

Etude et modélisation du faïençage des couches anodiques sur substrat aluminium soumises à des chargements de fatigue multiaxiaux

B. Malek, C. Mabru and M. Chaussumier

Université de Toulouse, Institut Clément Ader, UMR CNRS 5312, UPS/INSA/ISAE/Mines Albi,
10 Avenue Edouard Belin, 31055 Toulouse Cedex 4, France

Résumé

Des éprouvettes en alliage d'aluminium 7050 et 2214 usinées avec deux niveaux de rugosité et testées en fatigue ont permis de constater que la tenue en fatigue est meilleure lorsque la rugosité d'usinage est plus faible. D'autres essais sur des éprouvettes usinées puis anodisées ont montré que le procédé d'anodisation conduit à un fort abattement de la tenue en fatigue des alliages d'aluminium. Cet abattement n'a cependant pas les mêmes origines selon l'alliage et selon le traitement d'anodisation. Pour l'alliage 2214, c'est la phase d'oxydation anodique - colmatage qui génère la totalité de cet abattement. Pour l'alliage 7050, l'abattement de la tenue en fatigue est à mettre sur le compte de la phase de décapage qui entraîne 90% de cet abattement. L'application du modèle de prévision de durée de vie basé sur le modèle de Suraratchai au cas de l'alliage 7050 a permis de prédire l'abattement supplémentaire de la tenue en fatigue observé entre les états décapé et anodisé. Des essais sous sollicitation multiaxiale sont prévus afin d'identifier les mécanismes de fissuration sous ces sollicitations, d'améliorer et d'enrichir la modélisation existante.

Mots clés : fatigue ; anodisation ; multiaxiale

1. Introduction

Les alliages d'aluminium sont largement utilisés dans la construction aéronautique vu leurs hautes caractéristiques mécaniques et leur faible densité. La protection contre la corrosion impose une couche protectrice; au niveau de cette couche, des fissures peuvent se développer et participer à l'endommagement du matériau.

Quelles sont alors les causes de fissuration et de faïençage de ces couches? Quelle est l'influence de la nature du chargement sur les mécanismes de fissuration de ces couches?

2. Fatigue uniaxiale

2.1 Matériaux d'étude

2.1.1 Alliage 2214

L'alliage 2214 (fourni par MESSIER-BUGATTI) est un alliage d'aluminium-cuivre contenant un peu de silicium et de manganèse; le durcissement est produit par la précipitation de la phase intermétallique Al_2Cu pendant le vieillissement. Ses propriétés mécaniques sont résumées dans Table 2.

Sa microstructure est constituée de grains non recristallisés et de grains recristallisés (cf. Table 1).

Après usinage, les échantillons sont dégraissés; les surfaces sont ensuite décapées pour augmenter la mouillabilité et leur réactivité afin de procéder dans des conditions optimales à l'anodisation (traitements réalisés par MESSIER-BUGATTI).

L'oxydation anodique a été réalisée dans un bain contenant 200g/l d'acide sulfurique (H_2SO_4) à 18°C.

2.1.2 Alliage 7050

Cet alliage est riche en zinc et contient du magnésium et du cuivre; sa structure est granulaire mixte de grains non recristallisés et des petits et gros grains recristallisés cf. table 1. Ses propriétés mécaniques sont récapitulées dans Table 2.

La surface des échantillons a subi de même du dégraissage et du décapage avant anodisation (Traitements réalisés par AIRBUS). Quant à l'oxydation anodique, elle a été réalisée dans une solution d'acide chromique (CrO_3) pendant 50 minutes à 40°C.

2214/7050	Grains non cristallisés	Grains cristallisés	Inclusions
Fraction (%)	56,69/68,53	40,75/30,17	2,56/1,27

Table 1. Fractions surfaciques des différentes phases des deux alliages 2214 et 7050 [1]

	$R_{p0,2}$ (MPa)	R_m (MPa)	Elongation (%)	E : Module de Young (GPa)
2214/7050	415/440	468/504,4	11,8/11,4	73,4/72,6

Table 2. Propriétés mécaniques des deux alliages 2214 et 7050 [1]

2.2 Résultats expérimentaux

Les essais de fatigue ont été réalisés en traction ondulée ($R = 0,1$) et purement alternée ($R = -1$) sur des éprouvettes usinées avec deux niveaux de rugosité (0,8 et 3,2 μm).

Alliage 2214

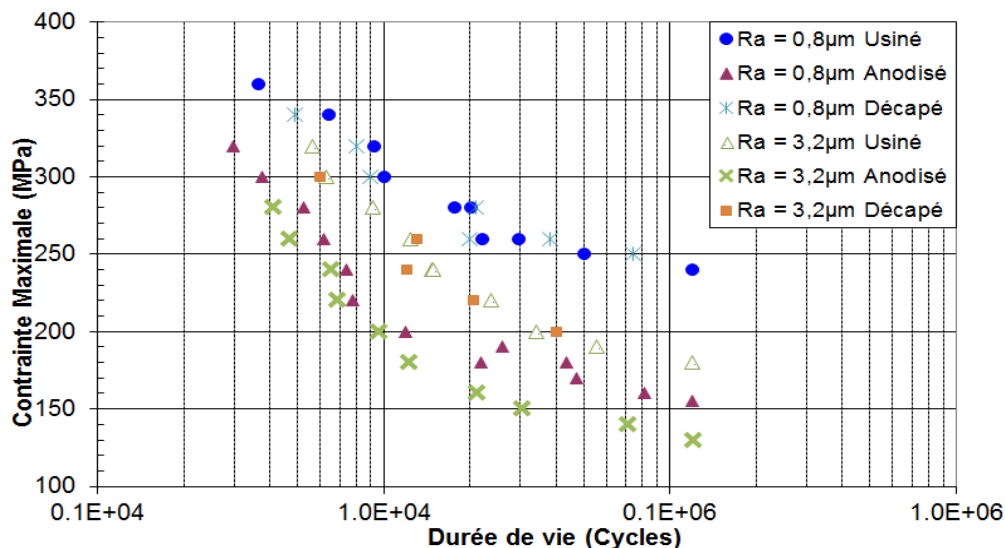


Fig. 1. Résultats de fatigue des éprouvettes usinées, décapées et anodisées à deux niveaux de rugosité ($R = 0,1$) [1]

D'après la figure 1, nous pouvons constater la très forte influence de la rugosité et de l'anodisation sur la tenue en fatigue.

- L'influence de la rugosité est plus marquée à faible niveau de contrainte.
- Au fort niveau de contrainte, la diminution de l'abattement lié à la rugosité s'explique par le fait que la phase d'amorçage tend à perdre son caractère prédominant au bénéfice de la propagation. En effet, les défauts métallurgiques situés en surface, comme les précipités pré-fissurés sont fortement sollicités et génèrent de fortes concentrations de contrainte, qui prennent le dessus sur la concentration de contrainte liée à la rugosité.
- L'effet de l'étape de décapage est négligeable, quelle que soit la rugosité.
- L'abattement de la tenue en fatigue suite à l'anodisation dépend de la rugosité initiale : plus la rugosité initiale est faible, plus l'abattement causé par l'anodisation est important. En effet, dans le cas des faibles rugosités, le matériau est plus sensible à la répartition des sites d'amorçage que

représentent les défauts créés lors de l'anodisation. Une forte rugosité, au contraire, l'emporte sur les effets de l'anodisation et diminue cette sensibilité. Cette sensibilité augmente d'autant plus que le niveau de contrainte diminue.

Alliage 7050

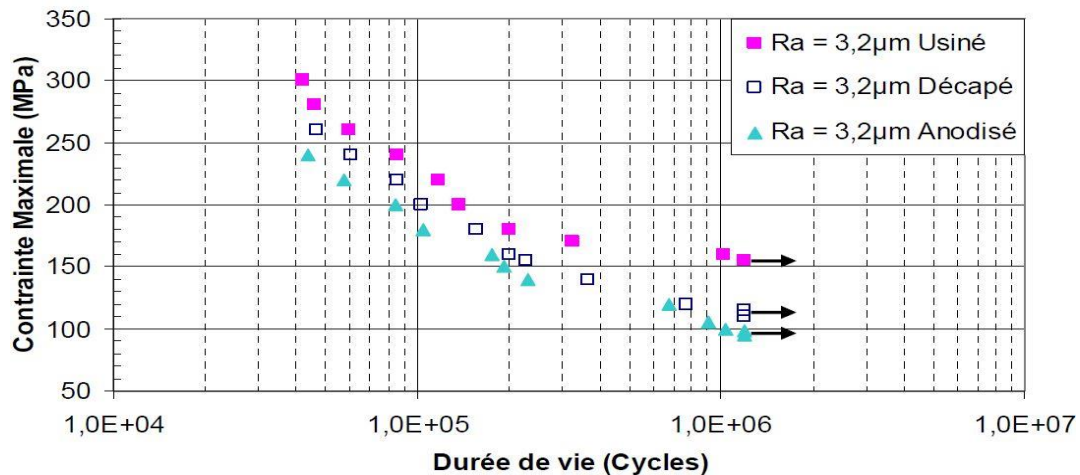


Fig. 2. Résultats de fatigue des éprouvettes usinées, décapées et anodisées de forte rugosité ($R=0,1$) [1]

Les résultats obtenus pour cet alliage (figure 2) montrent que l'abatement de la tenue en fatigue résulte d'un abatement lié au décapage et d'un abatement supplémentaire lié à l'anodisation proprement dite, mais cet abatement est très faible comparativement à celui causé par le décapage. Cette diminution supplémentaire de la résistance à la fatigue pour les éprouvettes anodisées est due à l'agrandissement des cavités qui avaient été créées lors du décapage.

Il s'avère donc que :

- L'anodisation mène à une diminution importante de la résistance en fatigue.
- Pour l'état usiné, la nucléation des fissures est due aux particules (Mg_2Si et Al_7Cu_2Fe) [1].
- Pour l'état décapé, les sites de nucléation sont généralement créés, durant le décapage, par dissolution des particules intermétalliques de type Al_7Cu_2Fe et Al_2CuMg .

2.3 Résultats numériques

Pour prévoir la durée de vie en fatigue, une méthode analytique a été développée, qui repose sur la détermination du coefficient de concentration de contrainte lié à l'état de surface à l'aide d'un modèle éléments finis construit à partir d'un relevé topographique de la surface (cf. figure 3-b). L'application du modèle de Suraratchai [2], pour chaque niveau de contrainte maximale nominale, a permis de calculer un nombre de cycles en propagation d'une fissure unique de forme semi-elliptique de rapport de forme initiale (c_i/a_i).

Le facteur de concentration de contrainte est le suivant:

$$Kt_i = \frac{\sigma_{i,loc}^{max}}{\sigma_{nom}^{max}} \quad \text{Eq. (1)}$$

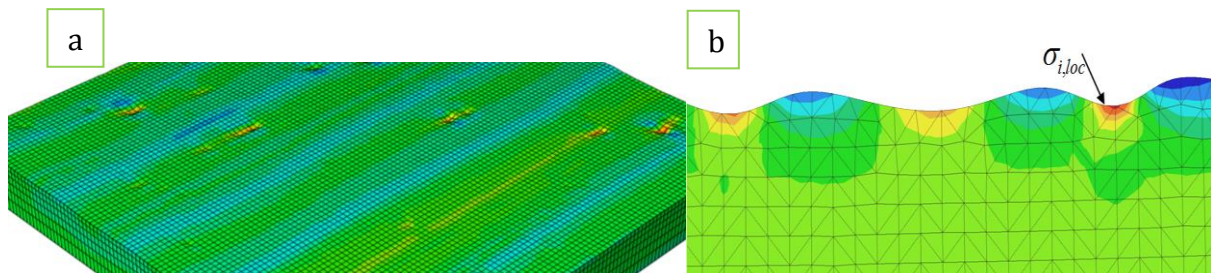


Fig. 3. a-Modèle éléments-finis d'un volume élémentaire à partir de la topographie d'une surface décapée - cas de l'alliage 7050, $Ra=0,8\mu m$, b-Carte de répartition des contraintes fournie par le modèle de Suraratchai

Puis l'application du modèle de Suraratchai [2], pour chaque niveau de contrainte maximale nominale, dans lequel une loi de propagation des fissures courtes associée à une approche multi-fissures, permet de construire une courbe de fatigue pour l'état anodisé.

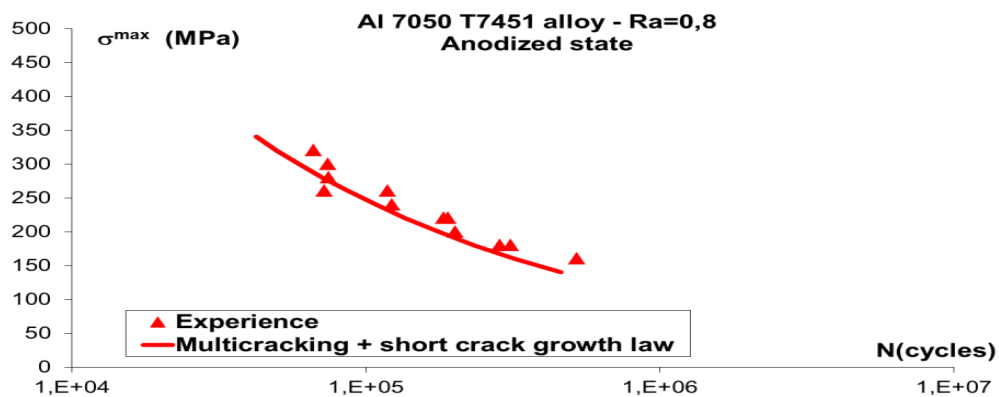


Fig. 4. Comparaison modèle et résultats expérimentaux pour l'alliage 7050 [3]

Les durées de vie prédites par ce modèle sont comparées aux résultats expérimentaux pour l'alliage 7050 sur la figure 4. Ces résultats suggèrent que ce modèle associé à une caractérisation fine de la microstructure et une approche probabiliste pourrait permettre d'effectuer des prévisions pertinentes de durée de vie pour les pièces réalisées en alliage d'aluminium anodisé.

3. Fatigue multiaxiale

L'approche uniaxiale reste limitée car elle n'est pas complètement représentative des sollicitations réelles auxquelles sont soumises les structures. Pour cela, dans le but de bien modéliser et appréhender le phénomène de faïençage des couches anodiques et bien décrire la durée de vie de nos alliages, des essais de fatigue multiaxiale (traction, torsion et pression interne) sont prévus pour prendre en compte la multiaxialité des contraintes.

4. Conclusion

Les essais de fatigue réalisés sur les éprouvettes uniquement usinées ont permis de constater que la tenue en fatigue est meilleure lorsque la rugosité d'usinage est plus faible.

Le procédé d'anodisation conduit à un fort abattement de la tenue en fatigue des alliages aluminium, cet abattement n'a cependant pas les mêmes origines selon l'alliage et plus certainement selon le traitement d'anodisation. Pour l'alliage 2214, c'est la phase d'oxydation anodique -colmatage qui génère la totalité de cet abattement. Pour l'alliage 7050, l'abattement de la tenue en fatigue est à mettre sur le compte de la phase de décapage qui entraîne 90% de cet abattement.

L'application d'un modèle de prévision de durée de vie basé sur le modèle de Suraratchai au cas de l'alliage 7050 a permis de prédire l'abattement supplémentaire de la tenue en fatigue observé entre les états décapé et anodisé.

Des essais sous sollicitations multiaxiales sont prévus afin d'identifier les mécanismes de fissuration sous ces sollicitations d'améliorer et d'enrichir la modélisation existante.

Références

- [1] M. Shahzad, Influence de la rugosité et des traitements d'anodisation sur la tenue en fatigue des alliages d'aluminium aéronautiques 2214 et 7050, Thèse Université de Toulouse, 2011.
- [2] M. Suraratchai, J. Limido, C. Mabru, R. Chieragatti, Modelling the influence of machined surface roughness on the fatigue life of aluminium alloy, International Journal of Fatigue, Vol. 30, Issue 12, 2008, Pages 2119-2126.
- [3] M. Chaussumier, C. Mabru, M. Shahzad, R. Chieragatti, F. Rezai-Aria, A predictive fatigue life model for anodized 7050 aluminium alloy, International Journal of Fatigue, Vol. 48, March 2013, Pages 205-213.