



HAL
open science

Approche multi-échelle de la rupture d'un alliage d'étain pour le brasage en électronique de puissance

Lahouari Benabou, Quang Bang Tao

► To cite this version:

Lahouari Benabou, Quang Bang Tao. Approche multi-échelle de la rupture d'un alliage d'étain pour le brasage en électronique de puissance. CFM 2015 - 22ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2015, Lyon, France. <hal-03446073>

HAL Id: hal-03446073

<https://hal.science/hal-03446073v1>

Submitted on 24 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

Approche multi-échelle de la rupture d'un alliage d'étain pour le brasage en électronique de puissance

L. BENABOU^a, Q.B. TAO^a

a.LISV, Université de Versailles Saint Quentin-en-Yvelines, 78035 Versailles, France
email : lahouari.benabou@uvsq.fr

Résumé :

Le choix de matériaux adaptés aux interconnexions électriques est primordial dans un contexte d'électrification grandissante des véhicules et d'exigences accrues pour l'électronique de puissance qui les sous-tend. De nouveaux types de brasures sans plomb à base d'étain sont développés pour assurer les fonctions de maintien mécanique des composants, de bonne évacuation de la chaleur et de contact électrique de qualité sous des températures élevées. La connaissance des mécanismes de défaillance propres à ces matériaux devient alors nécessaire pour améliorer la fiabilité, et leur étude peut être abordée de manière originale en prenant en compte notamment l'échelle atomique où ces mécanismes prennent naissance. Une véritable démarche multi-échelle est ainsi proposée dans ce travail pour décrire l'effet des caractéristiques atomiques et microscopiques sur le comportement à la rupture des joints de brasure.

Abstract :

The selection of materials suitable for electrical interconnections is essential in a context of growing electrification of vehicles and increased requirements for the related power electronics. New types of lead-free solder alloys, based on tin, are designed to fulfill several functions, which are to ensure the mechanical assembly of components, an efficient heat dissipation and a good electrical contact under high temperatures. Understanding failure of these materials is then important for improving reliability, while its study can be carried out in an original manner by considering, in particular, the physical mechanisms taking place at the atomic scale. A real multi-scale approach is thus proposed here to describe the effect of atomic and microscopic material features on the fracture behavior of solder joints.

Mots clefs : Rupture, Joints de grains, Alliage d'étain, Brasure, Zone cohésive

1 Introduction

La fiabilité mécanique dans l'électronique de puissance devient une thématique scientifique certaine pour la communauté mécanicienne tandis que les industriels y consacrent un grand intérêt pour des raisons de sécurité et d'économie. En effet, dans un contexte de développement des véhicules

décarbonés, la tenue en fatigue des interconnexions électriques, en particulier dans les modules de puissance, est cruciale. Le besoin de fortes puissances pour les moteurs électriques est à l'origine d'un échauffement important des composants et, par conséquent, de contraintes thermomécaniques de fatigue qui sont responsables de la rupture des matériaux utilisés. C'est le cas des joints de brasure qui permettent de réaliser l'assemblage des différents composants d'un module de puissance [1]. Les brasures se présentent sous la forme de fines couches d'un alliage d'étain sans plomb, de l'ordre de quelques centaines de micromètres. Les caractéristiques de leur microstructure, fortement dépendantes du processus de fabrication et notamment du profil de température de refusion, doivent être prises en considération pour expliquer les mécanismes de rupture à l'origine des défaillances observées. La structure polycristalline de l'étain, et plus particulièrement les propriétés des joints de grains, sont des éléments déterminants du comportement de la brasure sous sollicitation thermomécanique. La défaillance du matériau se traduit souvent par une rupture intergranulaire, conduisant à la délamination de la puce (figure 1a).

Dans ce travail, on se propose d'étudier le comportement à la rupture de la brasure en se basant sur une approche multi-échelle. La fissure, qui se développe dans l'alliage d'étain et influence ses propriétés macroscopiques, résulte en effet d'un phénomène trouvant son origine à l'échelle atomique. Ce phénomène est celui de la séparation de plans atomiques au niveau des joints de grains ; ces derniers constituent les interfaces entre les différentes orientations cristallographiques présentes dans la microstructure. Le potentiel de liaison entre atomes, qui pilote ce processus, est déterminant pour l'identification correcte d'une loi de traction-séparation du matériau à l'échelle du milieu continu. Le passage à l'échelle macroscopique doit être assuré correctement afin d'obtenir une loi de cohésion effective pouvant être utilisée dans le contexte de calculs par éléments finis, par exemple. La loi obtenue doit être capable de décrire l'effet de la fissuration indépendamment de la résolution numérique (taille du maillage).

2 Caractéristiques physico-mécaniques de l'alliage d'étain

À l'échelle atomique, les analyses physiques montrent que le joint de brasure est composé principalement d'étain (à plus de 95%) ; d'autres éléments comme le cuivre et l'argent constituent le reste. Sous la pression atmosphérique, entre 13°C et sa température de fusion à 232°C, l'étain pur est stable et se présente sous forme de phase β (appelée aussi «étain blanc»). Une maille cristalline de cette phase est représentée sur la figure 1b. La structure est celle d'un système tétragonal centré ($a = b = 5.831 \text{ \AA}$ et $c = 3.182 \text{ \AA}$). À l'échelle du module électronique, l'alliage d'étain est utilisé sous forme de joint pour réaliser l'assemblage des composants. Réalisé sous cette même forme dans les mêmes conditions que celles du processus industriel, le matériau est étudié mécaniquement en réalisant des essais de traction/cisaillement sur éprouvettes. Une éprouvette est constituée de deux substrats en cuivre assemblés entre eux par le joint de brasure de 200 à 250 μm d'épaisseur. La microplatine de traction, munie d'un moteur pas à pas et associée à un élément chauffant flexible, permet de réaliser les tests à température et vitesse de déplacement souhaitées sur les éprouvettes. Les mesures de la force et du déplacement appliqués permettent de tracer les courbes de contrainte-déformation reportées sur la figure 2a, pour deux vitesses de déformation et deux niveaux de température. Le comportement obtenu révèle clairement l'influence prononcée de ces deux facteurs sur le niveau de la contrainte d'écoulement de l'alliage d'étain. En ce qui concerne le mécanisme de fluage, il est mis en évidence en soumettant le même type d'éprouvettes à une contrainte constante tandis que l'évolution de la déformation est mesurée en fonction du temps. Le comportement au fluage à température ambiante est représenté sur la figure 2b pour deux niveaux de contrainte. Il apparaît que le fluage se développe en régime secondaire (appelé aussi régime permanent) est prépondérant dans

les mécanismes de déformation du matériau. Beaucoup d'approches empiriques utilisent la déformation de fluage propre à ce régime pour donner une estimation de la durée de vie du matériau [2], mais elles n'intègrent pas correctement le rôle des paramètres atomiques dans les lois proposées. On prendra en compte ici les caractéristiques du matériau à l'échelle atomique dans des simulations par dynamique moléculaire pour décrire de manière moins phénoménologique et plus prédictive les effets des nouvelles surfaces créées (après séparation des plans atomiques) sur le comportement à la rupture du matériau à l'échelle des composants.

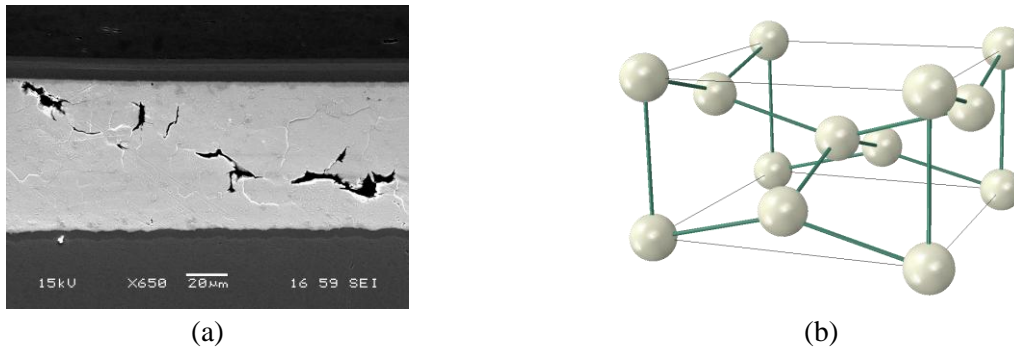


FIG. 1 – (a) Brasure rompue le long des joints de grains, (b) Maille cristalline de l'étain sous forme β .

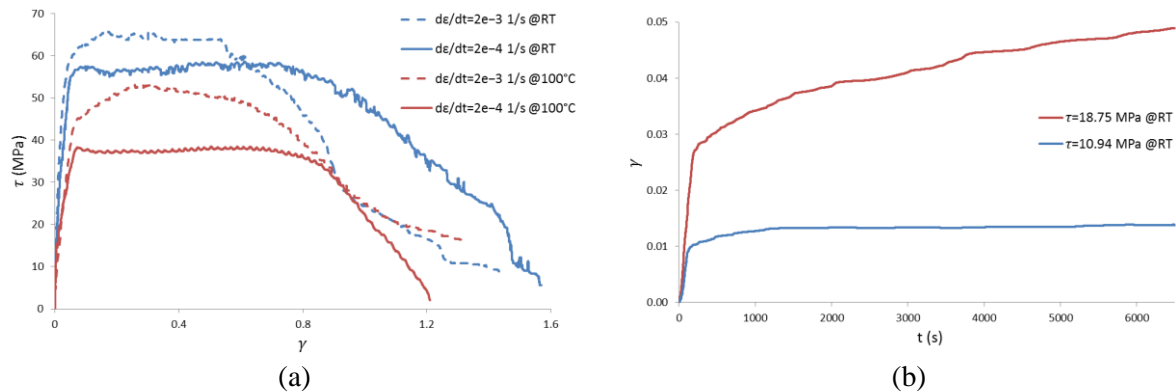


FIG. 2 – (a) Cisaillement monotone du joint, (b) Fluage du joint sous cisaillement.

Références

- [1] L. Benabou, Z. Sun, P.-R. Dahoo, A thermo-mechanical cohesive zone model for solder joint lifetime prediction, *International Journal of Fatigue* 49 (2013) 18-30
- [2] K. Mysore, G. Subbarayan, V. Gupta, R. Zhang, Constitutive and aging behavior of Sn3.0Ag0.5Cu solder, *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing* 32 (2009) 221-232