

Prédiction de la durée de vie des joints de soudures des boîtiers électroniques BGA, soumis à des cycles thermiques

Om. BENDAOU^{1,2}, Ot. BENDAOU³, M. AGOUZOUL¹, A. EL HAMI²

1. Université Mohammed V, EMI, ERD3M Rabat-MAROC + omarbendaou@gmail.com

2. INSA de Rouen, LOFIMS FRANCE

3. Faculté des Sciences de Tétouan, Equipe MS2M

Résumé :

Dans le présent travail, on a adopté une méthodologie via analyse par éléments finis avec utilisation d'un modèle global et un sous modèle local fondée sur la loi viscoplastique d'Anand et le modèle de Darvaux, en vue de prédire la durée de vie des joints de soudure par fatigue et estimer aussi la performance de fiabilité des packages électroniques BGA. Les simulations menées ont permis d'identifier la zone la plus critique du package et partant prédire le nombre de cycles d'initiation de la fissure ainsi que le nombre de cycle avant défaillance.

Mots clés : BGA, FEM, Cycles thermiques, Fatigue

1 Introduction

Les packages BGA sont exposés à diverses contraintes d'ordre thermiques et mécaniques entraînant l'initiation et la propagation de la fissuration des joints de soudure et partant la défaillance de tout le package. De ce fait, la déféctuosité des joints de soudures s'est avérée très fréquents, c'est la raison pour laquelle de nombreuses études ont été menées dans ce sens, en vue de prédire la durée de vie des joints de soudures, lors des cycles thermiques ou des cycles de puissances. Dans la présente étude, nous nous sommes intéressés à analyser la durée de vie des joints de soudures lors des cycles thermiques.

Les essais de fatigue expérimentaux soumis à des cycles thermiques, lors de la phase de conception et de l'élaboration des prototypes s'avèrent contraignants en termes de temps et de ressources matérielles. La simulation à l'aide de la méthode des éléments finis intégrant les recommandations JEDEC constitue une option alternative qui permettra de fournir un aperçu précieux au sujet des caractéristiques d'évolution des états internes de la soudure, de la déformation par fatigue à faible cycle et de la prédiction de la rupture de la soudure.

2 Modèle de prédiction de la Durée de vie, soumis aux cycles thermiques

La fatigue des joints de soudure est le principal mécanisme de défaillance sous cycle thermique des boîtiers BGA. Aussi, pour prédire la durée de vie de la couche de soudure dans les modules de puissance et d'autres types de packages électroniques, plusieurs modèles ont été développés à cet effet. Mais, celui proposé par Darvaux constitue l'un des critères de défaillance largement utilisés pour la prédiction de la fatigue thermique à faible cycle.

2.1 Modèle de Darvaux

En effet, ce modèle décrit la relation entre la densité d'énergie de déformation viscoplastique moyennée par le volume des éléments accumulée par cycle ΔW et le nombre de cycles d'initiation de fissure N_0 et le taux de propagation de la fissure da/dN :

$$N_0 = K_1 \Delta W^{K_2} \quad (1)$$

$$\frac{da}{dN} = K_3 \Delta W^{K_4} \quad (2)$$

K_1	$7100 \text{ cycles/psi}^{K_2}$
K_2	-1.62
K_3	$2.76 \times 10^{-7} \text{ in./cycle/psi}^{K_4}$
K_4	1.05

TABLE 1: Les valeurs des constantes empiriques utilisées dans la prédiction de la durée de vie en fatigue mécanique

Où K_1 , K_2 , K_3 et K_4 sont les constantes empiriques telles que représentées dans le tableau 1 et a est la longueur de la fissure. Ainsi, la durée de vie N_t^f peut être obtenue comme suit :

$$N_t^f = N_0 + \frac{a}{da/dN} \quad (3)$$

Le paramètre ΔW est défini comme suit :

$$\Delta W = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta W_i \cdot V_n}{\sum_{i=1}^n V_n} \quad (4)$$

Où ΔW_i désigne la densité de travail visco-plastique dans le i ème élément dans FEA, dont le volume est noté V_n .

2.2 Modèle d'Anand

Pour calculer avec précision ΔW dans l'équation 4, un modèle éléments finis, assorti d'une description précise tenant compte du comportement de déformation dépendant du temps et de la température de la soudure est donc nécessaire. Parmi les différents modèles constitutifs dépendants du temps et de la température pour la brasure dans les modules de puissance figure le modèle viscoplastique introduit par Anand qui est largement utilisé.

Le modèle Anand se compose de deux équations différentielles couplées qui lient la vitesse de déformation inélastique au taux de résistance à la déformation. L'équation de la vitesse de déformation est :

$$\dot{\epsilon}_P = A \left[\sinh \left(\frac{\xi \sigma}{S} \right) \right]^{\frac{1}{m}} e^{-Q/RT} \quad (5)$$

Où $\dot{\epsilon}_P$ est la vitesse de déformation inélastique, A est une constante, ξ est le multiplicateur de contraintes, σ est la contrainte, S est la résistance à la déformation, R est la constante de gaz, m est la sensibilité de la vitesse de contrainte, Q est l'énergie d'activation, Et T est la température absolue. Et la vitesse de l'équation de résistance à la déformation est :

$$\dot{S} = \left\{ h_0 (|B|)^\alpha \frac{B}{|B|} \right\} \dot{\epsilon}_P \quad (6)$$

Où

$$B = 1 - \frac{S}{S^*} \quad (7)$$

$$S^* = \hat{S} \left[\frac{1}{A} \dot{\epsilon}_P e^{-Q/RT} \right]^n \quad (8)$$

Où S^* est la valeur de saturation de S , \hat{S} est le coefficient de valeur de saturation de résistance à la déformation, et n est la sensibilité de vitesse de contrainte. A partir du développement des équations précédentes, il y a 9 paramètres matériels qui doivent être définis dans le modèle Anand. Le tableau II présente ces paramètres pour l'alliage SAC305 utilisés dans ce travail [1].

Paramètre	Description	Valeur
S_0 (MPa) :	Valeur initiale de la résistance à la déformation	45.9
Q/R (K^{-1}) :	Energie d'activation/Constante de Boltzmann	7460
A (s^{-1}) :	Facteur pré-exponentiel	5.87×10^6
ξ :	Multiplicateur de stress	2.0
m :	Taux de sensibilité à l'effort de stress	0.0942
h_0 (MPa) :	Constante de durcissement	9350
\hat{S} (MPa) :	Coefficient de la valeur de saturation à la résistance de déformation	58.3
n :	sensibilité à la vitesse de déformation	0.015
a :	Taux de sensibilité à l'effort au durcissement	1.5

TABLE 2: Paramètres du modèle d'anand du SAC305

3 Le modèle de simulation

Comme dans toute analyse FEM, celle ci est entamée par la génération du modèle, suivie par la simulation des cycles thermiques et la transition du modèle global au sous-modèle local, pour se terminer par le calcul de la durée de vie.

Pour ce faire, un modèle éléments finis global à 3D du BGA a été construit sous ANSYS ADPL 16. Par la suite, on a utilisé un maillage paramétré, afin d'augmenter la robustesse et la précision des résultats. De même, pour réduire le temps de calcul, seulement 1/8 du package est modélisé, en raison de la symétrie. Le BGA étudié se compose de 8 matériaux à savoir : Substrat, Die attach, Die, Over mold, Cu, Solder Mask, FR4 et les joints de soudures [2]. Ces joints de soudure ont été considérés comme un matériau viscoplastique et modélisés par l'élément SOLID185. Quant aux autres matériaux, ceux-ci sont considérés comme étant élastiques et modélisés par l'élément SOLID45.

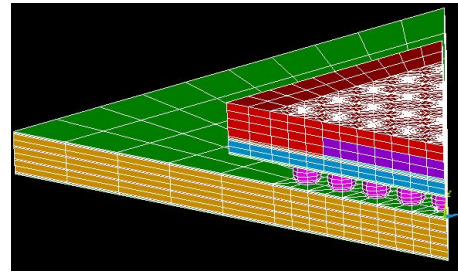


FIGURE 1: Modèle éléments finis global du BGA

Concernant les charges de températures cycliques, celles-ci varient entre -40°C et 100°C avec une montée en régime de 4 minutes, une descente de 6 minutes, un temps d'arrêt de 26 minutes à la température maximale et de 24 minutes à la température minimale. La température de référence (sans sollicitation) est de 25°C . Quatre cycles

thermiques sont réalisés, afin d'obtenir un cycle d'hystérésis contrainte-déformation stable [3].

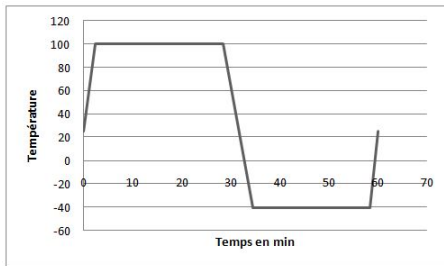


FIGURE 2: Description du cycle thermique

4 Solution

Une fois le calcul du modèle globale est terminé, on doit identifier le joint de soudure le plus critique sur la base de La valeur maximale du travail plastique qui constitue un critère d'identification.

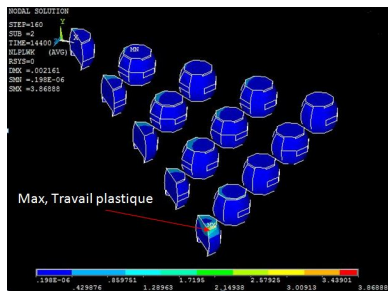


FIGURE 3: Travail plastique à la fin du cycle thermique

il ressort que le joint de soudure externe sur la diagonale du package identifié est clairement le joint de soudure le plus critique (figure 3).

Ensuite, on a créé un sous modèle local qui nous a permis d'avoir des résultats plus précis du joint de soudure le plus critique (figure 4). Les conditions aux limites de ce sous modèle sont déterminées à partir de la solution du modèle global et appliquées au sous modèle par l'utilisation de la méthode d'interpolation. Une fois que le champ de déplacement est interpolé au sous modèle, on applique les cycles thermiques.

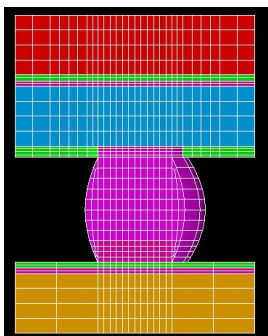


FIGURE 4: Sous modèle local

Après obtention du résultat du sous-modèle, on a tracé un graphique du solder joint à la fin du cycle thermique. Aussi, on a constaté que le côté du package est le plus critique et donc la prédiction de la durée de vie sera effectuée pour ce côté (figure 5).

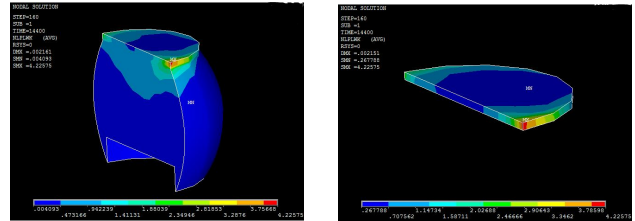


FIGURE 5: Travail plastique dans le sous modèle

Les résultats issus des simulations sont rassemblés dans le Tableau 3. Le nombre de cycles avant l'initiation de la fissure et la durée de vie du boîtier sont calculés à l'aide de la méthodologie de Darveaux décrite précédemment.

nombre de cycle avant l'initiation du crack	384 cycles
durée de vie	1799 cycles

TABLE 3: Résultats de simulation

5 Conclusion

La méthode de simulation par éléments finis fondé sur loi viscoplastiques nous a permis de prédire que la fiabilité des joints de soudure dans des conditions de cycle à température accélérée (-40°C à + 100°C) ont une durée de vie de l'ordre de 1799 cycles.

Par ailleurs, il convient de préciser que le modèle éléments finis relatif au package électronique BGA étudié a été validé et calibré après confrontation des résultats obtenus avec des résultats de référence. Aussi, ce modèle pourra constituer une base pour d'autres analyses d'optimisation fiabiliste, afin d'augmenter aussi bien la durée de vie des joints de soudure que la performance du boîtier électronique.

Références

- [1] J.Chang et al. *Finite element modeling predicts the effects of voids on thermal shock reliability and thermal resistance of power device*, Weld J 85(2006),63–70.
- [2] Om. Bendaou et al, *Analyse mécano-fiabiliste d'un package électronique de type BGA*, Congrès de Mécanique, Casablanca, Maroc, 21 - 24 Avril 2015.
- [3] E.Madenci, *FATIGUE LIFE PREDICTION OF SOLDER JOINTS IN ELECTRONIC PACKAGES WITH ANSYS*, Springer, Arizona, USA, 2002.