

Influence du vieillissement sur le comportement des matériaux et des interfaces des systèmes mécatroniques

Mélanie LE-MAGDA

Résumé de la thèse en Français

Les systèmes mécatroniques sont des systèmes électroniques intégrés directement dans les pièces mécaniques. Leur environnement est sévère (courants > 200A) et des défaillances peuvent survenir. Cette thèse est consacrée à l'étude de deux matériaux mécatroniques courants: composite résine époxy/fibres de verre PCB FR4 (Printed Circuit Board Flame Retardant 4) et alliage PbSnAg. Un vieillissement isotherme est appliqué au PCB FR4 durant 8800h à 110°C. Il affecte principalement l'époxy, qui évolue de manière complexe dès 2800h. Celle-ci est révélée par l'apparition de courbes bimodales pour C'' , le signal « out of phase » en TMDSC (Thermo-Modulated Differential Scanning Calorimetry) et pour $\tan \delta$, le rapport entre les modules de perte et de conservation en DMA (Dynamic Mechanical Analysis). La transformation de l'époxy en deux parties causée par l'oxydation peuvent expliquer ce phénomène. Une estimation du module d'Young de celles-ci est proposée en associant les analyses de l'époxy aux lois de comportement mécanique du composite (loi rhéologique, modèle de Berthelot et loi mathématique). Pour l'alliage PbSnAg, le vieillissement isotherme à 200°C durant 7000h révèle l'évolution de la microstructure et des propriétés mécaniques de l'alliage coulé d'une part et brasé entre deux substrats Cu revêtus de Ni puis de Ni-P d'autre part. Coulé, l'évolution des intermétalliques (IMCs) d'Ag₃Sn est observée mais elle n'affecte pas les propriétés mécaniques en traction de l'alliage. Brasé, outre l'Ag₃Sn, d'autres IMCs à base de Ni, de P et de Sn sont formés aux interfaces, évoluent selon une loi de Fick entraînant une baisse des propriétés mécaniques de l'assemblage en cisaillement Arcan.

Résumé de la thèse en Anglais

Mechatronic systems result from the tight integration of the electronic and mechanical components. Their used condition is stringent (currents > 200A), so failures can occur. This thesis is devoted to study two common mechatronic materials: epoxy matrix/glass fiber woven PCB FR4 (Printed circuit Board Flam Retardant 4) composite and PbSnAg alloy. Isothermal aging at 110°C is applied to PCB FR4 for over 8800h. It mainly affects the epoxy, which has evolved in complex ways since 2800h. This is reflected by the appearance of bimodal curves for C'' , "out of phase" signal by TMDSC (Thermo-Modulated Differential Scanning Calorimetry) and for $\tan \delta$, the ratio between storage and loss modulus by DMA (Dynamic Mechanical Analysis). The oxidation of a certain volume fraction of the resin leading to the appearance of a new phase can be an explanation. The Young's modulus of these two phases is modelised and combines the analysis of the aged epoxy with several models of the composite's behavior (rheological laws, Berthelot's model and mathematical law). Concerning the PbSnAg alloy, isothermal aging at 200°C for 7000h is applied to the cast and soldered alloys. In the cast condition, formation, coalescence and fragmentation of Ag₃Sn intermetallic compounds (IMCs) are observed but the tensile properties of the alloy are not affected. When the same alloy is soldered between two copper substrates coated with Ni and Ni-P layers, in addition to Ag₃Sn, others IMCs based on Ni, P and Sn are also observed and grow during aging according to a Fick's law. This microstructural evolution leads to a decrease of the mechanical properties of the solder when they are measured with the Arcan shear test.