«APPROCHES POUR L'ÉTUDE DE L' ENDOMMAGEMENT ET DE LA RUPTURE DE MATÉRIAUX DANS DIVERS DOMAINES D'APPLICATION» PAR LAHOUARI BENABOU

Présentée par : Lahouari Benabou Discipline : mécanique, génie mécanique, génie civile Laboratoire : LISV

Résumé :
Les travaux présentés dans cette HDR s'inscrivent dans le champ de la mécanique de l' endommagement et de la rupture et sont illustrés par des applications sur des matériaux totalement différents puisqu'il s'agit de bois et d'alliages de brasure, entre autres. Ces deux matériaux sont des marqueurs forts des activités rattachées aux deux équipes de recherche distinctes dans lesquelles j'ai évolué successivement, mais le fil conducteur qui les lie est celui de la relation entre les mécanismes de déformation aux petites échelles et la rupture observée à l'échelle de l'éprouvette ou de la structure. En ce qui concerne le bois qui se caractérise par des modes de rupture très variés, il est par exemple démontré comment certaines particularités de son anatomie peuvent expliquer l' instabilité qu'il présente en compression sous forme de bandes de cisaillement. La caractérisation expérimentale de ce mécanisme ainsi que sa modélisation sont

proposées. Quant aux alliages d’étain utilisés comme joints de brasure en électronique de puissance, l’étude de leurs modes de défaillance devient cruciale dans un contexte de développement des véhicules électriques. Dans ce cas, on observe une rupture de fatigue des joints lors des cycles thermomécaniques induits par le chargement électrique. Des méthodologies adaptées à la caractérisation expérimentale de ce type de matériaux sont présentées et des simulations s’appuyant sur des approches multi-échelles sont menées pour estimer leur fiabilité dans le système en fonctionnement. Enfin, des perspectives sont ouvertes en vue d’intégrer dans le processus de modélisation les évolutions de la microstructure lors du vieillissement (diffusion à l’état solide des atomes dans l’alliage) et de déterminer certains paramètres physiques en utilisant des techniques de la physique computationnelle des matériaux.
Mots clés : Rupture, Bande de cisaillement, Zone cohésive, Fatigue, Plasticité cristalline, Anisotropie

Abstract :
The presented studies in this ‘HDR’ fall in the framework of mechanics of damage and fracture. They are illustrated with some applications on totally different materials since it is about wood and solder alloys, among others. Although these materials are strongly linked to the specific activities of the two research teams in which I have worked consecutively, the common issue in their study is the relation that exists between the mechanisms of deformation at small scales and the rupture which manifests itself at the scale of the sample or the structure. In the case of wood which is characterized by various modes of failure, it is demonstrated that some specificities of its anatomy may explain its failure pattern under compression, namely kink banding. The experimental identification of this particular mechanism and its modeling are proposed. As for tin-based alloys used as solder joints in power electronics, the study of their behavior and modes of failure becomes a hot topic in the context of development of the electric vehicles. In that case, fatigue failure is observed in the joint layer due to the thermomechanical cycles caused by the electrical loading. Methods suitable for experimental characterization of this type of materials are presented, and simulations based on multi-scale approaches are carried out to assess their reliability in the operating system. Finally, some perspectives are discussed with the aim of including in the models the microstructure changes due to aging (solid state diffusion of atoms) and determining some physical parameters with the use of techniques from computational materials science.
Keywords : Fracture, Kink banding, Cohesive zone, Fatigue, Crystal plasticity, Anisotropy

INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

Farid ABED-MERAIM, Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers /Laboratoire d'Étude des Microstructures et de Mécanique des Matériaux (LEM3) - CNRS UMR 7239 - Metz - Rapporteur

Jacques BESSON, Directeur de Recherche CNRS à l'Ecole des Mines de Paris/Centre des Matériaux - UMR 7633 - Evry - Rapporteur

Salima BOUVIER, Professeur à l'Université de Technologie de Compiègne/Laboratoire Roberval de Mécanique - UMR CNRS 7337 - Compiègne - Rapporteur

Yasser ALAYLI, Professeur à l'Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines /Laboratoire d'Ingénierie et des Systèmes de Versailles (LISV) - EA 4048 - Vélizy - Tuteur

Laurent CHAMPANEY, Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers ParisTech - Paris - Examinateur

Fekri MEFTAH, Professeur à l'INSA de Rennes/Laboratoire de Génie Civil et Génie Mécanique (LGCGM) - EA 3913 - Rennes - Examinateur

Jorge LINARES, Professeur à l'Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines /Laboratoire Groupe d'Étude de la Matière Condensée (GEMaC) - UMR CNRS 8635 - Versailles - Invité