

Simulation 2D thermomécanique des cartes de circuit imprimé avec composants enterrés

W. KPOBIE^{a,*}, M. MARTINY^a, S. MERCIER^a, F. LECHLEITER^b, L. BODIN^b, A. LECAVELIER des ETANGS-LEVALLOIS^c et M. BRIZOUX^c,

a. LEM3 Laboratoire d'Etude des Microstructures et de Mécanique des Matériaux, UMR CNRS 7239, Ile du Saulcy, F-57045 Metz

b. CIMULEC, ZI Les Jonquières, F-57365 Ennery

c. Thales Global Services, 19/21 av. Morane Saulnier, F-78140 Vélizy-Villacoublay

...

Résumé :

Depuis quelques années, dans le but d'augmenter la densité et les performances des cartes électroniques, des composants sont enfouis dans les couches internes de circuit imprimé. Une évaluation de la fiabilité de cette technologie est nécessaire avant utilisation au sein de cartes électroniques soumises à des environnements sévères pendant de longues durées. Afin d'étudier le comportement thermomécanique de ces cartes, des simulations par éléments finis ont été réalisées. Les composants enfouis sont soumis à un chargement thermomécanique complexe durant le procédé d'assemblage, notamment de flexion composée, due à un rétreint des résines et des préimprégnés.

Abstract :

In recent years, in order to increase density and performance of electronic boards, components are embedded in internal layers of printed circuit boards (PCBs). The reliability of this new technology has to be investigated before application in electronic boards submitted to harsh environment and long mission profiles. To study the thermomechanical behavior of these boards, finite element simulations have been performed. It is observed that embedded components are subjected to bending during the assembly process, due to shrinkage of the resins and prepregs.

Mots clefs : simulation par éléments finis, circuits imprimés, couplage thermomécanique

1 Introduction

Des recherches [1–3] ont permis de développer des solutions innovantes et à coût raisonnable pour incorporer des composants électroniques dans les couches des cartes et les connecter grâce à des microvias. Cette nouvelle technologie a l'avantage d'augmenter les connexions, de réduire le nombre de joints de soudure qui sont souvent source de défaillance et d'augmenter les performances électriques. Cependant ces assemblages ne sont pas à l'abri de défaillances d'origine thermomécanique puisqu'ils sont soumis à des amplitudes thermiques plus ou moins importantes

* E-mail : wiyao.kpobie@univ-lorraine.fr

durant leur fabrication et leur fonctionnement. La fiabilité de ces assemblages est alors un enjeu fondamental.

Jusqu'à présent, très peu d'études [4–7] ont été réalisées dans ce domaine (qui est assez récent). Atli-Veltin et al. [4] ont étudié la fiabilité thermomécanique d'une résistance et d'un condensateur enterrés au cours de l'étape de fabrication, à l'aide d'une analyse par éléments finis. Les auteurs ont simulé la variation de température pendant les étapes de stratification et ont montré que l'étape de refroidissement cause des contraintes de compression dans les composants. Ils ont conclu que le risque de fissuration est faible en raison de la plus grande résistance à la compression des composants. Pletz et al. [5] ont montré par une méthode analytique que la prise en compte du rétreint des résines induit des contraintes de compression dans le composant.

Dans ce papier, nous étudierons l'effet de différents paramètres sur la fiabilité des composants enterrés comme le rétreint et la taille de la cavité.

2 Procédé de fabrication

Dans cet article, les composants électroniques (le plus souvent passifs), après avoir été collés sur une couche de cuivre, sont insérés dans une cavité découpée dans une couche de FR4 (époxy + fibres de verre) constituant le « cœur ». La Figure 1 montre la configuration d'étude, avec un composant enterré dans une couche interne de PCB.

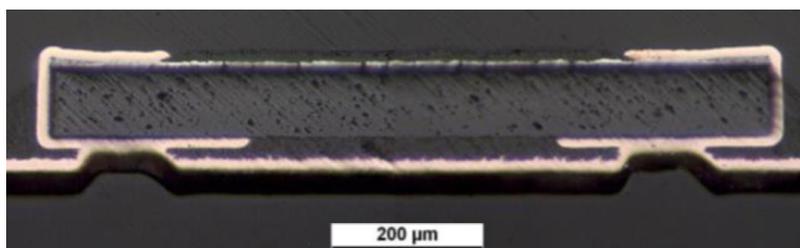


Figure 1 – Vue d'une coupe transversale d'un composant

Le procédé d'enfouissement des composants requiert une élévation de température afin que la cavité se remplisse par la résine du FR4 préimprégné. Une pression mécanique de 2,2 MPa est maintenue sur la couche de FR4 à la température 183°C pendant un temps suffisamment long pour faire polymériser celle-ci. Cette phase engendre une contraction de la résine; on parle alors de « rétreint » qui est une déformation permanente. Cette déformation ne se produit qu'une seule fois et concerne les FR4 préimprégnés et la résine. Ce rétreint induit des contraintes dans le composant et dans les couches de cuivre. Il est donc nécessaire de bien connaître les champs mécaniques dans la carte, afin de prédire les modes de défaillance. Le cycle thermique correspondant est illustré sur la Figure 2.

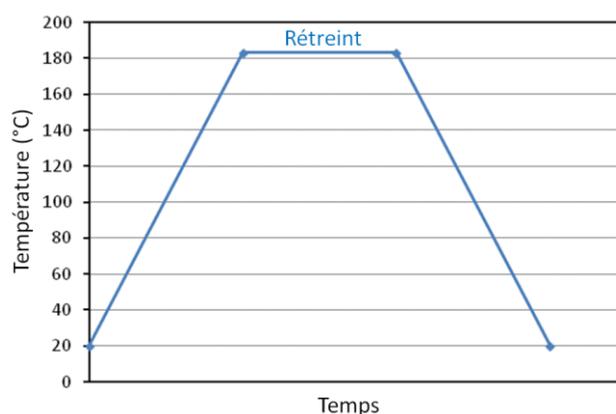


Figure 2 – Cycle thermique adopté lors de la réalisation du cœur

3 Modèle numérique

Le modèle numérique développé a pour but de décrire un PCB (Printed Circuit Board) de plusieurs couches avec 2 composants passifs enterrés dans une couche de FR4. La modélisation a été réalisée en 2 dimensions. La géométrie et les différents matériaux constituant le modèle sont illustrés sur la Figure 3. Le paramètre « d » caractérise la taille de la cavité. La moitié de la structure a été modélisée en raison de la symétrie. Le composant est en alumine avec deux couches de cuivre permettant d'établir la connexion électrique par microvias.

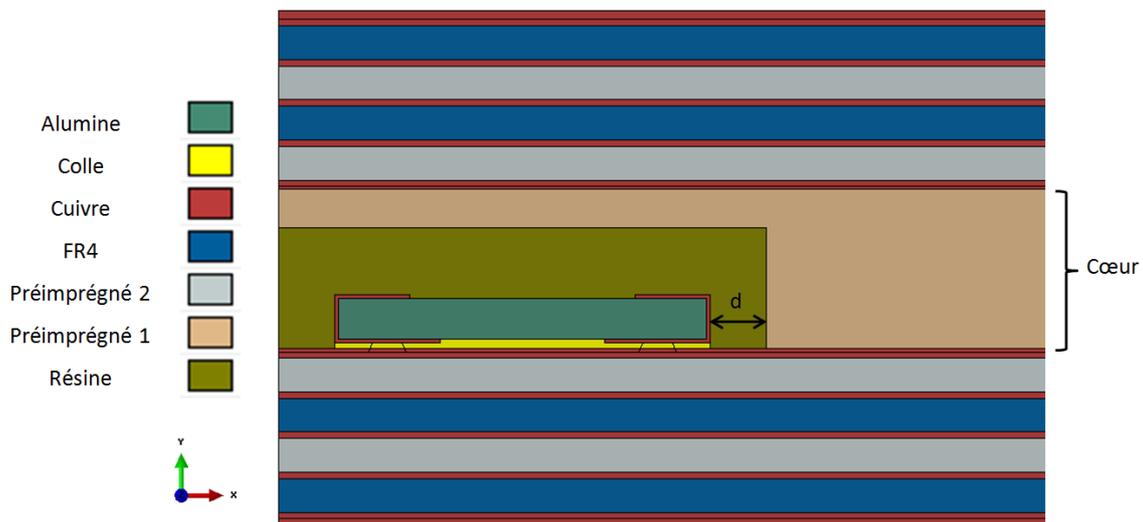


Figure 3 – Modèle numérique du PCB

Les conditions aux limites et le chargement mécanique pour la réalisation du cœur sont donnés sur la Figure 4. La température est supposée homogène dans toute la structure mais fluctue dans le temps selon le schéma de la Figure 2. Les autres couches (alternance de FR4 et de préimprégné) sont assemblées de la même manière et viennent ensuite entourer le cœur.

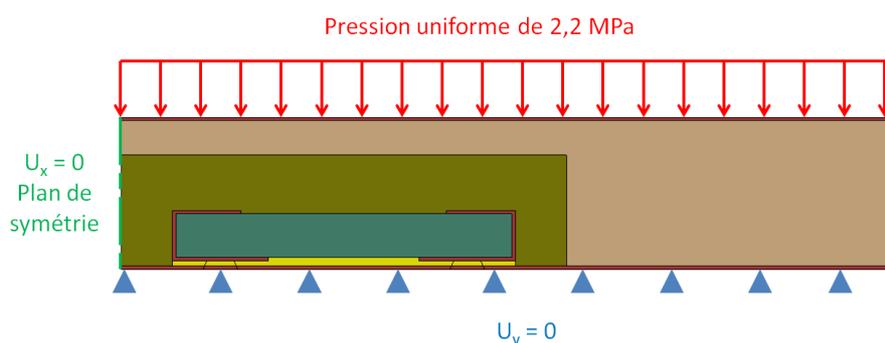


Figure 4 – Conditions aux limites et conditions de chargement mécanique

Le modèle a été maillé à l'aide d'éléments linéaires à 4 nœuds (CPS4) et 3 nœuds (CPS3) en contrainte plane sous Abaqus®. Le nombre d'éléments s'élève environ à 300 000.

Le rétreint décrit précédemment a été simulé en utilisant une routine utilisateur « UEXPAN » sous Abaqus®. La résine a un comportement isotrope. La déformation engendrée par le rétreint est supposée égale à -3%. Le rétreint de la résine des préimprégnés génère des déformations de -1% dans la direction X et -2% dans la direction Y.

4 Résultats de simulation

Une étude paramétrique a été réalisée afin de quantifier les contraintes et les déformations dans la structure. Les effets du rétreint et de la taille de la cavité ont été investigués.

4.1 Rétreint

Quatre simulations ont été réalisées :

- Sans aucun rétreint
- Avec le rétreint des préimprégnés uniquement
- Avec le rétreint de la résine uniquement
- Avec le rétreint de la résine et des préimprégnés

A la fin de la simulation, on peut remarquer que le rétreint induit des contraintes de compression dans le composant dans la direction X (Figure 5). Ces résultats sont conformes à [5].

Sans rétreint, les contraintes σ_{xx} dans le composant sont faibles et comprises entre -100 MPa et 64 MPa. Avec la prise en compte de tous les rétreints, ces contraintes deviennent négatives (entre -100 MPa et -878 MPa). L'alumine est un matériau fragile. Il a une bonne résistance en compression (autour de -2500 MPa) et très faible en traction (de l'ordre de 250 MPa) [8]. A partir des simulations, on voit que le rétreint permet d'éliminer la composante de traction qui existerait dans le composant, ce qui est plutôt favorable. Au final, les niveaux de contraintes prédits par la simulation montrent que le procédé ne va pas engendrer des problèmes de fiabilité sur le composant.

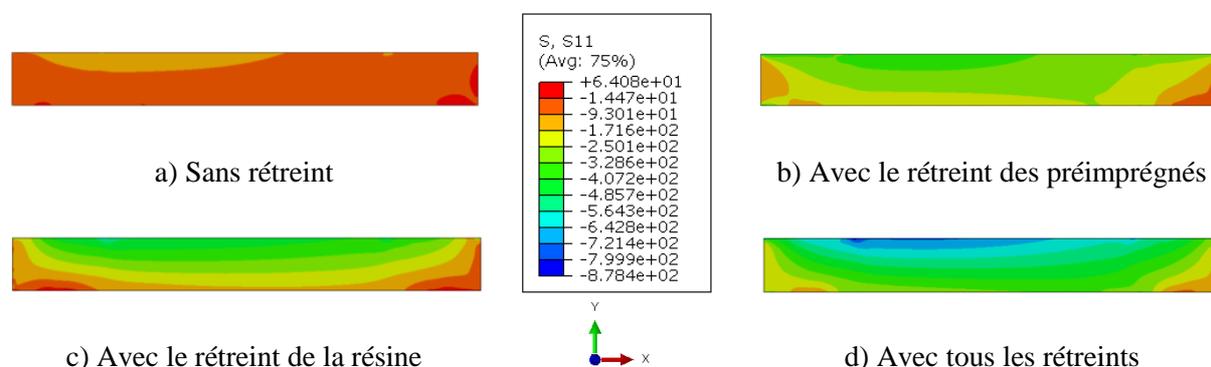


Figure 5 – Champ de contraintes σ_{xx} (MPa) dans le composant à la fin du procédé de fabrication

4.2 Taille de la cavité

Deux configurations avec des tailles de cavité différentes ont été adoptées ($d = 150 \mu\text{m}$ et $d = 600 \mu\text{m}$). Tous les rétreints ont été pris en compte dans ces simulations. En augmentant la distance entre le bord du composant et le bord de la cavité (de 4 fois), on constate une légère diminution des contraintes de compression dans le composant (Figure 6). Ce paramètre taille de cavité n'a pas un effet du premier ordre sur l'état mécanique du composant. Ce résultat est intéressant du point de vue opérationnel car lors de la production, des variations dimensionnelles peuvent exister.

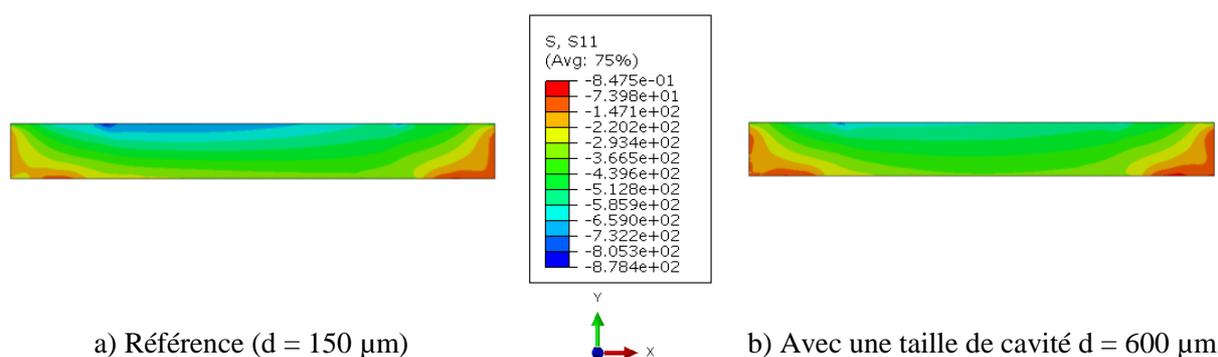


Figure 6 – Champ de contraintes σ_{xx} (MPa) dans le composant à la fin du procédé de fabrication

Du fait du procédé de fabrication, le composant est soumis à un chargement mécanique hétérogène, correspondant à de la flexion composée. Cet état est la conséquence directe du rétreint de la résine située au dessus du composant entrainant une forte compression sur la face supérieure. Ainsi, le composant présente alors une très faible concavité ($< 2 \mu\text{m}$) tournée vers le haut (Figure 7).

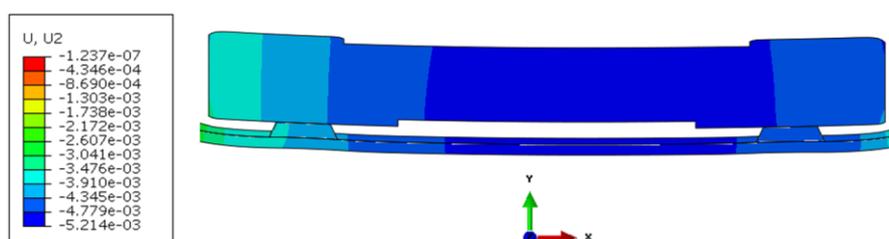


Figure 7 – Champ de déplacement U_y (mm) (avec une déformée 10 fois exagérée) dans le composant ($d = 150 \mu\text{m}$)

5 Conclusion

La nouvelle technologie d'enfouissement de composants électroniques dans les couches internes de circuits imprimés offre de nombreux avantages en termes de densité et performances électriques. Les cartes électroniques étant soumises à des variations thermiques lors du procédé de fabrication puis en opération, des règles de conception spécifiques doivent être établies afin d'assurer une bonne fiabilité : *Design for Manufacturing* et *Design for Reliability*.

Les investigations numériques permettent d'étudier leur comportement thermomécanique et d'identifier les modes de défaillance. Différents paramètres ont été étudiés dans ce travail et il a été constaté que le composant est soumis lors du procédé d'assemblage à des contraintes de compression en dessous du seuil critique. D'autres paramètres ont été étudiés dans ce projet comme l'effet de taille du dépôt de colle qui vise à solidariser le composant et la couche de cuivre, la présence de composants différents dans une même cavité ou encore la hauteur de la cavité et donc du cœur. Par manque de places, les résultats ne sont présentés dans ce papier. Il s'avère que dans les configurations testées, la technologie semble sûre, du point de vue du composant.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier la Direction Générale de la Compétitivité, de l'Industrie et des Services (DGCIS) à travers le projet N°112930268 et le programme Eureka Euripides² via le projet Board on Board Technology N°10-101 pour leur soutien financier.

Références

- [1] H. S. Cho, S. Cho, J. Jo, H. Seo, B. Kim, and J. Yoo, “Highly reliable processes for embedding discrete passive components into organic substrates,” *Microelectron. Reliab.*, vol. 48, no. 5, pp. 739–743, 2008.
- [2] W. Jillek and W. K. C. Yung, “Embedded components in printed circuit boards: A processing technology review,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 25, no. 3–4, pp. 350–360, 2005.
- [3] W. C. Maia Filho, M. Brizoux, and A. Grivon, “Optimization of PCB build-up layer configuration for electronic assemblies with active embedded components in the board,” in *2010 11th International Thermal, Mechanical & Multi-Physics Simulation, and Experiments in Microelectronics and Microsystems (EuroSimE)*, 2010, pp. 1–5.
- [4] B. Atli-Veltin, S. Noijen, and J. Caers, “Thermo-mechanical investigation of the reliability of embedded components in PCBs during processing and under bending loading,” in *2012 13th International Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems*, 2012, pp. 1–4.
- [5] M. Pletz, R. Bermejo, P. Supancic, J. Stahr, and M. Morianz, “Numerical investigation of the process of embedding components into Printed Circuit Boards,” in *2011 12th Intl. Conf. on Thermal, Mechanical & Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems*, 2011, pp. 1–8.
- [6] W. Steplewski, T. Serzysko, G. Koziół, and A. Dzedzic, “Preliminary assessment of the stability of thin- and polymer thick-film resistors embedded into printed wiring boards,” *Microelectron. Reliab.*, vol. 52, no. 8, pp. 1719–1725, 2012.
- [7] J. Stahr, M. Morianz, M. Brizoux, A. Grivon, and W. Maia, “Simulation of Embedded Components in PCB Environment and Verification of Board Reliability,” in *IPC APEX EXPO Conference*, 2013.
- [8] M. Grujicic and H. Zhao, “Optimization of 316 stainless steel/alumina functionally graded material for reduction of damage induced by thermal residual stresses,” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 252, no. 1, pp. 117–132, 1998.