

Endommagement d'assemblages soudés soumis à des chargements de fatigue à amplitude variable

Q. Pierron^{a,b}, H. Maïtournam^a, I. Raoult^b, B. Delattre^b

a. IMSIA, ENSTA ParisTech, CNRS, CEA, EDF, Université Paris-Saclay

{quentin.pierron,habibou.maitournam}@ensta-paristech.fr

b. PSA Groupe, {ida.raoult,benoit.delattre}@mpsa.com

Résumé

Pour dimensionner une pièce automobile soudée soumise à des chargements de fatigue complexes à amplitude variable en endurance limitée, il est nécessaire de savoir calculer sa durée de vie. Une démarche expérimentale cohérente est proposée. Des éprouvettes ont été conçues de manière à permettre la mesure indirecte de l'endommagement dans une zone unique limitée et ouverte. Le choix d'indicateurs d'endommagement est justifié. Ces indicateurs sont des mesures de suivi de fissure par chute de potentiel électrique et chute de déformation et des mesures indirectes de la dissipation thermique.

Mots clés : fatigue, amplitude variable, endommagement,

1. Introduction

La tenue à la fatigue des assemblages soudés (soudure MAG) est un enjeu important pour les constructeurs automobiles. De nombreuses hypothèses sont faites sur l'endommagement que subit une pièce durant son utilisation. Ces hypothèses sont nécessaires pour dimensionner des pièces qui subissent des chargements complexes (variable, non périodique) à partir d'essais de caractérisation. Les travaux présentés ici ont pour vocation d'identifier un modèle de prédiction de la durée de vie d'un assemblage soudé soumis à un chargement uniaxial (une seule direction d'effort imposé) variable complexe. De nombreuses études ont déjà cherché à modéliser l'endommagement sous chargement variable [1,2,3]. Souvent, la méthode de cumul de dommage linéaire (loi de Miner) est mise en défaut par leurs résultats d'essais sous chargement variable, des modèles empiriques sont alors proposés pour prédire leurs résultats d'essais mais la validité de ces modèles pour les chargements réels sur structures soudées n'est jamais entièrement démontrée. Nous proposons alors de réaliser des essais de fatigue à amplitude variable des plus simples aux plus réalistes pour comprendre quelles sont les caractéristiques prépondérantes du chargement réel qui influencent la durée de vie. Cependant, pour pallier le nombre considérable de longs essais de fatigue à réaliser, nous allons tenter de suivre expérimentalement l'évolution de l'endommagement au cours d'un chargement variable plutôt que de relever uniquement la durée de vie jusqu'à rupture à chaque essai.

2. Choix de l'éprouvette

Dans ce contexte, un choix judicieux de la géométrie des éprouvettes est indispensable. La géométrie choisie répond alors aux critères suivants :

1. L'assemblage soudé doit être représentatif des assemblages soudés présents dans une automobile. L'assemblage soudé choisi est une géométrie à clin avec des dimensions correspondantes à celle des pièces automobiles.
2. L'endommagement doit être unique et fortement localisé pour permettre une interprétation de l'endommagement local à partir de mesures plus globales (macroscopiques). Ainsi, l'éprouvette présente un unique cordon de soudure.
3. L'endommagement doit avoir lieu en pied de cordon de soudure pour faciliter son observation. Des calculs numériques par éléments finis ont permis de sélectionner une géométrie qui localise fortement la contrainte principale maximale en pied de cordon de soudure plutôt qu'en racine.

2. Mesures

2.1 Suivi de fissure

On considère habituellement que l'endommagement jusqu'à rupture d'une pièce sollicitée en fatigue suit trois phases successives : l'initiation de fissures courtes, la propagation de fissure courte puis la propagation de fissure longue. Ces trois phases font intervenir des phénomènes physiques différents et donnent lieu à des modèles différents. Dans le cas des assemblages soudés étudiés, la propagation de fissures trop longues n'est pas intéressante car elle est postérieure à la défaillance des pièces. Toutefois, le postulat fait dans ces travaux est que la phase de propagation de fissures détectables n'est pas négligeable par rapport à la durée de vie totale d'un assemblage soudé jusqu'à défaillance. C'est pourquoi nous avons cherché à suivre la fissuration pour étudier l'endommagement d'un assemblage. Pour cela, deux types de mesure ont été retenus : la mesure de déformation près du cordon par des jauges de déformation et la mesure de chute de potentiel électrique de part et d'autre du cordon. Des calculs numériques par éléments finis sur éprouvette fissurée ont été utilisés pour déterminer une position des capteurs qui minimise la taille de la plus petite fissure détectable.

2.2 Suivi de dissipation thermique

En complément du suivi de fissuration, nous avons cherché à suivre l'endommagement lors de la phase d'initiation de fissure. Actuellement, plusieurs équipes de recherche [4,5] étudient l'auto-échauffement comme méthode de caractérisation rapide de la tenue à la fatigue. Cette technique prometteuse est basée sur la détermination de la dissipation thermique d'éprouvette non endommagée et donc exploite seulement la phase d'initiation de fissure. Elle a été appliquée avec succès pour des assemblages soudés par cordon [6]. Ainsi, nous avons décidé de mesurer l'évolution de la dissipation thermique durant les sollicitations de fatigue.

L'identification de la dissipation thermique en pied de cordon est réalisée par le biais des étapes suivantes.

1. Une expression paramétrée du terme source de dissipation thermique est fixée. Par exemple, Munier [4] propose l'équation (1).

$$r_{\text{diss}} = \alpha \left(\frac{\sigma_{\text{amp}}}{\sigma_{\text{max}}} \right)^2 + \beta \left(\frac{\sigma_{\text{amp}}}{\sigma_{\text{max}}} \right)^{m+2} \quad (1)$$

2. Ce terme de dissipation complète l'équation thermique suivante valable dans le modèle d'éprouvette (équation 2).

$$\rho c \dot{T} - \lambda \Delta T = -k T_0 \text{tr}(\bar{\bar{\epsilon}}_e) + r_{\text{diss}} \quad (2)$$

3. La résolution de l'équation thermique dans un modèle d'éprouvette permet l'identification des paramètres du terme source pour que les températures calculées correspondent aux températures mesurées en surface de l'éprouvette par une caméra infrarouge. Ce processus est répété plusieurs fois durant la durée de vie de l'éprouvette pour relever l'évolution de la dissipation thermique.

Toutes ces étapes expérimentales et numériques pour l'obtention de la dissipation thermique en pied de cordon sont issues des travaux de P. Florin et adaptées à la configuration de notre éprouvette.

3. Conclusion

Après avoir appuyé la nécessité de réaliser des essais de fatigue à amplitude variable pour assurer un dimensionnement plus fiable des assemblages soudés par cordon, nous avons cherché une démarche expérimentale adéquate qui doit permettre d'obtenir un maximum de résultats avec un nombre d'essai raisonnable. Cela est possible en utilisant des moyens de mesure complémentaires car ils permettent d'étudier des phénomènes différents mais liés à l'endommagement.

Remerciements

Les auteurs remercient vivement l'entreprise Arcelor Mittal pour sa contribution à ces travaux par la réalisation physique des éprouvettes soudées de fatigue et particulièrement B. Weber pour ses conseils judicieux pour la conception de ces éprouvettes.

Références

- [1] Fatemi, A. & Yang, L. Cumulative fatigue damage and life prediction theories: a survey of the state of the art for homogeneous materials International Journal of Fatigue, 1998, 20, 9 – 34
- [2] J. Lemaitre, R. Desmorat, M. Sauzay, Loi d'évolution de l'endommagement anisotrope, Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series IIB - Mechanics-Physics-Astronomy, 327 (1999), 1231 – 1236
- [3] M. Jabbado, M. H. Maitournam, A high-cycle fatigue life model for variable amplitude multiaxial loading, Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, 31 (2008), 67-75
- [4] R. Munier, C. Doudard, S. Calloch, B. Weber, Determination of high cycle fatigue properties of a wide range of steel sheet grades from self-heating measurements, International Journal of Fatigue, 63 (2014), 46 – 61
- [5] G. Fargione, A. Geraci, G. L. Rosa, A. Risitano, Rapid determination of the fatigue curve by the thermographic method, International Journal of Fatigue, 24 (2002), 11 – 19
- [6] P. Florin, Caractérisation rapide des propriétés à la fatigue à grand nombre de cycles des assemblages métalliques soudés de type automobile : vers une approche basée sur des mesures thermométriques, Thèse, Université de Bretagne Occidentale, 2015