de la conception virtuelle. Toutefois, quand l'épaisseur diminue, le comportement de la tôle devient dépendant du nombre de grains dans l'épaisseur et la rugosité devient un facteur influent. Dans ce cas, les connaissances et les techniques développées dans la fabrication des pièces de grandes dimensions ne peuvent pas s'appliquer directement pour fabriquer des petites pièces.

L'objectif de ce travail est de caractériser le comportement mécanique d'une tôle en acier inoxydable austénitique de type AISI 304 de 150 μm d'épaisseur, avec une taille de grains de 19 μm , afin de prédire numériquement, par la méthode des éléments finis, le phénomène de vrillage [1, 2]. Des essais de traction et cisaillement simple jusqu'à rupture et des essais d'inversion de la charge en cisaillement ont été réalisés, pour caractériser l'écrouissage et l'effet Bauschinger. Une loi de comportement avec écrouissage mixte associé à un critère de plasticité isotrope (von Mises) est retenue. Enfin, la rupture ductile se produit à l'échelle macroscopique perpendiculairement à la direction, et est associée à des cupules observées au microscope électronique à balayage. L'influence de l'épaisseur sur la géométrie de la surface rompue est discutée.

L'évolution de la rugosité en fonction de la déformation plastique est également mesurée pour tous les essais. Le rapport entre cette valeur et l'épaisseur de l'éprouvette devient de plus en plus important. Afin de mieux comprendre cet effet, un modèle hétérogène est développé pour prédire l'évolution de la rugosité, en

utilisant le logiciel Abaqus. Les grains sont représentés par des cubes de côtés 19 μm , avec des lois de comportement différentes distribuées aléatoirement, en suivant une loi normale. Des comparaisons expérience/modèle de la rugosité sont présentées.

[1] C.H. Pham, S. Thuillier, P.Y. Manach; Twisting analysis of ultra-thin metallic sheets; Journal of Materials Processing Technology 214 (2014) 844– 855

[2] C.H. Pham, S. Thuillier, P.Y. Manach; Twisting of sheet metals; Proceedings of Numisheet, Melbourne, Australia, 6-10 January 2014

CM-07-172

Modélisation multi-échelle du comportement électrique de fils Cu/Nb nanostructurés et architecturés


07 - Comportements mécaniques

#CM-07-172

T. Gu ¹, E. Hervé-Luanco ², H. Proudhon ², S. Forest ², O. Castelnaud ¹.

¹ENSAM-PIMM - Paris (France), ²Mines-Centre des Matériaux - Evry (France).

Les fils composites nanostructurés et architecturés cuivre-niobium sont de bons candidats pour le bobinage des électroaimants pour la génération de champs magnétiques intenses; en effet, ces fils allient une limite élastique élevée et une excellente conductivité électrique. Ils sont élaborés par co-déformation (extrusion et étirage) d'un assemblage composite Cu-Nb. Avec 4 étages de co-déformation, nous

obtenons ainsi une microstructure multiéchelle formée de  fils élémentaires de cuivre de taille caractéristique nanométrique (cf figure).

Dans le cadre du projet ANR METAFORES, nous nous intéressons à la compréhension du lien microstructure-propriétés de ces composites. Nous présenterons ici l'étude de la conductivité électrique effective. Nous appliquons une méthode d'homogénéisation en champs moyens (modèle auto-cohérent généralisé) dans lequel nous considérons une microstructure formées de fils co-axiaux, avec des motifs répartis aléatoirement. Les résultats en terme de conductivité effective longitudinale et transversale sont comparés à des calculs de référence obtenus par Eléments Finis dans lequel l'aspect périodique de la microstructure expérimentale est pris en compte. Les effets de la taille des constituants (nm), de la température, ainsi que de la densité de dislocations, sur la conductivité locale sont pris en compte à l'aide d'une loi de Dingle. Les résultats théoriques et numériques obtenus, dans lesquels le caractère multiéchelle du matériau est pris en compte grâce à un processus itératif, sont comparés à des mesures expérimentales.

CM-07-175

Une approche numérique de type FFT pour le calcul des champs statiques de dislocations et de désinclinaisons généralisées

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-175

S. Berbenni, V. Taupin, K.S. Djaka, C. Fressengeas.

LEM3, UMR CNRS 7239 - Metz (France).

Une approche spectrale est développée pour résoudre les équations élasto-statiques de la mécanique des champs de dislocations et de désinclinaisons généralisées (appelées g-désinclinaisons) dans un milieu périodique. A partir d'une distribution spatiale donnée de densité de dislocations et/ou de densité de g-désinclinaisons dans un milieu élastique hétérogène ou homogène, les distortions élastiques incompatibles et compatibles sont obtenues respectivement à partir d'équations aux dérivées partielles de type Poisson et de type Navier résolues dans l'espace de Fourier. Les transformées de Fourier discrètes sont calculées numériquement par la méthode des Transformées de Fourier Rapide (FFT). Celle-ci permet d'obtenir les déformations, rotations, et courbures élastiques ainsi que les contraintes de Cauchy associées à une variété de défauts cristallins tels que les dislocations de type coin et vis, les désinclinaisons de type coin ainsi que des dipôles de désinclinaisons ou encore les pointes de macles considérées comme des dipôles de pures g-désinclinaisons. Des exemples numériques sont traités dans le cas de solides élastiques isotropes et en considérant une densité de défauts régularisée au sein de leur cœur. Afin de valider les résultats numériques, des comparaisons sont reportées par rapport à des résultats analytiques et des simulations de type éléments finis. Il est montré que la technique numérique employée permet d'éviter les phénomènes d'oscillations de Gibbs au voisinage du cœur des dislocations.

Remerciements: Les auteurs remercient le support financier de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) sous le Programme d'Investissement du Futur LabEx DAMAS référencé ANR-11-LABX-0008-01.

CM-07-178

Une méthode thermodynamique continue généralisée pour déterminer les contraintes superficielles cohérentes et incohérentes

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-178

R. Dingreville ¹, M. Hallil ², S. Berbenni ³.

¹Sandia National Laboratories - Albuquerque (États-unis), ²Université de La Rochelle, Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur pour l'Environnement (LaSIE) - La Rochelle (France), ³LEM3, UMR CNRS 7239, Université de Lorraine - Metz (France).

L'équilibre thermodynamique d'interfaces planes cohérentes, ou, incohérentes avec désaccord de réseau entre deux cristaux élastiques, est reformulé dans le contexte d'un milieu continu généralisé basé sur le concept de surface de division de Gibbs. A partir de la variation de la densité d'énergie interfaciale d'excès, deux types de contraintes superficielles d'excès ont été introduits : l'une cohérente et l'autre – nouvelle - considérée comme incohérente. Par ailleurs, une déformation transverse superficielle d'excès est également introduite. La contrainte superficielle cohérente et la déformation transverse d'excès sont représentatifs du travail nécessaire pour étirer l'interface, alors que la contrainte superficielle incohérente est représentative du travail nécessaire pour étirer un cristal par rapport à l'autre maintenu fixe en modifiant la structure interne de l'interface. Ces trois quantités thermodynamiques généralisent et étendent le travail récent de Dingreville et Qu [1] en caractérisant complètement le comportement élastique de joints de grains ou joints de phases cohérents et incohérents en fonction des déformations dans le plan de l'interface, de la contrainte transverse et de la déformation de désaccord de réseau initiale à l'interface. Le cas d'un comportement élastique et d'une déformation de désaccord de réseau dans le cas isotrope est traité analytiquement. Le cas particulier d'un comportement thermo-élastique interfacial est traité comme exemple. Ces exemples montrent les conséquences physiques apportées par les constantes d'origine élastique et thermique issues de la formulation, notamment en ce qui concerne le couplage entre la structure de l'interface et ses variables « process » thermodynamiques. Finalement, un exemple basé sur des simulations atomistiques

pour une interface de type Cu/Cu₂O est reporté pour montrer la concordance de la formulation interfaciale généralisée avec les résultats atomistiques et pour souligner la dépendance de l'énergie interfaciale d'excès par rapport au degré d'incohérence de l'interface.

Références :

[1] Dingreville, R., Qu, J., 2008. Interfacial excess energy, excess stress and excess strain in elastic solids: Planar interfaces. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids* 56 (5), 1944–1954.

CM-07-182

Analyse de l'endommagement de matériaux cellulaires par tomographie aux rayons X et par modélisation par éléments finis

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-182

C. Petit, E. Maire, S. Meille, J. Adrien, L. Gremillard, S. Tadier.

INSA-Lyon, MATEIS CNRS UMR5510 - Villeurbanne (France).

Les matériaux cellulaires sont des matériaux multifonctionnels, qui peuvent être utilisés dans de nombreuses applications. Différentes échelles peuvent être utilisées pour les étudier. L'échelle mésoscopique correspond à l'architecture du matériau : distribution de la phase solide et des porosités, densité relative, taille des porosités et des cellules, etc. De nombreuses études existent sur le lien entre ces paramètres et les propriétés mécaniques. La tomographie aux rayons X est souvent utilisée en raison de l'information qu'elle apporte sur l'architecture des mousses. Mais, la microstructure des brins est aussi importante. Les caractéristiques microstructurales (présence de micropores ou de différentes phases dans les brins) ont une grande influence sur les propriétés macroscopiques. La « tomographie locale », qui consiste à placer l'échantillon près de la source de rayons X, permet d'obtenir des images à haute résolution. Les images à haute résolution apportent des informations sur la structure des brins qui ne peuvent pas être obtenues avec les images à basse résolution. Ensuite, des essais in-situ sont conduits dans le tomographe. Enfin, une modélisation par éléments finis est créée à partir des images tomographiques. Par conséquent, le comportement mécanique des matériaux cellulaires peut être expliqué en combinant les informations apportées par les différentes résolutions.

Nous présenterons des exemples de matériaux cellulaires céramiques et métalliques pour lesquels nous avons créé un « dialogue » entre les deux échelles dans le but d'expliquer le comportement macroscopique à partir de la microstructure.

CM-07-192

A homogenization method for brittle intergranular fracture of polycrystals

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-192

L. Benabou ¹, Z. Sun ².

¹Université de Versailles Saint Quentin-en-Yvelines - Versailles (France),

²Université de Technologie de Troyes - Troyes (France).

During tensile tests of a Cu-Ni-Si alloy, occurrence of dynamic embrittlement phenomenon leads to intergranular cracking. The mechanism involves stress-induced segregation of sulfur elements into the grain boundaries and is amplified by environmental and loading conditions, such as temperature increase and/or strain rate decrease as shown by Sun et al. (2008). Accumulation of embrittling elements at grain boundaries causes the transition from a ductile fracture mode to a brittle intergranular mode by reducing the grain boundary cohesive strength.

In order to analyze the effect of grain boundary decohesion on the overall behavior of the polycrystalline aggregate, we propose a multi-scale approach accounting for both grain boundary characteristics and crystal plasticity parameters. A self-consistent homogenization scheme, extended to take into consideration grain boundary degradation by use of a specific cohesive law, is presented following the approach developed recently in Benabou and Sun (2014). This approximate analytical model is less time-consuming than a full finite element computation of the real polycrystalline microstructure and allows easy identification of material parameters for the crystal (plasticity) and the traction-separation (fracture) constitutive laws.

A user program was developed to simulate the macroscopic response of the material given the number of grains, the distribution of crystallographic orientations and the constitutive laws of the different elements in the microstructure. The crystal plasticity model of Méric and Cailletaud (1991) is used for the grain interior behavior while the Smith-Ferrante cohesive zone model is adopted for the grain boundary behavior. All the material parameters involved in the constitutive laws can be identified from a single macroscopic tensile test.

AF-07-193

Caractérisation du pouvoir lubrifiant des huiles en frottement abrasif

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-193

M. Arbaoui ¹, F. Robbe-Valloire ².

¹Laboratoire de fiabilité des équipements pétroliers et matériaux - Boumerdes (Algérie), ²Laboratoire Tribologie-Matériaux - Saint-Ouen (France).

La solution pour diminuer les dégradations des surfaces mécaniques ainsi que le frottement consiste à introduire un troisième corps ou un lubrifiant dans le contact. Celui-ci se caractérise par une faible résistance au cisaillement tout en assurant la transmission des efforts normaux. Mais il est nécessaire, afin de juger de l'efficacité d'un lubrifiant, d'en connaître ou de pouvoir en évaluer la capacité lubrifiante.

Le but de ce travail est de mettre en évidence l'endommagement des propriétés d'un lubrifiant au cours de son utilisation et d'analyser son comportement à partir des observations du comportement des surfaces en contact. La finalité industrielle de cette étude est l'obtention d'un modèle permettant de prédire la durée de vie d'un lubrifiant ainsi que la validité expérimentale de ce modèle. Pour cela nous étudierons les différents modes de lubrification, en présence de pollutions abrasives, pour une huile neuve et usagée. Les propriétés de frottement ainsi que les propriétés de capacités de charge des lubrifiants liquides sont liées non seulement à la présence d'additifs spécifiques mais aussi à la rhéologie du lubrifiant dans les conditions de pression, de température et de vitesse de déformation qui règnent dans les contacts puisqu'elle détermine l'épaisseur du film d'huile en régime de lubrification hydrodynamique, élastohydrodynamique ou mixte. La classification des régimes est établie selon les courbes de Stribeck qui mettent en évidence les régimes de lubrification en fonction des conditions de fonctionnement, de l'épaisseur du film et de la rugosité des surfaces. Ces courbes représentent l'évolution du coefficient de frottement selon le paramètre de Sommerfeld ($\eta \cdot V / P$).

Le tribomètre pion / disque, utilisé pour ce travail de recherche, nous permet de caractériser rapidement de nombreuses solutions et d'obtenir les valeurs du coefficient de frottement pour les différents régimes de lubrification. Le contact entre les surfaces est de type plan/plan. Il est représentatif de nombreux cas pratiques de

contact surfacique entre composants mécaniques. Le modèle est validé par l'analyse expérimentale des différentes paires de matériaux. Ce type d'appareillage a été choisi pour des raisons de simplicité de fonctionnement, de géométrie des éprouvettes, de rapidité de mise en œuvre des expériences alliées à une bonne reproductibilité des résultats.

CM-07-196

Caractérisation expérimentale de la plasticité introduite par la transformation de phase dans les réfractaires électrofondus à très haute teneur en zircon

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-196

Y. Zhang, M. Boussuge, D. Ryckelynck.

Centre des Matériaux Pierre-Marie FOURS - MINES ParisTech - Evry (France).

Ce travail de thèse s'insère dans le programme ANR ASZTech, avec comme partenaire industriel principal Saint Gobain. Il concerne les réfractaires électrofondus à Très Haute Teneur en Zircon (THTZ), utilisés dans la fabrication de verres de haute qualité. Traditionnellement, ces réfractaires ne sont pas stabilisés et subissent donc, lors du refroidissement qui suit leur coulée, la transformation de phase de la zircon, qui opère autour de 1000°C. Des études précédentes ont prouvé que cette transformation, qui se traduit entre autres par une augmentation de volume de 4%, a des conséquences importantes sur la capacité de réalisation et la qualité finale des produits.

Un modèle numérique, permettant le calcul par éléments finis des contraintes dans un maillage 2D d'une section horizontale de dalle, pendant et après le refroidissement, a été précédemment développé [1]. Si celui-ci intègre l'enthalpie de solidification, le fluage, la rigidification élastique et l'endommagement, la prise en compte de la transformation de phase et de ses conséquences mécaniques n'a été qu'ébauchée.

Pour enrichir le modèle numérique, il s'agit donc, dans ce travail, de caractériser expérimentalement les effets de la transformation sur le comportement mécanique (module d'élasticité, endommagement, plasticité de transformation, résistance à la rupture,...), et d'en proposer un modèle implémentable dans un code de calcul par éléments finis.

La prise en compte de la plasticité introduite par transformation (TRIP) est cruciale pour assurer la robustesse et la fiabilité de notre modèle. Des essais de compression, de traction et de flexion à haute température ont été effectués pour caractériser les effets de la transformation, lorsqu'une contrainte est appliquée au matériau.

Références

[1] Laetitia PETRONI, Étude du refroidissement post-coulée de réfractaires électrofondus à Très Haute Teneur en Zircône (THTZ), thèse de doctorat en Sciences et Génie des Matériaux, MINES-ParisTech, 09 Septembre 2011.

CM-07-198

Compression rapide d'un explosif sur machine électro-magnétique

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-198

D. Picart ¹, A. Lefrançois ², J. Petit ², G. Le Blanc ², P.Y. Chanal ².

¹CEA - Monts (France), ²CEA - Gramat (France).

Il est nécessaire de connaître le comportement mécanique des compositions explosives pressées pour dimensionner les édifices pyrotechniques soumis à des environnements normaux ou bien pour prédire la réponse de ces matériaux lors d'agressions mécaniques (chute, impact, choc). Si le cas des chocs violents a fait l'objet de nombreuses études depuis quelques décennies, il n'en va pas de même en ce qui concerne les agressions intermédiaires. Dans ce dernier cadre, l'obtention de données mécaniques est particulièrement difficile tant les sollicitations peuvent être intenses et rapides. Depuis plusieurs années, le CEA développe ses moyens expérimentaux pour atteindre les régimes des hautes vitesses de déformation (103-105 s⁻¹) et des hautes pressions (100-500 MPa). Afin d'atteindre de très hautes vitesses de déformation, une campagne expérimentale a été réalisée sur une machine électromagnétique du CEA. Cette machine est basée sur la technologie des hautes puissances pulsées. La décharge rapide de quelques condensateurs permet de créer un courant intense dans une plaque et de la projeter par l'action de la force de Laplace. Un échantillon d'explosif, posé initialement sur la plaque, subit donc une forte et rapide compression. Les vitesses de la plaque (et donc de la face avant de l'échantillon) et de la face arrière de l'échantillon ont été mesurés par interféromètre Doppler fibré.

Ces essais ont été simulés à l'aide du code de calcul aux éléments finis Abaqus/explicit. La loi de comportement qui a été utilisée pour l'explosif est élasto-plastique. Une pression de 200-300 MPa est atteinte dans l'échantillon pour une vitesse de déformation moyenne de 4.104 s⁻¹. Compte tenu de la durée de la sollicitation et des mesures et de la taille des échantillons, l'équilibre des forces de part et d'autre de l'échantillon n'est pas atteint. La simulation montre de plus un phénomène d'écaillage se produisant rapidement compte tenu de la faible épaisseur de la plaque métallique. Il n'a donc pas été possible de mesurer directement les propriétés mécaniques du matériau. Par contre, une étude de sensibilité permet

d'étudier l'effet de chaque paramètre sur la réponse numérique, comparé aux signaux expérimentaux.

CM-07-206

Modèle viscoélastique endommageable en grandes déformations pour les composites carbone/époxy à préformes textiles soumis à des sollicitations dynamiques

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-206

S. Treutenaere ¹, F. Lauro ¹, B. Bennani ¹, T. Matsumoto ², E. Mottola ².

¹UVHC, LAMIH, UMR 8201 - F-59313 Valenciennes (France), ²Toyota Motor Europe - B-1140 Bruxelles (Belgique).

L'utilisation des composites à préformes textiles dans l'industrie automobile ne cesse de croître. En effet, leur rigidité et résistance spécifiques élevées, leur drapabilité facilitant la fabrication de pièces complexes, ainsi que leur tenue à l'impact en font des matériaux de choix.

Les concepteurs automobiles disposent pour ceux-ci de modèles phénoménologiques dans les codes commerciaux qui reposent sur des hypothèses fortes, entraînant des imprécisions et un ajustement important des paramètres matériaux. Pour répondre à ces manques, un modèle permettant d'augmenter la prédictibilité des simulations d'impacts a été développé.

Une étude expérimentale de différents composites textiles (tissés et cousus), soumis à diverses sollicitations mécaniques atteignant des grandes vitesses de déformation, a mis en valeur les mécanismes physiques influençant le comportement mécanique comme la viscoélasticité, l'endommagement matriciel intra- et interlaminaire et la rupture des fibres.

Le modèle de comportement intralaminaire repose sur la description physique du comportement et est basé sur la formulation explicite du modèle d'endommagement matriciel proposée par l'Onera [1], étendu par le couplage d'un modèle viscoélastique conservant le schéma explicite direct. Les instabilités numériques (influence de la

taille de l'élément, localisation) dues à l'intégration de la rupture des fibres et de son caractère adoucissant sont palliées par l'utilisation de l'approche « smeared crack » dépendante de la dimension caractéristique de l'élément.

Le passage à une forme incrémentale Lagrangienne totale est rendu nécessaire afin d'assurer la cohérence du modèle en grandes déformations par le respect de l'indifférence matérielle et de l'anisotropie matérielle. Cette formulation intègre de ce fait la rotation des fibres de la préforme textile lors des différentes sollicitations et prend en compte le phénomène de blocage en cisaillement. L'identification des paramètres du modèle est de plus directe par l'utilisation de la déformation et de la contrainte nominales.

Les simulations numériques montrent une bonne corrélation avec les résultats expérimentaux.

[1] MARCIN, Lionel. Modélisation du comportement, de l'endommagement et de la rupture de matériaux composites à renforts tissés pour le dimensionnement robuste de structures. 2010. Thèse de doctorat. Université Bordeaux 1.

CM-07-219

Experimental Study of Crack Propagation in Ice under Impact Loading by Digital Image Correlation

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-219

L. Yao, H. Maigre.

Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures Institut National des Sciences Appliquées de Lyon - Villeurbanne (France).

In dynamic cases, since the crack propagates quickly in ice and sensitive to strain rate and temperature, the parameters governing crack propagation are difficult to determine. This paper presents a series of experiments on crack propagation in ice under impact loading for extracting crack propagate parameters by digital image correlation. The Split Hopkinson Bar is employed to apply the impact loading with a cooling chamber to control the temperature during the experiment. Because ice is a typical brittle material, it crushes in very small strain. In order to obtain one main crack, nylon bars of 20mm diameter are chosen to apply low impact and guarantee low impedance, dumping device is used to slow down the steep pulse and reduce the influence of non-uniform distribution of stress. The ice used in the experiments is ordinary ice, prepared by running water which provides the same results as deionized water and boiled water. The specimens are rectangular of dimensions 250mm × 90mm×40mm with notch and pre-crack. The typical crack path is: at first crack propagate as Mode I along the pre-crack direction; in the middle of specimen the crack branches, the main crack still propagate in horizontal direction, the others propagate in vertical direction; in the end the specimen break into several pieces. The processes of experiments are recorded by high speed camera. The crack tip position, the crack path can be decided precisely and the crack velocity can be calculated from the picture by using digital image correlation method. From the results try to determine the parameters governing crack propagation.

CM-07-223

Glissement cristallographique dans les cristaux hexagonaux soumis à une sollicitation multiaxiale

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-223

M. Darrieulat, A. Aoufi.

Ecole des mines de Saint-Etienne Laboratoire Georges Friedel UMR CNRS n° 5307 - Saint-Etienne (France).

Forger à chaud les alliages de titane ou de zirconium en trois passes successives d'amplitude et de vitesse égales mais de directions orthogonales entre elles conduit à un raffinement appréciable de la microstructure. Le procédé est peu exigeant en effort de forgeage car les contraintes diminuent d'une passe à l'autre.

Pour expliquer ce phénomène, on considère un cristal hexagonal et ses systèmes de glissement. Sa position initiale est définie par trois angles de Bunge ϕ_1 , Φ , ϕ_2 repérés par rapports aux axes de compression. La Figure donne un exemple d'évolution avec seulement les systèmes prismatiques, une sensibilité à la vitesse de déformation $m = 0.1$, des passes successives de $\Delta\varepsilon = 0.6$ et des valeurs initiales des angles de Bunge : $\phi_1 = 0$ (sans influence), $\Phi = 70^\circ$, $\phi_2 = 35^\circ$.

A chaque passe, l'inclinaison du pôle $\langle 00.1 \rangle$ augmente par rapport à la direction de forgeage. Le signe et l'amplitude des cisssions résolues $\tau_g = 1..3$ sont recueillis et il apparaît que :

- au changement de direction de forgeage, il est courant que systèmes soient activés dans le sens inverse du précédent (voir τ_1 et τ_3 sur le Tableau),
- au sein d'une même passe il peut y avoir rebroussement pour un système faiblement activé à cause de la rotation du cristal hexagonal autour de l'axe de compression. Le phénomène intervient lorsque l'angle qui mesure cette rotation prend certaines valeurs multiples de 15° .

Un système qui travaille successivement dans un sens puis dans l'autre s'adoucit par annihilation des dislocations. Ceci peut expliquer que la première passe soit systématiquement la plus dure.

AF-07-227

Effet des conditions de frittage SPS et naturel d'une nano-poudre d'alumine sur les propriétés mécaniques

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-227

H. Belghalem ¹, M. Hamidouche ², G. Bonnefont ³, G. Fantozzi ⁴.

¹doctorant - tebessa (Algérie), ²Professeur - Lyon (France), ³responsable SPS - Lyon (France), ⁴professeur émérite - Lyon (France).

Dans ce travail, nous avons fait une étude comparative d'une alumine obtenue par frittage naturel et d'une alumine obtenue par frittage SPS. La nano-poudre de départ est une alumine α (α -Al₂O₃) commercialisée par Baikowski (Baikalox-BMA15, France), avec une pureté de 99.99 % et une taille moyenne de grains de 150 nm.

Des échantillons ont été façonnés par coulage en barbotine. Ce dernier est choisi afin d'avoir des échantillons hautement densifiés. Pour ajuster le pH nous avons utilisé une solution d'acide chlorhydrique dilué pour obtenir un pH égal à 3. Cette barbotine est désagglomérée par broyage en jarre pour une durée de 24 heures avec des billes en alumine de différents diamètres. La barbotine a été coulée dans des moules en PVC sous forme de plaques, ces moules sont posés sur une plaque en plâtre. Pour éviter la fissuration, un séchage lent a été réalisé à 600°C. Le frittage naturel a été réalisé à différentes températures (1200°C, 1300°C, 1400°C et 1500°C) avec des temps de maintien de 1h et 3h. Des échantillons poreux ont été également préparés en ajoutant 5% d'amidon de blé comme porogène.

D'autre part, des échantillons ont été frittés par frittage «Spark Plasma Sintering (SPS)» par la voie sèche. La température de frittage est comprise entre 1150 et 1350°C avec un pas de 50°C, une vitesse de chauffage 100°C · min⁻¹ et un temps de maintien de 3 mn et 10 mn. Deux pressions ont été utilisées (25 et 50 MPa).

La densité apparente des échantillons frittés a été déterminée selon le principe d'Archimède.

Le module de Young a été mesuré à l'aide d'un appareil de type Grindo-Sonic, les échantillons ayant été étuvés pendant 24 heures.

La microstructure des frittés naturels et par SPS a été étudiée par microscopie électronique à balayage. Les résultats ont montré que le frittage SPS conduit à de meilleures caractéristiques mécaniques.

CM-07-282

Etude de la compaction de microsphères poreuses non consolidées d'oxyde métallique

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-282

P. Parant ¹, E. Remy ¹, S. Picart ¹, J.P. Bayle ², T. Delahaye ², O. Dugne ², I. Bisel ¹, C. Martin ³.

¹CEA Département RadioChimie et Procédés - Bagnols Sur Cèze (France),

²CEA Département de TEchnologie du Cycle du combustible - Bagnols Sur Cèze (France), ³Simap Grenoble INP CNRS - Saint Martin D'heres (France).

Cette étude porte sur la mise en forme de précurseurs d'oxyde métallique se présentant sous forme de microsphères non consolidées. Ces précurseurs sont destinés à la fabrication par pressage de pastilles céramiques de combustibles nucléaires dédiées à la transmutation des actinides mineurs dans les réacteurs à neutrons rapides.

L'objectif de ce travail est d'optimiser le procédé de mise en forme par pressage afin d'obtenir, après frittage, des pastilles céramiques homogènes, denses et non déformées *i.e.* ne nécessitant pas de rectification.

Les microsphères oxydes sont obtenues par minéralisation de résines échangeuses d'ions. Une fois chargées en cations métalliques ces résines sont calcinées afin d'éliminer le squelette carboné et former les précurseurs oxydes requis pour l'étape de mise en forme. Le comportement mécanique des microsphères synthétisées a été caractérisé par enregistrement de courbes d'écrasement et interprété par le biais de la modélisation par la méthode des éléments discrets. Cette modélisation est basée sur une approche multi-échelle avec une description de la microsphère sous forme d'un assemblage poreux d'agrégats sphériques. La conduite des simulations et leur ajustement avec les données expérimentales ont permis de déterminer les propriétés mécaniques des agglomérats telles que leur densité et module d'Young ainsi que de décrire leur mode d'assemblage à travers la taille relative de contact.

Des études de compaction en matrice tri-coquille ont ensuite été menées sur des lots de microsphères afin de caractériser le comportement mécanique sous contrainte

des précurseurs en conditions réelles et d'optimiser le cycle de pressage. Ce comportement en matrice des microsphères a été étudié à partir du tracé des courbes de compressibilité, d'observations métallographiques des compacts crus et frittés obtenus, des mesures de densité et a été comparé au comportement du même composé se présentant sous forme pulvérulente.

En perspective, le comportement sous contrainte des microsphères dans la matrice sera abordé par le biais de la modélisation par la méthode des éléments discrets afin de décrire les interactions entre microsphères, interpréter leur devenir, et définir les pressions nécessaires à l'obtention d'une microstructure homogène et dense du compact cru.

AF-07-292

Effet du vieillissement thermique sur le comportement mécanique cyclique d'un alliage d'aluminium durcis par précipitation

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-292

F.X. Hoche ¹, L. Rémy ¹, P. Osmond ², L. Nazé ¹, A. Koster ¹.

¹Centre des Matériaux Mines de Paris - Evry (France), ²PSA Peugeot Citroën Automobiles - La Garenne Colombes (France).

Les culasses des moteurs diesel sont réalisées dans des alliages d'aluminium de fonderie car ceux-ci ont une faible densité, une bonne coulabilité ainsi qu'une très bonne conductivité thermique. Bien que la culasse atteigne rapidement une température stable lors de l'utilisation du véhicule, la succession de démarrages et d'arrêts du moteur provoque une plastification en compression suivie d'une traction de la zone du pontet inter-soupapes, favorisant ainsi l'amorçage de fissures. Les contraintes de « downsizing » (i.e réduction d'encombrement à iso-puissance), associées au durcissement des normes de dépollution, génèrent une augmentation des sollicitations thermo-mécaniques nécessitant une compréhension accrue du comportement de ces alliages sous ce type de chargement cyclique.

L'alliage faisant l'objet de cette étude est l'AlSi7Cu3,5Mg0,1. Il est durci par précipitation et l'exposition à des températures élevées est susceptible de faire évoluer les paramètres de la microstructure de précipitation. Les modifications de la nature des phases précipitées, de la morphologie et de la taille des précipités en fonction de la température et de la durée du vieillissement, ont été analysées par diffraction et imagerie en microscopie électronique en transmission. Les conditions de vieillissement étudiées correspondent à des temps de 100 à 300 heures pour une température de 150, 250 ou 300°C. Pour ces vieillissements, on identifie dans la matrice des précipités semi-cohérents des phases métastables θ' -Al₂Cu et Q' ainsi que des globules incohérents de Si.

L'effet de l'évolution de la microstructure de précipitation au cours du vieillissement sur le comportement viscoplastique de l'alliage a été analysé sur la base d'essais

cycliques, sur éprouvettes vieilles dans les mêmes conditions que pour l'étude microstructurale, réalisés à température ambiante, 150°C et 250°C. Le cycle à $R=-1$ et vitesse de déformation 10^{-3} s^{-1} comporte un palier de 150 secondes à déformation maximale en traction. La déformation maximale est portée de 0,6% à 0,8% après 20 cycles.

Le palier à déformation maximale donne lieu à une relaxation des contraintes dont les caractéristiques (vitesse de relaxation, contrainte relaxée) sont corrélées aux paramètres qui décrivent l'évolution de la microstructure avec le vieillissement.

AF-07-313

Renforcement de poutres fissurées et non fissurées en béton armé par collage de matériaux composites

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-313

M. Boumaaza ¹, A. Bezazi ², H. Bouchelaghem ², N. Zanache ³, S. Amziane ⁴, F. Scarpa ⁵.

¹Laboratoire de Génie Civil & Hydraulique LGCH, Université 8 Mai 1945 Guelma, BP 401 Guelma 24000, Algérie - Guelma (Algérie), ²Laboratoire de Mécanique appliquée et des nouveaux matériaux LMANM, Université 8 Mai 1945 Guelma, BP 401 Guelma 24000, Algérie - Guelma (Algérie), ³Laboratoire de Génie Civil & Hydraulique LGCH, Université 8 Mai 1945 Guelma, BP 401 Guelma 24000, Algérie. - Guelma (Algérie), ⁴Département Génie Civil Polytech Clermont Ferrand Université Blaise Pascal, UMR 6602, Institut Pascal BP 206, 63174 Aubière, France. - Clermont Ferrand (France), ⁵Advanced Composites Centre for innovation and Science (ACCIS), University of Bristol, BSB 1 TR Bristol, UK. - Bristol (Royaume-uni).

La réhabilitation et la maintenance des structures telles que les ponts existant sont devenues aujourd'hui une préoccupation croissante. En effet, ces infrastructures sont soumises à des conditions d'exploitation de plus en plus exigeantes. Ainsi, les charges de sollicitation effectives ne correspondent plus aux charges de calcul pour lesquelles les anciens ponts ont été conçus. Néanmoins, de nombreux éléments de structure ne répondent pas aux exigences actuelles, d'où la nécessité de leur renforcement ou/et réhabilitation.

Le but de ce travail est de quantifier expérimentalement l'augmentation de la résistance que peut apporter le renforcement en forme de U des structures type poutres en béton armé par des matériaux composites. Pour ce faire, une étude expérimentale a été entreprise au laboratoire sur des poutres, sollicitées en flexion, renforcées par des matériaux composites constitués d'un tissu bidirectionnel en fibres de verre (TFV) de masse surfacique 500g/m² et une résine polyester. Les 18 poutres ont été fabriquées le même jour et dans les mêmes conditions selon la norme ASTM C78-00 au laboratoire ce qui assure, plus ou moins, les mêmes propriétés du béton pour tous les spécimens. Les propriétés mécaniques du béton, acier et le composite tissu/polyester ont été identifiés expérimentalement par des

essais. Cette étude traite l'influence de l'orientation des fibres, à savoir (0/20), (0/30), (0/45) et (0/90), de l'enveloppe composite sur le comportement des poutres non fissurées ou encore fissurées par des préchargements de 40 ou 80 % de leur charge ultime avant le collage du composite. Des jauges d'extensométrie sont collées sur les poutres dans le but de mesurer les déformations par l'intermédiaire d'un pont de Wheatstone. Les performances de ce type de renforcement ont été très satisfaisantes, avec des augmentations significatives de la résistance.

AF-07-314

Caractérisation mécanique des bétons polymères à base de résine renforcés par des granulats et de poudre de marbre

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-314

N. Zanache ¹, A. Bezazi ², H. Bouchelaghem ², M. Boumaaza ¹, S. Amziane ³, F. Scarpa ⁴.

¹Laboratoire de Génie Civil & Hydraulique LGCH, Université 8 Mai 1945 Guelma, BP 401 Guelma 24000, Algérie. - Guelma (Algérie), ²Laboratoire de Mécanique appliquée et des nouveaux matériaux LMANM, Université 8 Mai 1945 Guelma, BP 401 Guelma 24000, Algérie - Guelma (Algérie), ³Département Génie Civil, Polytech Clermont Ferrand Université Blaise Pascal, UMR 6602, Institut Pascal BP 206, 63174 Aubière, France. - Clermont Ferrand (France), ⁴Advanced Composites Centre for innovation and Science (ACCIS), University of Bristol, BSB 1 TR Bristol, UK. - Bristol (Royaume-uni).

Les bétons polymères sont utilisés dans de nombreuses applications industrielles et dans le génie-civil, pour leurs excellentes propriétés mécaniques et pour leur faible masse volumique par rapport à celle des bétons ordinaires. Le travail proposé est une étude expérimentale du comportement mécanique du béton polymère sollicité en flexion statique et en fatigue cyclique. Ce béton est constitué d'une matrice en résine polyester renforcée par des granulats et poudre de marbre. Sept types d'échantillons composites sont préparés et dimensionnés selon la norme ASTM C580-02 où la matrice polymère est prise constante et représentant 14% de la masse totale. Les différentes combinaisons en granulats et poudre de marbre sont prises respectivement : (86/0), (0/86), (70/16), (16/70), (56/30), (30/56), (43/43). Les résultats obtenus des échantillons sollicités en flexion 3-points statique avec une vitesse de 3 mm/min ont montré que le composite (16/70) présente les meilleures propriétés mécaniques. Les essais de fatigue cyclique sont menés en contrôle-déplacement avec une forme d'onde sinusoïdale d'une fréquence de 1 Hz et pour différents niveaux de chargement r . Les essais de fatigue permettent de tracer l'évolution de la perte de charge (F/F_0) en fonction du nombre de cycle (N). Les boucles d'hystérésis des différents niveaux de chargement sont aussi identifiées en

fonction du nombre de cycle ce qui conduit à l'évaluation de l'énergie dissipée E_d en fonction du nombre de cycle et du niveau de chargement r .

CM-07-317

Influence d'un pré-écrouissage monotone sur le comportement cyclique de matériaux présentant diverses énergies de faute d'empilement

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-317

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

Groupe de Physique des Matériaux, INSA Rouen, Université de Rouen, CNRS UMR 6634 - St. Etienne Du Rouvray (France).

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.

[1] Miner M.A., J. of Applied Mecha. 67 (A159-A164), 1945

[2] Blondet E., Faidy 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

CM-07-326

Microfissuration induite par la viscoplasticité dans les céramiques nucléaires

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-326

B. Michel, T. Helfer, J. Soulacroix, J. Sercombe, M. Salvo.

CEA/DEC - Saint Paul Lez Durance (France).

Un des enjeux des études matériaux sur le combustible nucléaire concerne l'intégrité mécanique de la pastille afin de comprendre le lien entre l'endommagement à l'échelle microstructurale et le relâchement des produits de fission gazeux ou la dégradation du combustible en situation accidentelle. La question posée dans ces travaux porte sur l'origine de la micro-fissuration observée expérimentalement pour des conditions de sollicitations mécaniques induisant des contraintes macroscopiques de compression. L'analyse et les résultats proposés s'appuient sur une simulation numérique par éléments finis à l'échelle de l'agrégat polycristallin. Cette simulation permet une description statistique réaliste pour les principales caractéristiques de la microstructure (forme, taille et orientation des grains). Dans le domaine de sollicitation analysé la déformation inélastique de l'UO₂ est principalement liée aux mouvements des dislocations. Le modèle de plasticité cristalline utilisé prend en compte les systèmes de glissement de la structure fluorine et est validé à partir de résultats expérimentaux sur mono-cristaux. Concernant la microfissuration une approche couplée comportement endommagement est utilisée suivant la méthodologie développée dans la référence [[i]].

Dans une première étape, les champs de contraintes microscopiques sont analysés pour expliquer l'amorçage de microfissures. La simulation permet de conclure que l'écroutissage intergranulaire, liés à l'anisotropie élastique et viscoplastique des grains [[ii]], induit des contraintes internes de traction supérieures au seuil de rupture de l'UO₂. Une étude de sensibilité à la vitesse de sollicitation permet une comparaison avec les tendances observées expérimentalement.

Une deuxième phase en cours consiste à simuler la propagation des micro-fissures en couplant le modèle de plasticité cristalline avec une loi d'endommagement

volumique basée sur un critère de rupture dans l'espace des contraintes principales. Ces résultats pourront être validés par les observations expérimentales en terme de surface rompue et contribueront aux travaux actuels sur la fragmentation du combustible en situation accidentelle

[i] B. Michel, "3D fuel cracking modelling in pellet cladding mechanical interaction", EFM 75 (2008) 3581–3598.

[ii] J. Soulacroix "Approche multi-échelle de l'hétérogénéité de déformation du dioxyde d'uranium", CSMA, 2013

CM-07-327

Cellular materials made of stacked tubes: manufacturing process and material constitutive law under high rate loading conditions

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-327

G. Portemont ¹, C. Davoine ², B. Langrand ¹, V. Marcadon ², E. Deletombe ¹.

¹Onéra - The French Aerospace Lab - Lille (France), ²Onéra - The French Aerospace Lab - Chatillon (France).

Cellular materials are very promising as lightweight aeronautical materials thanks to interesting mechanical properties in terms of impact resistance. However, because of the processing routes and heat treatments used in the production steps, the material within the cell walls may behave differently from the bulk, and therefore the in situ mechanical properties are often unknown. The presented works aimed at investigating the link that exists between the processing of cellular architectures and the mechanical properties of their constitutive material. The studied cellular material is an Inconel 600® tube stacking brazed using a nickel-phosphorus alloy (Fig.1). In order to discuss the influence of the stacking process on the mechanical properties of its constitutive material, uniaxial tensile tests were performed at various strain rates on single tubular specimens for three different materials configurations. The first one was made of base metal material (Inco600BM), the second one was affected by the brazing heat treatment (Inco600HT), and the latest was submitted to the NiP layer deposition then followed by the brazing heat treatment (Inco600NiP). The different material configurations were characterised from quasi-static to dynamic loads and electron back-scattered diffraction analyses (EBSD) was performed.

A specific device had to be specifically developed for high strain rate testing of the tube specimens by using a hydraulic jack. It allows to properly clamp the specimen all around its section and to impose a uniaxial tensile loading at a given strain rate. Strain rate effects are measured for the hardening law of the Inco600 base material. The heat treatment acts as a recovery treatment on the plastic properties of the tube material, and eliminates viscous effects. EBSD post-mortem analyses of the tensile

specimens show a strong texture, resulting from the tensile loading. A quite homogeneous intragranular misorientation is observed inside the grains, reflecting large plastic deformations. The parameters of a standard material hardening models have been identified for all material configurations (Fig.2). Future works will address the experimental characterisation and the finite-element modelling of the mechanical behaviour of the cellular material as a whole.

CM-07-328

Un modèle thermo-visco-élastique pour les composites à matrices organiques sur une large gamme de vitesses de déformation et de températures

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-328

J. Berthe ¹, E. Deletombe ¹, M. Brieu ².

¹ONERA - The French Aerospace Lab - Lille (France), ²Ecole Centrale de Lille - Lille (France).

L'évolution de la réglementation environnementale entraîne une utilisation de plus en plus massive des matériaux composites à matrices organiques afin d'alléger les structures. Au cours du cycle de vie d'un avion, les éléments structuraux sont soumis à divers types de chargements mécaniques et thermiques. Le comportement de ces matériaux étant dépendant de la vitesse de sollicitation et de la température [1], il est nécessaire de tenir compte lors de l'optimisation de ces structures de ces dépendances afin de tendre vers la structure optimale. Afin de simplifier la prise en compte de chargements allant des basses aux hautes vitesses, ainsi que les variations de la température, un modèle thermo-visco-élastique est proposé et validé dans cette étude sur une large gamme de vitesses de sollicitations et de températures.

Ce modèle est basé sur une description spectrale des mécanismes visqueux à l'échelle mésoscopique et est connu pour être représentatif du comportement d'un stratifié sur une large gamme de vitesses de déformations [2]. L'extension de ce modèle sur une large gamme de températures repose sur la prise en compte de l'équivalence temps-température. Dans un premier temps, une caractérisation expérimentale de la dépendance à la température pour différentes vitesses de sollicitations sur des essais de traction dynamique est réalisée. Ces résultats sont complétés par la mise en évidence de l'équivalence temps-température à l'aide d'essais DMA. Ensuite, une analyse fine de ces essais est proposée afin d'extraire une loi permettant la description de l'équivalence temps-température. Cette loi est introduite dans le modèle au niveau de la description spectrale des mécanismes visqueux, conduisant à une description 3D de ce spectre. Le modèle proposé est

identifié à l'aide d'essais dynamiques réalisés à l'ambiante et à différentes températures. Les résultats de cette identification démontrent que le modèle proposé dans cette étude est représentatif sur une large gamme de vitesses de déformation (10^{-5} s^{-1} à 100 s^{-1}) et sur une large gamme de températures, comprises entre -100°C à 25°C .

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la DGA (Ministère de la Défense) pour le financement de ces travaux.

REFERENCES

- [1] D. Delsart, ONERA RT 99/52 DMSE/Y; 1999.
- [2] J. Berthe et al., Strain, 2013, 49, 257-266.

CM-07-331

Identification de critères d'amorçage de macro-fissure par la méthode de corrélation d'images

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-331

G. Portemont, B. Langrand.

Onéra - The French Aerospace Lab - Lille (France).

La Mécanique des Milieux Continus permet de décrire le comportement des matériaux depuis les transformations élastiques, jusqu'à l'amorçage de macro-fissure. Ce phénomène d'amorçage peut être traduit de façon phénoménologique par divers approches qui sont fondées sur un critère tel une déformation plastique (ou une contrainte) ultime, un endommagement critique, une énergie, etc. Cet article présente les recherches menées dans ce cadre pour une caractérisation expérimentale de ce type de critère d'amorçage, mais fondée d'une part sur l'exploitation de champ de déformation obtenus par mesure optique et d'autre part sur l'analyse de la triaxialité des contraintes et le paramètre de Lode à l'aide un couplage entre la mesure des tenseurs de déformation et un algorithme de plasticité à retour radial.

Des essais de traction sont réalisés sur des éprouvettes plates équipées ou non d'une entaille mécanique et la vitesse de déplacement appliquée à l'échantillon quasi-statique ou dynamique. Le champ de déformation est mesuré à partir de techniques de corrélation d'images numériques et d'un mouchetis noir/blanc déposé sur les éprouvettes. Préalablement, des études ont été réalisées pour analyser l'influence de paramètres de la méthode de mesure, telle la taille du mouchetis, la taille de la zone d'intérêt, pour évaluer le bruit et l'incertitude de la mesure.

Les champs de déformations mesurées sont analysés jusqu'à la rupture de l'éprouvette. Les champs de contraintes sont alors déterminés à partir des cartographies des champs de déformations mesurés grâce à un algorithme à retour radial. Avec cette méthode, la triaxialité des contraintes et les déformations plastiques peuvent être analysées dans l'éprouvette en distribution de valeur locale ou en valeur moyenne sur le ligament de l'éprouvette par exemple. Les éprouvettes ayant été sollicitées à des vitesses de déformation quasi-statique et dynamique, la

dépendance des critères de rupture à la vitesse de déformation peut ainsi être analysée directement. Les critères de rupture en déformation plastique ou en contrainte peuvent alors être caractérisés directement à partir de données expérimentales mesurées ou 'reconstruites' sans passer par une phase de modélisation EF. L'intérêt de cette méthode est de rendre également possible la comparaison des critères de rupture analysés en valeur soit locale ou moyennée. D'autres développements en cours visent à introduire des modèles de comportement et d'endommagement couplés.

CM-07-340

Compression de micro-piliers pour caractériser le comportement mécanique de la couche nanocristalline induite par SMAT dans un acier 316L

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-340

Z. Sun ¹, D. Reiraint ¹, B. Guelorget ¹, L. Waltz ².

¹ICD, P2MN, LASMIS, Université de Technologie de Troyes (UTT), UMR 6281, CNRS - Troyes (France), ²LMGC, Université Montpellier II, UMR 5508, CNRS - Montpellier (France).

Le procédé SMAT (Surface Mechanical Attrition Treatment) est une technique de traitement de surface par déformation plastique sévère qui peut générer une couche superficielle nanocristalline, sans modifier l'état microstructural du matériau à cœur. Grâce à l'introduction de cette couche nanocristalline, le SMAT permet au matériau traité de mieux résister à l'usure, à la corrosion et à la fissuration par fatigue. La caractérisation du comportement mécanique de cette couche nanocristalline s'avère difficile, compte tenu de sa très faible épaisseur (quelques dizaines de micromètres). Le développement récent de la technique de compression de micro-piliers offre une nouvelle voie pour étudier le comportement mécanique de cette couche nanocristalline.

Des micro-piliers de quelques micromètres de diamètres et d'une dizaine de micromètres de hauteur ont été usinés à l'aide de la technique par faisceau d'ions focalisé (FIB) dans des échantillons en acier inoxydable traités par SMAT. Ces micro-piliers ont ensuite été déformés à l'aide d'un indenteur plat monté sur un nano-indenteur afin de reproduire l'essai de compression standard à l'échelle micrométrique. Des courbes force-déplacement ont pu ainsi être obtenues pour les différents micro-piliers déformés. Des simulations numériques par éléments finis de l'essai de compression uniaxiale de micro-piliers ont été réalisées pour caler les paramètres d'un modèle de loi de comportement de la couche nanocristalline. La géométrie des micro-piliers après déformation plastique a été examinée à une

échelle fine à l'aide d'un MEB FEG afin d'analyser les mécanismes de déformation. Les résultats ainsi obtenus sont confrontés aux résultats macro et mésoscopiques obtenus préalablement sur l'acier inoxydable SMATé.

CM-07-354

Textures de compression à chaud dans les alliages métalliques cubiques centrés

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-354

F. Montheillet ¹, D. Piot ¹, S. Primig ², J. Favre ³.

¹Ecole des Mines (SMS), Laboratoire Georges Friedel - Saint-Etienne (France),
²University of Leoben, Christian Doppler Laboratory for the Early Stages of Precipitation - Leoben (Autriche), ³ENSAM, LEM3 - Metz (France).

Des essais de compression uniaxiale (axisymétrique) à chaud ont été effectués sur un alliage de titane dans le domaine bêta et un acier inoxydable ferritique, et comparés à des résultats analogues obtenus auparavant sur un molybdène fritté. La contrainte d'écoulement ne varie en général que faiblement avec la déformation dans le domaine typique de l'essai de compression (déformation < 1). De même la microstructure ne présente que de faibles changements très progressifs, associés au phénomène de recristallisation dynamique continue caractéristique de ces matériaux cubiques centrés à forte énergie de défaut d'empilement, d'autant plus que la taille initiale des grains est élevée.

En revanche, des évolutions significatives de la texture cristallographique ont été mises en évidence par diffraction des électrons rétrodiffusés (EBSD). Dans les deux premiers matériaux, le développement des fibres <111> et <100> d'axes parallèles à la direction de compression est observé. Les résultats analogues obtenus sur le molybdène montrent que la première croît plus rapidement que la seconde aux faibles déformations, alors que pour une déformation de 1 la fibre <100> devient largement dominante. La comparaison des textures des trois matériaux à déformation fixée voisine de 1 montre que cette tendance est d'autant plus forte que la contrainte d'écoulement, et donc le paramètre de Zener-Hollomon, est plus faible.

La formation des fibres <111> et <100> est bien reproduite par la mécanique des polycristaux. Pour expliquer la prédominance de la seconde aux grandes déformations à chaud, on avance généralement l'hypothèse que les grains <100>, moins écrouis que les grains <111>, croissent au détriment de ces derniers au cours

de la déformation. Cet effet est d'autant plus sensible que la vitesse de déformation est plus faible (temps de migration plus long) et la température plus élevée (mobilité des joints plus grande). Un modèle simple est proposé pour rendre compte de ce phénomène. Il permet d'estimer la vitesse de migration des joints. Enfin, les distributions des désorientations typiques des alliages cubiques centrés déformés en compression à chaud comportent un maximum autour de 55° , qui s'explique bien par la juxtaposition des deux fibres $\langle 111 \rangle$ et $\langle 100 \rangle$.

AF-07-396

Modélisation micromécanique du comportement plastique d'aciers au cours d'une transformation de phase diffusive

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-396

T. Otsuka ¹, R. Brenner ², B. Bacroix ³.

¹Nippon Steel and Sumitomo Metal Corporation - Futtsu, Chiba (Japon),

²Sorbonne Universités, UPMC, CNRS, Institut Jean Le Rond d'Alembert, UMR 7190 - Paris (France), ³Université Paris Nord, CNRS, Laboratoire des Sciences des Procédés et des Matériaux, UPR 3407 - Paris (France).

Ce travail porte sur l'étude du phénomène de plasticité de transformation dans les aciers à l'aide d'une approche micromécanique. Nous considérons la transformation diffusive de la phase auténitique (structure cubique à faces centrées) en phase ferritique (structure cubique centrée) qui implique une variation de volume. Un modèle d'homogénéisation numérique utilisant la méthode FFT (Fast Fourier Transform) est mis en oeuvre dans le contexte de la plasticité cristalline couplée avec la transformation de phase. Celle-ci est prise en compte de manière très simple via un terme lié à la variation volumique dans le champ de polarisation (problème de type thermoélastique). La microstructure polycristalline de l'austénite est modélisée par une mosaïque de Voronoï contenant une répartition aléatoire de germes ferritiques et la cinétique de transformation est supposée isotrope. Le schéma numérique a été confronté avec succès à un résultat théorique exact, pour une microstructure isotrope, et différents modèles analytiques approchés.

Ce modèle numérique permet d'aborder avec des moyens de calcul raisonnables des problèmes de grande taille (nombre de grains) avec une microstructure complexe. Des résultats illustratifs sont présentés sur l'influence de l'écroutissage cinématique, de l'état de contraintes résiduelles et de la texture cristallographique de l'austénite sur la plasticité de transformation.

KN-07-403

Etude de la recouvrance viscoélastique d'une surface d'un polymère vitreux en fonction de sa microstructure.

07 - Comportements mécaniques

#KN-07-403

A. Rubin, D. Favier, C. Gauthier.

Institut Charles Sadron - Strasbourg (France).

L'objectif de cette étude est la compréhension des mécanismes physiques/mécaniques de surface pilotant la recouvrance d'un polymère préalablement soumis à une contrainte normale par indentation d'un contact sphérique. Dans beaucoup d'applications les polymères techniques sont soumis à des contacts statiques entraînant un fluage dans le contact. Il est donc intéressant de comprendre le lien entre la microstructure du système polymère et sa cinétique de recouvrance de surface en fonction d'une déformation imposée. Cette connaissance permettra dans un second temps de pouvoir adapter la microstructure du système polymère en vue d'un contrôle fin de la cinétique de recouvrance.

Pour réaliser cette étude, le premier point clé est la méthode de caractérisation expérimentale de la recouvrance. Notre équipe a développé un ensemble de dispositifs expérimentaux dédiés à l'étude des mécanismes physiques pilotant la mécanique du contact sur surfaces de polymères sans être modèle dépendant dans l'analyse. Un premier montage adapté aux polymères transparents permet la mesure de l'aire de contact réelle lors du fluage et du volume résiduel de l'empreinte lors de la recouvrance. Les travaux de thèse de T. Chatel [1] sur PMMA ont permis d'identifier les comportements viscoélastiques linéaires ou non en fonction de la déformation, de la température, du temps de fluage... L'apparition dans le contact d'une déformation permanente localisée bloquerait les écoulements lors de la phase de recouvrance. L'étape actuelle est d'étendre cette étude aux polymères non transparents ou aux nanocomposites avec un second montage où la mesure de la recouvrance de l'empreinte est obtenue par une technique de déflectométrie optique. L'introduction d'une microstructure particulière pilote la réponse en déformation du système polymère et la réponse viscoélastique. Cette étude présentera l'influence de la microstructure sur la viscoélasticité.

[1] T. Chatel et al., J. Phys. D: Appl. Phys. 44 (2011) 375403.

AF-07-407

Mesure du cisaillement de couches phospholipides confinées : nouvelle approche expérimentale par Recouvrement de Fluorescence après Photoblanchiment Périodique (FRAPP).

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-407

L. Fu, A. Rubin, D. Favier, T. Charitat, C. Gauthier.

Institut Charles Sadron - Strasbourg (France).

Le frottement d'une aspérité sphérique rigide sur une surface polymère conduit à un glissement (réponse viscoélastique) ou à une rayure (réponse plastique). Sous ce contact deux zones distinctes coexistent : une couche interfaciale fortement cisailée dont l'épaisseur est communément estimée à une centaine de nanomètres ; un volume cohésif, lieu de dissipation de l'énergie, assimilé à une sphère de rayon similaire à la largeur du contact. Les mécanismes physiques/mécaniques en jeu dans la zone cohésive lors du cisaillement d'un polymère vitreux confiné sont désormais mieux compris [1,2]. Le rôle de la couche interfaciale confinée est plus complexe et jusqu'à présent les moyens expérimentaux n'ont pas permis d'avoir des informations fiables sur le comportement de ce film mince (10-100nm).

La question fondamentale est de savoir s'il est possible de déterminer expérimentalement le taux de cisaillement dans cette zone interfaciale qui contrôle le cisaillement moyen dans le contact. Pour y répondre nous avons réalisé un couplage expérimental entre :

- un nanotribomètre intégrant la vision in situ du contact qui pilote le confinement ;
- un montage de FRAPP (Fluorescence Recovery After Patterned Photobleaching) qui permet l'étude de la diffusion de molécules.

Nous étudions dans un premier temps un confinement modèle de films ultra-minces pour obtenir expérimentalement des informations sur cette zone interfaciale en

fonction de l'épaisseur de la couche considérée. Ces mesures donneront des précisions sur l'aspect physique du confinement.

Les premiers résultats ont été obtenus sur des tricouches de phospholipides DSPC. Ces résultats mettent en évidence la bonne sensibilité du montage [3]. L'étape actuelle est de caractériser l'influence de la vitesse et de la pression de contact sur la réponse de la couche. Ce montage montre un intérêt pour l'analyse de la zone interfaciale en confinement.

[1] B. Briscoe, In: K. Friedrich, Composite materials series Vol 1, Ed K. Friedrich, Elsevier - Amsterdam 1986.

[2] C. Gauthier et al., Tribology International 2001 - 34, 469–479.

[3] J. Davoust, et al., EMBP Journal 1982 - 1, 1233-1238.

CM-07-411

Homogénéisation numérique par FFT pour le comportement thermoélastique

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-411

J.B. Gasnier ¹, A. Ambos ¹, F. Willot ¹, H. Trumel ², D. Jeulin ¹.

¹Centre de Morphologie Mathématique, Mines ParisTech, 35, rue Saint-Honoré, F-77000 FONTAINEBLEAU - Fontainebleau (France), ²CEA, DAM, Le Ripault, 37260 MONTS - Monts (France).

On s'intéresse au comportement thermomécanique de matériaux énergétiques à microstructure polycristalline aléatoire, à base de triamino-trinitrobenzène (TATB). Le comportement élastique du cristal de TATB est fortement anisotrope et la dilatation thermique du polycristal, qui doit générer d'importantes contraintes internes, est irréversible.

On représente la structure polycristalline par un modèle de pavage aléatoire de type Johnson-Mehl. Le modèle est optimisé pour reproduire la granulométrie mesurée sur des images MEB de grandes dimensions. Les joints de grains sont dans un premier temps supposés rigides et infiniment résistants et les orientations cristallographiques sont attribuées par tirage aléatoire.

La réponse thermoélastique linéaire du matériau est alors calculée à l'aide d'un outil d'homogénéisation numérique périodique par FFT, sur des images 3D de taille croissante. On montre que le volume élémentaire représentatif (VER) est plus petit pour les sollicitations thermiques que pour les sollicitations mécaniques. Par ailleurs, le comportement prédit par le calcul est plus rigide que pour le matériau réel.

Dans ce dernier, les grains sont jointoyés par une petite quantité de polymère servant de liant. On modifie alors le modèle de microstructure virtuelle en disposant des couches de quelques voxels entre les grains, dotés d'une rigidité plus faible que celle des grains. Ceci a pour effet d'adoucir les propriétés macroscopiques prédites, et de les rapprocher des valeurs mesurées.

L'étude des champs microscopiques calculés montre de très fortes fluctuations et la présence de forts gradients localisés aux joints de grains, ce qui suggère un mécanisme d'accommodation des contraintes internes par microfissuration

intergranulaire. A court terme, les travaux se porteront d'une part sur l'amélioration du modèle de structure aléatoire, d'autre part sur l'étude détaillée des champs locaux. A plus long terme, les travaux se focaliseront sur l'aspect non linéaire de comportement, et en particulier sur les mécanismes de microfissuration.

CM-07-414

Comportement mécanique en compression de céramiques poreuses anisotropes élaborées par congélation orientée : relation microstructure et déformation.

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-414

D. Hautcoeur ¹, A. Leriche ², C. Baudin ³, M. Gonon ⁴, V. Lardot ¹, F. Cambier ¹.

¹Belgian Ceramic Research Centre (member of EMRA), Avenue Gouverneur Cornez, 4, B-7000 - Mons (Belgique), ²LMCPA – UVHC Pôle Universitaire de Maubeuge Boulevard Charles de Gaulle 59600 - Maubeuge (France), ³Instituto de Cerámica y Vidrio, CSIC, Kelsen, 5, E-28049 - Madrid (Espagne), ⁴Umons-FPMs- Pôle Matériaux – Service Science des matériaux, Rue de l'Épargne 56-B-7000 - Mons (Belgique).

Les céramiques poreuses présentent de nombreuses propriétés d'intérêt telle une densité relative peu élevée et une faible conductivité thermique ou une grande surface spécifique et perméabilisé, etc. Néanmoins, leur usage est limité par des faibles propriétés mécaniques (module d'élasticité, résistance à la compression ...) liées à la porosité.

Les techniques traditionnelles de mise en forme comme le replica, la méthode sacrificielle, les mousses etc. permettent d'obtenir des poreux isotropes avec des porosités comprises en général entre 80% et 40%. Leur tenue mécanique s'en trouve diminuée de manière importante. Une technique émergente de congélation orientée ou « ice templating » pour des suspensions aqueuses, est étudiée depuis une dizaine d'années. Elle permet d'élaborer des matériaux avec des porosités similaires mais présentant une organisation anisotrope de la structure. La technique consiste en la congélation d'une barbotine suivant une direction. Les cristaux de glace croissent préférentiellement en éjectant et empilant les particules de céramique.

L'étude mécanique est réalisée sur des échantillons poreux en alumine. Ils sont caractérisés par une microstructure de type lamellaire avec des pores de morphologie elliptique de dimensions comprises entre 28 et 47 μm pour le petit diamètre et 190 -300 μm pour le grand diamètre et d'un taux de porosité global variant de 40 à 62%, selon les paramètres de mise en forme. Le taux de porosité des parois céramiques a été déterminé, il est typiquement estimé entre 7 et 14%.

L'objectif de cette étude est d'établir le lien entre les caractéristiques microstructurales (taux de porosité, gradient de porosité, taille des pores ...) et le comportement mécanique (résistance à la compression, déformation ...) du matériau céramique poreux à structure anisotrope. La résistance à la compression varie typiquement entre 6 MPa et 200 MPa et de 0,2 GPa à 25 GPa pour le module d'élasticité apparent. Des analyses de la structure avant et après compression ont permis d'établir une relation entre la déformation sous contrainte et le gradient de porosité observé par radiographie X le long de l'axe de congélation.

Nous remercions le FSE et la DGO6 du «Service public de Wallonie" pour leur soutien financier (numéro de subvention de ECV320600FDOO7F/1017208/ECOPOR).

AF-07-416

Comportement mécanique de nanostructures InP/Si

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-416

E. Le Bourhis ¹, K. Pantzas ¹, G. Patriarche ², A. Itawi ², G. Beaudoin ², I. Sagnes ², A. Talneau ², D. Troadec ³.

¹Université de Poitiers - Poitiers (France), ²CNRS-LPN - Marcoussis (France), ³IEMN - Villeneuve D'ascq (France).

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.

[1] A. Talneau et al., Appl. Phys. Lett., 102, 212101, 2013.

[2] E. Le Bourhis, Glass mechanics and Technology, 2nde Ed., Wiley, Weinham, 2014.

[3] K. Pantzas et al., Appl. Phys. Lett., 103, 081901, 2013.

CM-07-460

Etude du comportement mécanique des matériaux granulaires ductiles par la méthode des éléments finis multi-particules

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-460

N. Abdelmoula, P. Doremus, D. Imbault, B. Harthong.

Laboratoire 3SR - Grenoble (France).

La métallurgie des poudres est un procédé courant pour la fabrication de pièces industrielles. Parmi les variantes à ce procédé, on s'intéresse plus particulièrement à la phase de compression à froid pendant laquelle certaines poudres (fer, cuivre) subissent des déformations plastiques de grandes amplitudes (variation de la densité relative de 45% à plus de 95%). Le comportement mécanique des poudres métalliques ductiles est classiquement appréhendé par la méthode des éléments finis qui requiert des lois de comportement macroscopiques aptes à reproduire au mieux les évolutions des déformations et contraintes suivant le milieu granulaire considéré et les histoires de chargement imposées.

A ce jour, le modèle macroscopique le plus couramment exploité est le modèle de Drucker-Prager Cap qui est basé sur les notions de surface de charge et de potentiel. Néanmoins, des campagnes de mesures expérimentales ont montré les faiblesses de ce modèle parce qu'il ne reproduit pas correctement l'évolution des efforts au cours de la densification du massif de poudre. Pour dépasser ces limitations, on s'intéresse à améliorer les lois de comportement phénoménologiques dédiées à la description du comportement des poudres métalliques ductiles dont la précision et l'applicabilité sont limitées par la difficulté de la caractérisation des surfaces de charge et les lois d'écoulement puisque la pratique des essais en laboratoire est restreinte à un nombre limité de chemins de chargement. Dans ce but, la méthode des éléments finis multi-particules (MEFMP), qui consiste à modéliser un assemblage de particules maillées en éléments finis interagissant par contact, peut être utilisée avantageusement. La mise en œuvre de cette méthode assure notamment la description précise des variations de formes des grains soumis à de grandes déformations élasto-plastiques. Cette méthode permet de mettre en

place une approche multi-échelles très puissante, permettant de remonter au comportement du milieu granulaire à partir du comportement du grain. Grâce à la robustesse de cette méthode et à la flexibilité offerte par l'approche numérique, il est possible de caractériser très finement les mécanismes d'écrouissage à partir de l'évolution des surfaces de charge en fonction du chemin de chargement, ainsi que l'écoulement plastique, et d'obtenir alors une base de données riche en vue de la formulation d'un modèle de comportement élasto-plastique.

CM-07-461

Modélisation morphologique et propriétés de transport d'anodes poreuses issues de piles à combustibles

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-461

B. Abdallah, F. Willot, D. Jeulin.

CMM - Fontainebleau (France).

Dans ce travail, nous nous intéressons à la modélisation morphologique et au calcul des propriétés de transport d'anodes poreuses. Ce matériau composite à deux phases solides assure la perméabilité, le transport ionique et la conductivité électrique dans les couches actives de piles à combustible. Dans un premier temps, nous traitons des images obtenues par microscopie à balayage à partir d'échantillons imprégnés. Les trois phases en présence, dont la porosité, sont segmentées. Nous étudions la microstructure dans une zone centrale à l'aide d'outils morphologiques. Celle-ci est stationnaire, isotrope. De plus, nous montrons que le milieu à trois phases peut être représenté, de manière générale, par des combinaisons, en l'occurrence des intersections, de deux modèles aléatoires indépendants. Des modèles booléens sont identifiés pour chaque modèle à l'aide de mesures morphologiques par érosion linéaire. Un modèle aléatoire 3D à trois phases est simulé et calculé par optimisation sur les images du matériau réel. À l'aide de méthodes numériques par Fourier (Wiegmann, 2007; Willot et al, 2014), nous calculons les propriétés de transport du matériau : perméabilité (équation de Stokes), conductivité ionique et électrique effective. Dans un dernier temps, nous calculons les volumes élémentaires représentatifs associés aux cartes des flux d'ions et de courant électrique dans les phases solides ainsi que l'écoulement du fluide dans la porosité.

Remerciements : David Masson, Anthony Chesnaud, Alain Thorel (Mines ParisTech); Massimo Viviani, Francesco Perrozzi (CNR, Genève, Italie);

Laurent Dessemond, Guillaume Constantin (INP Grenoble)
The research leading to the results presented has received funding from the European Union's Seventh Framework Programme (FP7 / 2007-2013) for the Fuel Cells and Hydrogen Joint Technology Initiative under grant agreement 303429.

CM-07-464

Influence de la chimie sur les processus thermiquement activés dans la déformation d'alliage de cuivre à grains ultrafins.

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-464

Y. Champion ¹, J. Bourgon ¹, X. Sauvage ².

¹ICMPE-CNRS - Thiais (France), ²GPM-CNRS - Saint-Etienne Du Rouvray (France).

Les micro-mécanismes de la plasticité dans les alliages à grains ultrafins sont contrôlés par des interactions dislocations-dislocations et dislocations-joints de grains. La plasticité est étudiée par l'analyse de l'évolution des grandeurs liées au processus de glissement aux joints thermiquement activé. Un modèle analytique a été proposé sur la base de l'évolution du volume d'activation avec la vitesse déformation [Y. Champion, Mater. Sci. Eng. A 560 (2013) 315-320]. Au-delà d'une vitesse de déformation de l'ordre de 10^{-3} s⁻¹, modèle et observations montrent une inversion de sensibilité à la vitesse de déformation : m augmente avec la vitesse, comme cela est observé par exemple pour les polymères vitreux. Les relations décrivant l'évolution du volume d'activation et de la sensibilité à la vitesse de déformation (m) mettent en valeur un paramètre qui rend compte la variation de mobilité atomique intergranulaire avec la densité de dislocations. Un changement de structure des joints de grains doit donc produire des effets notables sur la sensibilité à la vitesse de déformation. Les propriétés des joints de grains du cuivre ultra fin (taille de grains 120 nm) ont été modifiées par faible addition d'argent (0.4% atomique). Des nanopoudres dopées à l'argent sont prétraitées sous hydrogène pour réduire l'oxyde de surface, puis frittées par frittage flash (SPS). L'argent a été choisi pour son influence sur la mobilité dans les joints de grains et l'absence d'effet sur le comportement mécanique tant qu'il est en solution solide ($c < 0,1\%$ atomique). Les solutions solides et ségrégation aux joints de grains ont été évaluées par des observations en sonde atomique tomographique et microscopie électronique en transmission. Des échantillons de taille millimétrique ont été découpés pour effectuer des essais de traction dans la gamme de vitesse $5 \cdot 10^{-6}$ s⁻¹ à 10^{-1} s⁻¹. L'évolution des grandeurs du processus thermiquement activé est en accord avec le modèle.

Cette première approche de l'influence de la chimie sur le comportement d'alliages à grains ultrafins suggère des voies d'optimisation vers la fonctionnalisation de matériaux en vue d'applications spécifiques, comme par exemple la combinaison de résistance mécanique et conductivité électrique élevées. Des effets qui doivent être améliorés, comme la dissipation thermique issue du travail mécanique au niveau des joints de grains et produisant un adoucissement seront également discutés.

CM-07-488

Utilisation réciproque des lois de mélange simples pour l'obtention des paramètres rhéologiques d'une des phases connaissant ceux de l'autre phase et du biphasé

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-488

D. Piot, M. Semblanet, F. Montheillet.

ENSMSE - St Etienne (France).

En général dans les agrégats biphasés, le comportement mécanique des deux constituants est supposé connu, et les divers modèles de lois de mélange se donnent pour objectif de déterminer les paramètres rhéologiques de l'agrégat. En pratique, on se trouve fréquemment confronté à un problème qui peut être qualifié de réciproque : le comportement de l'agrégat, ainsi que celui de l'un des deux constituants étant connus, il s'agit d'évaluer celui du second constituant. C'est par exemple le cas des alliages biphasés de titane qui atteignent rapidement leur équilibre thermodynamique, et pour lesquels seuls sont accessibles à l'expérience le comportement de la phase β dans le domaine monophasé (au-dessus du transus), et celui de l'agrégat biphasé $\alpha + \beta$ (au-dessous de celui-ci). Il est alors possible d'obtenir par extrapolation vers les températures inférieures le comportement de β dans le domaine biphasé et d'en déduire celui de la phase α en utilisant une loi de mélange simple.

Dans la présente étude, nous appliquons de manière réciproque les lois de mélange statique, de Taylor et isoW à un alliage de titane β -métastable en supposant que les deux phases α et β ont un comportement viscoplastique avec la même sensibilité m de la contrainte d'écoulement à la vitesse de déformation, et donc également le mélange avec une localisation - homogénéisation linéaire. Nous connaissons les courbes $\sigma - \dot{\epsilon}$ du mélange et de la phase β , les consistances k du mélange et k_β de la phase β , ainsi que la fraction volumique f_β , et nous cherchons la consistance k_α de la phase α ainsi que sa vitesse de déformation $\dot{\epsilon}_\alpha$. Nous considérons le cas, comme dans le titane aux hautes températures, où $k_\beta < k < k_\alpha$ et $\dot{\epsilon}_\alpha < \dot{\epsilon} < \dot{\epsilon}_\beta$. L'hypothèse

de Taylor donne une estimation *par défaut* de la consistance de la phase α tandis que l'hypothèse statique conduit à une estimation *par excès*. Les incertitudes induites, d'une part par les écarts entre le comportement réel du matériau et le modèle rhéologique en simple loi puissance, d'autre part par l'extrapolation du comportement de la phase β en dessous du *transus*, sont comparées à la distance entre les deux bornes provenant des simplifications de la transition d'échelles. Les variantes isoW fournissent des estimations évidemment situées entre les deux bornes précédentes.

CM-07-513

Modélisation des matériaux à particules hautement déformables

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-513

S. Nezamabadi ¹, F. Radjaï ¹, J. Averseng ¹, J.Y. Delenne ².

¹LMGC - Université Montpellier 2 - Montpellier (France), ²IATE, INRA-CIRAD-Montpellier, Supagro - Université Montpellier 2 - Montpellier (France).

Les matériaux à particules hautement déformables intéressent de nombreux domaines tels que les cosmétiques, la chimie, la pharmacie, l'agroalimentaire... Il peut s'agir par exemple de pâtes colloïdales, de vésicules, de microgels ou de suspensions. Ces matériaux sont composés de particules élémentaires individuelles qui peuvent subir de grandes déformations sans rupture. À cet égard, ils diffèrent des matériaux à particules rigides dont le comportement plastique est essentiellement dicté par leur réarrangement. Dans le cas des particules molles l'adaptation de leur forme sous chargement favorise un meilleur remplissage de l'espace et modifie leurs propriétés d'assemblage. La compaction, le comportement en cisaillement et les propriétés de textures complexes des assemblages de particules molles au-delà de l'état "jamming" restent peu explorés à ce jour en raison de l'absence d'outils numériques et expérimentaux appropriés.

La méthode aux éléments discrets (DEM) est largement utilisée pour la modélisation des assemblages de particules en raison de sa capacité à prendre en compte leur distribution de taille, les propriétés physiques de contact et de frottement ainsi que des conditions complexes de chargement. Cependant, la DEM n'est pas adaptée à la simulation d'un comportement réaliste à l'échelle sub-particulaire, notamment en grandes déformations. Pour modéliser les propriétés mécaniques de particules molles ainsi que leurs interactions mutuelles, une nouvelle méthodologie est proposée. Cette méthodologie est basée sur une formulation implicite de la Méthode des Points Matériels (MPM) couplée avec la méthode de Dynamique des Contacts (CD). Dans cette approche, chaque particule est discrétisée en un ensemble de points matériels. À chaque pas de temps, l'information portée par ces points est projetée sur un maillage sous-jacent, permettant de résoudre les équations du mouvement. Cette solution est ensuite utilisée pour mettre à jour les informations associées aux points matériels. La formulation implicite permet une stabilité numérique inconditionnelle ainsi qu'un couplage efficace avec la résolution des

contacts et du frottement. Un point important consiste à déterminer les variables entrant en jeu dans le calcul des contacts en même temps que celles associées au comportement volumique. Enfin, dans le cas d'assemblages 2D, on présentera une analyse détaillée du processus de compaction ainsi que l'impact du frottement sur l'évolution de la compacité.

AF-07-530

EFFECTS OF HEAT TREATMENT AND THERMO-CHEMICAL ON DIELECTRIC AND MECHANICAL BEHAVIOUR OF GLASS

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-530

I. Aouabed.

Doctorant - Sétif (Algérie).

summary

It is known that the condition of the highly modified material is indented in the vicinity of the cavity with the presence of plastic in the cavity area . Contact between the zone of plastic deformation and the elastic matrix constitutes a state of residual stress, in particular to the material surface . The stress field in the vicinity of an indentation is biaxial . They are voltage and in the tangential direction of compression in the radial direction . The tensile stress acting on the radial cracks as a propagation energy . These constraints are important to characterize. Their relaxation is essential to achieve consistent measures of toughness and subcritical propagation parameters .

In this study, we examined the state of residual stresses around a Vickers indentation in the glass case . We focused work on the influence of thermal and thermochemical treatments on the constraints and cracks generated by indentation.

We used the direct technique for measurement of radial cracks indentation . As against , residual indentation constraints were determined by photoelasticity . It appears that these residual stresses are relaxed as the radial cracks propagate over time (propagation under review) . Bending tests 4 points were conducted on samples and samples indented indented and treated. It was found that the residual stresses have a great influence on the results.

AF-07-537

Méthode de figeage découpage dans l'analyse expérimentale des contraintes

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-537

A. Bilek.

Enseignant - Tizi-Ouzou (Algérie).

L'analyse expérimentale des champs de contraintes développées dans les pièces mécaniques est très importante pour les concepteurs de machines. Dans les transmissions de couple ou de puissance plusieurs pièces mécaniques peuvent entrer en contact. Il est donc très important de connaître les contraintes et les déformations au voisinage et dans les zones de contact pour un bon dimensionnement des différents éléments.

Lorsque deux surfaces sont mises en contact, des sollicitations mécaniques sont imposées aux massifs et peuvent donner lieu à des dégradations. Afin d'évaluer l'usure ou plus précisément les dégradations telles que la formation des débris, l'amorçage et la propagation de fissure, il est important d'évaluer le type et l'amplitude des sollicitations mécaniques imposées.

C'est dans cette optique que le travail de recherche de l'impétrant trouve son intérêt.

La méthode de figeage découpage mécanique en photoélasticité tridimensionnelle a été utilisée pour déterminer les contraintes développées dans un cylindre birefringent sollicité par un effort de compression appliqué via un cylindre en acier. Les contraintes ont été déterminées dans différentes sections le long de l'axe du cylindre, particulièrement au voisinage de la surface de contact.

Les franges photoélastiques isochromes et isoclines ont été exploitées pour analyser les contraintes. Les zones de concentration des contraintes ont été bien déterminées. Les valeurs des contraintes de cisaillements ont été obtenues dans des zones bien choisies.

La méthode des éléments finis a été utilisée pour analyser les contraintes développées dans le cylindre. Les franges photoélastiques simulées et les valeurs des contraintes de cisaillement obtenues numériquement ont permis de faire une comparaison avec les résultats expérimentaux pour validation.

CM-07-558

Méthode d'Eigenerosion : mise en œuvre et extension aux matériaux hétérogènes. Application à la fissuration de matériaux cimentaires.

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-558

L. Bichet ¹, F. Dubois ¹, Y. Monerie ¹, C. Pelissou ², F. Perales ².

¹LMGC - Montpellier (France), ²IRSN - Saint-Paul-Lez-Durance (France).

Sur la base de l'approche variationnelle de la rupture de Francfort et Marigo [1], Pandolfi et Ortiz [2] ont proposé une modélisation de la propagation de fissures respectant le critère de Griffith. Cette méthode, appelée Eigenerosion, s'apparente à une méthode « killing element » avec un critère énergétique.

Les travaux proposés ici portent d'une part sur la mise en œuvre de la méthode et d'autre part sur son extension à la dynamique et aux matériaux hétérogènes.

Après avoir optimisé les estimateurs énergétiques, l'analyse des études paramétriques appliquées aux différents modes de propagation de fissures permet une compréhension fine de la méthode. En particulier, le calcul de l'incrément de fissure (basé sur un epsilon-voisinage) et l'influence du maillage (topologie et taille) sont étudiés. L'indépendance au maillage de la méthode ainsi que son faible coût de calcul -de l'ordre d'un calcul Éléments Finis sans rupture- sont mis en évidence. De plus, une méthodologie pour l'utilisation de la méthode et son application aux cas dynamiques sont proposées. Enfin, une extension aux matériaux hétérogènes est développée et appliquée à la fissuration de matériaux cimentaires (2D et 3D).

Tous les résultats obtenus sont cohérents avec la littérature.

[1] G.A. Francfort and J.-J. Marigo : Revisiting brittle fracture as an energy minimization problem. *J. Mech. Phys. Solids*, 1998 ; 46 : 1319-1342.

[2] A. Pandolfi and M. Ortiz : An eigerosion approach to brittle fracture. *Int. J. Numer. Meth. Engng* 2012 ; 92 : 694-714.

CM-07-584

Identification de modèles thermo-mécaniques de zones cohésives par approche inverse

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-584

T. Madani ¹, Y. Monerie ¹, S. Pagano ², C. Pélissou ³, B. Wattrisse ¹.

¹LMGC - Montpellier (France), ²CNRS - Montpellier (France), ³IRSN - Montpellier (France).

Durant leur vie en réacteur, les gaines de combustible nucléaire composé d'alliage à base de zirconium subissent d'importantes modifications de microstructure et passent progressivement d'un alliage monophasé métallique à un matériau fortement hétérogène. La prédiction de la tenue mécanique de telles microstructures complexes nécessite une modélisation fine des mécanismes d'endommagement locaux (inter et intraphases).

Au travers d'un modèle surfacique de traction-séparation, les approches numériques par zones cohésives permettent de rendre compte de ces mécanismes depuis l'amorçage des microfissures jusqu'à la rupture totale du matériau.

Le présent travail consiste à étendre l'approche récemment proposée par [1,2] pour identifier les lois cohésives représentatives de composites à matrice métallique et à inclusions fragiles.

Pour traiter ces applications à champs mécaniques hétérogènes et afin de construire des bilans d'énergie pertinents de l'initiation jusqu'à la rupture effective, les champs locaux de contraintes doivent être estimés en complément des champs cinématiques usuels. On propose ici d'estimer ces champs par une méthode d'identification utilisant les données cinématiques et thermiques issues de l'imagerie. La méthode proposée se base sur la minimisation d'une fonctionnelle de type « Erreur en Relation de Comportement » [3] dépendant de deux familles de paramètres : le champ de contraintes et les propriétés mécanique du matériau (élasticité, plasticité, endommagement).

La procédure d'identification a été validée en élasticité sur des géométries et des discrétisations quelconques . La méthode est actuellement en cours d'extension à la plasticité endommageable et à la prise en compte de quantités énergétiques de nature calorimétrique (sources de chaleur).

[1] V. RICHEFEU et al, Towards local identification of cohesive zone models using digital image correlation, *European Journal of Mechanics - A/Solids* 34 (2012) 38-51.

[2] S. WEN, Identification expérimentale de modèles de zones cohésives à partir de techniques d'imagerie thermomécanique, Thèse Université Montpellier 2, 2012.

[3] F. LATOURTE et al, Elastoplastic behavior identification for heterogeneous loadings and materials, *Experimental Mechanics* 48 (2008) 435-449

AF-07-594

Influence de l'expansion du trou sur le comportement mécanique des plaques trouées en Al 2024-T3

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-594

A. Boukhoulida, A. El Hennani.

laboratoire de recherche mécanique des structures et des solides - Sidi Bel Abbes (Algérie).

L'objet du dimensionnement des structures est généralement de faire en sorte que celles-ci résistent à leur chargement de service aussi longtemps que possible. Malheureusement, il arrive parfois des accidents provoqués par la ruine de ces structures bien que celles-ci aient été dimensionnées correctement du point de vue du chargement de service. Cette ruine peut se traduire tragiquement par la rupture brutale de la structure

Les ingénieurs ont commencé à s'intéresser à ce phénomène dès le début du XIX^e siècle suite à des accidents ayant provoqué la mort de nombreuses personnes. Historiquement, deux domaines ont fait l'objet d'une attention particulière : les transports maritimes et ferroviaires

Parmi les méthodes utilisées pour ralentir ou stopper une fissure, la méthode du perçage suivi d'une expansion à froid donne des résultats satisfaisants. La diminution de l'acuité d'entaille associée à l'introduction de contraintes résiduelles de compression conduit à une durée de vie résiduelle pouvant être équivalente voire supérieure à celle de la structure initiale. La surcharge qui génère, sans modifier la géométrie, à l'extrémité du trou ou de la fissure des contraintes résiduelles de compression est également largement utilisée.

Les paramètres influant sur la distribution des contraintes résiduelles sont le diamètre, le degré d'expansion et la géométrie de la structure. Des travaux dans ce sens ont montré la sensibilité au degré d'expansion. Dans ce travail nous étudions numériquement l'influence des paramètres : géométrie, propriétés du matériau et le degré d'expansion du trou sur les contraintes résiduelles et sur la zone plastifiée.

CM-07-601

Approche multi-échelle du comportement cyclique et de la durée de vie en fatigue du tantale

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-601

D. Colas ¹, S. Forest ², M. Mazière ², E. Finot ³, S. Flouriot ⁴, T. Paris ⁴.

¹Centre des matériaux - Mines ParisTech - Evry (France), ²Centre des Matériaux - Mines ParisTech - Evry (France), ³Université de Bourgogne - Dijon (France), ⁴CEA - Is-Sur-Tille (France).

Les matériaux métalliques à structure cubique centrée ont la particularité de présenter un mode d'endommagement en fatigue dépendant de la vitesse de déformation et de la température. En effet, l'activation thermique influence le mode de déformation plastique et par conséquent le mécanisme d'amorçage de fissure dans ce type de matériau. Pour une température d'essai plus faible que la température de début de palier athermique, le mode est intergranulaire, tandis qu'il est transgranulaire sur le palier athermique [1]. Le tantale est donc un matériau d'intérêt pour l'étude de ces différents mécanismes d'endommagement en fatigue.

Le travail présenté ici s'attache à étudier le comportement cyclique et les modes d'amorçages en fatigue du tantale. Une approche multi-échelles a été adoptée. Des caractérisations par mesures de champs locaux ont pu être réalisées lors d'un essai cyclique jusqu'au stade d'amorçage de fissures. Ces mesures permettent de quantifier l'hétérogénéité de déformation. Une modélisation polycristalline a été menée en parallèle. La modélisation a été réalisée sur des agrégats polycristallins utilisant des conditions de surface libre. Ce type de modélisation permet d'évaluer l'hétérogénéité de déformation à la surface et de montrer une activité plastique plus importante en surface qu'au centre de l'agrégat. Ces calculs ont permis de mettre en évidence un phénomène de rochet à l'échelle locale.

Enfin un critère de fatigue basé sur l'incrément de déformation plastique est proposé. Une confrontation a pu être faite entre les estimations de durée de vie et les résultats expérimentaux.

[1] « Aspects microstructuraux de la déformation cyclique dans les métaux et alliages C.C. et C.F.C, II : Saturation cyclique et localisation de la déformation » T.Magnin & al., Revues Phys. Appl. 19 (1984) pp 483-502.

CM-07-625

Effet de la diffusion de l'oxygène sur le comportement mécanique du Ti50A (Titane pur ASTM grade 2)

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-625

J. Baillieux ¹, D. Poquillon ¹, B. Malard ¹, C. Archambeau ², P. Emile ².

¹Université de Toulouse, CIRIMAT, INP-ENSIACET, 4 allée Emile Monso - BP 44362 - 31030 - Toulouse (France), ²AIRBUS, 316 route de Bayonne 31060 - Toulouse (France).

La bonne rigidité spécifique des alliages de titane alliés à leur tenue à la corrosion en font des matériaux très utilisés dans l'industrie aéronautique et spatiale. Cependant, ils sont sensibles à l'oxydation qui doit être prise en compte au-delà de 450°C pour des applications longues. En effet, la forte réactivité du titane avec l'oxygène conduit non seulement à la formation d'une couche d'oxyde en surface (TiO₂) mais aussi à une diffusion et un enrichissement en oxygène du métal sous-jacent [1]. Cette solution solide formée est plus dure et plus fragile que le métal initial. La profondeur de diffusion de l'oxygène dans le titane augmente avec la température et le temps d'exposition. L'oxygène est l'élément interstitiel le plus important dans les cas des alliages de titane car sa solubilité proche de 30%at agit directement sur la microstructure jusqu'à modifier les propriétés mécaniques de l'alliage [2]. Une fois oxydé, la zone enrichie en oxygène suit un profil de diffusion en teneur en [O] décroissante depuis l'interface métal/oxyde jusqu'au matériau d'origine. Le matériau n'est alors plus considéré comme homogène et se comporte comme un matériau à gradient de propriété mécanique tel un composite.

Dans le cadre de l'allègement des structures et de l'augmentation des rendements moteurs, les constructeurs aéronautiques sont soumis à des contraintes thermomécaniques qui influent sur le choix et le design des matériaux. L'augmentation de la température d'utilisation des moteurs impose une meilleure compréhension des phénomènes physiques induits sur les structures qui verront de nouvelles contraintes thermiques. Le contexte de cette étude se situe sur la quantification de l'effet de l'oxydation sur les pièces en alliages de titane que l'on retrouve autour du réacteur comme l'APF (Aft Pylon Fairing).

Le but de cette étude préliminaire est de caractériser à haute température l'évolution du comportement élastoplastique d'un alliage de titane commercialement pur (Ti50A) en fonction de la profondeur de la zone de diffusion de l'oxygène. Pour cela, des éprouvettes minces ont été préoxydées selon différents temps, puis étudiées en traction, fluage et par la technique d'analyse de fréquence de résonance acoustique afin de déterminer les variations de propriétés mécaniques en fonction de la teneur en oxygène.

[1] J.L. Murray and H.A Wriedt, Bulletin of Alloy Phase Diagrams, (1987), 8(2), 148

[2] Z. Liu and G. Welsch, Metall. Trans A (1988) 19 (4), 1121

AF-07-627

Identification du comportement viscoplastique des tôles métalliques par essai de traction biaxiale dynamique sur éprouvette en croix

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-627

L. Wei, D. Guines, L. Léotoing.

LGCGM - INSA Rennes - Rennes (France).

La mise en forme de tôles métalliques met en jeu des phénomènes complexes qui dépendent de nombreux paramètres comme la géométrie des outils, la température, la vitesse, La simulation numérique est donc un outil intéressant facilitant l'optimisation des gammes de fabrication par la réalisation d'études paramétriques plus rapides et moins coûteuses. Néanmoins, le recours à la simulation numérique nécessite une connaissance précise du comportement élasto-viscoplastique des matériaux constituant les tôles métalliques, comportement généralement déterminé à partir d'essais de traction uniaxiaux. Or, pendant une opération de mise en forme, les tôles sont le plus souvent soumises à des sollicitations biaxiales qui conduisent de plus à des niveaux de déformation bien supérieurs à ceux atteints lors d'un simple essai de traction. De plus, suivant le procédé considéré, des vitesses de déformation dites « intermédiaires » peuvent être atteintes (de quelques dizaines de s^{-1}).

L'objectif principal de ce travail est de proposer l'identification du comportement élasto-viscoplastique de tôles métalliques pour des niveaux de déformation et des états de chargements biaxiaux correspondant à ceux rencontrés en mise en forme. Pour cela, un essai rhéologique de traction biaxiale dynamique permettant d'atteindre des niveaux de déformation de l'ordre de $50s^{-1}$ est proposé. Le dispositif expérimental repose sur l'utilisation d'une machine d'essai servo-hydraulique comportant quatre vérins dynamiques indépendants. La principale difficulté réside dans le choix de la forme de l'éprouvette à ce jour non standardisée.

A partir d'une étude paramétrique basée sur des simulations éléments finis de l'essai de traction biaxiale, une forme dédiée d'éprouvette en croix a été définie. La forme optimale retenue permet d'atteindre des niveaux de déformation plastique

équivalente de l'ordre de 40%. Une base expérimentale constituée des mesures d'effort sur les deux axes de l'éprouvette et d'une mesure locale des déformations au centre de l'éprouvette a été établie pour un alliage d'aluminium 5086. Les champs de déformations dans la zone centrale de l'éprouvette sont obtenus par la technique de corrélation d'images. L'identification des paramètres de la loi d'écroutissage isotrope du matériau est ensuite réalisée à partir d'une procédure inverse d'optimisation basée sur une minimisation de l'écart entre les grandeurs expérimentales et simulées des déformations au centre de l'éprouvette.

CM-07-628

Comportement à la rupture de céramiques à forte porosité

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-628

D. Staub¹, P. Clément¹, S. Meille¹, V. Le Corre², L. Rouleau², J. Chevalier¹.

¹INSA - Lyon (France), ²IFPEN - Solaize (France).

Les céramiques à forte porosité (supérieure à 30 vol%) sont utilisées dans une très large gamme d'applications industrielles : matériaux de construction, membranes de filtration, substituts osseux, matériaux pour la production d'énergie... Leur comportement mécanique, et notamment à la rupture, est souvent peu connu en comparaison aux céramiques denses d'une part et aux matériaux poreux à base de polymère ou de métal d'autre part. Ces matériaux doivent cependant supporter des sollicitations mécaniques complexes en usage.

Ce travail porte sur la caractérisation et la simulation des propriétés mécaniques de céramiques poreuses, en couplant des sollicitations impliquant des contraintes de traction (essai de flexion) ou bien de compression (notamment par l'intermédiaire de l'essai d'indentation instrumentée). L'évolution de paramètres descriptifs du comportement mécanique a été étudiée pour différentes compositions et différents taux de porosité. L'analyse de ces essais a été abordée par une approche analytique et numérique, afin notamment d'identifier les paramètres descriptif d'un critère de rupture.

Les mécanismes d'endommagement et de rupture sous les différents chargements ont été étudiés par tomographie aux rayons X et microscopie électronique à balayage pour différentes céramiques poreuses utilisées dans les applications de comblement osseux, de matériaux de construction ou de supports de catalyse.

Des spécificités de comportement des céramiques poreuses ont ainsi pu être mises en évidence. En traction, la présence de défauts contrôle le comportement à la rupture et le comportement est de type fragile. En sollicitation de compression, une capacité d'endommagement du matériau et une sensibilité à la pression hydrostatique sont notées, comme dans des roches poreuses.

Publications associées :

D. Staub, S. Meille, V. Le Corre, J. Chevalier, accepted in Oil&Gas Science and Technology 2014

P. Clément, S. Meille, J. Chevalier, C. Olagnon, Acta Materiala, vol. 61, pp. 6649-60, 2013

S. Meille, M. Lombardi, L. Montanaro, J. Chevalier, Journal of European Ceramic Society, vol. 32, pp. 3959-3967, 2012

CM-07-630

Comportement mécanique de mélanges polystyrène/polyamide-6 : influence de différentes voies de compatibilisation (copolymère, nanosilice modifiées, nanosilice Janus)

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-630

A.S. Caro-Bretelle, T. Parpaite, S. Corn, P. Ienny, R. Leger, B. Otazaghine, A. Taguet, R. Sonnier, J.M. Lopez-Cuesta.

Ecole des Mines d'Alès- C2MA - Alès (France).

La plupart des polymères sont immiscibles et leur mélange induit deux types de morphologies : co-continue ou sous forme de nodules dispersés dans une matrice formée par la phase majoritaire. L'interface entre les 2 polymères peut entraîner une décohésion souvent responsable de la chute de certaines propriétés mécaniques (déformation à la rupture, contrainte au seuil d'écoulement). Les systèmes sont alors généralement compatibilisés par l'ajout de copolymères, tels que des copolymères styrène-anhydride maléique (SMA), mais aussi et plus récemment par des nanoparticules fonctionnalisées avec du Y-MPS (méthacryloxypropyltriméthoxysilane) [1]. Le mélange étudié dans ce travail est un mélange polystyrène/polyamide-6 (PS/PA6). L'évolution du comportement mécanique du mélange (de fragile à ductile) est tout d'abord étudiée pour divers rapports PS/PA6 (20/80, 50/50, 80/20) à partir d'essais quasi-statiques de traction simple. Le mélange PS/PA6 20/80 présente un comportement ductile, caractérisé par un seuil d'écoulement autour de 4% de déformation. Il est sensible à la microstructure (dispersion/distribution des nodules de PS) et à la qualité de l'interface entre les deux phases polymères. Dans le mélange PS/PA6 20/80, différents agents de compatibilisation sont incorporés à 1,5% et 3% en masse (copolymère styrène anhydrique maléique SMA, silices modifiées MPS ou particules Janus SiO₂/PS) afin d'évaluer l'influence de la taille des nodules et de la qualité de l'adhésion nodules/matrice. Le module d'élasticité semble peu affecté par ces compatibilisants, contrairement à la contrainte au seuil d'écoulement. Une simulation numérique 3D par homogénéisation périodique est réalisée à l'aide d'un code aux

éléments finis (ZeBuLON, Ecole des Mines de Paris). Le Volume Élémentaire Représentatif intègre une inclusion sphérique de dimension correspondant à la valeur médiane du diamètre mesurée par granulométrie laser et/ou de microscope électronique à balayage. Le comportement de la phase PS est élastique et celui du PA6 est élastoplastique, les paramètres respectifs de ces lois sont obtenus à partir d'essais en traction simple. Le VER ainsi formé est sollicité de façon périodique et l'interface obéit à une loi de type cohésive. Les paramètres décrivant cette loi cohésive sont identifiés pour les mélanges PS/PA6 20/80 compatibilisés ou non. Leur évolution est à relier à la qualité de l'adhésion matrice/nodules.

[1] Parpaite T, Polymer, under reviewing.

CM-07-644

Etude du comportement mécanique de composites oxyde/oxyde

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-644

C. Ben Ramdane ¹, A. Julian-Jankowiak ², P. Diss ¹, F. Bouillon ¹, C. Julien ², M. Parlier ².

¹HERAKLES - Le Haillan (France), ²Onera - Châtillon (France).

L'amélioration des performances des turboréacteurs implique une augmentation de la température de fonctionnement. Pour cela, il est nécessaire de recourir à de nouveaux matériaux plus thermostables. Les composites à matrice céramique (CMC) et plus particulièrement les composites oxyde/oxyde semblent être de bons candidats. En effet, les composites alumine/alumine, sont intéressants en raison de leur coût raisonnable. Dans le cadre du Programme de Recherche Concerté (PRC) Composites (DGAC-Safran-Onera-CNRS), l'objectif de cette thèse est de comprendre les mécanismes d'endommagement de composites alumine/alumine afin d'accélérer leur maturation.

La démarche a consisté, dans un premier temps, à déterminer les propriétés mécaniques et les limites d'un matériau alumine/alumine à renfort bidimensionnel. Pour cela, les matériaux à renfort bidimensionnel, réalisés à l'Onera (figure), ont été soumis à différentes sollicitations mécaniques dans plusieurs directions. Il en ressort qu'à température ambiante, les propriétés mécaniques élémentaires (module, résistance) du matériau alumine/alumine étudié sont généralement meilleures que celles mentionnées dans la littérature. La deuxième étape a été d'identifier les mécanismes d'endommagement de ces composites plus finement. Pour ce faire, des observations ont été réalisées par microscopie électronique à balayage (MEB) sur des matériaux sains et après sollicitations en traction et en compression à différents niveaux de contrainte. En parallèle, des essais de traction in-situ dans un MEB ont été mis en place afin d'accéder à la chronologie des événements. Ces différentes observations ont montré que le principal mode d'endommagement du matériau à renfort bidimensionnel était le délaminage. L'objectif est maintenant de s'appuyer sur ces résultats afin d'optimiser le procédé d'élaboration du matériau.

AF-07-647

Méthode de détermination des contraintes par diffraction des rayons X dans les polycristaux.

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-647

S. Dufrenoy ¹, T. Chauveau ¹, R. Brenner ², B. Bacroix ¹.

¹LSPM – CNRS, Université Paris 13 - Villetaneuse (France), ²Institut Jean Le Rond d'Alembert, CNRS - Université Pierre et Marie Curie, UMR 7190 - Paris (France).

La DRX offre un moyen non destructif d'évaluation des contraintes induites par les traitements thermomécaniques. Dans ce travail, nous présentons un ensemble d'outils permettant de les évaluer pour différentes sources d'anisotropie et de contraintes.

Premièrement, nous présentons la simulation d'un essai mécanique sur un alliage de titane à l'aide d'un modèle micromécanique [1] pour différentes textures. Ainsi, il est possible de déterminer la déformation élastique $\langle \varepsilon \rangle$ moyennée dans un volume diffractant donné par les angles de positionnement de l'échantillon sous le faisceau de rayons X incident (Φ , Ψ). Cela est fait à différents stades de la déformation : élasticité et plasticité sous charge, état final déchargé. L'état de contraintes est déterminé à chaque étape en introduisant si nécessaire des contraintes de deuxième ordre [2].

Par la suite, une adéquation à l'expérience est réalisée par des mesures DRX résolues en temps (traction in situ sur un alliage de titane) réalisées à l'aide d'un diffractomètre portable (INELTM Xsolo) équipé d'une source ponctuelle de type Cu et d'un détecteur CCD 2D. L'analyse des résultats expérimentaux est faite avec le logiciel MAUD [3]. Pour un chargement purement élastique, nous observons une bonne cohérence entre les déformations expérimentales extraites de l'analyse MAUD, et les déformations calculées par le modèle à partir du chargement macroscopique, en tenant compte des contraintes résiduelles initiales déterminées par MAUD (cf figure jointe). La confrontation des données obtenues dans le domaine plastique démontre l'importance de la prise en compte des contraintes du deuxième ordre.

Références :

[1] J.W. Hutchinson, Proc. R. Soc. Lond. A319 (1970), 247

[2] A. Baczmanski, N. Hfaiedh, M. François, K. Wierzbanski, Mater. Sci. Eng. A501 (2009)

[3] Maud - Materials Analysis Using Diffraction, <http://www.ing.unitn.it/~maud/>

CM-07-649

Modélisation aléatoire du contour des sections de fibres de lin à partir d'analyse d'images

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-649

C. Mattrand, A. Béakou, K. Charlet.

IFMA - Aubière (France).

Les fibres d'origine végétale connaissent actuellement un regain d'intérêt, notamment dans les secteurs du transport, du bâtiment et des loisirs. Elles constituent des solutions alternatives intéressantes aux renforts synthétiques dans les composites compte tenu de leur caractère renouvelable mais également en raison de leurs propriétés spécifiques comparables à celles de certaines fibres telles que le verre. Cependant, ces fibres possèdent une structure hiérarchisée complexe et exhibent une grande variabilité morphologique et mécanique. Cette variabilité se propage à travers les différentes échelles de description du composite suivant des mécanismes encore mal maîtrisés.

Un effort doit ainsi être fourni pour quantifier l'ampleur des dispersions des propriétés macroscopiques des composites totalement ou partiellement renforcés de fibres naturelles. Le recours au « virtual testing » semble ici opportun pour analyser le transfert des variabilités observées à l'échelle de la microstructure à l'échelle du produit et identifier les sources les plus influentes. Ceci requière nécessairement un cadre probabiliste multi-échelle.

Dans cette communication, nous proposons d'aborder un élément particulier du problème général. Il s'agit de la modélisation de la variabilité des sections de fibres naturelles.

Contrairement aux fibres synthétiques, les fibres naturelles se caractérisent par la présence conjointe de fibres élémentaires et de faisceaux. Pour le lin, la proportion de fibres individuelles varie de 70 à 90% selon les variétés. Leurs contours extérieurs présentent également des formes très variables d'une fibre à une autre et d'un faisceau à un autre.

Chaque contour, extrait d'une image après segmentation, est modélisé à l'aide d'une fonction appelée descripteur de forme qui synthétise l'information sur la forme du contour. Deux descriptions sont ici choisies : par rayon entre les points du contour et son centre puis par coordonnées complexes. L'impact de ce choix sur la qualité de la modélisation est décrit. Ensuite, cette fonction est développée sur une base de Fourier tronquée dont les coefficients sont considérés comme aléatoires. Les paramètres et le type de distribution sont calibrés à partir d'une large collection de fibres et faisceaux. La simulation de Monte Carlo est enfin utilisée pour générer des fibres virtuelles. Les statistiques des paramètres morphométriques des fibres observées et virtuelles sont comparées afin de juger la pertinence de l'approche.

CM-07-691

Extension de l'Analyse Linéaire de Stabilité pour une prédiction de la statistique de longueurs inter-strictions dans un barreau en extension dynamique

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-691

S. El Mai ¹, S. Mercier ², A. Molinari ², J. Petit ¹.

¹CEA - Gramat (France), ²Univ. Lorraine - Metz (France).

L'Analyse Linéaire de Stabilité (ALS) a été largement utilisée dans le but de décrire l'évolution du mode dominant apparaissant lors de la striction multiple dans plusieurs configurations comme l'expansion d'anneaux, de tubes et de sphères. Toutefois, loin de ne montrer qu'une unique fréquence de localisation, les observations expérimentales et numériques font apparaître une large distribution de longueurs inter-strictions.

L'objectif de ce travail est d'étendre le point de vue classique de l'ALS (à savoir détection du mode dominant) afin de tenir compte de la contribution de tous les modes de perturbation lors de la déformation. Nous nous attacherons à suivre l'évolution de tous ces modes qui permettent de définir les sites potentiels de strictions (ou pré-strictions). La configuration de cette étude se limite au cas de l'extension dynamique d'un barreau cylindrique. Celle-ci correspond physiquement à une configuration d'expansion d'un anneau fin.

Cette approche permet d'identifier une distribution de distances entre pré-strictions. Il est alors possible de suivre statistiquement l'évolution temporelle des distances entre sites potentiels de strictions, depuis le profil initial des perturbations jusqu'à l'apparition d'un domaine centré autour d'une distance dominante correspondant au mode dominant déterminé par l'approche classique de l'ALS. Le cadre de cette approche reste cependant, pour l'instant, limité au développement de petites perturbations et n'a pas pour objectif de décrire précisément les localisations.

CM-07-698

Loi de traction et tenue en fatigue d'un revêtement aluminium projeté plasma

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-698

G. Huchet ¹, S. De Vito ¹, E. Estrade ¹, T. Le Bihan ¹, W. Rmili ², F. Chalon ², M. Ranganathan ².

¹CEA DAM, Le Ripault - 37260 Monts (France), ²LABORATOIRE DE MECANIQUE ET RHEOLOGIE, Polytech' Tours DMS - 7 Av. Marcel Dassault 37200 Tours (France).

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

Cette étude porte sur la tenue d'un revêtement autoporté millimétrique élaboré par projection plasma à partir de poudres d'aluminium allié. Le comportement non linéaire à la traction est mis en évidence au moyen d'essais monotones et cyclés (Figure 1). La rupture fragile se produit pour une déformation de $0,38 \pm 0,04$ %, par propagation instable de fissures entre lamelles. La limite de fatigue en traction répétée est évaluée à 50 MPa.

La loi de fissuration da/dN est identifiée à partir d'essais normalisés CT. A rapport de charge nul, une fissure s'amorce en fond d'entaille pour un facteur d'intensité de contrainte supérieur à $1,8 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$. Au-delà, le matériau présente un profil classique de propagation de fissure par fatigue. Les analyses fractographiques dans la zone de fatigue montrent un double mode de rupture avec un parcours inter- et intra-lamellaire, avec notamment observation des grains colonnaires qui constituent les lamelles (Figure 2).

CM-07-710

Simulation du comportement d'élastomères à fort taux de charges

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-710

P.A. Toulemonde, J. Diani, P. Gilormini.

ENSAM - Paris (France).

Simulation du comportement d'élastomères à fort taux de charges

Paul-Aymé Toulemonde*, Julie Diani, Pierre Gilormini
*Correspondant : Paul-Ayme.TOULEMONDE@ensam.eu

Laboratoire Procédés et Ingénierie en Mécanique et Matériaux, UMR 8006 CNRS, Arts et Métiers ParisTech, 151 bd de l'hôpital, 75013 Paris, France

Cette étude a pour but d'identifier les mécanismes qui régissent le comportement d'élastomères à fort taux de charges (jusqu'à 70% en fraction volumique) sous sollicitations mécaniques. Compte-tenu du fort taux de renforts, de la non-linéarité de comportement des élastomères et de la décohésion à l'interface charge-matrice, une modélisation micromécanique est difficile à mettre en œuvre. Une approche numérique par la méthode des éléments finis à l'aide du logiciel Abaqus est donc retenue.

Une structure composite idéale est constituée de sphères rigides réparties périodiquement selon réseau hexagonal dans matrice hyperélastique neo-hookéenne. L'interface charge-matrice est décrite par un modèle de zone cohésive. On étudie l'influence des paramètres suivants sur le comportement macroscopique du composite : fraction volumique de charges, taille des charges, distribution bimodale de la taille des charges, propriétés de l'interface charge-matrice...

Les résultats numériques obtenus sont confrontés à des mesures effectuées sur des matériaux de laboratoire (réseaux acrylates renforcés par des billes de verre) et des matériaux industriels (propergols).

CM-07-713

Simulation of dense granular suspensions

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-713

L. Amarsid ¹, F. Radjaï ², J.Y. Delenne ³, F. Perales ⁴, Y. Monerie ².

¹IRSN PSN, CE Cadarache - MIST, CNRS-IRSN-Université Montpellier 2 - St Paul-Lez-Durance, Montpellier (France), ²MIST, CNRS-IRSN-Université Montpellier 2 - LMGC - Montpellier (France), ³IATE, INRA-CIRAD-Montpellier - Montpellier (France), ⁴IRSN PSN, CE Cadarache - MIST, CNRS-IRSN-Université Montpellier 2 - Cadarache St Paul-Lez-Durance, Montpellier (France).

We analyze the shear flow of dense granular materials composed of circular particles and immersed in a viscous fluid by means of molecular dynamics simulations interfaced with the Lattice Boltzmann Method. A homogeneous flow of the suspension is obtained through periodic boundary conditions and by directly applying a confining pressure on the granular phase and shearing the fluid phase. The steady-state rheology may be described in terms of effective friction coefficient and packing fraction of the suspension as a function of the ratio of viscous shear stress to confining pressure (frictional description), on one hand, and in terms of normal and shear viscosities of the suspension as a function of the packing fraction (viscous description), on the other hand. We show that the simulation data are consistent with both descriptions and in close agreement with the corresponding scaling laws observed in recent experiments. This dual description implies that the friction coefficient is a function only of the packing fraction. Indeed, we find that all our friction data versus packing fraction for different values of fluid viscosity collapse on the same curve.

CM-07-718

Utilisation du développement d'une instabilité plastique sous pression pour la caractérisation de la loi de comportement sous pression d'un matériau

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-718

C. Bolis, D. Counilh, B. Savale.

CEA - Bruyères Le Châtel (France).

Durant les expériences sous choc, la pression et la vitesse de déformation peuvent atteindre des niveaux importants (jusqu'à quelques Mbar et 10^8 s^{-1}). Les résultats de ces expériences sont généralement simulés à l'aide d'une équation d'état et d'une loi de comportement qui sont généralement ajustées sur des expériences à basse pression et faible vitesse de déformation. Si l'effet de cette dernière peut être étudié par une équivalence temps / température, l'effet de la pression doit être interpolé ou validé à l'aide de mesures indirectes comme des vitesses de surface libre.

Dans ce travail nous présentons la méthode que nous avons mise en œuvre pour valider une loi de comportement sous pression en utilisant le développement d'une instabilité plastique contrôlée par une compression isentropique. Cette loi de pression est générée par la détente de produits de détonation. Un dispositif expérimental adapté nous permet de mesurer la croissance du défaut à trois différents temps sur une unique expérience et a été testé sur différentes géométries de cible.

A l'aide de différentes expériences, nous montrerons comment nous validons notre loi de comportement ou comment nous l'adaptions à ces pressions et vitesse de déformation.

CM-07-737

Propagation numérique d'une fissure via X-FEM dans un matériau de Gurson

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-737

J.P. Créte¹, P. Longère², J.M. Cadou¹.

¹UBS/LIMATB - Lorient (France), ²ISAE/DMSM - Toulouse (France).

Ce travail a pour but de reproduire numériquement la propagation d'une fissure au sein d'un matériau dont la rupture résulte de l'amorçage, de la croissance et de la coalescence de cavités. Dans cette optique, une méthodologie est proposée combinant un modèle de type Gurson modifié, permettant de rendre compte de l'écroutissage et de l'endommagement ductile du matériau, et la méthode des éléments finis étendus (X-FEM). Ces deux points ont été implantés dans le code de calculs par éléments finis Abaqus via des routines utilisateurs (UMAT, UEL).

Le modèle de plasticité-endommagement considéré dans notre étude a été proposé par Longère et al. [1] afin de reproduire la croissance de vides induite par le cisaillement, ainsi que la prise en compte des effets combinés de l'écroutissage, de l'adoucissement thermique et de la viscoplasticité.

Cocernant la formulation X-FEM, la technique utilisée consiste à augmenter significativement le nombre de points d'intégration, voir Elguedj et al. [2], dans chaque élément fini pour capturer la propagation de la fissure.

Pour atténuer la dépendance au maillage, la transition d'un milieu continu endommagé à la propagation de la fissure est définie en considérant des quantités moyennées au sein d'une pastille située en pointe de fissure, comme réalisée par Haboussa et al. [3].

La fissure s'amorce dès que l'énergie stockée autour de la pointe de la fissure atteint une valeur critique. Dans la lignée des travaux de Huespe et al. [4], la formation de la fissure est supposée résulter d'un processus de localisation de la déformation et l'orientation de la fissure est de fait déduite d'une analyse de bifurcation, voir [5] pour plus de détails.

La performance de la méthodologie est évaluée en considérant la simulation numérique d'une plaque fissurée symétriquement et asymétriquement dans le cas d'un chargement en traction. Des comparaisons avec d'autres méthodes numériques et avec des résultats expérimentaux sont également menées.

- [1] P. Longère, A.G. Geffroy, B. Leblé and A. Dragon. *Int. J. Dam. Mech.*, Vol. 21, 1020-1063, 2012.
- [2] T. Elguedj, A. Gravouil and A. Combescure. *Comput. Meth. Appl. Mech. Engng.*, Vol. 195, 501-515, 2006.
- [3] D. Haboussa, T. Elguedj, B. Leblé and A. Combescure. *Int. J. Frac.*, Vol. 178, 195-213, 2012.
- [4] A.E. Huespe, A. Needleman, J. Oliver and P.J. Sanchez. *Int. J. Plas.*, Vol. 25, 2349-2365, 2009.
- [5] J-P. Créte, P. Longère and J.M. Cadou. *Comput. Meth. Appl. Mech. Engng.*, in press.

CM-07-745

Modélisation du comportement dynamique d'un superalliage monocristallin

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-745

L. Roux ¹, H. Chalons ², D. Nelias ¹, H. Maigre ¹.

¹LaMCoS - INSA Lyon - Lyon (France), ²Turbomeca - Bordes (France).

Lors de la phase de certification d'un turbomoteur, il doit être démontré qu'une rupture de pale de rotor ne conduit pas à un effet dangereux au sens de la navigabilité. Cette démonstration est faite en général par un essai au banc coûteux car partiellement destructif. Grâce à l'amélioration des moyens de simulation, il devient possible de prédire la réponse transitoire de la structure soumise à ce type de chargement complexe.

L'outil LS-DYNA a été choisi pour résoudre ce problème de dynamique rapide par la méthode des éléments-finis utilisant un schéma d'intégration explicite. La connaissance du comportement à grande vitesse de déformation et à rupture des matériaux constitutifs des pales est alors primordiale. Si ces données existent dans la littérature pour les matériaux de compresseur en alliages de titane à température ambiante, peu d'études sont publiées sur le comportement dynamique des superalliages à base Nickel monocristallins couramment utilisés dans les étages de turbine à des températures de l'ordre de 1000°C. Une campagne expérimentale sur un monocristal est menée pour caractériser le comportement dynamique anisotrope et à rupture du matériau. D'abord, des essais de compression dynamique sur barres d'Hopkinson sont réalisés à l'ambiante et à chaud pour identifier les paramètres de lois élasto-viscoplastiques du type Johnson-Cook. L'anisotropie résultante de la structure cristalline du matériau est ensuite mise en évidence par des essais d'indentation et la technique de mesure des champs de déformation par stéréocorrélation d'image. Ces essais mettent en évidence la localisation des déformations plastiques au niveau de plans denses, conséquence du mouvement des dislocations sur différents systèmes de glissement. Enfin, une campagne de tirs sur plaques à haute température est réalisée pour caractériser la rupture du matériau. Les premiers résultats d'impacts témoignent de ruptures ductiles de la plaque par pétalisation et seront analysés par corrélation d'image post-mortem. Ces données expérimentales

servent de moyen de calibration puis de validation pour la simulation en dynamique rapide et sont directement exploitées dans l'application industrielle de perte d'une pale. Les modèles tridimensionnels ainsi développés améliorent grandement la prédiction des efforts transitoires dans la structure liés à l'impact d'une pale rompue sur les pales suiveuses et permettent, in fine, de mieux comprendre la cinématique globale du phénomène.

CM-07-750

Modélisation thermo-mécanique d'un contact sous sollicitations tribologiques

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-750

J. Rivière ¹, M. Renouf ², Y. Berthier ¹.

¹LaMCoS - Villeurbanne (France), ²LMGC - Montpellier (France).

Lorsque l'on s'intéresse à la modélisation du comportement thermo-mécanique d'une interface tribologique, la littérature offre peu de modèles permettant de prendre en compte les transferts de chaleur tels que la conduction, la génération ou encore le rayonnement dans un contact en présence d'une interface roulante. Cette interface, communément appelée "troisième corps" en tribologie, est connue pour ses différents rôles mécaniques mais moins bien pour ses rôles thermiques. Une des raisons, outre les difficultés à instrumenter un contact, est que peu (ou pas) de modèles permettent de décrire simultanément le comportement thermo-mécanique d'un milieu continu (les corps en contact) endommageable et d'un milieu discontinu (l'interface).

Si les méthodes par éléments discrets sont bien appropriées pour modéliser le comportement mécanique de milieux divisés, comme les grains, les sols ou les maçonneries, leur utilisation pour représenter un milieu continu équivalent est plus récente et moins triviale. La subtilité réside dans le choix des lois d'interaction entre éléments qui sont fonctions de la microstructure, de l'endommagement possible ou de l'hétérogénéité du milieu. Dans ce cas, il est possible de décrire tous les stades d'endommagement d'un milieu en partant d'un état initial continu où les particules sont liées entre elles jusqu'à un milieu discret où les particules sont libres.

Dans la littérature, les approches thermo-mécaniques au sens discret ne permettent pas de décrire un comportement thermique dans un milieu continu équivalent bidimensionnel. Nous établissons ainsi un modèle de transfert thermique par conduction ne dépendant pas de l'arrangement spatial des éléments. Les résultats sont ensuite comparés à une approche continue type éléments finis. Le cas d'un milieu endommagé lors d'un cisaillement est abordé afin de considérer les différents états d'endommagement possibles entre continuité et discontinuité de la matière.

CM-07-778

Présentation du générateur de code MFront : application aux lois de comportements mécaniques et benchmark à l'aide de Code-Aster

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-778

T. Helfer ¹, J.M. Proix ², B. Michel ¹.

¹CEA DEN/Cad/DEC/SESC/LSC - St Paul Lez Durance (France), ²EDF R&D/AMA/Groupe T64 - Clamart (France).

La plate-forme PLEIADES, co-développée par le CEA, Areva et EDF, est dédiée à la simulation du comportement thermomécanique sous irradiation d'éléments combustibles ou absorbants. Cette plate-forme s'appuie sur plusieurs outils de résolution thermomécanique (Cast3M, solveur FFT, solveur dédié au crayon combustible). La capitalisation et le partage des connaissances matériau entre ces différents outils au sein de la plate-forme, est un enjeu important, en particulier pour les propriétés matériau et les lois de comportement mécanique. Par ailleurs, nous pouvons noter que les lois de comportement mécanique du combustible nucléaire deviennent de plus en plus complexes et multi-échelles (du monocristal à l'échelle de la pastille combustible) : voir à ce propos la communication de Michel et al. Dans la même session.

Dans ce cadre, il a été développé au sein de la plate-forme PLEIADES un outil nommé MFront qui permet, à partir d'un fichier contenant essentiellement des équations physiques, de générer du code C++. MFront se veut simple d'emploi et doit garantir que le code généré soit robuste, fiable et performant numériquement.

MFront peut gérer des propriétés matériau, des lois de comportement mécanique ou des modèles de physico-chimie. Cette communication se focalisera principalement sur les lois de comportement mécanique qui ont fait l'objet d'une attention particulière du fait de leur variété et de leur complexité. Nous y montrerons que MFront est un outil générique qui permet de traiter de nombreux phénomènes mécaniques (viscoplasticité, plasticité, endommagement, orthotropie, modèles de plasticité

cristalline, etc...) pour différents types de loi (petites déformations, transformations finies, zones cohésives).

Nous présentons également les résultats d'un important benchmark fait par l'équipe de développement de Code-Aster (<http://www.code-aster.org>) qui permet de juger des performances numériques des lois générées.

CM-07-784

Identification et exploitation d'un modèle d'endommagement non-local dans la transition fragile-ductile d'un acier faiblement allié

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-784

J.P. Mathieu, G. Blatman.

EDF R&D - Moret-Sur-Loing (France).

On se propose d'illustrer l'utilisation d'une version non-locale d'un modèle d'endommagement de Rousselier afin de simuler le comportement d'éprouvettes de diverses géométries : traction (TC), axisymétriques entaillées (AE), ténacité (CT) , flexion 3 points (SENB). Ces modélisations visent à obtenir un champ de contraintes réaliste à différentes températures, qui pourra être exploité pour développer et valider des modèles d'approche locale fragile de la rupture dans la transition ductile-fragile (de -150 à -40°C), pour diverses éprouvettes de géométries et de tailles différentes.

Tout d'abord, on développe un ensemble d'outils modulaires (maillages, mises en données) pour modéliser chaque type d'éprouvette à différentes températures. Une loi élastoplastique à 2 écrouissages isotropes, avec une représentation phénoménologique du palier de Lüders observé en traction à basse température, est choisie. Elle est identifiée sur les éprouvettes TC et AE en fixant les paramètres physiques et en ajustant les paramètres phénoménologiques par optimisation, afin de reproduire au mieux les courbes expérimentales y compris dans la phase de localisation de la déformation plastique.

Le modèle d'endommagement non-local est ensuite identifié à partir de la ruine des éprouvettes AE observée expérimentalement aux plus hautes températures. Il reste à déterminer une taille de maille et un paramètre de régularisation adaptés pour tirer profit de la non-dépendance à la taille de maille propre à la modélisation non-locale, tout en se recalant sur la vitesse de propagation de déchirure ductile d'une des éprouvettes à haute température (CT12.5). La recherche d'un compromis entre

temps de calculs et finesse des résultats est ici critique, les aspects endommageant et non-local rendant les simulations relativement coûteuses.

Cependant, une fois le compromis trouvé, les résultats sur l'ensemble des éprouvettes (pour toutes tailles, géométries et températures d'essai) permettent une description très satisfaisante du comportement macroscopique dans les zones d'intérêt pour les études dans la transition ductile-fragile.

En conclusion, quelques résultats intéressants issus des simulations seront présentés, ainsi qu'un bilan de l'utilisation des modélisations non-locales pour des calculs 3D avec une propagation ductile conséquente (nécessitant des moyens de calculs importants). L'utilisation de ces résultats dans une approche locale de la rupture fragile sera esquissée dans les perspectives.

CM-07-822

Analyse de la sensibilité à la vitesse de déformation d'un béton cellulaire du quasi statique au régime sous choc

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-822

J. Mespoulet, P.L. Hereil, F. Plassard.

THIOT INGENIERIE - Puybrun (France).

L'évolution des normes thermiques en génie civil a entraîné l'avènement du béton léger autoclavé. Ce matériau, élaboré par génération d'hydrogène dans une matrice de sable, de chaux, de ciment, d'eau et de poudre d'aluminium est ensuite autoclavé pour obtenir une structure à porosité ouverte de cristaux de Tobermorite avec des microcellules inférieures à 0.5 mm et des macrocellules de diamètres compris entre 0.5 et 2 mm. Sa résistance mécanique en fonction de la masse volumique nominale en condition quasi statique est connue. En revanche, peu de recherches ont été entreprises sur l'évolution de son comportement en dynamique en terme d'amortissement vis à vis d'un choc mécanique ou d'une onde de souffle.

Cette étude présente les résultats expérimentaux obtenus au sein du laboratoire de physique des chocs de l'entreprise THIOT INGENIERIE pour un béton cellulaire de marque YTONG^(TM) à porosité comprise entre 75 et 80 %. Les essais couvrent une large gamme de vitesses de sollicitation (supérieure à 10^4 s^{-1}) avec des échantillons de diamètre 200 mm à l'aide de la presse dynamique JUPITER et du lanceur TITAN. Cette presse est adaptée aux matériaux à grande aire surfacique avec un effort maximum généré de 220 kdaN en quelques ms pour des échantillons pouvant atteindre 1 m de diamètre.

CM-07-827

Analyse et simulation numérique de l'essai de pliage en U sur tôle métallique polycristalline

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-827

S. Ayadi, H.T. Nguyen, Y. Charles, M. Gaspérini.

LSPM-CNRS - Villenatteuse (France).

L'essai de pliage en U est un essai non normalisé, inspiré des essais de corrosion sous contrainte, qui constitue l'un des moyens de caractérisation de la fragilisation par l'hydrogène des matériaux métalliques. Il consiste à prédéformer plastiquement par flexion une éprouvette de tôle métallique, maintenue en forme de U par mise en place d'un boulon. L'éprouvette ainsi chargée mécaniquement est ensuite immergée dans une solution électrolytique ; la production d'hydrogène en surface, sa pénétration dans l'éprouvette et son interaction avec le matériau est alors susceptible de produire une rupture différée.

Une simulation numérique par éléments finis de cet essai a été réalisée, afin d'analyser finement les champs mécaniques et les champs de concentration d'hydrogène dans l'éprouvette déformée, avec prise en compte des interactions entre l'hydrogène absorbé et la plasticité. Grâce à l'utilisation d'une loi de plasticité cristalline et de la définition à l'aide de scripts python d'une structure polycristalline par partition de Voronoï dans la zone potentielle de rupture, soumise aux conditions de chargement issues d'un calcul élément fini global (procédure 'submodelling'), le calcul permet d'accéder aux hétérogénéités induites par l'anisotropie de comportement local.

Dans ces calculs, la concentration locale d'hydrogène est supposée composée d'une partie diffusive assistée par le champ de contrainte et d'une partie piégée dépendant de la déformation plastique [1]. Les équations de couplage, ainsi que le

comportement anisotrope de plasticité cristalline ont été implantés dans le logiciel EF (Abaqus) grâce à des procédures utilisateurs en fortran [2].

Une étude paramétrique des conditions d'essai a permis d'analyser quantitativement l'évolution des champs mécaniques au cours des différentes étapes de l'essai mécanique, et de la concentration d'hydrogène à la fin du pliage en U.

Les simulations numériques ont été confrontées à des résultats expérimentaux d'essais de pliage en U obtenus sur des polycristaux d'acier ferritique.

[1] R.A. Oriani, The diffusion and trapping of hydrogen in steel. *Acta Metallurgica*, 1970. 18(1): p. 147-157.

[2] Abaqus V6.8 User Subroutine Reference Manual, paragraph, Dassault Systems, 2008.

KN-07-828

Rupture de l'alliage de titane Ti-6Al-4V sous taux de triaxialité négatif : micro-mécanismes et effet de la vitesse de chargement

07 - Comportements mécaniques

#KN-07-828

P. Longère ¹, A. Dragon ², T. Millot ³.

¹Institut Clément Ader - Toulouse (France), ²CNRS Pprime - Poitiers (France), ³DCNS - Indret (France).

Dans de nombreuses applications industrielles, incluant la mise en forme et l'usinage, ou événements accidentels, incluant la collision et l'impact, des fissures peuvent se former et se propager sous des états de triaxialité des contraintes faibles et négatifs.

L'étude de la rupture des matériaux sous faibles taux de triaxialité est donc d'un intérêt majeur tout en restant un défi tant du point de l'investigation expérimentale que du point de vue de la modélisation numérique.

Le travail présenté vise à améliorer la compréhension des micro-mécanismes à l'origine de la rupture des matériaux métalliques (ici l'alliage de titane Ti-6Al-4V) sous l'effet de chargements combinés cisaillement-pression à basses et hautes vitesses de chargement.

Des essais ont ainsi été menés à basses et hautes vitesses de déformation sur différentes géométries d'éprouvettes de Ti-6Al-4V de cisaillement par compression permettant de couvrir une gamme de taux de triaxialité des contraintes allant de -0.2 à -0.5.

Des essais d'impact sur tranche de plaque entaillée de type Kalthoff et Winkler (KW) ont également été réalisés en vue d'étudier la capacité d'arrêt de fissure du matériau étudié.

L'investigation expérimentale de la rupture des échantillons de cisaillement-compression montre que la rupture ultime du matériau est la conséquence d'un processus de rupture ductile. A haute vitesse de déformation, la localisation de la déformation dans des bandes de cisaillement adiabatique précède l'endommagement par croissance de cavités et conduit à une rupture prématurée, i.e. à une ductilité moindre à haute vitesse qu'à basse vitesse.

La cinématographie ultra-rapide et l'étude fractographique des essais d'impact de type KW montrent que la fissuration est la conséquence d'un processus complexe d'interactions d'ondes conduisant à une propagation en Modes I et II.

S'appuyant sur les observations expérimentales, un lien sera fait entre les mécanismes de dégradation constatés et certains modèles constitutifs existants, voir p.ex. [1] et [2], en vue d'une modélisation unifiée.

[1] Longère P., Dragon A., 2013, Description of shear failure in ductile metals via back stress concept linked to damage-microporosity softening, Eng. Fract. Mech., 98, pp.92-108

[2] Longère P., Dragon A., Deprince X., 2009, Numerical study of impact penetration shearing employing finite strain viscoplasticity model incorporating adiabatic shear banding, J. Eng. Mat. Tech., ASME, 131, pp.011105.1-14

CM-07-831

Comportement dynamique des matériaux poreux contenant des vides sphéroïdaux

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-831

C. Sartori ¹, S. Mercier ¹, N. Jacques ², A. Molinari ¹.

¹LEM3 - Metz (France), ²ENSTA Bretagne - Brest (France).

La modélisation de la rupture des matériaux ductiles, et notamment la prise en compte de la forme des cavités, est un point qui a reçu une attention particulière dans la littérature. De récents travaux ont montré que les effets dynamiques peuvent aussi influencer considérablement sur la rupture des matériaux ductiles. Jusqu'à présent, l'effet de forme des cavités sur le comportement des matériaux poreux lors de chargements dynamiques n'a pas été pris en compte. Nous proposons donc de développer un modèle de comportement pour les matériaux poreux incluant effets dynamiques et effets de forme des cavités.

Le modèle développé s'appuie sur la procédure d'homogénéisation dynamique introduite par Molinari et Mercier [1], dans laquelle la contrainte macroscopique est la somme de deux contributions : une contrainte statique et une contrainte dynamique induite par les accélérations locales de la matière à proximité des vides.

Dans ce travail, le volume élémentaire représentatif (VER) contient un vide sphéroïdal allongé inséré dans une matrice ; la surface extérieure du VER étant ellipsoïdale confocale. Le VER est soumis à une vitesse de déformation homogène à sa frontière extérieure. On considère un chargement axisymétrique et l'orientation des vides coïncide avec les axes principaux du chargement. Basée sur le champ de vitesse proposé par Gologanu et al. [2], une formulation semi-analytique de la contrainte dynamique est proposée. Celle-ci fait intervenir la forme du vide (fraction volumique, géométrie du VER) et dépend de manière quadratique du tenseur des vitesses de déformation et linéairement de la dérivée temporelle de ce même tenseur des vitesses de déformation (voir Sartori et al. [3]).

Des résultats obtenus par calculs éléments finis (EF) avec le logiciel ABAQUS/Explicit ont permis de valider le modèle proposé. Plusieurs valeurs de porosité et

différentes intensités du chargement dynamique ont été testées. Des résultats récents seront aussi proposés pour des vides aplatis.

Références :

[1] Molinari, Mercier, Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 49, 1497-1516, (2001).

[2] Gologanu, Leblond, Devaux, Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 41, 1723-1759, (1993).

[3] Sartori, Mercier, Jacques, Molinari, Mechanics of Materials, sous presse, disponible en ligne, (2014). <http://dx.doi.org/10.1016/j.mechmat.2013.12.006>

AF-07-872

Etude des vibrations induites dans les connecteurs par utilisation d'un vibromètre laser et la dégradation des matériaux à l'interface de contact

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-872

J. Labbé ¹, E.A. Rochdi ¹, F. Le Strat ², E. Carvou ¹, C. Plouzeau ².

¹Université - Rennes (France), ²Renault - Guyancourt (France).

Les vibrations dans un véhicule peuvent induire des mouvements relatifs entre la partie mâle et femelle d'un connecteur. Même si ce phénomène est maintenant connu, il reste de nombreuses questions : Qu'en est-il du transfert de ces vibrations sur et à l'intérieur du connecteur ? Quelles en sont les conséquences sur l'état de surface aux points de contact ?

De nombreuses études sur la connectique attestent qu'un mouvement relatif du contact de quelques micromètres entraîne une dégradation par la création d'un troisième corps issu du revêtement, appelé le fretting-corrosion [1]. Cette cause a pour conséquence 60% des problèmes de conduction électrique dans le secteur automobile [2]. Les vibrations induites dans un connecteur sont peu renseignées [3].

Généralement, l'étude de la conduction électrique et de la zone de contact à l'interface entre deux parties métalliques se réalise suivant un axe de vibration à des amplitudes et fréquences données.) Les amplitudes des mouvements sont communément contrôlées et imposées par le dispositif vibrationnel en utilisant un capteur de déplacement.

Dans le cas d'un connecteur, des mouvements au niveau de la zone de contact sont induits, et leurs caractéristiques (amplitude de déplacement, fréquence...) ne sont pas accessibles directement par des mesures sur le dispositif. Pour cela, un banc d'essai a été mis en place avec l'utilisation d'un vélocimètre-laser de surface. Ce dispositif non-intrusif utilise l'effet Doppler généré par l'interaction entre 2 faisceaux lasers incidents et le mouvement de la cible pour mesurer une vitesse, de laquelle est déduit le déplacement. Ce procédé utilise une direction de mesure orthogonale à

la direction de la vibration. Ceci permet de déterminer tous les déplacements à l'intérieur d'un connecteur via un orifice, en complément de mesure de déplacements usuels sur le connecteur. La mesure de la tension de contact est réalisée en parallèle afin de suivre l'évolution de la conduction électrique au fur et à mesure de la dégradation mécanique.

L'objectif de cette étude est de montrer l'intérêt de l'utilisation du vibromètre In-Plane pour la mesure des déplacements des connectiques. Les résultats seront corrélés par la suite avec les données expérimentales du comportement des matériaux.

[1] A. Bouzera, IEEE Electrical Contacts, Holm conference, 2010, p. 101-107.

[2] Y.W. Park, Tribology International, 2009, pp. 682–689

[3] G.T. Flowers, IEEE Electrical Contacts, Holm conference, 2005, pp. 82-88

AF-07-879

COMPORTEMENT EN FLEXION DES RENFORTS TISSES A BASE DE FIBRES DE LIN DESTINES A L'EMBOUTISSAGE

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-879

A. Bassoumi, J. Gillibert, G. Hivet, P. Ouagne.

Laboratoire PRISME, Pôle F2ME - Orleans (France).

Le comportement en flexion des renforts était généralement négligé durant la simulation de l'emboutissage des pièces non-développables par opposition à la traction et au cisaillement. En revanche, des études sur la simulation de la mise en forme [1] ont montré que la rigidité en flexion est un paramètre critique par rapport aux déformations hors-plan des tissus imprégnés ou secs qui peuvent se manifester à l'échelle mésoscopique (bouclage de mèche) et macroscopique (plis).

La rigidité en flexion était considérée depuis longtemps pour le textile habillement. Dans ce cadre, [2] a exposé une revue critique des différents modèles avec diverses hypothèses sur le comportement des fils. Néanmoins, la relation entre les rigidités fil et tissu s'est avérée complexe. De l'autre côté, peu de travaux se sont intéressés aux renforts pour composites [3-4-5].

Notre travail expérimental a été mené sur un banc de flexion basé sur le principe de cantilever avec un module optique [5]. Par méthode directe, on accède à des données comme les moments-courbures ou la rigidité pour une longueur donnée. L'étude se concentre d'abord sur une meilleure compréhension de la relation entre le comportement en flexion de la mèche et celui du tissu. Dans ce cadre, une étude préliminaire de l'influence de divers états de chargement de la mèche était examinée. Ensuite, des modèles géométriques pour les cellules élémentaires étaient élaborés. Finalement, un modèle prédictible de la rigidité d'un tissu donné à partir de celle de la mèche et de l'armure est proposé. Afin de valider le modèle, différentes armures de base et des mèches de divers paramètres et structures ont été considérés. Dans un deuxième temps, l'influence de la

composition (hybride et pure lin) et des conditions environnementales ont été étudiés.

Références

[1] Hamila 2007, *Simulation de la mise en forme des renforts composites mono et multi plis*, INSA Lyon.

[2] Ghosh et al 1990, *The Bending Behaviour of Plain Woven Fabrics. Part1 A Critical Review*, J. Textile Inst, 81: 245-254

[3] Lomov et al 2003, *Carbon composites based on multiaxial multiply stitched preforms. Part2 Kes-f characterisation of the deformability of the preforms at low load*, Composites Part A, 34: 359-370.

[4] Yu et al 2005, *Analysis of flexible bending behavior of woven preform using non-orthogonal constitutive equation*, Composites Part A, 36: 839-850.

[5] Bilbao et al 2009, *Experimental Study of Bending Behaviour of Reinforcements*, Experimental Mechanics, 50: 333-351.

CM-07-904

MULTISCALE INVESTIGATION OF SLOW CRACK PROPAGATION IN POLYMER GLASSES

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-904

Y. Nziakou ¹, B. Bresson ¹, A.C. Genix ², M. George ², M. Ciccotti ¹, J.L. Halary ¹.

¹ESPCI ParisTech, SIMM Lab. -UMPC/CNRS/ESPCI UMR 7615, 10 rue Vauquelin, 75231 Paris Cedex 05 - France - Paris (France), ²UM2, L2C Lab. -CNRS/UM2 UMR 5221, Place Eugène Bataillon, 34095 Montpellier Cedex 05 - France - Montpellier (France).

Glassy polymers are widespread in technical applications due to the combination of high stiffness and toughness with a relatively low density.

We present here an innovative investigation technique for studying the damage mechanisms in the process zone of several kinds of glassy polymers. Since fracture is inherently a multiscale problem, in order to model the macroscopic toughness, we need to propagate a stable stationary crack with a very well defined geometry. This is obtained by an adaptation of the DCDC (Dual Cantilever Drilled Compression) technique. We then need to characterize the flow and dissipation of mechanical energy from the macroscopic scale to the molecular level at the crack tip, and we perform this by combining optical measurements and in-situ AFM (Atomic Force Microscopy) for very slow propagating fractures. We then extract strain fields at different scales by Digital Image Correlation and combine these informations through mechanical modeling and Finite Element Simulations.

The present results are related to crack propagation into bulk polymers such as PMMA and Epoxy resins. Next coming developments will include multiphase polymers and confinement into fiber composite materials.

AF-07-905

Comportements rhéologiques de matériaux bitumineux enrichis en fines

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-905

A. Fabre Des Essarts ¹, A. Dony ¹, J.N. Roux ², V. Gaudefroy ³.

¹ESTP-IRC - Cachan (France), ²Laboratoire Navier - Champs-Sur-Marne (France), ³IFSTTAR - Bouguenais (France).

Les enrobés bitumineux, dont sont constitués les revêtements de chaussées, se composent d'un squelette granulaire (87% en volume, avec une granulométrie étendue) et d'un liant bitumineux (13% en volume) qui est un solide viscoélastique aux températures de service de la chaussée (de -10 à 40°C) mais un fluide considéré newtonien aux températures de fabrication et de mise en œuvre des enrobés (de 130 à 170°C).

Depuis une dizaine d'année, les préoccupations environnementales amènent les professionnels routiers à axer leurs recherches sur l'abaissement des températures de fabrication et de mise en œuvre des enrobés bitumineux à chaud (de 30 à 50°C). Ces nouveaux enrobés, dits tièdes, ont fait apparaître sur les chantiers routiers des problématiques qui n'existaient pas dans le cas des enrobés classiques à chaud, à savoir les problématiques de maniabilité lors de la mise en œuvre mécanisée mais aussi et surtout manuelle, dues en grande partie aux propriétés visqueuses des liants bitumineux et à leur thermo susceptibilité.

L'étude présentée dans cette communication s'intègre dans un travail de thèse qui vise à étudier le comportement de ces enrobés tièdes aux températures de mise en œuvre et, pour cela, à développer une démarche de caractérisation et d'évaluation de la maniabilité, évaluation que ne permet aucun des essais classiques pratiqués en France sur les enrobés à chaud. Le travail expérimental global de la thèse se fait à travers une approche multi-échelle : à savoir sur le liant bitumineux, sur le mastic (mélange liant + fines), sur le mortier (mélange liant + fines + sable) et sur l'enrobé. Cette communication se focalisera sur une étude en viscosité menée aux échelles du liant et du mastic bitumineux (pour différents taux de fines) à l'aide d'un DSR (Dynamic Shear Rheometer), en utilisant des géométries plan/plan et cylindre/ailette. Seront présentés la mise en place d'un protocole d'essai cohérent, notamment pour les mesures sur les mastics bitumineux, et l'analyse des résultats obtenus et des différents comportements.

CM-07-911

Analyse de l'effet d'échelle et de la vitesse de déformation sur des mousses de polyuréthane soumises à des sollicitations dynamiques : Comparaison expérience/calcul

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-911

F. Plassard, J. Mespoulet, P.L. Hereil.

Thiot-Ingenierie - Pyubrun (France).

Les matériaux amortissants tels que les mousses de polyuréthane prennent de plus en plus d'importance dans la conception des produits de la vie courante mais aussi des systèmes soumis à des conditions extrêmes (protections anti souffle, milieu spatial, ...). Ces polymères alvéolaires sont élaborés lors de la réaction exothermique de polymérisation par dégazage chimique ou mécanique. Pour une composition donnée, les propriétés mécaniques en quasi-statique sont connues et dépendent directement de la densité apparente. En revanche, la sensibilité de ces matériaux à la vitesse de sollicitation n'est pas aujourd'hui clairement établie.

Cette étude présente les résultats expérimentaux obtenus par l'entreprise THIOT INGENIERIE pour des mousses PU de marque KUVOTEC pour des densités comprises entre 100 et 500 kg/m³. La plage intermédiaire (de 10 à 100 s⁻¹) a pu être investiguée avec des échantillons de grandes dimensions (diamètre 200 mm) à l'aide de la presse dynamique JUPITER (200 t en 3 ms). Les résultats obtenus montrent une influence significative de la vitesse de déformation sur la limite d'écoulement de ce matériau poreux. Ces travaux ont conduit à la fiabilisation des modèles de comportement de ces mousses dans le logiciel LSDYNA.

AF-07-912

Etude de la microstructure et de l'endommagement de composites injectés à matrice PEEK renforcée de fibres de carbone

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-912

O. Guiraud ¹, J. Crevel ², C. Bellot ³.

¹Novitom - Grenoble (France), ²Université de Toulouse - Albi (France), ³ACRDM - Tarbes (France).

Durant ces dernières décennies, les matériaux composites ont vu un très grand essor dans le domaine de l'aéronautique en vue d'alléger les structures tout en gardant de bonnes propriétés mécaniques. Les besoins en pièces de petites et moyennes tailles sont croissants. Ainsi, les procédés utilisés dans le domaine automobile pourraient être utilisés pour la fabrication de ces pièces. Cependant, ceci passe par une maîtrise et la fiabilité des procédés utilisés.

La première partie de cette étude sera axée sur la caractérisation des microstructures obtenues en faisant varier différents paramètres lors de l'injection. Aussi, les taux de fibres ainsi que leurs longueurs seront étudiés dans les pièces afin de s'assurer de leurs homogénéités spatiale et morphologique. De plus, une étude par tomographie synchrotron a permis de déterminer l'orientation tridimensionnelle des fibres dans les pièces injectées. Ces caractéristiques intrinsèques à la fabrication des pièces sont responsables des propriétés mécaniques induites par les paramètres du procédé. Ces techniques permettent d'acquérir des données utiles à la compréhension du comportement et de l'endommagement du matériau. In fine, ces mêmes données peuvent être utilisées pour l'optimisation et la validation des modèles micromécaniques.

La deuxième partie sera axée sur l'étude de l'endommagement de ces matériaux à l'aide de traction monotone ou cyclée suivie par thermographie infra-rouge. Des analyses de tomographie synchrotron in-situ ont également été réalisées sur les essais de traction cyclée afin de suivre l'évolution de la plasticité et de l'endommagement macroscopique dans le matériau.

AF-07-914

Impact sur complexe isolant inox/contre-plaqué/mousse polyuréthane

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-914

L. Caetano ¹, B. Galpin ², A. Penin ¹, V. Grolleau ¹, J.D. Capdeville ³.

¹LIMatB - Lorient (France), ²Saint Cyr Coëtquidan - Saint Cyr Coëtquidan (France), ³GTT - Saint-Rémy-Lès-Chevreuse (France).

Accidents nucléaires, dangerosité des micro-particules émises lors de la combustion du charbon et du pétrole, instabilité politiques en Europe de l'est sont autant de raisons à la forte augmentation de la demande en méthane et de son transport maritime par méthanier. Celles-ci pourraient créer des points froids sur la coque et altérer l'intégrité du navire. Ces bateaux, conçus comme d'immenses vases isothermes maintenant le Gaz Naturel Liquéfié GNL à l'état liquide à -163°C à pression ambiante, ont une durée de vie d'une quarantaine d'année. Leurs cuves sont des cubes de près de 35m de côté souvent constitués d'une peau en acier inox et isolés de la paroi du navire par un sandwich contreplaqué (CP) de 12mm - mousse polyuréthane de 300mm – CP de 9mm.

L'étanchéité de ces cuves doit être garantie. Or, elles sont exposées à des risques de perforation durant leur utilisation entraînant des fuites de méthane. Des études sur ce risque sont alors menées. Pour l'évaluer, une série d'essais d'impact originaux (notamment impact sur catapulte de 2kJ, ou 5kg @ 30m/s) est menée à température ambiante et cryogénique, en dynamique et en quasi-statique. Les premiers résultats mettent en avant l'importance du CP entre l'inox et la mousse dans l'absorption d'énergie due au choc : un CP de 12 mm peut participer à la dissipation de près de 40% de l'énergie cinétique du projectile et empêcher la perforation. Ce résultat et l'absence de données bibliographiques sur le comportement en compression dynamique cryogénique selon la direction radiale du bois ont motivé la présente étude du comportement dynamique du CP à l'impact à l'ambiante comme en condition cryogénique.

Après un rappel des résultats des essais d'impacts de type poinçonnement hémisphérique sur le sandwich inox-CP au moyen de la catapulte, nous

présenterons la campagne expérimentale de compression hors plan réalisée aux barres de Hopkinson à l'ambiante et en cryogénie pour atteindre des vitesses de déformation comprises entre 100s^{-1} et 1000s^{-1} . De la même manière nous présenterons les résultats obtenus en quasi-statique où l'on utilise une machine hydraulique de compression pour couvrir une gamme de vitesse de déformation allant de $1/1000$ à $1/\text{s}$. Les influences de la température de -190°C à l'ambiante et de l'humidité relative du CP de quelques % jusqu'au point de saturation des fibres sont étudiées.

Enfin, une modélisation numérique de l'impact du complexe isolant est proposée et validée par les résultats expérimentaux.

CM-07-931

Caractérisation élastique de bois de différentes densités par Spectroscopie Ultrasonore Résonnante (RUS)

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-931

R. Longo ¹, D. Laux ¹, S. Pagano ², T. Delaunay ¹, E. Le Clezio ¹, O. Arnould ².

¹IES - Université Montpellier 2/CNRS UMR 5214 - Montpellier (France), ²LMGC - Université Montpellier 2/CNRS UMR 5508 - Montpellier (France).

L'utilisation du bois comme matériau est un enjeu important pour les économies d'énergie et pour le stockage de carbone extrait du CO₂. Matériau anisotrope compétitif vis à vis des composites à fibres, c'est dans ses usages hauts de gamme, en substitution à d'autres matériaux de structure, qu'il permet le plus d'économies d'énergie et d'obtenir la plus grande valeur ajoutée. Il faut alors trier et qualifier la ressource en bois en disposant, entre autres, de ses caractéristiques mécano-physiques anisotropes comme ses constantes élastiques. Elles sont au nombre de 9 car le bois est usuellement considéré comme orthotrope à l'échelle millimétrique. Les techniques de caractérisation classiques requièrent généralement de recourir à plusieurs échantillons prélevés dans différentes directions. Néanmoins, du fait de la variabilité du bois au sein d'un même arbre, la cohérence des données obtenues sur différents échantillons n'est pas assurée.

Le but de nos recherches est d'utiliser la spectroscopie ultrasonore résonnante (RUS) [1] pour obtenir les 9 constantes élastiques à partir d'un unique échantillon de bois. Cette technique consiste à mettre en résonance un échantillon de forme connue du matériau, à mesurer ses fréquences propres et à identifier par une méthode inverse ses coefficients d'élasticité.

Nous avons donc adapté cette technique au cas du bois [2], en utilisant des signaux d'excitation à phase optimisée et un système de mesure basé sur la vélocimétrie laser, capable de mesurer les fréquences propres et les déformées modales sur plusieurs faces de l'échantillon [3]. Un programme spécifique d'identification inverse est en cours de développement sur des échantillons de bois de densité balayant quasiment toute la gamme possible.

Ce projet a été soutenu financièrement par le Labex NUMEV (Université Montpellier 2).

1. A. Migliori, J.L. Sarrao, "Resonant Ultrasound Spectroscopy", Wiley, New York, 1997.
2. R. Longo, T. Delaunay, D. Laux, M. El Mouridi, O. Arnould, E. Le Clézio, "Wood elastic characterization from a single sample by resonant ultrasound spectroscopy", *Ultrasonics*, 52(8): 971-974, 2012.
3. R. Longo, D. Laux, S. Pagano, T. Delaunay, E. Le Clézio, O. Arnould, "Elastic characterization of a large density range of wood by Resonant Ultrasound Spectroscopy (RUS): a comprehensive study", submitted to *Wood Science and Technology*.

CM-07-933

Etude des mécanismes de déformation d'un alliage réfractaire à haute entropie de mélange

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-933

J.P. Couzinié¹, I. Guillot¹, L. Perrière¹, L. Lilensten¹, T. Chauveau², G. Dirras², Y. Champion¹.

¹Institut de Chimie et des Matériaux Paris-Est (ICMPE), UMR 7182, CNRS & Université Paris-Est Créteil - Thiais (France), ²Université Paris 13, Sorbonne Paris Cité, Laboratoire des Sciences, des Procédés et des Matériaux (LSPM) - Villetaneuse (France).

Alors qu'il a longtemps été considéré que les alliages métalliques constitués d'un grand nombre d'éléments principaux généraient des microstructures complexes souvent fragiles, Yeh et al. ont récemment suggéré que des systèmes d'alliages formés d'au moins 5 éléments métalliques en proportion quasi-équiatomique (entre 5 et 35%) et possédant des entropies de mélange élevées favoriseraient la formation de solutions solides simples [1]. Ces alliages dits « de haute entropie » (AHE) présentent un large spectre de microstructures et de propriétés (mécaniques notamment), pour certains très nettement supérieures aux alliages « classiques ».

Parmi les pistes explorées, les AHE réfractaires à base de Ta, Nb, Mo, Hf, W peuvent présenter un intérêt important, notamment dans l'industrie aéronautique et/ou militaire de par la stabilité de leur microstructure à des températures bien supérieures à 1000°C, ainsi que leurs propriétés mécaniques spécifiques, au regard des valeurs de résistances mécaniques très élevées. Les premières études de AHE à partir de ces éléments sont très récentes [2] et les résultats très prometteurs. Cependant, à l'heure actuelle et à la lumière des données récentes de la littérature, aucune analyse microstructurale fine des mécanismes régissant la déformation plastique de ces alliages réfractaires n'a été effectuée.

Dans cette étude, nous explorons une nouvelle classe d'alliages réfractaires de haute entropie de mélange basée sur les éléments Ti, Zr, Nb, Hf et Ta. L'alliage, de composition quasi-équimolaire, a été élaboré par fusion à arc électrique. Une analyse par diffraction des rayons-X de l'état brut de coulée révèle une structure

désordonnée cubique centrée et une microstructure dendritique. Le comportement mécanique de l'alliage a également été caractérisé à température ambiante par des essais de compression complexes (charge/relaxation/décharge). Ces essais permettent de dégager les composantes effective et interne de la contrainte appliquée et reflètent les processus locaux de déformation [3]. Les résultats, associés à des observations fines en microscopie électronique en transmission, donnent des informations détaillées sur les mécanismes de déformation de ces alliages réfractaires à haute entropie de mélange.

[1] J.W. Yeh et al. *Advanced Engineering Materials*; 6: 299-303 (2004).

[2] O.N. Senkov et al. *Intermetallics*; 18 (9); 1758-1765 (2010).

[3] X. Feaugas. *Acta Materialia* 47 (13), 3617–3632 (1999).

CM-07-948

Perforation de plaques d'aluminium : analyses à faible vitesse et extension à grandes vitesses

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-948

L. Antoinat ¹, R. Kubler ¹, G. Achard ¹, J.L. Barou ², P. Viot ², L. Barrallier ¹.

¹Arts et Métier PArisTech - Aix En Provence (France), ²Arts et Métier PArisTech - Bordeaux (France).

Perforation de plaques d'aluminium : analyses à faible vitesse et extension à grandes vitesses

La perforation de plaques en alliage d'aluminium 2024 (épaisseur 2 mm) par un poinçon conique est présentée ici. Des essais sur puits de chute instrumentés sont effectués à faible vitesse (jusqu'à 6.9 m/s). Les résultats sont analysés en termes de vitesses de perforation, de force d'impact et de nombres de pétales. Des observations à faible vitesse et des mesures de champs par stéréo-corrélation d'images sous la plaque impactée permettent de d'observer les mécanismes de fissuration et de déterminer la déformation de la tôle lors de l'impact. Un modèle éléments finis (EF) coque de perforation est présenté. Les lois de comportement de Johnson Cook en viscoplasticité et de Johnson Cook pour la rupture sont utilisées pour le comportement de l'alliage d'aluminium. Les paramètres du modèle sont calibrés sur les vitesses résiduelles, les courbes d'effort et la propagation de fissure. Les résultats permettent d'obtenir une meilleure compréhension des différents pics d'effort. La simulation EF prédit les déformées mesurées jusqu'à quelques instants avant la rupture.

Ce modèle numérique de perforation est utilisé pour une extension de la présente étude à des grandes vitesses de perforation (entre 100 et 1000 m/s). Il est observé qu'il existe deux types de transition entre différents modes de perforation. La première transition est le passage d'un mode de perforation par pétalisation vers un mode par fragmentation des pétales. La deuxième transition est le passage vers un mode de fragmentation de la cible sans propagation de fissure ni pétalisation. Ces

transitions sont identifiées via l'analyse de la propagation des ondes de choc sur le modèle EF et à l'aide d'une approche analytique proposée dans ce travail.

CM-07-1009

Modélisation autocohérente des matériaux hétérogènes élasto-viscoplastiques : une approche à champs translétés

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-1009

C. Mareau ¹, S. Berbenni ².

¹Arts et Métiers ParisTech - Angers (France), ²LEM3, UMR CNRS 7239, Université de Lorraine - Metz (France).

La méthode autocohérente [1] est un des outils permettant de faire le lien entre les mécanismes de déformation à l'échelle locale et le comportement macroscopique effectif. Si la méthode autocohérente a été initialement développée pour des comportements locaux linéaires, des extensions ont été proposées pour différentes classes de comportements non-linéaires : élastoplasticité [2] et viscoplasticité [3].

Dans le cas de l'élastoviscoplasticité, des difficultés supplémentaires apparaissent à cause des différents ordres de dérivation dans la loi de comportement. Une des solutions consiste à recourir aux techniques à champs translétés introduites par Paquin et al. [4] pour s'affranchir de ces difficultés. Dans ce travail, un modèle autocohérent à variables internes est développé en suivant une démarche similaire à celle de [4]. Néanmoins, à la différence de la formulation sécante de [4], le modèle repose sur une linéarisation affine de la loi d'écoulement viscoplastique. La validation du modèle est réalisée en comparant les résultats de calculs effectués sur des polycristaux à des solutions de référence déterminées par la méthode FFT pour différents chargements thermomécaniques (traction, cyclique, fluage). La comparaison montre que la formulation affine proposée conduit à une description du comportement macroscopique plus proche de la référence que celle obtenue à partir de la formulation sécante de [4] (figure 1). Aussi, comparativement à la formulation sécante, l'état de contrainte-déformation à l'échelle des grains est plus conforme aux prévisions de la méthode FFT avec la méthode affine.

[1] Kröner, E., 1958. Zeitschrift Fur Physik 151, 504.

[2] Hill, R., 1965. *J. Mech. Phys. Solids* 13, 89-101.

[3] Hutchinson, J.W., 1976. *Proceedings of the Royal Society of London A* 348, 101-127.

[4] Paquin, A., Sabar, H., Berveiller, M., 1999. *Archive of Applied Mechanics* 69, 14-35.

CM-07-1015

Écoulement de pentagones non frottant

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-1015

E. Azema ¹, F. Radjai ¹, J.N. Roux ².

¹LMGC Université Montpellier 2 - Montpellier (France), ²Ifsttar Laboratoire Navier - Marnes La Vallée (France).

Les systèmes désordonnés de grains non frottant représentent l'archétype des matériaux amorphes constitués d'un ensemble de particules insensibles à l'agitation thermique, avec des interactions de très courtes portées comme les suspensions concentrées mais aussi certains verres. Par simulations numériques discrètes, on s'intéresse aux propriétés macroscopiques et microstructurales de systèmes granulaires cisailés composés de pentagones réguliers non frottant, en variant systématiquement le nombre inertiel I . Loin de n'être qu'une simplification numérique, un empilement de grains non frottant peut être (dans une certaine mesure) assimilé à une pâte granulaire dense où le seul effet du fluide est d'introduire des interactions de lubrification entre paires de grains proches. Nous montrons que, même en absence de frottement local, les systèmes possèdent un frottement macroscopique lequel augmente avec I , alors que la compacité décroît. A l'échelle microscopique, nous montrons que l'anisotropie géométrique (liée au réseau de contact) et celle des chaînes de forces, ne contribuent pas de manière égale au frottement global. En particulier, l'anisotropie des chaînes de forces domine aux faibles I (principalement due aux contacts face-face), alors que l'anisotropie géométrique prévaut aux plus grandes valeurs (due à la perte de connectivité des particules). Mais de manière intéressante, l'augmentation du frottement macroscopique résulte essentiellement de l'augmentation de l'anisotropie géométrique.

AF-07-1017

CARACTERISATION D'UNE STRUCTURE ENTAILLEE LONGITUDINAL SOUS PRESSION EN ACIER P264GH

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-1017

H. Moustabchir ¹, Z. Azari ², S. Hariri ³.

¹ESIM-FST-Errachidia- UMI - Errachidia (Maroc), ²LaBPS-ENIM-Metz-UPV - Metz (France), ³DTPCIM-ENSM-Douai - Douai (France).

Résumé :

Le phénomène de rupture est un événement dont la prise en compte est d'importance cruciale, de toute évidence, pour les problèmes liés à la sécurité des constructions. Il est donc important de caractériser expérimentalement les matériaux, à savoir le module d'Young, la limite d'élasticité et la ténacité ou la résistance à la rupture.

Cet article présente les techniques expérimentales de caractérisation d'une structure de type pipe, pour évaluer sa fiabilité et la technique numérique par la méthode des éléments finis.

Nous avons réalisé des essais statiques de traction, des essais dynamiques Charpy (Tenacite), des essais nous pression.

L'objectif de cet article est de calculer le Facteur d'Intensité de Contrainte par la méthode volumétrique dans le domaine élastoplastique et déterminer la ténacité réalisant un essai de Charpy.

Abstract :

The phenomenon of rupture is an event whose taking into account is of crucial importance, obviously, for the problems involved in the safety constructions. It is thus

important to characterize materials in experiments, namely the Young modulus, the elastic limit and tenacity or the rupture strength.

This article presents the characterization experimental techniques of a structure of the pipe type, to evaluate its reliability.

We carried out tests traction statics, dynamic tests Charpy (Tenacity), hardness tests, pressure test.

The objective of this article is to calculate the stress intensity factor by the volumetric method in the elastoplastic field, to determine tenacity carrying out a test of.

CM-07-1028

Caractérisation du comportement non linéaire de réfractaires flexibles en utilisant la corrélation d'images et le recalage par éléments finis

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-1028

Y. Belrhiti ¹, O. Pop ², A. Germaneau ³, J.C. Dupré ³, P. Doumalin ³, M. Huger ¹, T. Chotard ¹.

¹Science des Procédés Céramiques et Traitements de Surface (SPCTS UMR CNRS 7315) - Limoges (France), ²Groupe d'Etude des Matériaux Hétérogènes (GEMH) - Limoges (France), ³Institut Pprime, CNRS - Poitiers (France).

La flexibilité des matériaux réfractaires, définie comme leur aptitude à la déformation avant la rupture, est un paramètre essentiel à l'amélioration de leur tenue aux chocs thermiques. Cette propriété peut être développée en modifiant la microstructure du matériau. En effet, dans le cas du titanate d'aluminium (TiAl₂O₅), la maille orthorhombique confère aux grains une dilatation thermique anisotrope selon les trois axes cristallographiques et conduit à une microstructure microfissurée après frittage. Ce réseau de microfissures va engendrer, lors d'une sollicitation mécanique, un comportement mécanique non-linéaire. Ce dernier permet d'augmenter de manière significative la valeur de la déformation à rupture de ces matériaux, leur attribuant une flexibilité indispensable pour, par exemple, mieux résister à des chocs thermiques sévères. La caractérisation mécanique actuelle de ce type de comportements est obtenue en utilisant les techniques classiques qui sont valides pour les matériaux dont le comportement est purement élastique linéaire. C'est pour cette raison que l'apparition des méthodes optiques de mesures de champs est considérée comme une solution qui permettra une caractérisation mécanique optimale de ce type de matériaux.

Le travail présenté ici est consacré à l'étude de ce comportement non linéaire du TiAl₂O₅ grâce à des essais de flexion quatre-points associés à la technique de corrélation d'images numériques pour déterminer les champs cinématiques de déplacements et de déformations. Cette méthode optique sans contact permet de mesurer le degré de similarité entre l'image déformée et celle de référence. Les

champs mesurés seront comparés avec les champs simulés en utilisant la méthode de recalage par éléments finis. Cette méthode permet la détermination des propriétés élastiques du matériau.

Les champs de déformations expérimentaux mettent en évidence le caractère dissymétrique du comportement mécanique en flexion du TiAl_2O_5 entre les efforts de traction et de compression. Comme conséquence de cette dissymétrie, la position de la fibre neutre va se déplacer au fur et à mesure que la charge appliquée augmente. Enfin, à partir des champs de déplacements obtenus par corrélation d'images, la méthode de recalage par éléments finis a été développée et utilisée pour identifier l'évolution des propriétés élastiques du matériau pendant l'essai en utilisant une loi de comportement non linéaire.

CM-07-1044

Estimation des contraintes locales dans un monocristal d'acier austénitique par micro-diffraction Laue et EBSD à haute résolution angulaire

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-1044

E. Plancher ¹, L. Saintoyant ², D. Loesnard ², J. Stodolna ², E. Bosso ², J.B. Marijon ³, J. Petit ⁴, O. Robach ⁵, N. Rupin ², V. Favier ³, C. Maurice ⁶, O. Castelnau ³.

¹Arts et Métiers ParisTech / EDF / Ecole des mines de Saint-Etienne - Paris (France), ²EDF - Moret-Sur-Loing (France), ³Arts et Métiers ParisTech - Paris (France), ⁴Université Paris Ouest - Paris (France), ⁵CEA - Grenoble (France), ⁶Ecole des mines de Saint-Etienne - Saint-Etienne (France).

L'étude mécanique des polycristaux à l'échelle du grain s'est fortement enrichie des mesures de champs de déformations totales par corrélation d'image. Aujourd'hui, les techniques de diffraction permettent également de mesurer les déformations élastiques, donnant ainsi accès à l'état local des contraintes [1]. Ces mesures restent cependant sujet à de nombreux artefacts qui tendent à surestimer les contraintes présentes dans les métaux, en particulier s'ils sont déformés plastiquement [2,3].

Dans ce travail, la précision des mesures de déformations élastiques par micro-diffraction Laue [4] et EBSD à Haute Résolution angulaire (HR-EBSD) [3,5] est investigué. L'échantillon utilisé est un monocristal d'acier austénitique. Ce monocristal a été fléchi in-situ dans le domaine plastique, sur la ligne CEA-CNRS « BM32 » de l'ESRF. L'état de contrainte hétérogène qui se développe dans l'épaisseur de l'échantillon a été déterminé au cours de l'essai par micro-diffraction Laue. Le profil de contraintes résiduelles a ensuite été mesuré par HR-EBSD puis comparé aux données synchrotron.

La comparaison des mesures par micro-diffraction Laue et HR-EBSD montre un bon accord entre les résultats. Des écarts sur les tendances et la dispersion des mesures de certaines composantes du tenseur des déformations élastiques existent néanmoins. Ils sont attribués à la différence de profondeur de matière analysée

(~50nm en EBSD contre ~70µm en micro-diffraction Laue), à la différence de sensibilité sur les composantes de ce tenseur entre l'HR-EBSD (10^{-4}) et la micro-diffraction Laue (10^{-5} dans sa version haute résolution [5]) et à la difficulté de reproduire à l'identique les conditions géométriques entre deux acquisitions.

Les grandeurs mécaniques (limite d'élasticité, module d'écaillage) identifiées à partir des profils de contraintes mesurés par micro-diffraction Laue sont cohérentes avec les caractéristiques physiques du matériau. L'étendue des zones plastifiées (en traction et en compression) mises en évidence sur les profils de contraintes coïncide avec celle des zones couvertes de traces de glissement, observées en surface par microscopie électronique à balayage.

References

- [1] S. Villert et al., *J. Microsc.*, 2009.
- [2] T.B. Britton et al., *Ultramicroscopy*, 2010.
- [3] C. Maurice et al., *Ultramicroscopy*, 2012.
- [4] G.E. Ice and R.I. Barabash, In: *Dislocations in Solids*, Elsevier, 2007.
- [5] A.J. Wilkinson et al., *Ultramicroscopy*, 2006.
- [6] J. Petit et al., *Procedia IUTAM*, 2012.

CM-07-1065

Observation en MET in situ de la déformation plastique de fils d'aluminium sub-microniques

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-1065

M. Legros, F. Momprou.

CEMES-CNRS - Toulouse (France).

A partir d'un eutectique Al/Al₂Cu, nous avons isolé des fils d'aluminium par attaque chimique différentielle. Cette technique permet de ne pas introduire de défaut de structure ou d'irradiation qui peuvent affecter les propriétés mécaniques. Ces fils ont ensuite été déformés par microscopie électronique en transmission (MET) et à balayage (SEM) in situ pour observer l'évolution de la structure de dislocations sous contrainte. A partir de mesures de courbures de dislocations mobiles qui donnent la contrainte locale et de mesures par micro-cellules de force sur chaque fil, nous avons pu montrer pour la première fois que les effets de taille observés sur le comportement mécanique des petits mono-cristaux sont dus à l'activation de sources de dislocation spirales. Ces sources sont plus proches de la surface dans les fils les plus fins, ce qui nécessite une courbure accrue des dislocations et donc une augmentation directe de la contrainte nécessaire à la déformation plastique.

Momprou et al, *Source-based strengthening of sub-micrometer Al fibers*, Acta Materialia 2012.

CM-07-1070

Influence du trajet de chargement sur le comportement d'un matériau métallique

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-1070

K.D.B. Soho ¹, X. Lemoine ², F. Abed-Meraim ³, H. Zahrouni ¹.

¹LEM3 - Labex DAMAS - Metz (France), ²LEM3 - Arts et Métiers ParisTech - Metz (France), ³LEM3 - Arts et Métiers ParisTech - Labex DAMAS - Metz (France).

Pour la simulation numérique des procédés de mise en forme, les logiciels de calcul par éléments finis commerciaux sont parmi les plus couramment utilisés. Cependant, ces codes de calcul ont certaines limitations ; en particulier, ils contiennent essentiellement des lois de comportement phénoménologiques ne permettant pas de rendre compte des mécanismes physiques de plasticité qui ont lieu à des échelles plus fines ainsi que de l'évolution de la microstructure. Dans ce contexte, on se propose de coupler le code de calcul Abaqus et LAM3 avec des simulations micromécaniques basées sur la plasticité cristalline et un schéma de transition d'échelles autocohérent [1].

Cette stratégie de couplage [2] sera appliquée à la simulation du procédé de laminage afin d'estimer l'influence du trajet de chargement sur l'évolution des caractéristiques mécaniques. Le suivi de certains trajets de déformation, sélectionnés au cours du procédé de laminage, permettra également de prédire l'évolution de la texture du matériau ainsi que d'autres paramètres liés à sa microstructure. Nos résultats numériques seront comparés aux données expérimentales sur des aciers ferritiques fournis par Arcelormitall.

Références :

[1] P. Lipinski and M. Berveiller, "Elastoplasticity of micro-inhomogeneous metals at large strains," *Int. J. Plast.*, vol. 5, no. 1, pp. 149–172, 1989.

[2] S. R. Kalidindi and L. Anand, "An approximate procedure for predicting the evolution of crystallographic texture in bulk deformation processing of fcc metals," *Int. J. Mech. Sci.*, vol. 34, no. 4, pp. 309–329, 1992.

AF-07-1081

MAINTENANCE PREDICTIVE ET PREVENTIVE BASEES SUR L'ANALYSE VIBRATOIRE DES ROTORS

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-1081

A. Boukhoulda.

Laboratoire De Recherche Mécanique Des Structures Et Des Solides Université Djilali Liabès de Sidi Bel-Abbès Faculté des sciences de l'ingénieur - Sidi Bel Abbes (Algérie).

Les pannes imprévues sont quelques fois très coûteuses. La perte de production pendant les réparations engendre un manque à gagner qui peut affecter les bénéfices de l'entreprise. Il devient évident que de telles pannes ne doivent pas être tolérées. Pour régler ce problème, on utilise la maintenance conditionnelle (analyse vibratoire). L'analyse vibratoire est un des moyens utilisés pour suivre la santé des machines tournantes en fonctionnement. A partir des vibrations régulièrement recueillies sur une machine tournante, l'analyse vibratoire consiste à détecter d'éventuels dysfonctionnements et à suivre leur évolution dans le but de planifier ou reporter une intervention mécanique. Pour que la maintenance conditionnelle soit efficace, il faut des mesures précises et fiables de l'état des machines. Un certain nombre de variables des machines peuvent être utilisées : la température, la pression d'huile. Cependant, l'expérience a montré que le paramètre le plus fiable qui donne le plus précocement et de la meilleure façon l'état de détérioration d'une machine tournante est la vibration. Toutes les machines vibrent et, au fur et à mesure que l'état de la machine se détériore (balourd, défaut de roulement ou de palier etc...) le niveau de vibration augmente. En mesurant et en surveillant le niveau de vibration produit par une machine, on obtient un indicateur idéal sur son état. Si l'augmentation de vibration de la machine permet de détecter un défaut, l'analyse des caractéristiques de vibration de la machine permet d'en identifier la cause. On peut ensuite en déduire avec précision le délai avant qu'il ne devienne critique. Notre travail est consacré à l'étude du comportement vibratoire des machines tournantes, avec une application de la maintenance prédictive et préventive.

AF-07-1086

Une formulation incrémentale pour le calcul du comportement viscoélastique du bois sous humidité variable

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-1086

O. Saifouni, S.L. Nguyen, R. Moutou Pitti, J.F. Destrebecq.

Clermont Université, Université Blaise Pascal, Institut Pascal - Clermont Ferrand (France).

Le bois possède une particularité présentée par sa nature hygroscopique et son caractère différé. Dans ce travail, une nouvelle formulation viscoélastique incrémentale en relaxation basée le modèle de Maxwell à paramètres variant en fonction de l'humidité est développée. Une deuxième méthode pour le calcul des contraintes viscoélastiques sous humidité variable, basée sur le principe de superposition de Boltzmann, est rappelée (Fig 1). Cette méthode est exacte mais elle est coûteuse en terme de temps de calcul et de mémoire de stockage.

Un exemple d'application des deux méthodes sur des courbes expérimentales est proposé. Un modèle de Maxwell à paramètres variables est tout d'abord identifié (Fig 2a). Les deux méthodes pour le calcul de la courbe de relaxation de la contrainte sous deux cycles d'humidité sont appliquées (Fig 3).

La comparaison des courbes (Fig 3) a montré la validité et l'efficacité de l'approche viscoélastique incrémentale proposée.

AF-07-1089

Analyse du comportement mécanique des poutres à gradient variable type FGM

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-1089

L. Hadji ¹, T. Hassaine Daouadji ¹, Y. Tlidji ¹, E.A. Adda Bedia ².

¹Université Ibn Khaldoun - Tiaret (Algérie), ²Université de Djillali Liabes - Sidi Bel Abbes (Algérie).

Dans ce papier, une théorie de cisaillement des poutres d'ordre élevé est développée pour l'analyse statique des poutres à gradient de propriétés type FGM. La théorie présentée n'exige pas des facteurs de correction de cisaillement, et donne lieu à des variations parabolique des contraintes de cisaillement transversale à travers l'épaisseur pour satisfaire les conditions des contraintes de cisaillement nulles dans les faces supérieur et inférieur de la poutre. Dans cette étude on suppose que le module de Young de la poutre varie dans le sens de l'épaisseur selon une simple loi de puissance P-FGM. Les équations d'équilibre pour la poutre FGM ont été trouvées en appliquant le principe des travaux virtuels. La solution de type Navier à été utilisé pour obtenir les résultats en terme des déplacements et des contraintes normales et de cisaillement à travers l'épaisseur de la poutre. Différentes théories de cisaillement d'ordre élevé et la théorie classique des poutres ont été utilisés. La validité de la présente théorie est montrée en comparant certains résultats obtenus avec ceux disponibles dans la littérature. Dans ce papier, une théorie de cisaillement des poutres d'ordre élevé est développée pour l'analyse statique des poutres à gradient de propriétés type FGM. La théorie présentée n'exige pas des facteurs de correction de cisaillement, et donne lieu à des variations parabolique des contraintes de cisaillement transversale à travers l'épaisseur pour satisfaire les conditions des contraintes de cisaillement nulles dans les faces supérieur et inférieur de la poutre. Dans cette étude on suppose que le module de Young de la poutre varie dans le sens de l'épaisseur selon une simple loi de puissance P-FGM. Les équations d'équilibre pour la poutre FGM ont été trouvées en appliquant le principe des travaux virtuels. La solution de type Navier à été utilisé pour obtenir les résultats en terme des déplacements et des contraintes normales et de cisaillement à travers l'épaisseur de la poutre. Différentes théories de cisaillement d'ordre élevé et la théorie classique des poutres ont été utilisés. La validité de la

présente théorie est montrée en comparant certains résultats obtenus avec ceux disponibles dans la littérature.

AF-07-1096

Rugosité 3D et l'usure des nanomatériaux frittées en service obtenus par compression isostatique à chaud

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-1096

T. Sayah ¹, K. Hamouda ¹, A. Babichev ².

¹Faculté de Génie Mécanique et Génie des Procédés U.S.T.H.B, B.P. 32 EL-Alia, Bab Ezzouar - Alger (Algérie), ²Université technique d'Etat de Rostov - Rostov (Russie, fédération de).

Cette étude a pour but de caractériser la topographie de matériaux frittés obtenus par des essais d'usure. Il s'agira dans un premier temps de s'intéresser à l'évolution de l'usure en fonction des charges appliquées et de caractériser les différentes rugosités qui se dégagent des observations AFM. Les observations de l'état de surfaces obtenues par AFM sont rarement étudiées, en raison de la complexité des phénomènes d'usure responsables de l'enlèvement de matière. La compression isostatique à chaud (CIC) est le seul procédé qui permette d'élaborer des échantillons totalement denses. A partir de poudre de Cr-Fe-Mo-Ni-Ti-W compactée de façon isostatique à froid, on obtient un échantillon en cru qui est placé dans un conteneur. Un cycle de CIC à une température de 1500°C et avec une pression d'argon de 150 MPa est alors appliqué à cet échantillon. Par ailleurs, la taille des grains des échantillons densifiés a été analysée par microscopie électronique à balayage, par EBSD. Les essais de frottements secs réalisés ont révélé la coexistence de plusieurs mécanismes d'usure : polissage des grains de carbures, abrasion, adhésion et la formation possible d'un tribofilm. Les matériaux frittés élaborés en services engendrent un état de surface (couche écrouie, état de contraintes résiduelles et rugosité) très différent de celui issu d'un essai d'usure normalisée. L'objectif est de proposer une méthodologie permettant de prédire l'amorçage de fissure de fatigue en prenant en compte les différentes caractéristiques de l'état de surface. Cette hétérogénéité consiste en un réseau dendritique (phase ductile) séparé par une dispersion inter dendritique fragile (phase-carbures et phases finement ou

grossièrement précipitées).
Les résultats obtenus seront proposées pour déterminer si les mécanismes
d'endommagement qui leurs sont associés suivent des lois de comportement
tribologique et d'établir des corrélations liant les conditions d'usure à la rugosité des
matériaux frittés étudiés.

CM-07-1107

Comportement à l'impact de matériaux composites lin/époxyde

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-1107

L. Guillaumat, S. Liang.

ENSAM - Angers (France).

Ce travail se focalise sur des matériaux à base de fibres de lin et résine époxyde soumis à des impacts faible masse. Leur comportement dynamique ainsi que leur tolérance aux dommages en compression après impact ont été étudiés. Les comportements quasi-statique et en fatigue ont été assez largement étudiés mais peu d'études concernent l'impact.

Les plaques composites en lin/époxy ont été fabriquées par thermocompression dans une presse chauffante. Les éprouvettes présentent deux séquences d'empilement différentes de type Quasi-Isotrope [0/90/45/-45]2s et [90/0/-45/45]2s.

Un impacteur de 2,044 kg avec un à embout hémisphérique de 16 mm de diamètre est utilisé. L'énergie d'impact est réglée par la hauteur de chute : 2 à 10 joules par incrément de 2 J. L'éprouvette est posée sur deux appuis cylindres de diamètre 35 mm écartés de 100 mm. Les plaques non impactées et impactées à différents niveaux d'énergie sont ensuite soumises à un essai de compression pour estimer leur résistance après impact (CAI). Des essais de flexion sont réalisés afin de comparer le comportement dynamique et quasi-statique. Des observations microscopiques ont permis d'identifier le niveau d'endommagement présent dans les différentes éprouvettes.

Tous les résultats montrent le rôle prépondérant de la raideur de la plaque. Plus celle-ci est importante et plus l'endommagement est important. La force de contact augmente également et le temps de contact impacteur – composite diminue avec l'augmentation de cette raideur. Les propriétés résiduelles suivent également cette influence.

Les essais quasi-statiques donnent des résultats très proches des impacts ce qui était attendu. La seule différence réside dans la génération, en dynamique, d'oscillations résultantes de modes propres activés par le choc.

Figure 1 Comparaison essais quasi-statique et dynamique pour 8J.

CM-07-1109

Fragmentation des particules au cours de la compaction : une approche numérique

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-1109

D.H. Nguyen ¹, É. Azéma ¹, F. Radjai ¹, P. Sornay ².

¹Université Montpellier 2, CNRS, LMGc 34095 Cedex 5 Montpellier, France - Montpellier (France), ²CEA, DEN, DEC, SPUA, LCU, F-13108 Saint Paul lez Durance, France - Cadarache (France).

Dans ce travail, nous proposons une approche numérique basée sur la méthode de Dynamique des Contacts pour simuler la fragmentation des particules au cours de la compaction. Dans cette approche, les particules sont des agrégats cohésifs de fragments polygonaux irréductibles. Le cas de la rupture d'une seule particule est utilisé pour tester la méthode, l'influence des paramètres du modèle (cohésion interne et frottement) ainsi que l'influence de la discretisation du maillage. Nous trouvons que la résistance d'une seule particule augmente à la fois avec la cohésion interne et le frottement. Nos résultats sont conformes à la distribution de Weibull avec une variabilité qui augmente avec le degré d'irrégularité du maillage. Nous appliquons ensuite notre méthodologie pour étudier la compaction oedométrique d'un assemblage de particules. Nous analysons l'évolution de la compacité, de la granulométrie et des formes des particules en fonction de la contrainte appliquée. Nous montrons que le seuil de rupture de l'assemblage granulaire se met à l'échelle avec la cohésion interne des particules, mais il dépend aussi de la distribution de la taille initiale et des formes des particules. L'évolution de la distribution de taille passe par des périodes successives de broyage intense des particules, caractérisé par des instabilités menant à l'éclatement des particules, et des périodes de faible activité de rupture. La distribution de taille des particules évolue vers une distribution en loi de puissance dans la gamme de tailles des particules intermédiaires. Fait intéressant, quelques grosses particules survivent malgré le processus de broyage continu. Cela s'explique par la répartition homogène des forces due à la présence de petites particules entourant les plus grosses. Le rapport d'aspect moyen des fragments tend vers le nombre d'argent ($\sqrt{2}$) quelque soit les formes initiales.

CM-07-1122

Simulation de l'initiation des fissures de fatigue le long des bandes de glissement persistantes

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-1122

M. Sauzay, J. Liu.

CEA - Saclay (France).

Un des mécanismes de microfissuration les plus couramment observés consiste en la localisation de la déformation sous forme de bandes de glissement persistantes (BGP), suivie de la croissance d'extrusions et enfin d'une fissuration aux interfaces entre BGPs et matrice alentour.

Ce mode d'endommagement est simulé par calculs par éléments finis cristallins. La matrice obéit à l'élasticité cristalline tandis que les BGPs dans lesquelles se localise la déformation plastique obéissent à des lois élastoplastiques cycliques. L'identification des paramètres repose sur les boucles d'hystérésis des monocristaux bien orientés de cuivre ou d'acier 316L et la mesure des fractions volumiques de BGPs.

Le taux de production de lacunes est évalué lui aussi à l'échelle des BGPs grâce aux mesures de résistivité après cyclage, avec ou sans recuit consécutif. La diffusion des lacunes vers la matrice est simulée grâce à l'équation de Fick, ce qui induit une dilatation libre croissante dans les BGPs.

Enfin, la décohésion le long des interfaces est simulée grâce à un modèle de zone cohésive. Le paramètre d'entrée essentiel est la valeur de l'énergie de rupture définie comme le double de l'énergie de surface. Cette dernière dépend du métal ou de l'alliage, de la surface considérée (plan {111}) et de l'environnement (adsorption d'oxygène ou d'eau contenus dans l'air...). Une bibliographie a permis de se baser sur des valeurs expérimentales ou issues de calculs ab-initio.

Les calculs d'extrusion mettent en évidence les effets suivants :

- croissance des extrusions beaucoup plus rapide si le vecteur de Burgers traverse la surface libre (facette de type B) du fait d'une accommodation plastique facilitée ;
- hauteur d'extrusion proportionnelle au nombre de cycles, à la longueur de la BGP, à son épaisseur, ainsi qu'au sinus de l'angle entre BGP et surface libre.

Ces résultats sont en accord avec de nombreuses observations de la littérature. Les vitesses de croissance calculées sont proches des valeurs mesurées sur cuivre et acier 316L.

Les résultats des simulations sur l'initiation des fissures donnent aussi des prédictions en bon accord avec les nombres de cycles à initiation mesurés sur ces matériaux, sous forme mono- ou polycristalline, quelle que soit la taille de grains et sous atmosphère inerte ou air.

Des formules analytiques ont été déduites de nombreuses simulations numériques basées sur une grande variété des paramètres d'entrée, permettant un usage aisé de cette modélisation.

KN-07-1123

Homogénéisation en mécanique des matériaux : quelle complexité de la microstructure pour quelles grandeurs d'intérêt ?

07 - Comportements mécaniques

#KN-07-1123

M. Sauzay ¹, J. Liu ¹, F. Rachdi ¹, T. Ghidossi ², L. Signor ², P. Villechaise ².

¹CEA - Saclay (France), ²Institut P' - Chasseneuil Du Poitou (France).

Cette étude vise à évaluer la complexité de la microstructure polycristalline nécessaire à une simulation fiable du comportement macroscopique et de la distribution des contraintes et déformations plastiques moyennes par grain.

L'étude se restreint à l'élastoplasticité cristalline et aux microstructures polycristallines d'aciers austénitiques qui présentent une forte variabilité de la taille de grains, de nombreuses macles de recuit de forme très allongées et peu de texture cristallographique.

Les deux grands types d'homogénéisation sont utilisés :

- homogénéisation à champ moyen reposant sur la solution du problème d'inclusion d' Eshelby et une hypothèse d'autocohérence utilisée lors de l'évaluation des modules macroscopiques. Les lois de localisation de Kröner et de Hill-Hutchinson sont utilisées. Le premier suppose une accommodation thermoélastique tandis que la seconde recourt aux modules élastoplastiques incrémentaux ;
- homogénéisation numérique grâce au calcul par éléments finis. Des microstructures de complexité croissante sont utilisées : grains cubiques, polyèdres à joints en escaliers, polyèdres de Voronoï à joints incurvés. Enfin, un maillage de microstructure "réelle" est utilisé. Th. Ghidossi a répété une quarantaine de fois des opérations de polissage et de mesures des orientations cristallines par EBSD afin de reconstruire une microstructure 3D pixélisée de plus de 1300 grains et possédant la plupart des caractéristiques de la microstructure expérimentale.

Les grains obéissent à des lois élastoplastiques cycliques. L'identification des paramètres repose sur des courbes d'érouissage cyclique de monocristaux.

Les résultats obtenus sont les suivants :

- la complexité de la microstructure affecte peu les courbes macroscopiques prédites. L'effet sur les distributions des moyennes par grain est aussi faible, mis à part sur les queues de distributions représentant 1% du total des grains ;
 - plus la déformation est élevée, plus la distribution des déformations plastiques par grain est resserrée, en accord avec les observations sur l'hétérogénéité des microstructures de dislocations de grain à grain ;
 - les distributions de déformations axiales évoluent de manière inverse, en accord avec les mesures de l'hétérogénéité des contraintes dans les polycristaux ;
- Enfin, sur toute la gamme de déformation, les modèles à champs moyens qui négligent les effets de grains voisins sous-estiment d'un facteur deux les amplitudes de variation des distributions.

CM-07-1153

Analyse statistique par simulations EF des champs de contraintes élastiques au sein des grains de surface de polycristaux cubiques à faces centrées et hexagonaux: implications vis-à-vis de la formation des fissures de fatigue

07 - Comportements mécaniques


#CM-07-1153

V.T. Dang, L. Signor, P. Villechaise.

Institut Pprime (UPR3346) - CNRS/ENSMA/Univ. Poitiers - Chasseneuil Futuroscope (France).

La formation des fissures de fatigue au sein des matériaux polycristallins est un phénomène piloté par les champs mécaniques locaux se développant à l'échelle des grains en surface. La microplasticité cyclique, localisée sous forme de bandes de glissement persistantes, joue un rôle essentiel. Les premiers sites d'activation de la plasticité, et donc les sites potentiels d'amorçage, résultent de l'hétérogénéité des contraintes élastiques dues à l'anisotropie élastique cristalline et à la microstructure polycristalline [1, 2]. Suivant une approche similaire à [1] (voir également [3]) basée sur des simulations numériques en champs complets (éléments finis en élasticité cristalline) et des tirages aléatoires de microstructures, les champs de contraintes élastiques sont évalués statistiquement au sein des grains de surface par classe d'orientation cristalline. Les distributions des cisssions résolues sur les différents systèmes de glissement, ainsi que les contraintes normales aux plans de glissement, sont analysées afin d'identifier les configurations cristallographiques locales qui favorisent - ou au contraire inhibent - l'activité plastique et la formation de fissure.

Les résultats ont été obtenus pour des aciers inoxydables austénitiques présentant une structure cristalline cubique à faces centrées (CFC). Le rôle de la morphologie 3D des grains, en particulier le rapport de ses dimensions en surface et en profondeur, est analysé. Les résultats sont comparés aux travaux précédents obtenus sur des microstructures 2D ou 3D simplifiées [1, 3]. La même approche est

appliquée à la phase  des alliages de titane présentant une structure cristalline hexagonale compacte (HC). Le rôle respectif de l'anisotropie élastique et celui de l'anisotropie plastique (systèmes de glissement) sont étudiés et comparés au cas des CFC. La présence de textures cristallographiques sous forme de "macrozones" [4] est prise en compte pour comprendre leur effet sur les modes d'amorçage constatés, ainsi que sur la durée de vie en fatigue et sa dispersion.

[1] M. Sauzay et T. Jourdan, *Int J Fract*, 141, 431-446, 2006.

[2] R. Brenner et al., *Int J Sol Struct*, 46, 3018-3026, 2009.

[3] Y. Guilhem et al., *Int J Fatigue*, 32, 1748-1763, 2010.

[4] F. Bridier et al., *Acta Mater*, 56, 3951-3962, 2008.

CM-07-1155

Caractérisation par nanoindentation de processus thermiquement activés dans le verre métallique massif $Mg_{65}Cu_{12,5}Ni_{12,5}MM_{10}$

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-1155

N. Thurieau, M. Laurent-Brocq, Y. Champion.

Institut de Chimie et des Matériaux Paris-Est, UMR 7182, CNRS, 2 rue Henri Dunant - Thiais (France).

Les verres métalliques massifs (VMM) ne présentant pas d'ordre à longue distance, sont caractérisés au niveau macroscopique par une rupture sans élongation plastique. L'absence de défaut susceptible de relaxer la contrainte appliquée conduit à une résistance mécanique élevée. Elle est également à l'origine, par la forte localisation de la contrainte, de la formation et la propagation de bandes de cisaillement (d'épaisseur de quelques nanomètres) conduisant rapidement à la rupture. Une meilleure connaissance des processus d'initiation de ces bandes est essentielle pour envisager l'amélioration des propriétés structurales des VMM. Ces processus sont thermiquement activés et impliquent de faibles volumes de matière (volumes d'activation) variant avec la nature et la composition du VMM.

La formation des bandes de cisaillement a été étudiée pour le verre métallique $Mg_{65}Cu_{12,5}Ni_{12,5}(Ce_{0,75}La_{0,25})_{10}$. Le matériau a été élaboré par la technique du « twin roll casting » qui consiste à laminier l'alliage en fusion entre deux roues en cuivre (refroidissement de l'ordre de 10^3 K/s), produisant une tôle d'épaisseur proche de $300\mu m$. La nature amorphe est contrôlée par DRX. Une dégradation rapide de l'état de surface avec le temps due à l'oxydation de l'alliage a été notée sur cette phase, ce qui nécessite un polissage avant chaque essai. Outre les caractéristiques mécaniques classiques telles que le module d'Young et une dureté apparente, des valeurs de volumes d'activation ont été déterminées suivant deux types de mesures : d'une part, des essais de fluage où l'on évalue la variation de profondeur à force constante ; d'autre part, des essais de relaxation où l'on impose un déplacement maximum constant et où l'on mesure la variation de la force. Les volumes d'activation mesurés ne fluctuent pas autour d'une valeur moyenne, mais sont

corrélés comme cela a été montré par Perrière et al. (*Scripta. Mat.*, 2013) dans le cas du fluage. Ce travail a permis également d'évaluer l'épaisseur d'une bande de cisaillement de l'ordre de quelques nanomètres. Les mesures et les résultats obtenus seront discutés en relation avec la structure du VMM.

CM-07-1162

Relations microstructure propriétés mécaniques de composites Aluminium / Nanotubes de Carbone

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-1162

F. Housaer ¹, F. Béclin ¹, M. Touzin ¹, A. Legris ¹, D. Tingaud ².

¹UMET / Université Lille1 - Villeneuve D'ascq (France), ²LSPM / Université Paris13 - Villetaneuse (France).

Des composites Al / NTC ont été élaborés par métallurgie des poudres, dans l'objectif d'obtenir un renforcement mécanique de l'aluminium. L'étude présentée ici a pour objectif de corréliser ce renforcement aux caractéristiques microstructurales des composites (taille de grains, structure des joints de grain....). Les échantillons ont été obtenus par différents procédés de dispersion de nanotubes de carbone dans une poudre industrielle d'aluminium puis par frittage par pressage à chaud ou par SPS. Ils ont été caractérisés par microscopie électronique à balayage et par microscopie électronique en transmission avant et après les essais mécaniques.

Trois types d'essais ont été réalisés, microdureté Vickers, small punch test et traction. La pertinence de ces essais pour caractériser le renforcement par des nanotubes de carbone sera discutée, mais l'ensemble des résultats montrent la possibilité d'améliorer la résistance mécanique de l'aluminium. L'impact des différents paramètres d'élaboration (dispersion et taux de nanotubes, températures de frittage...) sur l'optimisation des caractéristiques mécaniques a donc pu être étudié. En particulier nous avons pu mettre en évidence que pour une taille de grains de poudre d'aluminium donnée, il existe un taux optimum de nanotubes correspondant à un maximum de la résistance mécanique du composite. Les conditions de frittage (type de frittage et température) ont également un effet, tant sur le comportement mécanique que sur la présence de certaines phases intergranulaires. Enfin, le mode d'élaboration de ces matériaux nécessite un broyage de la poudre qui entraîne un affinement plus ou moins important de la microstructure. Une étude comparative avec des échantillons non renforcés a donc été menée afin de décorréliser le renforcement induits par les nanotubes et celui résultant de la diminution de la taille des grains d'aluminium.

CM-07-1173

Etude du comportement mécanique des solutions solides des alliages à haute entropie

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-1173

M. Laurent-Brocq¹, L. Perrière¹, S. Chebini¹, E. Leroy¹, X. Sauvage², A. Akhatova², Y. Champion¹.

¹Institut de Chimie et des Matériaux de Paris Est, UMR 7182, CNRS - UPE - Thiais (France), ²Groupe de Physique des Matériaux, UMR 6634, CNRS - UN - INSA - Rouen (France).

En rupture avec les approches classiques de métallurgie consistant à allier un voire deux éléments majoritaires avec de nombreux autres éléments fortement minoritaires, les alliages à haute entropie sont composés d'au moins cinq éléments en proportion environ équimolaire. De manière étonnante, on peut obtenir des solutions solides totales, sans intermétalliques ou autres phases fragilisantes. Mais quel est le comportement mécanique de cette solution solide multi-élémentaire, dont le réseau cristallin est fortement déformé ? Les mécanismes de déformation et les défauts observés dans les alliages conventionnels sont-ils toujours applicables ?

Pour contribuer à répondre à cette question, nous avons élaboré un alliage équimolaire CoCrFeMnNi par fusion par induction, puis par coulée par aspiration. Cet alliage a ensuite été caractérisé par diffraction des rayons X, microsonde électronique et sonde atomique tomographique. Un alliage monophasé a effectivement été formé mais il présente des fluctuations de composition chimique à une échelle micronique. Un traitement thermique approprié permet d'homogénéiser ces fluctuations.

Dans un premier temps, pour corrélérer les fluctuations de composition chimique au comportement mécanique, des cartographies de dureté à une échelle submicronique par nanoindentation, couplées à de l'imagerie de type AFM, ont été réalisées. On observe effectivement des fluctuations spatiales de dureté et de topographie des indents (voir fig). Dans un second temps, le comportement rhéologique a été étudié par des tests de pseudo-fluage et de relaxation effectués par nano-indentation. Ces résultats, comparés à des tests macroscopiques de multi-relaxation en compression,

permettent de déduire les volumes d'activation caractéristiques des mécanismes de déformation mis en jeu et les variations relatives de densité de dislocations.

AF-07-1207

modélisation de comportement mécanique de pate de ciment lixivieé

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-1207

M.L. Salhi, M. Mellas.

laboratoire de recherche en genie civil (LRGC) - Biskra (Algérie).

La lixiviation est l'un des plus importants phénomènes provoquant la dégradation des ouvrages en béton armé, ce phénomène affecte directement la microstructure de la pate de ciment a travers la dissolution des: CH, AFm, AFt et la décalcification de C-S-H. Tant que La portlandite (CH) est l'hydrate le moins stable, sa dissolution seule provoque une chute en grand pourcentage de la résistance mécanique de la pate de ciment. Cela nous montre ce grand rôle joué par la lixiviation de CH et son influence sur les caractéristiques mécaniques de la pate de ciment. Aujourd'hui la modélisation du comportement des matériaux cimentaires est rendue possible grâce aux progrès d'informatiques et au développement d'outils numériques puissants, qui permette un gain de temps, mais aussi une meilleure compréhension de ces phénomènes par rapport a l'expérimentale. Une modélisation 3D est appliquée en introduisant le logiciel ABAQUS (utilisé pour les calculs des propriétés mécaniques). La démarche a été appliquée pour l'étude du comportement mécanique d'une pate de ciment CEMI a E /C=0.5 sous chargement de compression avant et après la lixiviation. Les résultats des simulations sont en bon accord avec les résultats expérimentaux.

CM-07-1209

Modélisation micromécanique de l'endommagement d'un milieu cohésif-volumique ductile

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-1209

N. Blal, L. Daridon, Y. Monerie, S. Pagano.

LMGC - Montpellier (France).

Les modèles de zones cohésives sont largement utilisés dans les simulations numériques pour la modélisation des mécanismes d'endommagement et de fissuration. Dans cette étude, un modèle micromécanique d'endommagement est proposé pour un milieu 'cohésif-volumique' à comportement ductile. Un ensemble de critères théoriques et pratiques est ainsi obtenu pour la calibration des modèles de zones cohésives dans les simulations numériques.

Le principe de la modélisation consiste à remplacer une discrétisation de type éléments finis cohésifs-volumiques par un composite contenant un milieu volumique continu (avec un comportement durcissant décrit dans le cadre de la plasticité de Hencky) et une distribution aléatoire d'inclusions cohésives ellipsoïdales (avec un comportement adoucissant qui dérive de la loi retenue pour les modèles de zones cohésives). La distribution spatiale de ces inclusions doit refléter la morphologie de la discrétisation éléments finis considérée. Le comportement global équivalent associé à ce composite est ensuite obtenu par des techniques d'homogénéisation non linéaire (approche variationnelle de P. P. Castañeda). L'avantage de ce modèle est sa capacité à relier d'une façon explicite les paramètres locaux à la réponse effective du matériau, ainsi que d'exhiber l'effet du taux de triaxialité imposée sur la loi globale. A travers une analyse inverse des relations obtenues, des critères pratiques pour la calibration des modèles de zones cohésives sont proposés en fonction : i) des propriétés macroscopiques de la rupture du matériau, ii) du taux de triaxialité imposée ainsi que : iii) des caractéristiques du maillage (taille et morphologie). De fait il est possible de prédire un comportement macroscopique indépendamment de la taille de maillage.

CM-07-1220

Influence des conditions aux limites en micro-déformation in-situ - Analyse en simulation par éléments finis couplée à la simulation de la diffraction

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-1220

S. Dancette, C. Le Bourlot, N. Le Roux, G. Marty.

INSA-Lyon, MATEIS CNRS UMR5510 - F-69621 Villeurbanne (France).

Dans le cadre de l'étude du comportement mécanique des matériaux cristallins micro- ou nano-structurés (smaller is stronger), de nombreux essais sont menés à une échelle très fine (nano-indentation, micro-traction ou cisaillement , etc...). Le suivi in-situ de ces sollicitations a montré que les analyses pre- et post-mortem (traces de glissements, observations en microscopie électronique à balayage ou en transmission...) n'étaient pas suffisantes et pouvaient même dans certains cas induire en erreur sur la nature des systèmes activés [Marichal 2013]. Cependant, la réduction de l'échelle de sollicitation induit une importance croissante des effets secondaires des conditions expérimentales (léger désalignement , friction du contact ou conicité du pilier par exemple) et ces derniers deviennent parfois prédominants dans le chargement.

La présente étude vise à modéliser l'influence des conditions expérimentales sur la compression de micro-piliers monocristallins. L'utilisation d'un code éléments finis couplé à une loi de plasticité cristalline permet de simuler la déformation de l'échantillon à l'échelle des systèmes de glissement en fonction des conditions expérimentales. Le résultat est utilisé comme entrée d'un code de simulation de diffraction pour illustrer l'amplitude des écarts expérimentaux et comparer les signatures respectives des objets étudiés (systèmes de dislocations) et des imperfections expérimentales.

Réf :

[Marichal 2013] C. Marichal, H. Van Swygenhoven, S. Van Petegem, et C. Borca.
« {110} Slip with {112} Slip Traces in Bcc Tungsten ». Scientific Reports 3 (2013).
doi:10.1038/srep02547.

CM-07-1233

Influence de l'injection sur la microstructure de composites à matrice PEEK renforcée de fibres de carbone. Evolution de la microstructure au cours d'essais de traction cyclés.

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-1233

O. Guiraud ¹, J. Crevel ², C. Bellot ³, P. Latil ¹.

¹Novitom - Grenoble (France), ²Université de Toulouse - Albi (France), ³ACRDM - Tarbes (France).

Durant ces dernières décennies, les matériaux composites ont vu un très grand essor dans le domaine de l'aéronautique en vue d'alléger les structures tout en gardant de bonnes propriétés mécaniques. Les besoins en pièces de petites et moyennes tailles sont croissants. Ainsi, les procédés utilisés dans le domaine automobile pourraient être utilisés pour la fabrication de ces pièces. Cependant, ceci passe par une maîtrise et la fiabilité des procédés utilisés.

La première partie de cette étude sera axée sur la caractérisation des microstructures obtenues en faisant varier différents paramètres lors de l'injection. Aussi, les taux de fibres ainsi que leurs longueurs seront étudiés dans les pièces afin de s'assurer de leurs homogénéités spatiale et morphologique. De plus, une étude par tomographie synchrotron a permis de déterminer l'orientation tridimensionnelle des fibres dans les pièces injectées. Ces caractéristiques intrinsèques à la fabrication des pièces sont responsables des propriétés mécaniques induites par les paramètres du procédé. Ces techniques permettent d'acquérir des données utiles à la compréhension du comportement et de l'endommagement du matériau. In fine, ces mêmes données peuvent être utilisées pour l'optimisation et la validation des modèles micromécaniques.

La deuxième partie sera axée sur l'étude de l'endommagement de ces matériaux à l'aide de traction monotone ou cyclée suivie par thermographie infra-rouge. Des analyses de tomographie synchrotron in-situ ont également été réalisées sur les essais de traction cyclée afin de suivre l'évolution de la plasticité et de l'endommagement macroscopique dans le matériau.

AF-07-1235

COMPORTEMENT MECANIQUE DES PIPES EN ACIER RENFORCES PAR DES MATERIAUX COMPOSITES

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-1235

Z.E. Bennaceur.

Laboratoire de Modélisation Numérique et Expérimentale des Phénomènes Mécaniques Département de Génie Mécanique-Université Abdel Hamid Ibn Badis de Mostaganem- Algérie (MNEPM) - Mostaganem (Algérie).

Les pipes métalliques sont particulièrement sensibles aux contraintes internes et externes ou instabilité géométrique, et leur dimensionnement s'opère en ayant recours à des règles simplifiées. En effet ces pipes sont très sensibles à la moindre imperfection géométrique initiale ou de fonctionnement (charges accidentelles, températures, etc). La prise en compte des divers dommages conduits généralement à une perte de capacité portante. Afin de réserver le potentiel de charge de ces pipes, il est nécessaire de les renforcer.

Dans cette étude nous avons réalisé le renforcement des pipes en acier à l'aide de matériaux métalliques et en composites en présence des contraintes de pression. Une ou plusieurs couches de composites sont collées sur la discontinuité du pipe.

Le traitement analytique pour un tel type de problème est complexe et par conséquent nous aurons recours à la modélisation numérique à l'aide du code ABAQUS.

Les résultats montrent que la bonne orientation des fibres par rapport à l'avancée de la fissure influe d'une manière considérable sur la réduction du FIC.

Les propriétés de l'adhésion doivent être optimisées pour augmenter la performance de la réparation de pièce par rapport. La réduction du FIC prend de l'importance lorsque l'épaisseur de l'adhésif diminue.

CM-07-1236


Modélisation variationnelle et non-local d'un matériaux aléatoirement renforcé

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-1236

A. Nait-Ali.

Pprime - Poitiers (France).

En combinant convergence variationnelle (-convergence) et théorie ergodique des processus sous-additifs, nous décrivons dans un premier temps le comportement macroscopique d'un matériau aléatoirement fibré dans un cadre élastique. Les sections transversales des fibres sont aléatoirement distribuées suivant un processus ponctuel stationnaire, leur taille est d'ordre ε et la rigidité du matériau dans la matrice est d'ordre ε^p . La limite variationnelle de l'énergie quand ε tend vers 0 est déterministe et non locale. Plus précisément, on s'intéresse au comportement macroscopique d'une structure aléatoirement renforcé par des fibre longues. Pour obtenir le comportement limite de la structure complète, on commence par étudier séparément le comportement dans la matrice et dans les fibres en décrivant la limite variationnelle déterministe de chacune des fonctionnelles d'énergies. Dans notre problème, l'aléatoire intervient seulement par la position des centres de chaque fibres d étant supposées verticales. De plus la repartition est supposé ergodique, ce qui nous permet d'obtenir un modèle homogénéisé déterministe.

La fonctionnelle limite est de la forme suivante:



où u correspond au champ de déplacement dans la matrice, est v qui est une variable interne qui correspond à un déplacement "virtuel" des fibres dans la direction de ces dernières. C'est justement ce v qui non donne la non localité relative a un tel matériaux composite.

Ce travail est fait dans le cadre d'un problème élastique, il sera également traité le cas d'un modèle non-local d'endommagement.

CM-07-1267

La nanoindentation 2D : performances et perspectives ouvertes par cette évolution de la technologie

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-1267

M. Fajfrowski, V. Jardret.

michalex.com - rueil malmaison (France).

La caractérisation des propriétés mécaniques à nanoéchelle est aujourd'hui essentiellement réalisée par des essais de nanoindentation. Sauf développements de laboratoires très particuliers, cette technique ne permet pas de mesurer l'isotropie des matériaux. Nous proposons un nouvel instrument commercial reliant deux têtes de mesures permettant de mesurer les informations de force et déplacement dans deux plans perpendiculaires. Cet instrument permet de réaliser des essais quasi statiques ou dynamiques dans les deux directions. Il est ainsi possible d'accéder aux raideurs normales et latérales de contact. Une attention particulière a été portée pour minimiser les effets de cross talk (interaction) d'un axe sur l'autre, ainsi qu'à la possibilité de mesurer de très faibles modules d'élasticités, inférieurs à 100 kPa, qui sont généralement les plus intéressants en terme d'isotropie.

Des essais de nanorayage et de morphologie 3D sont également possibles, grâce à l'emploi de tables de déplacement de résolution nanométrique sur de grandes courses, supérieures aux possibilités offertes par les tables piézo traditionnelles.

Le principe général de fonctionnement ainsi que des applications sur matériaux mous et des essais de rayage seront présentées.

Figure : Evolution des raideurs normale et latérale pour une indentation sur caoutchouc à 20Hz

CM-07-1273

Modélisation du comportement mécanique d'un PET; effet de la cristallisation

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-1273

F. Gehring, J.L. Bouvard, N. Billon.

CEMEF - Sophia Antipolis (France).

Malgré les différentes approches proposées dans la littérature, la modélisation du comportement mécanique des polymères n'est pas une chose évidente. La présence de non-linéarité dans le comportement mécanique à déformation même modérée est une difficulté majeure pour proposer un modèle générale. Le comportement mécanique et la modélisation 3D d'un PET en adéquation avec sa microstructure sera discutée. Une étude expérimentale complète alliant DSC/diffraction aux rayons X/DMA/essai de traction et de cisaillement couplé à des mesures de champs de déformation et de température a été menée afin de caractériser rigoureusement le comportement thermomécanique d'un PET en corrélation avec sa microstructure. L'effet de la cristallisation sur le comportement mécanique a été étudié à différentes vitesses de déformations et à différentes températures. La modélisation du comportement a été entreprise dans le cadre de la thermodynamique des milieux continus en utilisant la loi de comportement des matériaux viscoélastiques proposé par Billon [1]. L'approche proposée s'appuie sur un concept de réseau statistique équivalent modifié afin de rendre compte de l'effet de l'évolution de la microstructure associée aux processus inélastiques prenant place dans le polymère. L'idée principale consiste à considérer que les évolutions des variables internes associées aux éléments microstructuraux qui sont perturbés par la déformation sont compensées par une relaxation de l'énergie élastique stockée en respect des règles de la thermodynamique. Le modèle de réseau choisi est celui d'Edward Vilgis et les évolutions microstructurales envisagées sont le dé-enchevêtrement et le glissement des chaînes polymères les unes par rapport aux autres. Cette approche est utilisée pour la modélisation du comportement mécanique du PET amorphe et semi-cristallin et permet de reproduire les effets viscoélastiques en utilisant un seul modèle et en utilisant un jeu de paramètre par microstructure. On discutera les évolutions de paramètres à l'éclairage d'une description aussi complète que possible de la microstructure cristalline.

[1] Billon N; 2012; New constitutive modeling for time-dependent mechanical behavior of polymers close to glass transition: Fundamentals and experimental validation; Journal of Applied Polymer Science, 125 (6) pp. 4390-4401

CM-07-1284

Friction dans les nanotubes, Carbone glissant ou Nitrure de Bore collant

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-1284

A. Nigues, A. Siria, P. Vincent, P. Poncharal, L. Bocquet.

Univ Lyon1 (France).

L'étude de la friction à l'échelle nanométrique a révélé de nouveaux comportements qui diffèrent fortement des comportements macroscopiques décrits par les lois d'Amontons-Coulomb [1,2]. Dans cette étude [3], des nanotubes multiparois sont étirés entre un diapason à quartz en configuration AFM (TF-AFM) et un nanomanipulateur. Nous comparons les réponses mécaniques de nanotubes de Carbone (CNTs) et de Nitrure de Bore (BNNTs) pendant la fracture et le glissement télescopique des parois qui s'en suit.

Nous observons que le frottement intercouche dans le cas des BNNTs isolant présente un comportement fortement visqueux qui dépend de la surface en contact alors que dans le cas des CNTs, la friction intercouche est nulle dans la précision des mesures expérimentale. Nous attribuons cette différence au caractère fortement ionique du BN qui entraîne une localisation des charges contrairement au CNTs qui a un comportement semi-métallique.

[1] Vanossi, A. Manini, N. Urbakh, M. Zapperi, S. Tosatti, E. Modeling friction: From nanoscale to mesoscale, Rev. Mod. Phys. 85 , 529 (2013)

[2] Persson, B. N. J. Sliding Friction - Physical principle and applications , 2nd ed (Springer, Berlin, 2000).

[3] A. Nigues, et al. accepted in Nature Materials

KN-07-1291

L'apport de la MET in-situ dans la compréhension des mécanismes de plasticité aux joints de grains

07 - Comportements mécaniques

#KN-07-1291

F. Mompou.

CEMES-CNRS - Toulouse (France).

Les métaux nanocristallins ont des propriétés mécaniques exceptionnelles mais les mécanismes élémentaires de déformation qui en sont responsables sont encore mal connus et leur ductilité est encore mal maîtrisée. Depuis plusieurs années, les recherches s'orientent vers des mécanismes mettant en jeu spécifiquement les joints de grains tel que la croissance de grain sous contrainte, ou le glissement intergranulaire. Bien que ces mécanismes soient suspectés depuis longtemps d'être responsables de la superplasticité de nombreux métaux et céramiques, ou de jouer un rôle dans les mécanismes de recristallisation, une meilleure connaissance de ces mécanismes est un pré-requis indispensable en vue de l'amélioration de matériaux nanostructurés que ce soit pour des applications en microélectronique (film mince) ou des matériaux de structures.

D'un point de vue expérimental, explorer ces mécanismes dans de très petits cristaux à une échelle de temps pertinente reste encore un défi. Les expériences de déformation in situ dans un microscope électronique à transmission (MET in-situ) permettent de ce point de vue de jeter un éclairage intéressant sur ces mécanismes.

Dans cet exposé, j'illustrerai plusieurs aspects de la plasticité impliquant les joints de grains à l'échelle du joint individuel (déformation à haute température de bicristaux d'Al) ou à l'échelle du polycristal (films minces à grains ultrafins). L'ensemble de nos observations ainsi que de nombreuses études indiquent clairement le rôle important du couplage entre déformation plastique et migration de joint de grains. Je montrerai que ce mécanisme est assuré par le mouvement de disconnexions (dislocations d'interface) en accord avec la simulation par dynamique moléculaire. La richesse de disconnexions dans un joint de grains donné offrent un large spectre de couplage déformation/rotation-migration, en accord avec les observations.

Refs:

Rajabzadeh, A.; Legros, M.; Combe, N.; Momprou, F. & Molodov, D. A. Evidence of grain boundary dislocation step motion associated to shear-coupled grain boundary migration *Phil. Mag.*, 2013, 93, 1299-1316

Rajabzadeh, A.; Momprou, F.; Legros, M. & Combe, N. Elementary Mechanisms of Shear-Coupled Grain Boundary Migration *Phys. Rev. Lett.*, 2013, 110, 265507

CM-07-1338

Modélisation par éléments finis du comportement mécanique d'un matériau composite soumis à l'impact à faible vitesse

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-1338

M. Djilali Beida ¹, Z. Ramdane ², O. Jaime Vina ³, A. Antonio Arguelles ³

¹Doctorant - Mostaganem (Algérie), ²Professeur - Mostaganem (Algérie),
³Professeur - Gijon (Espagne).

Le comportement mécanique d'un composite soumis à l'impact à faible vitesse a été modélisé par la méthode des éléments finis. Le composite en question est de matrice époxy renforcée par des fibres en carbone de séquence d'empilement [45/0/-45/90]s. Le composite a été soumis à l'impact à faible vitesse par de différents types d'impacteurs (Sphère, Cylindre et tronc de cône). Tous les impacteurs impactent au centre la plaque en composite. La modélisation numérique a été réalisée au moyen du logiciel LS Dyna. Le modèle Mat54 est utilisé pour la plaque laminée, tandis que le modèle Mat20 est employé pour les impacteurs. La vitesse d'impact utilisée est de 6m/s. Les déplacements, la force d'impact, l'énergie d'impact et la contrainte de Von Mises ont été représentés graphiquement en fonction du temps d'impact. Des résultats obtenus, on note que l'impacteur sphérique fourni une force d'impact maximale par rapport aux deux autres (cylindre et tronc de cône) une valeur de l'ordre de 0.035KN.

Abstract :

In this paper, the impact behavior of composite material was investigated using the LS DYNA à finite element package. The composite was made of epoxy matrix reinforced with carbon fiber of ply stacking 45/0/-45/90]s. The composite material was subjected to three different shapes of impactors (ball, cylinder, truncated cone) with the impact velocity of 6m/s. All the impactors dropped the plate at the center. The loads, the impact energy, the displacements and the Von Mises stresses were represented in a different graphs en fonction of time.

AF-07-1342

la réponse au flambement des pipes en composite hybride (Al/Carbone/epoxy) sollicités à la compression

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-1342

L. Belgacem ¹, D. Ouinas ².

¹welding and NDT research centre - Alger (Algérie), ^{2**} Laboratoire de modélisation numérique et expérimentale des phénomènes mécaniques, Département de génie mécanique université de Mostaganem - Mostaganem (Algérie).

Dans ce travail, la méthode des éléments finis est utilisée pour étudier l'effet géométrique sur le comportement mécanique des pipes en composite hybride stratifiés. Les effets de diamètre de pipe, l'épaisseur de la couche du stratifié et l'orientation des fibres, avec et sans la présence d'entailles circulaires sur le comportement au flambement sont mises en évidence. Dans ce cas la sollicitation du flambage est induite par déplacement imposé. les résultats montrent que les pipes sont plus rigide lorsque les fibres sont disposés parallèlement à l'axe de la sollicitation et que les plus grande valeurs de la charge critique sont enregistrés pour le diamètre 400mm. par ailleurs, quelque soit le rayon de l'entaille, ce le coefficient de flambement est quasiment stable pour chaque orientation correspondant aux épaisseurs variant dans la fourchette 0.1mm-0.4mm et atteint sa valeur minimale à l'angle 90° qui est nettement inférieure aux autres orientations.

CM-07-1356

Nanomécanique : analyse Raman du processus de charge, fatigue et rupture de fibres polymères synthétiques ou naturelles

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-1356

P. Colombari.

Sorbonne Universités, UPMC Paris 6, MONARIS umr8233 CNRS - Paris (France).

La spectroscopie vibrationnelle analyse directement la liaison chimique, maillon de la chaîne mécanique, toute mise en charge modifiant les modes de vibration. Les modes les plus sensibles sont les modes de très faible énergie (<200 cm⁻¹) correspondant aux mouvements d'ensemble des chaînes macromoléculaires, modes spécifiques des organisations ordonnées/cristallines et amorphes et les modes des vibreurs isolés X-H, très sensibles aux faibles modifications de leur environnement via la liaison hydrogène. Leur analyse spécifique de fibres sollicitées en charge ou allongement contrôlée permet de suivre le comportement différencié ou non des chaînes ordonnées et amorphes de fibres synthétiques (PA66, PET, PP, PBO, Kevlar) et naturelles (cheveux, soies de vers à soie ou d'araignée). Le comportement dans le processus de mise en charge (tension ou compression) informe sur la microstructure, en particulier sur sa variabilité (fibres naturelles) et les phénomènes à l'origine de la fatigue et de la rupture. Les tout récents progrès instrumentaux (filtres ULF) facilitent grandement ce type d'analyse qui jusqu'à présent demandait des temps de mesure très longs et devraient permettre une large application de cette approche.

CM-07-1359

Observation in-situ et modélisation de la plasticité dans les aciers TWIP

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-1359

S. Dancette, S. Cazottes, J. Montarsolo.

INSA-Lyon, MATEIS CNRS UMR5510 - 69621 Villeurbanne (France).

Les aciers TWIP sont des aciers austénitiques à Très Haute Résistance qui présentent un compromis exceptionnel entre résistance mécanique et ductilité. Ils ont fait l'objet d'une activité intense de recherche dans la dernière décennie, en particulier dans l'objectif d'éclaircir les mécanismes élémentaires de plasticité à l'origine de ces propriétés exceptionnelles [Bouaziz 2011]. Le rôle des macles mécaniques, qui constituent un vecteur additionnel de la plasticité, leurs interactions avec les systèmes de glissement des dislocations présentent encore des aspects obscurs : leur contribution à l'écroûissage, au développement de la texture, leur capacité à se déformer, etc...

Dans cette étude, un essai de traction sur un acier TWIP (1,1%C, 16,9 % Mn) a été mis en place in-situ dans un microscope électronique à balayage avec détecteur EBSD. Une zone d'étude de quelques centaines de microns a été suivie en EBSD depuis l'état initial jusqu'à environ 30 % de déformation. Le développement préférentiel du maclage dans certains grains, les trajets de réorientation cristalline, le développement de la mozaïcité, etc... ont pu être observés et quantifiés. Par ailleurs ces observations ont été comparées avec les résultats d'un modèle de plasticité cristalline intégrant le maclage [Dancette 2012]. Les succès et les erreurs dans les prédictions sont discutés et analysés en mettant en particulier en évidence l'influence des interactions entre grains voisins.

Références :

[Bouaziz 2011] O. Bouaziz, S. Allain, C.P. Scott et al., High manganese austenitic twinning induced plasticity steels: A review of the microstructure properties relationships, Current Opinion in Solid State and Materials Science 15 (2011) 141-168

[Dancette 2012] S. Dancette, L. Delannay, K. Renard et al., Crystal plasticity modeling of texture development and hardening in TWIP steels, *Acta Materialia* 60 (2012) 2135–2145

KN-07-1363

Prévision de l'amorçage d'une fissure interfaciale dans un matériau fragile

07 - Comportements mécaniques

#KN-07-1363

E. Martin.

LCTS - UMR 5801 - Pessac (France).

La prévision de l'amorçage d'une fissure est nécessaire pour analyser les mécanismes de fissuration des multimatériaux fragiles [1]. On s'intéresse ici à la rupture d'une interface qui intervient dans différentes situations comme l'amorçage d'un délaminage dans une structure stratifiée [2] ou l'amorçage d'une décohésion à l'interface fibre/matrice dans un matériau composite [3].

L'analyse proposée emploie un critère d'amorçage qui couple une condition énergétique et une condition en contrainte [4]. Elle est utilisée pour analyser la rupture d'un assemblage céramique brasée et caractériser l'interface rompue. Les résultats fournis par le critère couplé sont aussi comparés avec ceux issus d'une approche différente de type "zone cohésive".

[1] D. Leguillon, E. Martin. 2013. The strengthening effect caused by an elastic contrast-part I : the bimaterial case, *International Journal of Fracture*, 179:157–167.

[2] E. Martin, D. Leguillon, N. Carrère. 2010. A twofold strength and toughness criterion for the onset of free-edge shear delamination in angle-ply laminates. *International Journal of Solids and Structures*, 47:1297-1305.

[3] E. Martin, B. Poitou, D. Leguillon, J.M Gatt. 2008. Competition between deflection and penetration at an interface in the vicinity of a main crack, *International Journal of Fracture*, 151:247-268.

[4] D. Leguillon. 2002. Strength or toughness ? A criterion for crack onset at a notch, *Eur. J. Mech. A /Solids* 21:61-72.

CM-07-1376

Prédiction de structures cellulaires polymériques en mécanique des fluides numérique et étude des propriétés mécaniques.

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-1376

M. Dabo, T. Roland, C. Gauthier, P. Kekicheff.

ICS - Strasbourg (France).

Les propriétés mécaniques des mousses polymère sont principalement influencées par les propriétés du matériau constitutif (cristallinité, taux de réticulation, orientation moléculaire) et par la morphologie cellulaire. Pour étudier l'influence de ces paramètres structuraux sur les propriétés mécaniques, un modèle basé sur la mécanique des fluides numérique a été développé. Il permet de suivre l'évolution géométrique de microstructures de mousses au cours de leur élaboration, à travers la prise en compte de :

- La distribution spatio-temporelle des cellules de gaz.
- L'interaction entre deux phases fluides : le gaz dans les cellules alvéolaires modélisé comme un gaz parfait compressible et le mélange polymère modélisé par un fluide incompressible et viscoélastique. Durant le processus de fabrication, le gradient de pression existant entre les cellules de gaz et le mélange polymère régit la cinétique de croissance de ces cellules.

Un programme de simulation numérique basé sur la méthode « level set » pour le suivi des contours de cellules, et sur la méthode « ghost fluid » pour la prise en compte des discontinuités à l'interface mélange polymère /gaz a été développé. Le modèle permet d'effectuer des simulations de microstructures de mousses polymères à partir de paramètres physiques d'entrée propres au mélange polymère (masse volumique, module élastique, viscosité, tensions superficielles...) et propres au processus de fabrication (pression dans le mélange, distribution des cellules alvéolaires dans la mousse..).

Par rapport à un modèle précédemment développé par notre équipe [1] et basé sur une méthode d'approximation par champ de forces, ce modèle « fluide » apporte plus de cohérence physique mais aussi moins de dissipations numériques. Il permet de décrire les interactions entre les deux phases fluides (gaz et mélange polymère) présentes dans la région d'intérêt de la simulation.

Nous pouvons alors obtenir différents types de morphologies de microstructures avec leurs données statistiques propres (porosité, épaisseur des parois, rapport de la taille des cellules et de leurs distributions...) et, au final, mener une étude élément fini sur les propriétés mécaniques en fonction de ces différentes morphologies de microstructures.

[1] <http://hdl.handle.net/2042/52524>, M.L Dabo, T. Roland, P. Kékicheff, C. Gauthier

CM-07-1414

Cu grain boundary embrittlement by liquid Hg : micro and atomic scale modeling

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-1414

J. Colombeau, M. Bourcier, V. Aubin, T. Auger.

ECP - Chatenay-Malabry (France).

Liquid metal embrittlement (LME) is the transition from ductile to brittle fracture when a metallic material is stressed in contact with a liquid metal. In spite of decades of studies, this phenomenon is still fundamentally not well understood. In the case of intergranular fracture, one of the questions one can ask is whether it is strain or stress controlled. The particularly small level of stress and/or strain required to initiate cracking is puzzling in several cases. Modeling at intermediate scale coupled to atomic scale modeling is carried out to provide insights into the LME mechanism as well as being a step towards a predictive framework allowing a description of crack propagation.

We will first present experimental evidences of LME for the Cu/Hg couple at different scales. This is the starting point for a detailed investigation of LME at 2 modeling scales. At the microstructure scale, a crystal plasticity framework is used to model the plastic deformation in copper. The microstructure used is extracted from experimental measurements by 3D-EBSD. We will present the distribution of normal stresses at grain boundaries in such a realistic 3D microstructure as a function of strain. This gives the distribution of normal stresses ahead of a crack tip while taking into account plastic dissipation. One of the key information that can be extracted is the typical order of magnitude of stress-strain state at GB in order to constrain crack initiation models.

At the atomic scale, we have investigated the Hg induced fracture of the symmetric high energy copper $\Sigma 5(210)$ GB by density functional theory calculations. A cohesive zone model of the GB fracture will be presented made of slabs of different phases of the separation process. The relevant solid-liquid interface, Cu(210)/Hg, have been modeled using ab-initio molecular dynamics in a geometry allowing to model the effect of an additional disjoining pressure induced by nanosized capillary layer. This

will be shown to be key to drastically reduce the GB fracture resistance. The need to include such effects is strengthened by the improved match with the typical mechanical states suggested by the crystal plasticity framework.

The perspectives and the shortcomings of such an approach to LME will be discussed both from the point of view of finding a suitable fracture mechanism and from the point of view of building predictive higher scale cracking models.

CM-07-1417

Analyse expérimentale et modélisation de l'endommagement de composites à matrice métallique Fe-TiB₂ lors d'essais de cisaillement simple

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-1417

M. Dammak, M. Gaspérini, P. Franciosi.

LSPM-CNRS, Université Paris 13 - Villetaneuse (France).

Les composites à matrice métallique présentent un intérêt considérable pour l'allègement des structures si l'amélioration de leur module spécifique s'accompagne d'un bon rapport résistance/ductilité. Le développement récent et prometteur de composites à matrice en acier ferritique renforcée par des particules céramiques fragiles nécessite l'analyse de leur endommagement lors de différents chemins de chargements pour la modélisation de leur comportement mécanique et la prévision de leur formabilité.

La présente étude porte sur un nouveau composite à matrice ferritique renforcé par des particules TiB₂, soumis à des essais de cisaillement simple jusqu'à de grandes déformations plastiques monotones ou cumulées. Le composite est considéré après laminage à chaud, suivi ou non de traitement thermique fournissant, à population identique de particules, dont les textures cristallographique et morphologiques sont très marquées, deux nuances différant essentiellement par la taille moyenne de grains de la matrice.

L'analyse expérimentale par MEB-EBSD des évolutions microstructurales statistiquement représentatives a montré que l'endommagement correspond principalement à des ruptures en mode d'ouverture de particules mono ou polycristallines. Le traitement d'images par procédures numériques spécifiques a permis de quantifier son évolution avec la déformation plastique globale cumulée, ainsi que l'effet de la taille des particules et du changement de sens de sollicitation. Les résultats montrent également que l'endommagement est plus sévère pour la nuance à plus petits grains de matrice.

Pour estimer en chargement monotone les contraintes de rupture dans les particules en fonction de leur taille, en utilisant les résultats expérimentaux sur les taux et tailles de particules restant saines à divers stades de la déformation, un calcul d'homogénéisation a été utilisé. Le matériau étant de type matrice élastoplastique à renforts particuliers élastiques fragiles endommageables, une formulation de type affine pour comportement non linéaire a été retenue. Le dommage par rupture des particules y est représenté par l'apparition progressive d'une troisième phase constituée des particules rompues sous l'accroissement, avec la déformation, des contraintes supportées. Malgré les hypothèses simplificatrices utilisées dans la simulation, l'accord obtenu avec les tendances expérimentales observées montre la bonne capacité d'une telle modélisation de l'endommagement.

AF-07-1441

CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE ET RHEOLOGIQUE DES PÂTES D'ARGILES A BASE DE KAOLIN

APPLICATION A L'EXTRUSION DES PÂTES CERAMIQUES

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-1441

S. Mahi ¹, N.E.E. Boudjenane. ², M. Belhadri ³, L. Hammadi. , ⁴.

¹Doctorante - Oran (Algérie), ²MCA - Oran (Algérie), ³Professeur - Oran (Algérie), ⁴Docteur - Oran (Algérie).

RÉSUMÉ :

L'extrusion est une technique de fabrication très employée dans l'industrie, et qui reste assez mal maîtrisée dans des domaines tels que les polymères et les pâtes d'argile ou les défauts sont souvent observés pendant l'extrusion.

La détermination des propriétés physico-chimiques et rhéologiques des argiles, semble être un moyen de luttés très efficaces contre l'apparition des défauts. Elle permet d'anticiper et prévenir divers formes de déformations. La visualisation de l'écoulement lors de l'extrusion s'avère être un outil de première importance pour le mécanisme de fissuration des extrudés de pâtes d'argile.

Une extrudeuse à piston a été développée au laboratoire afin de vérifier la qualité des extrudés.

Cette étude a permis de mieux comprendre les procédés d'extrusion des pâtes d'argiles en concordance avec la caractérisation Physico-chimique et rhéologique des pâtes d'argiles à base de Kaolin dans le domaine de la céramique.

Les approches rhéologiques ont conduit à un modèle descriptif de l'écoulement de la pâte dans l'extrudeuse.

Pour étudier l'influence de la concentration volumique, on a fixé le temps d'agitation à 24 h, puis on a fait varier la concentration volumique de l'argile.

Le comportement rhéologique de ces argiles est décrit par la loi de Herschel-Buckley.

Nous avons reporté les points d'essais le kaolin pour différentes concentrations volumiques. On remarque que l'apparition du seuil dépend de la concentration en argile.

AF-07-1452

ETUDE RHEOLOGIQUE DES ARGILES UTILISEES DANS LA CERAMIQUE

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-1452

F. Merabet ¹, N.E.E. Boudjenane ², M. Belhadri ³, L. Hammadi ⁴.

¹doctorante - Oran (Algérie), ²MCA - Oran (Algérie), ³PROFESSEUR - Oran (Algérie), ⁴DOCTEUR - Oran (Algérie).

Résumé- Dans ce travail ; les études réalisées ont portés sur 3 échantillons d'argiles (A1.A2 et A3) ainsi que la barbotine utilisées dans la fabrication des carreaux céramique, au niveau de l'usine CERAMIR qui ce trouve à l'ouest algérien.

Les argiles et la barbotine ont été analysées préalablement pour la caractérisation physique et minéralogique.

Le but est d'étudier et de représenter l'influence de la concentration massique sur le comportement rhéologique de ces échantillons.

Pour ajuster la dépendance de la contrainte de cisaillement en fonction de la vitesse de cisaillement le modèle de Bingham à été choisi pour les trois argiles A1, A2 et A3. Et le modèle d'Herschel-bulkley à été choisi pour la barbotine, Pour des concentrations variantes entre 10 et 40%.

Pour des concentrations supérieure à 20% ; l'augmentation de la contrainte seuil et de la viscosité de Bingham en fonction de la concentration volumique est très remarquable pour l'argile A3.

Pour la barbotine nous avons remarqué que l'apparition du seuil dépend de la concentration en argile.

KN-07-1478

tomographie synchrotron pour l'etude de l'endommagement ductile

07 - Comportements mécaniques

#KN-07-1478

E. Maire.

mateis - Villeurbanne (France).

La tomographie aux rayons X couplée à des essais de traction in situ est apparue dans la dernière décennie comme une technique expérimentale de caractérisation apportant des informations nouvelles sur les phénomènes étudiés en mécanique des matériaux. L'endommagement ductile a par exemple fortement bénéficié de cet apport. Cet exposé expliquera comment, en montrant sur des exemples la visualisation qualitative et surtout les mesures quantitatives des phases d'amorçage de croissance et de coalescence de l'endommagement. L'exposé abordera aussi les tendances récentes d'évolution de la technique vers des images acquises à plus grande fréquence, utiles pour les ruptures plus catastrophiques, ainsi que l'imagerie synchrotron à très haute résolution pour observer de très petites cavités.

CM-07-1489

Simulation atomistique de l'irréversibilité du glissement cyclique en surface dans les métaux de type CFC

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-1489

Z. Fan ¹, M. Sauzay ², O. Hardouin Duparc ³.

¹CEA Saclay/EDX - Gif Sur Yvette/ Palaiseau (France), ²CEA Saclay - Gif Sur Yvette (France), ³Ecole Polytechnique - Palaiseau (France).

La fatigue induite par chargement cyclique est un mode d'endommagement majeur des métaux [1]. Elle se caractérise par de forts effets d'environnement et de larges dispersions des durées de vie qu'il convient de comprendre et de prédire. Les chargements cycliques induisent des glissements plastiques partiellement irréversibles qui sont une cause principale de la fissuration. Plusieurs mécanismes d'irréversibilité ont été proposés selon le matériau, la déformation cyclique, la température et les effets d'environnement.

L'objectif de cette étude est d'analyser les comportements mécaniques des marches en surface au niveau atomique afin de comprendre l'irréversibilité du glissement en surface. Les matériaux analysés sont de type cfc : aluminium, nickel, cuivre et argent.

La méthode de simulation est la dynamique moléculaire avec des potentiels de type EAM/FS (Embedded Atom Model / Finnis Sinclair) semi-empiriques adaptés à ces métaux [2-3].

Nous avons trouvé que l'annihilation de la marche est possible mais assez difficile pour des marches avec un angle obtus qui garde leurs géométries après relaxation, une force à l'ordre d'un GPa est nécessaire. Des reconstructions à la pointe des marches sont observées pour des marches avec un angle aigu, ces reconstructions peuvent induire une très forte irréversibilité pendant les chargements cycliques. D'autres mécanismes seront investigués comme l'annihilation avec une dislocation de signe opposée lors d'une charge en sens inverse. Les résultats seront comparés

à des mesures expérimentales obtenues par ailleurs par diverses techniques de microscopie [4].

Dans la suite, nous effectuerons pour comparaison des calculs ab-initio (DFT), plus limités en taille mais qui peuvent prendre en compte la réaction avec des molécules d'oxygène ou d'eau sur les marches fraîchement créées rendant l'annihilation de ces marches plus difficile.

Références:

[1] S. Suresh. Fatigue of Materials. Cambridge University Press, 1998.

[2] O. Hardouin Duparc and al. Comparison of the Intergranular Segregation for Eight Dilute Binary Metallic Systems in the $\Sigma=11'$ {332} Tilt Grain Boundary. Journal of Materials Science, 40 (2005) 3169-3176.

[3] A. Aslanides, V. Pontikis. Atomistic study of dislocation cores in aluminum and copper. Computational Materials Science 10 (1998) 401-405

[4] A. Weidner, M. Sauzay, W. Skrotzki. Experimental evaluation of the cyclic slip irreversibility factor. Key Engineering Materials 465 (2011) 223-226

CM-07-1506

Propriétés mécaniques de films minces nanostructurés sur substrat flexible sous déformation biaxiale contrôlée

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-1506

D. Faurie ¹, E. Le Bourhis ², P.O. Renault ², G. Geandier ³, P. Goudeau ², D. Thiaudière ⁴.

¹Ispm - Villetaneuse (France), ²Pprime - Poitiers (France), ³Institut Jean Lamour - Nancy (France), ⁴Soleil Synchrotron - Gif Sur Yvette (France).

La technologie des films minces est omniprésente dans les domaines de la micro-électronique flexible. La stabilité mécanique de ces structures de taille nanométrique est cruciale pour les applications. En utilisant la machine de traction biaxiale développée sur la ligne de lumière DiffAbs au synchrotron SOLEIL (fig. 1), nous avons effectué des essais sur des films minces métalliques déposés sur substrats polyimide. Des analyses de déformation par diffraction des rayons X ont été faites pendant différents essais equi-biaxiaux ou non-equibaxiaux, les déplacements des pics de Bragg étant mesurés grâce à un détecteur 2D. Les déformations dans le film mince sont confrontées ensuite aux déformations macroscopiques mesurées par corrélation d'image numérique en surface du substrat. Dans cet exposé, nous présenterons des résultats sur le comportement de films composites W/Cu, avec notamment une représentation de la surface de charge [1]. Puis nous montrerons comment nous mesurerons des figures de pôles de déformations (fig. 2) de films ultra-minces [2].

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

[2] G. Geandier, D. Faurie, P.-O. Renault, D. Thiaudière, E. Le Bourhis, *J. Appl. Cryst.* **47**, 181-187 (2014)

CM-07-1507

Étude et modélisation du comportement mécanique de panneaux de structure soudés par friction-malaxage (FSW)

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-1507

X. Truant.

ONERA - Châtillon (France).

Dans un but de réduction de masse des avions, l'ONERA travaille sur une méthode d'assemblage alternative au rivetage, le soudage friction-malaxage (FSW). Ce procédé de soudage appliqué à un alliage d'aluminium à durcissement structural (2198-T8) entraîne d'importantes modifications microstructurales du fait des gradients thermiques et des effets de malaxage de la matière au niveau de l'outil tournant. Dans l'optique de dimensionner des structures soudées par FSW, il est primordial de connaître l'impact de ces modifications sur les propriétés mécaniques en traction et en fatigue de l'assemblage. L'objectif de cette étude consiste à proposer une modélisation du comportement mécanique non linéaire et anisotrope du matériau, dans et au voisinage de la zone soudée. Expérimentalement, des éprouvettes contenant des joints soudés orientés perpendiculairement à l'axe de sollicitation ont été soumises à des chargements monotones et cycliques. L'exploitation de la corrélation d'images permet la mesure de champs de déplacements locaux (Fig. 1), et ainsi de remonter au gradient des propriétés mécaniques (Fig. 2). Enfin, un modèle de comportement mécanique non linéaire à gradient est proposé de façon à reproduire les résultats expérimentaux observés.

AF-07-1512

Signature de la transition de phase sur les constantes élastiques de films d'alliages AlCrN

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-1512

T. Pham ¹, D. Faurie ², P. Djemia ², L. Belliard ³, E. Le Bourhis ¹, P. Goudeau ¹, F. Paumier ¹.

¹Pprime - Poitiers (France), ²LSPM-CNRS - Villetaneuse (France), ³INSP - Paris (France).

Les propriétés élastiques de films d'alliages nitrurés $Al_{(1-x)}Cr_{(x)}N_{(y)}$ de quelques centaines de nanomètres ont été étudiés par des méthodes acoustiques telles que la spectroscopie Brillouin et l'acoustique picoseconde. Les modifications structurales, notamment le passage de la phase hexagonale à la phase cubique face centrée en fonction de la teneur x en Chrome ont été révélés à travers une transition nette détecté à $x = 0,4$. La plupart des compositions sont sous-stoechiométriques en azote ($y < 1$). Cependant, ce paramètre ne semble pas jouer un rôle primordial dans cette transition. Les vitesses acoustiques qui ont été obtenues par spectroscopie Brillouin et acoustique picoseconde ont montré une transition nette de la phase hexagonale à la phase cubique. Cette transition brutale contraste avec l'évolution monotone de la densité et donne ainsi une modification importante des constantes élastiques C_{33} et C_{44} (plusieurs dizaines de % de variation) (Figure 1) [1].

[1] T. Pham, D. Faurie, P. Djemia, L. Belliard, E. Le Bourhis, P. Goudeau, F. Paumier. "Phase transition signature on elastic constants in $Al_{1-x}Cr_xN_y$ ternary alloys thin films". **Applied Physics Letters** **103**, 041601 (2013)

AF-07-1522

Etude de l'influence de la vitesse de cisaillement sur les propriétés mécaniques et rhéologiques du PE ET PP

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-1522

H. Bonnefoy, S. Buet, W.F. Ahmed.

LISM - Charleville-Mezières (France).

L'étude réalisée a pour objectif de réduire le temps de cycle d'une machine spéciale d'injection afin d'atteindre une cadence de production de 150 tubes par minute.

La réalisation de cet objectif est obtenue en agissant principalement sur la conception et sur la thermique du moule ainsi que sur la réduction des épaisseurs des parois du tube injecté. De plus, une diminution du seuil d'injection est imposée pour des questions de design.

Toutes ces contraintes vont générer des vitesses de cisaillement très élevées, préjudiciables à la qualité des pièces injectées en PE et PP. Une batterie d'essais est déployée afin de caractériser les propriétés de ces polyoléfinés et de vérifier leur capacité à remplir les fonctions requises du tube.

Après l'injection d'éprouvettes sous différentes conditions de vitesse et de température, la caractérisation des propriétés mécaniques, thermiques et rhéologiques a été conduite. Suite aux premiers résultats, une étude complémentaire sur la répartition des masses molaires a été entreprise.

Afin de vérifier la détérioration dans le temps, les éprouvettes et tubes injectés sont soumis au test de stress cracking sous différentes conditions afin de déceler l'apparition de fissures.

Ce type de défaut est rédhibitoire pour le tube, causant ainsi une perte d'étanchéité au niveau de la partie filetée.

Malgré ces conditions drastiques d'injection, tous les résultats montrent que les propriétés du PE et PP ne sont pas significativement modifiées.

KN-07-1571

High Performance pure Ti and Ti-6Al-4V alloy by Creation of Harmonic Structure Design

07 - Comportements mécaniques

#KN-07-1571

G. Dirras ¹, S. Kumar Vajpai ², K. Ameyama ², T. Watanabe ², M. Ota ², D. Tingaud ¹, H. Couque ³.

¹Université Paris 13 - Villetaneuse (France), ²Ritsumeikan university - Kusatsu (Japon), ³Nexter Munition - Bourges (France).

In the present work, a new tailored heterogeneous microstructural design with a specific topological distribution of fine and coarse grained areas, called “harmonic structure”, has been proposed for the strengthening of pure Ti and Ti-6Al-4V alloy to achieve improved performance of the components in service. It has been demonstrated that both materials with harmonic structure can be successfully prepared via a powder metallurgy route consisting of controlled severe plastic deformation of pure and pre-alloyed powders via mechanical milling followed by their consolidation. These resulting compact with harmonic structure design exhibited significantly better strength and ductility, under quasi-static loading conditions, as compared to their homogeneous fine and coarse-grained counterparts.

In addition to quasi-static tensile loadings, pure Ti samples were tested in compression using a direct impact Hopkinson bars, at velocities in the range 12 - 50 m/s, (initial strain rate from 3×10^3 to $1,5 \times 10^4$ s⁻¹). The microstructure evolutions were analyzed by electron backscattering diffraction (EBSD). In conventional Ti microstructure adiabatic shear bands (ASBs) were observed, whose microstructure is made of equiaxed ultrafine grains (UFG, approximately 850 nm). In the ASBs a high fraction of boundaries with misorientation around 65° were observed. The harmonic counterpart displayed intensive mechanical twinning (both compression and tensile twins) in the core while conventional plasticity dominated in the UFG shell. Nevertheless, at high velocities (about 20 m/s) twinning was no more observed meanwhile a strong [0001] fiber developed. Overall, it was found that the harmonic structure design has the ability to promote the uniform distribution of strain during plastic deformation, leading to improved mechanical properties by avoiding localized plastic instability.

CM-07-1572

Comportement mécanique sous sollicitation dynamique de l'alliage réfractaire à haute entropie de mélange Ti₂₀Zr₂₀Nb₂₀Hf₂₀Ta₂₀

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-1572

G. Dirras ¹, T. Chauveau ¹, D. Tingaud ¹, J.P. Couzinié ², I. Guillot ², P. Loic ², Y. Champion ², H. Couque ³.

¹LSPM, CNRS - Villetaneuse (France), ²ICMPE - Thiais (France), ³Nexter Munitions - Bourges (France).

Une nouvelle classe d'alliages réfractaires dits à haute entropie de mélange (HEA : high Entropy Alloys) ont été élaborés par fusion à arc électrique. En particulier, la nuance de composition équimolaire Ti₂₀Zr₂₀Nb₂₀Hf₂₀Ta₂₀ a été obtenue, qui cristallise dans une structure cubique centrée. Le comportement mécanique a été étudié en compression pour des vitesses de déformation dans la gamme 10⁻⁵s⁻¹ à 10³s⁻¹. Les sollicitations en régime dynamique étant réalisées par impact direct aux barres de Hopkinson. L'évolution de la contrainte d'écoulement avec la vitesse de déformation se singularise de celui des alliages classiques par la quasi-absence de transition entre le régime thermiquement activé ayant généralement lieu aux alentours de 10³s⁻¹ pour les métaux et alliages conventionnels. Les mécanismes de déformations sous-jacents ont été caractérisés par EBSD et par DRX. En particulier, l'analyse des spectres de diffraction montre un élargissement des pics lié à une diminution de la taille des domaines cohérents de diffraction. Les spectres indiquent également le développement d'une nouvelle phase cristalline pour les échantillons déformés dans le régime dynamique. Dans le même temps, la texture orthotrope de l'état initial évolue très nettement vers une texture de fibre pour les échantillons déformés en régime quasi-statique puis vers une texture de composante cube synonyme d'une restauration/recristallisation ayant lieu pendant la déformation dynamique. Les mécanismes possibles à l'origine de ces évolutions sont discutés.

AF-07-1575

Characterization of bulk bimodal polycrystalline nickel deformed by direct impact loadings

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-1575

G. Dirras ¹, F. Momprou ², D. Tingaud ¹, H. Couque ³, J. Gubicza ⁴.

¹Université Paris 13 - Villetaneuse (France), ²CEMES - Toulouse (France), ³Nexter Munitions - Bourges (France), ⁴Eotvos Lorand University - Budapest (Hongrie).

preparation of microstructures with improved mechanical properties, including alloying, grain refinement and design of bimodal or multimodal grain structure. Most often, the mechanical properties of these materials are measured under quasi-static conditions. However, due to more and more demanding and complex performances for structural materials, they need to be studied under various loading conditions and environments. Indeed, the increment in strain rate has a crucial impact on the deformation mechanisms and the mechanical properties of conventional materials. In practice, high strain rate deformation occurs during impact loading and high speed machining.

Spark plasma sintering of a blend of powders with nanometer and micrometer sized particles yielded to a composite-like nickel microstructure consisting of ultrafine-grained (UFG) and coarse-grained (CG) volumes with the fractions of 36% and 64%, respectively. Microstructure evolution and nanohardness distributions of specimens submitted to impact loading at various velocities between 12 and 50 ms⁻¹ were determined. At a velocity of 12 ms⁻¹, cracks were formed in the UFG regions but they were stopped by the CG entities. Higher velocities resulted in crack-free microstructures and considerable grain fragmentation within CG regions. X-ray line profile analysis investigations showed a decrease of mean crystallite size from ~104 (initial state) to ~41 nm (highest velocity). The dislocation density first increased up to 20 ms⁻¹ then it decreased considerably with increasing impact velocity, indicating recovery in the microstructure due to the conversion of plastic work into heat. Accordingly, the average nanohardness decreased with increasing the velocity from 20 to 31 ms⁻¹. No difference between the microstructures impacted at 31 and 50 ms⁻¹ was observed.

CM-07-1586

Effet d'interaction entre cavités voisines au cours de l'endommagement sous décompression de gaz d'un élastomère

07 - Comportements mécaniques

#CM-07-1586

O. Kane Diallo, S. Castagnet, A. Nait-Ali, J.C. Grandidier.

Institut Pprime - Poitiers (France).

Un polymère exposé à un gaz diffusant peut s'endommager par cavitation et/ou fissuration lorsque le gaz présent au sein du polymère s'expande plus rapidement qu'il ne peut désorber hors du matériau. Cet endommagement se rencontre dans des pièces de transport et d'étanchéité, thermoplastiques et élastomères. Ce phénomène est connu depuis longtemps mais peu de travaux existent pour caractériser in-situ et prédire cette cavitation en conditions diffusio-mécaniques couplées, a fortiori dans l'hydrogène.

L'étude concerne les élastomères, et plus précisément un EPDM (éthylène-propylène diène) transparent soumis à de la diffusion d'hydrogène. Sous décompression seule, l'endommagement se traduit par la nucléation et la croissance de populations de cavités sphériques allant jusqu'à des diamètres de 300 μm . L'objectif central est de comprendre comment évolue la statistique du champ de cavités au cours du temps et dans quelle mesure la présence des premières cavités influence l'apparition des suivantes. L'influence de la vitesse de décompression est également étudiée.

Les échantillons (30x8x2mm) sont saturés en hydrogène puis décomprimés dans une enceinte sous pression d'hydrogène montée sur une machine de traction ($P_{\text{max}} 40 \text{ MPa}$, $T_{\text{max}} 150^\circ\text{C}$). Une fenêtre optique insérée dans la porte de la chambre permet d'acquérir des images au cours de la décompression. Plusieurs essais sont réalisés à différentes vitesses de décompression (de 2,5 à 15 MPa/min) à partir d'une pression de saturation de 4 MPa. Les images sont ensuite traitées puis analysées pour accéder à l'évolution au cours du temps du nombre de cavités, de leur fraction surfacique, de leur distribution de taille, de leur croissance et de la

chronologie d'apparition de populations successives. Pour chaque essai, les covariogrammes d'images échantillonnées au cours du temps sont construits selon la largeur et la hauteur de l'échantillon. Ils permettent notamment de suivre la distance de corrélation et la distance de répulsion. Une double échelle de cavités est ainsi mise en évidence.

Pour mieux comprendre ces effets d'interaction à l'échelle de deux cavités voisines, un modèle numérique 3D a été développé en parallèle. Il permet de décrire la croissance d'une cavité ou de deux cavités voisines en conditions diffuso-mécaniques couplées.

Ce travail s'inscrit dans le cadre du programme « Investissements d'avenir » portant la référence ANR-11-LABX-0017-01 pour le laboratoire d'excellence INTERACTIFS.

AF-07-1651

Study of parameters affecting the bond behavior of beams strengthened by near surface mounted NSM

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-1651

A. Merdas ¹, B. Fiorio ², N.E. Chikh ³, A. Messai ¹.

¹univ Sétif 1, département de génie civil - Sétif (Algérie), ²L2MGC, University of Cergy-Pontoise, - Cergy Pontoise (France), ³LMDC, univ Constantine 1 - Constantine (Algérie).

The Near Surface Mounted (NSM) technique has been used in recent years for the strengthening of reinforced concrete beams. It involves the insertion of strips or rods of carbon fibers reinforced polymers (CFRP) in grooves made previously in the concrete cover of corresponding surfaces, filled with epoxy adhesive for fixation. In order to characterize the laminate and rods to concrete bond behavior, an experimental work based on pullout-bending tests was carried out. The pullout load on the composite and the slip at the free and loaded ends were measured. The influence of the following parameters has been considered: a) Type of concrete: two ordinary concretes (C30, C50) and one high performance concrete (C75); b) Bond length L_b : 120mm, 80mm and 40 mm; c) Type and configuration of the reinforcement: smooth carbon rod (SCR) and smooth carbon plate (SCP). Two configurations were considered for the last reinforcing technique: plate fully inserted in the groove (SCPF). Plate partially inserted in the groove (SCPP). The influences of these parameters on the bond behavior between the three materials (concrete, epoxy adhesive and CFRP) were evidenced and compared.

AF-07-1656

Effect of the weathering on the viscoelastic behavior of LDPE films.

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-1656

N.E.H. Benmiloud, M. Sebaa, S.F. Chabira.

Amar Telidji university - Laghouat (Algérie).

Low density polyethylene is commonly used for greenhouses covering. The mechanical characterization was performed with a tensile test machine on polyethylene film samples picked up regularly through the total duration of the aging protocol. Young's modulus, elongation at break, tensile strength are the different greatnesses have been followed for different states of aging (0 to 6 months). The viscoelastic behavior of LDPE was carried out on an apparatus creep for different states of aging. It is observed that different deformation zones of different flow; such as instantaneous deformation, viscoelastic and plastic deformation decreases with aging.

AF-07-1692

CONTRIBUTION A L'ETUDE DU COMPORTEMENT ET DE LA PERFORMANCE DES POUTRES EN BETON ARME ET EN CHARPENTE METALLIQUE (CARACTERISATION DE SECTIONS EN B.A. EN UTILISANT LES CARACTERISTIQUES REELLES ET CELLES ADOPTÉES PAR DEUX CODES BAEL ET CP110

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-1692

M. Boutlikht ¹, M.L. Samai ², M.T. Benhassine ².

¹université de setif - Batna (Algérie), ²université de constantine - Constantine (Algérie).

Résumé

La comparaison entre le béton armé et la charpente métallique a fait l'objet de plusieurs études et a porté essentiellement sur l'économie et les conditions pratiques d'utilisation en fonction de la nature de l'ouvrage à réaliser.

L'objet du présent travail porte sur la performance plastique et le mode de ruine d'éléments structuraux rectilignes en flexion pure (les poutres, en particulier). Les paramètres recherchés sont la charge de ruine, le mode de ruine et la capacité d'absorption d'énergie (ductilité). Cette comparaison est conduite pour des éléments en B.A* et en C.M* ayant le même moment plastique théorique, donc la même charge de ruine théorique. Pour cela, une étude approfondie et extensive sur le plan

théorique est menée (caractérisation des sections en B.A équivalentes aux profilées en C.M en fonction de la variation des différents paramètres mécaniques et géométriques).

Un programme expérimental a été mis en place et la conception d'un dispositif expérimental à été réalisée avec tous les correctifs apportés sur le banc d'essai tout le long du programme expérimental afin de bien modéliser la ruine en flexion pure. Les essais n'ont été réalisés que sur les éléments en CM.

Les diagrammes charge- déplacement pour l'ensemble des éléments en C.M testés sont présentés et discutés.

Après analyse, un des paramètres non suspecté au départ s'est avéré être très important. Il s'agit du déversement, afin d'évaluer la valeur exacte de M_p . Les charges de ruine expérimentales ont été trouvées supérieures aux charges théoriques. Des tentatives d'explication sont présentées ainsi que des recommandations sont tirées du présent travail avec des orientations pour des travaux futurs dans le domaine.

* B.A : béton armé

*C.M : charpente métallique

Mots clés: béton armé - profilés en CM- performance plastique- mode de ruine- capacité d'absorption-moment plastique- caractérisation- banc d'essai.

Key words: Reinforced concrete, profile steel sections, plastic performance, mode of collapse, absorption capacity, plastic moment, characterisation, test- rig.

AF-07-1757

Méthode de figeage découpage dans l'analyse expérimentale des contraintes

07 - Comportements mécaniques

#AF-07-1757

K. Touahir ¹, A. Bilek ².

¹Etudiant - Tizi-Ouzou (Algérie), ²Enseignant - Tizi-Ouzou (Algérie).

L'analyse expérimentale des champs de contraintes développées dans les pièces mécaniques est très importante pour les concepteurs de machines. Dans les transmissions de couple ou de puissance plusieurs pièces mécaniques peuvent entrer en contact. Il est donc très important de connaître les contraintes et les déformations au voisinage et dans les zones de contact pour un bon dimensionnement des différents éléments.

Lorsque deux surfaces sont mises en contact, des sollicitations mécaniques sont imposées aux massifs et peuvent donner lieu à des dégradations. Afin d'évaluer l'usure ou plus précisément les dégradations telles que la formation des débris, l'amorçage et la propagation de fissure, il est important d'évaluer le type et l'amplitude des sollicitations mécaniques imposées.

C'est dans cette optique que le travail de recherche de l'impétrant trouve son intérêt.

La méthode de figeage découpage mécanique en photoélasticité tridimensionnelle a été utilisée pour déterminer les contraintes développées dans un cylindre birefringent sollicité par un effort de compression appliqué via un cylindre en acier. Les contraintes ont été déterminées dans différentes sections le long de l'axe du cylindre, particulièrement au voisinage de la surface de contact.

Les franges photoélastiques isochromes et isoclines ont été exploitées pour analyser les contraintes. Les zones de concentration des contraintes ont été bien déterminées. Les valeurs des contraintes de cisaillements ont été obtenues dans des zones bien choisies.

La méthode des éléments finis a été utilisée pour analyser les contraintes développées dans le cylindre. Les franges photoélastiques simulées et les valeurs des contraintes de cisaillement obtenues numériquement ont permis de faire une comparaison avec les résultats expérimentaux pour validation.

MATÉRIAUX

2014

24-28 nov.

Montpellier

Index des auteurs

Index des auteurs :

A

Abdallah B. [00461](#) | CM-07-461
Abdelmoula N. [00460](#) | CM-07-460
Abed-Meraim F. [01070](#) | CM-07-1070
Achard G. [00948](#) | CM-07-948
Adda Bedia E.A. [01089](#) | AF-07-1089
Adrien J. [00039](#) | CM-07-39, [00182](#) | CM-07-182
Ahmed W.F. [01522](#) | AF-07-1522
Akhatova A. [01173](#) | CM-07-1173
Amarsid L. [00713](#) | CM-07-713
Ambos A. [00411](#) | CM-07-411
Ameur M.F. [00114](#) | AF-07-114
Ameyama K. [01571](#) | KN-07-1571
Amziane S. [00313](#) | AF-07-313, [00314](#) | AF-07-314
Antoinat L. [00948](#) | CM-07-948
Antonio Arguelles A. [01338](#) | CM-07-1338
Aouabed I. [00530](#) | AF-07-530
Aoufi A. [00223](#) | CM-07-223
Aouici H. [00114](#) | AF-07-114
Arbaoui M. [00193](#) | AF-07-193
Archambeau C. [00625](#) | CM-07-625
Arnould O. [00931](#) | CM-07-931
Aubin V. [01414](#) | CM-07-1414
Auger T. [01414](#) | CM-07-1414
Averseng J. [00513](#) | CM-07-513
Ayadi S. [00827](#) | CM-07-827
Azari Z. [01017](#) | AF-07-1017
Azema E. [01015](#) | CM-07-1015
Azéma É. [01109](#) | CM-07-1109

B

Babichev A. [01096](#) | AF-07-1096
Bacroix B. [00396](#) | AF-07-396, [00647](#) | AF-07-647
Baillieux J. [00625](#) | CM-07-625
Barou J.L. [00948](#) | CM-07-948
Barrallier L. [00948](#) | CM-07-948
Bassoumi A. [00879](#) | AF-07-879
Baudin C. [00414](#) | CM-07-414
Bayle J.P. [00282](#) | CM-07-282
Béakou A. [00649](#) | CM-07-649
Beaudoin G. [00416](#) | AF-07-416
Béclin F. [01162](#) | CM-07-1162
Belgacem L. [01342](#) | AF-07-1342
Belghalem H. [00227](#) | AF-07-227
Belhadri M. [01441](#) | AF-07-1441, [01452](#) | AF-07-1452
Belliard L. [01512](#) | AF-07-1512
Bellot C. [00912](#) | AF-07-912, [01233](#) | CM-07-1233
Belrhiti Y. [01028](#) | CM-07-1028
Ben Ramdane C. [00644](#) | CM-07-644
Benabou L. [00192](#) | CM-07-192
Benhassine M.T. [01692](#) | AF-07-1692
Benmiloud N.E.H. [01656](#) | AF-07-1656
Bennaceur Z.E. [01235](#) | AF-07-1235
Bennani B. [00206](#) | CM-07-206
Berbenni S. [00175](#) | CM-07-175, [00178](#) | CM-07-178, [01009](#) | CM-07-1009
Berthe J. [00328](#) | CM-07-328
Berthier Y. [00750](#) | CM-07-750
Bezazi A. [00313](#) | AF-07-313, [00314](#) | AF-07-314
Bezzazi B. [00025](#) | AF-07-25
Bichet L. [00558](#) | CM-07-558
Bilek A. [00537](#) | AF-07-537, [01757](#) | AF-07-1757
Billon N. [01273](#) | CM-07-1273
Bisel I. [00282](#) | CM-07-282
Blal N. [01209](#) | CM-07-1209
Blatman G. [00784](#) | CM-07-784

Bocquet L. [01284](#) | CM-07-1284
Bolis C. [00718](#) | CM-07-718
Bonnetfont G. [00227](#) | AF-07-227
Bonnetfoy H. [01522](#) | AF-07-1522
Bosso E. [01044](#) | CM-07-1044
Bouarissa A. [00025](#) | AF-07-25
Bouaziz O. [00039](#) | CM-07-39
Bouchelaghem H. [00313](#) | AF-07-313, [00314](#) | AF-07-314
Boudjenane N.E.E. [01452](#) | AF-07-1452
Boudjenane. N.E.E. [01441](#) | AF-07-1441
Bouillon F. [00644](#) | CM-07-644
Boukhoulda A. [00594](#) | AF-07-594, [01081](#) | AF-07-1081
Boumaaza M. [00313](#) | AF-07-313, [00314](#) | AF-07-314
Bourcier M. [01414](#) | CM-07-1414
Bourgon J. [00464](#) | CM-07-464
Boussuge M. [00196](#) | CM-07-196
Boutlikht M. [01692](#) | AF-07-1692
Bouvard J.L. [01273](#) | CM-07-1273
Brenner R. [00396](#) | AF-07-396, [00647](#) | AF-07-647
Bresson B. [00904](#) | CM-07-904
Brieu M. [00328](#) | CM-07-328
Buet S. [01522](#) | AF-07-1522

C

Cadou J.M. [00737](#) | CM-07-737
Caetano L. [00914](#) | AF-07-914
Cambier F. [00414](#) | CM-07-414
Capdeville J.D. [00914](#) | AF-07-914
Caro-Bretelle A.S. [00630](#) | CM-07-630
Carvou E. [00872](#) | AF-07-872
Castagnet S. [01586](#) | CM-07-1586
Castelnaud O. [00172](#) | CM-07-172, [01044](#) | CM-07-1044
Cazottes S. [01359](#) | CM-07-1359
Chabira S.F. [01656](#) | AF-07-1656
Chalon F. [00698](#) | CM-07-698
Chalons H. [00745](#) | CM-07-745
Champion Y. [00464](#) | CM-07-464, [00933](#) | CM-07-933, [01155](#) | CM-07-1155, [01173](#) | CM-07-1173, [01572](#) | CM-07-1572
Chanal P.Y. [00198](#) | CM-07-198
Charitat T. [00407](#) | AF-07-407
Charles Y. [00827](#) | CM-07-827
Charlet K. [00649](#) | CM-07-649
Chauveau T. [00647](#) | AF-07-647, [00933](#) | CM-07-933, [01572](#) | CM-07-1572
Chazeau L. [00146](#) | CM-07-146
Chebini S. [01173](#) | CM-07-1173
Chevalier J. [00628](#) | CM-07-628
Chikh N.E. [01651](#) | AF-07-1651
Chotard T. [01028](#) | CM-07-1028
Ciccotti M. [00904](#) | CM-07-904
Clément P. [00628](#) | CM-07-628
Colas D. [00601](#) | CM-07-601
Colomban P. [01356](#) | CM-07-1356
Colombeau J. [01414](#) | CM-07-1414
Corn S. [00630](#) | CM-07-630
Cottrino S. [00039](#) | CM-07-39
Coulais C. [00081](#) | KN-07-81
Councilh D. [00718](#) | CM-07-718
Couque H. [01571](#) | KN-07-1571, [01572](#) | CM-07-1572, [01575](#) | AF-07-1575
Couzinié J.P. [00933](#) | CM-07-933, [01572](#) | CM-07-1572
Crété J.P. [00737](#) | CM-07-737
Crevel J. [00912](#) | AF-07-912, [01233](#) | CM-07-1233

D

Dabo M. [01376](#) | CM-07-1376
Dahmouni S. [00025](#) | AF-07-25
Dammak M. [01417](#) | CM-07-1417
Dancette S. [01220](#) | CM-07-1220, [01359](#) | CM-07-1359
Dang V.T. [01153](#) | CM-07-1153
Daridon L. [01209](#) | CM-07-1209
Darrieulat M. [00223](#) | CM-07-223
Dauchot O. [00081](#) | KN-07-81
Davoine C. [00327](#) | CM-07-327
De Vito S. [00698](#) | CM-07-698
Delahaye T. [00282](#) | CM-07-282
Delaunay T. [00931](#) | CM-07-931
Delenne J.Y. [00513](#) | CM-07-513, [00713](#) | CM-07-713
Deletombe E. [00327](#) | CM-07-327, [00328](#) | CM-07-328
Destrebecq J.F. [01086](#) | AF-07-1086
Diani J. [00710](#) | CM-07-710
Dingreville R. [00178](#) | CM-07-178
Dirras G. [00933](#) | CM-07-933, [01571](#) | KN-07-1571, [01572](#) | CM-07-1572, [01575](#) | AF-07-1575
Diss P. [00644](#) | CM-07-644
Djaka K.S. [00175](#) | CM-07-175
Djemia P. [01512](#) | AF-07-1512
Djilali Beida M. [01338](#) | CM-07-1338
Dony A. [00905](#) | AF-07-905
Doremus P. [00460](#) | CM-07-460
Doumalin P. [01028](#) | CM-07-1028
Dragon A. [00828](#) | KN-07-828
Dubois F. [00558](#) | CM-07-558
Dufrenoy S. [00647](#) | AF-07-647
Dugne O. [00282](#) | CM-07-282
Dupré J.C. [01028](#) | CM-07-1028

E

El Hennani A. [00594](#) | AF-07-594
El Mai S. [00691](#) | CM-07-691
El Youssefi M.S. [00127](#) | CM-07-127
Emile P. [00625](#) | CM-07-625
Estrade E. [00698](#) | CM-07-698

F

Fabre Des Essarts A. [00905](#) | AF-07-905
Fabregue D. [00039](#) | CM-07-39
Fajfrowski M. [01267](#) | CM-07-1267
Fan Z. [01489](#) | CM-07-1489
Fantozzi G. [00227](#) | AF-07-227
Faurie D. [01506](#) | CM-07-1506, [01512](#) | AF-07-1512
Favier D. [00403](#) | KN-07-403, [00407](#) | AF-07-407
Favier V. [01044](#) | CM-07-1044
Favre J. [00354](#) | CM-07-354
Finot E. [00601](#) | CM-07-601
Fiorio B. [01651](#) | AF-07-1651
Flouriot S. [00601](#) | CM-07-601
Forest S. [00172](#) | CM-07-172, [00601](#) | CM-07-601
Franciosi P. [01417](#) | CM-07-1417
Fressengeas C. [00175](#) | CM-07-175
Fu L. [00407](#) | AF-07-407
Fusco C. [00146](#) | CM-07-146

G

Galpin B. [00914](#) | AF-07-914
Gasnier J.B. [00411](#) | CM-07-411
Gaspérini M. [00827](#) | CM-07-827, [01417](#) | CM-07-1417
Gaudefroy V. [00905](#) | AF-07-905
Gauthier C. [00403](#) | KN-07-403, [00407](#) | AF-07-407, [01376](#) | CM-07-1376
Geandier G. [01506](#) | CM-07-1506
Gehring F. [01273](#) | CM-07-1273

Genix A.C. [00904](#) | CM-07-904
George M. [00904](#) | CM-07-904
Germaneau A. [01028](#) | CM-07-1028
Ghidossi T. [01123](#) | KN-07-1123
Gillibert J. [00879](#) | AF-07-879
Gilormini P. [00710](#) | CM-07-710
Gonon M. [00414](#) | CM-07-414
Goudeau P. [01506](#) | CM-07-1506, [01512](#) | AF-07-1512
Grandidier J.C. [01586](#) | CM-07-1586
Gremillard L. [00182](#) | CM-07-182
Grolleau V. [00914](#) | AF-07-914
Gu T. [00172](#) | CM-07-172
Gubicza J. [01575](#) | AF-07-1575
Guelorget B. [00340](#) | CM-07-340
Guillaumat L. [01107](#) | CM-07-1107
Guillot I. [00933](#) | CM-07-933, [01572](#) | CM-07-1572
Guines D. [00627](#) | AF-07-627
Guiraud O. [00912](#) | AF-07-912, [01233](#) | CM-07-1233

H

Habak M. [00114](#) | AF-07-114
Hachemane B. [00025](#) | AF-07-25
Hadjil L. [01089](#) | AF-07-1089
Halary J.L. [00904](#) | CM-07-904
Haller X. [00115](#) | CM-07-CM-07-115
Hallii M. [00178](#) | CM-07-178
Hamidouche M. [00227](#) | AF-07-227
Hammadi L. [01452](#) | AF-07-1452
Hammadi. , L. [01441](#) | AF-07-1441
Hamouda K. [01096](#) | AF-07-1096
Hardouin Duparc O. [01489](#) | CM-07-1489
Hariri S. [01017](#) | AF-07-1017
Harthong B. [00460](#) | CM-07-460
Hassaine Daouadji T. [01089](#) | AF-07-1089
Hautcoeur D. [00414](#) | CM-07-414
Helfer T. [00326](#) | CM-07-326, [00778](#) | CM-07-778
Hereil P.L. [00822](#) | CM-07-822, [00911](#) | CM-07-911
Hervé-Luanco E. [00172](#) | CM-07-172
Hivet G. [00879](#) | AF-07-879
Hoche F.X. [00292](#) | AF-07-292
Housaer F. [01162](#) | CM-07-1162
Huchet G. [00698](#) | CM-07-698
Huger M. [01028](#) | CM-07-1028

I

Ienny P. [00630](#) | CM-07-630
Imbault D. [00460](#) | CM-07-460
Itawi A. [00416](#) | AF-07-416

J

Jacques N. [00831](#) | CM-07-831
Jaime Vina O. [01338](#) | CM-07-1338
Jamin F. [00127](#) | CM-07-127
Jardret V. [01267](#) | CM-07-1267
Jebli M. [00127](#) | CM-07-127
Jeulin D. [00411](#) | CM-07-411, [00461](#) | CM-07-461
Julian-Jankowiak A. [00644](#) | CM-07-644
Julien C. [00644](#) | CM-07-644

K

Kane Diallo O. [01586](#) | CM-07-1586
Kekicéff P. [01376](#) | CM-07-1376
Keller C. [00317](#) | CM-07-317
Kenane M. [00114](#) | AF-07-114
Koster A. [00292](#) | AF-07-292
Kubler R. [00948](#) | CM-07-948
Kumar Vajpai S. [01571](#) | KN-07-1571

L

Labbé J. [00872](#) | AF-07-872
Langrand B. [00327](#) | CM-07-327, [00331](#) | CM-07-331
Lardot V. [00414](#) | CM-07-414
Latil P. [01233](#) | CM-07-1233
Laurent-Brocq M. [01155](#) | CM-07-1155, [01173](#) | CM-07-1173
Lauro F. [00206](#) | CM-07-206
Laux D. [00931](#) | CM-07-931
Le Bihan T. [00698](#) | CM-07-698
Le Blanc G. [00198](#) | CM-07-198
Le Bourhis E. [00416](#) | AF-07-416, [01506](#) | CM-07-1506, [01512](#) | AF-07-1512
Le Bourlot C. [01220](#) | CM-07-1220
Le Clezio E. [00931](#) | CM-07-931
Le Corre V. [00628](#) | CM-07-628
Le Roux N. [01220](#) | CM-07-1220
Le Strat F. [00872](#) | AF-07-872
Lefrançois A. [00198](#) | CM-07-198
Leger R. [00630](#) | CM-07-630
Legris A. [01162](#) | CM-07-1162
Legros M. [01065](#) | CM-07-1065
Lemoine X. [01070](#) | CM-07-1070
Léotoing L. [00627](#) | AF-07-627
Leriché A. [00414](#) | CM-07-414
Leroy E. [01173](#) | CM-07-1173
Liang S. [01107](#) | CM-07-1107
Lilensten L. [00933](#) | CM-07-933
Liu J. [01122](#) | CM-07-1122, [01123](#) | KN-07-1123
Loic P. [01572](#) | CM-07-1572
Loisnard D. [01044](#) | CM-07-1044
Longère P. [00737](#) | CM-07-737, [00828](#) | KN-07-828
Longo R. [00931](#) | CM-07-931
Lopez-Cuesta J.M. [00630](#) | CM-07-630

M

Madani T. [00584](#) | CM-07-584
Mahaud M. [00146](#) | CM-07-146
Mahi S. [01441](#) | AF-07-1441
Maigre H. [00219](#) | CM-07-219, [00745](#) | CM-07-745
Maire E. [00039](#) | CM-07-39, [00182](#) | CM-07-182, [01478](#) | KN-07-1478
Malard B. [00625](#) | CM-07-625
Manach P.Y. [00158](#) | CM-07-158
Marcadon V. [00327](#) | CM-07-327
Mareau C. [01009](#) | CM-07-1009
Marijon J.B. [01044](#) | CM-07-1044
Marnier G. [00317](#) | CM-07-317
Martin E. [01363](#) | KN-07-1363
Martin C. [00282](#) | CM-07-282
Marty G. [01220](#) | CM-07-1220
Mathieu J.P. [00784](#) | CM-07-784
Matsumoto T. [00206](#) | CM-07-206
Mattrand C. [00649](#) | CM-07-649
Maurice C. [01044](#) | CM-07-1044
Mazière M. [00601](#) | CM-07-601
Meille S. [00182](#) | CM-07-182, [00628](#) | CM-07-628
Mellas M. [01207](#) | AF-07-1207
Merabet F. [01452](#) | AF-07-1452
Mercier S. [00691](#) | CM-07-691, [00831](#) | CM-07-831
Merdas A. [01651](#) | AF-07-1651
Mespoulet J. [00822](#) | CM-07-822, [00911](#) | CM-07-911
Messai A. [01651](#) | AF-07-1651
Michel B. [00326](#) | CM-07-326, [00778](#) | CM-07-778
Mielniczuk B. [00127](#) | CM-07-127
Millot T. [00828](#) | KN-07-828
Molinari A. [00691](#) | CM-07-691, [00831](#) | CM-07-831
Momprou F. [01065](#) | CM-07-1065, [01291](#) | KN-07-1291,

[01575](#) | AF-07-1575
Monerie Y. [00115](#) | CM-07-CM-07-115, [00127](#) | CM-07-127, [00558](#) | CM-07-558, [00584](#) | CM-07-584, [00713](#) | CM-07-713, [01209](#) | CM-07-1209
Montarsolo J. [01359](#) | CM-07-1359
Montheillet F. [00354](#) | CM-07-354, [00488](#) | CM-07-488
Morthomas J. [00146](#) | CM-07-146
Mottola E. [00206](#) | CM-07-206
Moustabchir H. [01017](#) | AF-07-1017
Moutou Pitti R. [01086](#) | AF-07-1086

N

Nait-Ali A. [01236](#) | CM-07-1236, [01586](#) | CM-07-1586
Nazé L. [00292](#) | AF-07-292
Nelias D. [00745](#) | CM-07-745
Nezamabadi S. [00513](#) | CM-07-513
Nguyen H.T. [00827](#) | CM-07-827
Nguyen S.L. [01086](#) | AF-07-1086
Nguyen D.H. [01109](#) | CM-07-1109
Nigues A. [01284](#) | CM-07-1284
Nziakou Y. [00904](#) | CM-07-904

O

Osmond P. [00292](#) | AF-07-292
Ota M. [01571](#) | KN-07-1571
Otazaghine B. [00630](#) | CM-07-630
Otsuka T. [00396](#) | AF-07-396
Ouagne P. [00879](#) | AF-07-879
Quinas D. [01342](#) | AF-07-1342

P

Pagano S. [00115](#) | CM-07-CM-07-115, [00584](#) | CM-07-584, [00931](#) | CM-07-931, [01209](#) | CM-07-1209
Pantzas K. [00416](#) | AF-07-416
Parant P. [00282](#) | CM-07-282
Paris T. [00601](#) | CM-07-601
Parlier M. [00644](#) | CM-07-644
Parpaite T. [00630](#) | CM-07-630
Patriarche G. [00416](#) | AF-07-416
Paumier F. [01512](#) | AF-07-1512
Pelissou C. [00127](#) | CM-07-127, [00558](#) | CM-07-558
Pélissou C. [00584](#) | CM-07-584
Penin A. [00914](#) | AF-07-914
Perales F. [00558](#) | CM-07-558, [00713](#) | CM-07-713
Perez M. [00146](#) | CM-07-146
Perrière L. [00933](#) | CM-07-933, [01173](#) | CM-07-1173
Petit J. [00198](#) | CM-07-198, [00691](#) | CM-07-691, [01044](#) | CM-07-1044
Petit C. [00182](#) | CM-07-182
Pham T. [01512](#) | AF-07-1512
Pham C.H. [00158](#) | CM-07-158
Picart S. [00282](#) | CM-07-282
Picart D. [00198](#) | CM-07-198
Piot D. [00354](#) | CM-07-354, [00488](#) | CM-07-488
Plancher E. [01044](#) | CM-07-1044
Plassard F. [00822](#) | CM-07-822, [00911](#) | CM-07-911
Plouzeau C. [00872](#) | AF-07-872
Poncharal P. [01284](#) | CM-07-1284
Pop O. [01028](#) | CM-07-1028
Poquillon D. [00625](#) | CM-07-625
Portemont G. [00327](#) | CM-07-327, [00331](#) | CM-07-331
Primig S. [00354](#) | CM-07-354
Proix J.M. [00778](#) | CM-07-778
Proudhon H. [00172](#) | CM-07-172

R

Rachdi F. [01123](#) | KN-07-1123

Radjai F. [01015](#) | CM-07-1015, [01109](#) | CM-07-1109
Radjaï F. [00513](#) | CM-07-513, [00713](#) | CM-07-713
Ramdane Z. [01338](#) | CM-07-1338
Ranganathan M. [00698](#) | CM-07-698
Remy E. [00282](#) | CM-07-282
Rémy L. [00292](#) | AF-07-292
Renault P.O. [01506](#) | CM-07-1506
Renouf M. [00750](#) | CM-07-750
Retraint D. [00340](#) | CM-07-340
Rivière J. [00750](#) | CM-07-750
Rmili W. [00698](#) | CM-07-698
Robach O. [01044](#) | CM-07-1044
Robbe-Valloire F. [00193](#) | AF-07-193
Rochdi E.A. [00872](#) | AF-07-872
Roland T. [01376](#) | CM-07-1376
Rouleau L. [00628](#) | CM-07-628
Roux L. [00745](#) | CM-07-745
Roux J.N. [00905](#) | AF-07-905, [01015](#) | CM-07-1015
Rubin A. [00403](#) | KN-07-403, [00407](#) | AF-07-407
Rupin N. [01044](#) | CM-07-1044
Ryckelynck D. [00196](#) | CM-07-196

S

Sagnes I. [00416](#) | AF-07-416
Saïfouni O. [01086](#) | AF-07-1086
Saintoyant L. [01044](#) | CM-07-1044
Salhi M.L. [01207](#) | AF-07-1207
Salvo M. [00326](#) | CM-07-326
Samai M.L. [01692](#) | AF-07-1692
Sartori C. [00831](#) | CM-07-831
Sauvage X. [00464](#) | CM-07-464, [01173](#) | CM-07-1173
Sauzay M. [01122](#) | CM-07-1122, [01123](#) | KN-07-1123, [01489](#) | CM-07-1489
Savale B. [00718](#) | CM-07-718
Sayah T. [01096](#) | AF-07-1096
Scarpa F. [00313](#) | AF-07-313, [00314](#) | AF-07-314
Sebaa M. [01656](#) | AF-07-1656
Seguin A. [00081](#) | KN-07-81
Semblanet M. [00488](#) | CM-07-488
Sercombe J. [00326](#) | CM-07-326
Signor L. [01123](#) | KN-07-1123, [01153](#) | CM-07-1153
Siria A. [01284](#) | CM-07-1284
Soho K.D.B. [01070](#) | CM-07-1070
Sonnier R. [00630](#) | CM-07-630
Sornay P. [01109](#) | CM-07-1109
Soulacroix J. [00326](#) | CM-07-326
Staub D. [00628](#) | CM-07-628
Stodolna J. [01044](#) | CM-07-1044
Sun Z. [00192](#) | CM-07-192, [00340](#) | CM-07-340

T

Tadier S. [00182](#) | CM-07-182
Taguet A. [00630](#) | CM-07-630
Taleb L. [00317](#) | CM-07-317
Talneau A. [00416](#) | AF-07-416
Tanguy D. [00009](#) | CM-07-9
Taupin V. [00175](#) | CM-07-175
Thiaudière D. [01506](#) | CM-07-1506
Thuillier S. [00158](#) | CM-07-158
Thurieu N. [01155](#) | CM-07-1155
Tingaud D. [01162](#) | CM-07-1162, [01571](#) | KN-07-1571, [01572](#) | CM-07-1572, [01575](#) | AF-07-1575
Tlidji Y. [01089](#) | AF-07-1089
Touahir K. [01757](#) | AF-07-1757
Toulemonde P.A. [00710](#) | CM-07-710
Touzin M. [01162](#) | CM-07-1162
Treutenaere S. [00206](#) | CM-07-206
Troadec D. [00416](#) | AF-07-416
Truant X. [01507](#) | CM-07-1507
Trumel H. [00411](#) | CM-07-411

V

Villechaise P. [01123](#) | KN-07-1123, [01153](#) | CM-07-1153
Vincent P. [01284](#) | CM-07-1284
Vincent P.G. [00115](#) | CM-07-CM-07-115
Viot P. [00948](#) | CM-07-948

W

Waltz L. [00340](#) | CM-07-340
Watanabe T. [01571](#) | KN-07-1571
Wattrisse B. [00584](#) | CM-07-584
Wei L. [00627](#) | AF-07-627
Willot F. [00411](#) | CM-07-411, [00461](#) | CM-07-461

Y

Yao L. [00219](#) | CM-07-219

Z

Zahrouni H. [01070](#) | CM-07-1070
Zairi F. [00001](#) | AF-07-1
Zanache N. [00313](#) | AF-07-313, [00314](#) | AF-07-314
Zhang Y. [00196](#) | CM-07-196