



HAL
open science

Propriétés mécaniques des matériaux composites (SiC/2124 et SiC/8090) soumis à des sollicitations en torsion et traction à grande vitesse et à haute température

J. Fu, C. Labbe, J. Lataillade, Francis Collombet, E. Sellier, Y. Le Petitcorps

► **To cite this version:**

J. Fu, C. Labbe, J. Lataillade, Francis Collombet, E. Sellier, et al.. Propriétés mécaniques des matériaux composites (SiC/2124 et SiC/8090) soumis à des sollicitations en torsion et traction à grande vitesse et à haute température. Journal de Physique IV Proceedings, 1994, 04 (C8), pp.C8-219-C8-224. 10.1051/jp4:1994832 . jpa-00253387

HAL Id: jpa-00253387

<https://hal.science/jpa-00253387>

Submitted on 4 Feb 2008

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.

Propriétés mécaniques des matériaux composites (SiC/2124 et SiC/8090) soumis à des sollicitations en torsion et traction à grande vitesse et à haute température

J.C. Fu, C. Labbe, J.L. Lataillade, F. Collombet, E. Sellier* et Y. Le Petitcorps*

LAMEF, Esplanade des Arts et Métiers, 33405 Talence, France

* LCS, 351 cours de la Libération, 33405 Talence, France

Résumé: Le comportement statique et dynamique en traction et en torsion des matériaux composites à matrice métallique (Al-Cu 2124 et Al-Li 8090) renforcés par des particules de carbure de silicium (SiC) a été étudié pour une gamme de température allant de 25°C à 550°C. Un dispositif de barres de Hopkinson est utilisé pour tous les essais dynamiques.

Ces essais montrent pour les deux matériaux que la vitesse de déformation a une influence très nette sur la déformation maximale et moindre sur la résistance à rupture.

Pour des sollicitation à des températures inférieures à 250°C, la résistance et la ductilité restent à peu près constantes. Elles diminuent à partir de températures plus élevées (>250°C).

L'incidence de la vitesse de déformation et de la température sur les comportements en traction et en torsion est la même.

Abstract: The static and dynamic behaviour of two metal-matrix (Al-Cu 2124 and Al-Li 8090) composite materials, reinforced by particulate SiC have been studied under torsion and tension in the temperature range 25 to 550°C. All the dynamic tests are based on the SHPB technique.

The tests show that the strain rate has an obvious influence on the maximum deformation and a smaller influence on the strength at fracture for the two materials.

For temperatures lower than 250°C, the strength and the ductility remain almost constant. They decrease at high temperature (>250°C).

The effects of strain rate and temperature on the behaviour is same for both tension and torsion.

I. INTRODUCTION

Les composites à matrice métallique (CMM) ont connu ces dernières années, un effort de développement important. Le renforcement d'une matrice d'alliage léger tel que l'aluminium par des particules de carbure de silicium (SiC) permet d'obtenir des composites à module spécifique et à résistance spécifique élevés. Pour les raisons précédentes, ces types des matériaux sont de plus en plus utilisés dans le domaine de l'industrie, essentiellement dans le secteur de l'aérospatiale.

La transformation de demi-produits composites à matrice métallique nécessite la connaissance des lois de comportement de ces matériaux. L'expression mathématique de ces lois nécessite au préalable une étude expérimentale de la réponse des matériaux à des sollicitations mécaniques.

Dans le cadre de cette étude deux matrices d'alliages légers (séries 2124 et 8090) ont été renforcées par des particules de carbure de silicium (SiC). Les sollicitations qui ont été étudiées sont la traction et la torsion, essentiellement à grande vitesse de déformation ($10^{-2}s^{-1}$ à $3 \times 10^2 s^{-1}$ pour les essais en traction, $10^{-2}s^{-1}$ à $2 \times 10^3 s^{-1}$ pour les essais en torsion) et dans une gamme de température entre l'ambiante et $550^\circ C$.

L'ensemble de ces études s'intègre dans le cadre d'un programme européen BRITE EURAM qui vise à s'intéresser à l'ouvrabilité des matériaux composites à matrice métallique.

2.PROTOCOLES EXPERIMENTAUX

2.1 Matériaux étudiés

Les matériaux testés dans le cadre de cette étude ont été fournis par la société BP Composite (GB). Ce sont des composites élaborés par métallurgie des poudres. Cette méthode d'élaboration permet d'incorporer des renforts de carbure de silicium (SiC) de petites dimensions ($3-4\mu m$) avec une fraction massique de 20% répartis de façon homogène dans la matrice. Les deux matrices étudiées sont: l'alliage 2124 à durcissement structural et l'alliage 8090 (Tableau 1).

Tableau 1 Composition chimique des matrices

| Element | Al - Cu 2124 (% en poids) | Al - Li 8090 (% en poids) |
|---------|------------------------------|------------------------------|
| Al | Balance | Balance |
| Cu | 4% - 4.4% | 1.0% - 1.6% |
| Li | 2.2% - 2.7% | |
| Mg | 1.3% - 1.6% | 0.6% - 1.3% |
| Mn | 0.4% - 0.7% | 0.1% (Max) |
| Fe | 0.3% (Max) | 0.3% (Max) |
| Zn | 0.25% | 0.25% (Max) |
| Si | 0.2% | 0.2% (Max) |
| Cr | 0.1% | 0.1 (Max) |
| Zr | | 0.04% - 0.16% |
| Ti | | 0.1% (Max) |
| Ti+Zr | 0.2% | |

2.2 Préparation des échantillons

Les matériaux ont été usinés par usinage conventionnel à partir de tôles et de plaque composites laminées (Fig1).

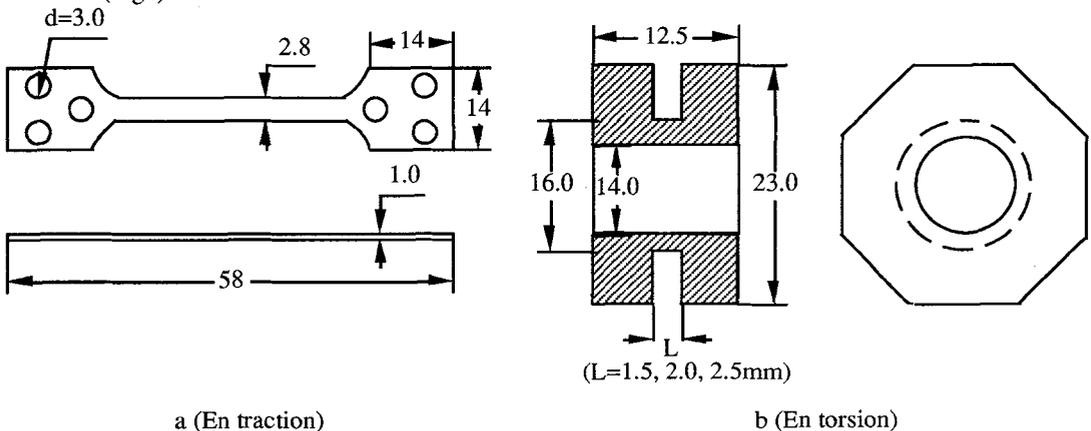


Figure (1)

Après usinage tous les composites ont subi un traitement thermique de mise en solution à 530°C pendant 30 minutes pour l'éprouvette de traction et 35 minutes pour l'éprouvette de torsion suivi d'une trempe à l'eau et testés immédiatement.

2.3 Essais mécaniques

Les essais de traction en statique ont été effectués sur une machine de traction conventionnelle. Les essais à grande vitesse ont été réalisés sur un dispositif des barres de Hopkinson. On a utilisé le dispositif des barres de Hopkinson modifié [1] pour faire des essais de torsion statique.

Le mode de fixation sur les barres pour la traction est explicité sur la figure (2). L'échantillon est fixé sur des supports, eux même vissés sur les barres. Pour la torsion, l'échantillon est encastré dans les barres.

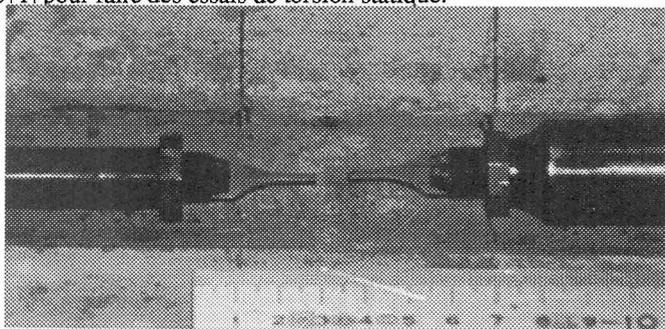


Figure (2)

Un logiciel a été créé pour calculer la contrainte, la déformation et la vitesse de déformation en fonction du temps, ce logiciel prend en compte les corrections

de la dispersion acoustique qui résulte du gradient de température le long des barres.

2.4 Observations microstructurales

Les fractographies ont été observées par microscopie électronique à balayage; la microstructure, les précipités, les tailles de grains ont été caractérisés par microscopie électronique à transmission sur des lames minces préparées à froid par bombardement ionique.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Observations microstructurales

Les principales caractéristiques microstructurales des deux matériaux composites sont récapitulées dans le Tableau 2.

Tableau 2

| | Taille grain | Particules | | Précipités | | |
|----------|--------------|------------|------------|------------|--|-----------------|
| | | Taille | Espacement | Taille | Composition | Localisation |
| 2124 cmm | 0.5 à 1 μm | 3 à 4 μm | 0.5 à 1 μm | 40 nm | Al ₂ Cu(θ et θ') | Intragranulaire |
| | | | | 120nm | Al ₂ Cu(θ,s) Al ₂ CuMn (ou Mg) | Intergranulaire |
| 8090 cmm | 0.1 à 0.5 μm | 3 à 4 μm | 0.5 à 1 μm | 5 à | Al ₄ Li ₉ | Intragranulaire |
| | | | | 60 nm | Al ₅ CuLi ₃ | Intergranulaire |

Pour les deux types de composites, la réaction à l'interface particules/matrice est limitée à quelques centaines d'Angströms, de ce fait il n'y a pas de dégradation physico-chimique du renfort. la liaison renfort-

matrice est assurée par un frettage de la matrice du aux différences entre les CTE.

Les précipités intermétalliques identifiés dans le composite à base de 8090 - phase Al_4Li_9 et Al_5CuLi_3 - sont des phases stables qui résultent du laminage à chaud.

Il n'est pas possible de les dissoudre, quel que soit le traitement thermique ultérieur. Les phases Al_3Li (phase δ , homogène) et Al_2CuLi (phase T1, hétérogène) caractéristiques d'un laminage à froid n'ont pas été identifiées.

3.2 Comportement aux sollicitations mécaniques

3.2.1. Sollicitations statiques

En traction à température ambiante ($25^\circ C$) et pour une vitesse de déformation de $10^{-2}s^{-1}$, le composite SiC/2124 présente une déformation faible avec un pourcentage maximal de 7% à la contrainte à rupture 545Mpa. A partir de la limite élastique, la courbe contrainte-déformation suit une loi de puissance du type $\sigma = B\epsilon^n$, où n traduit l'écroutissage.

La déformation équivalente en torsion est plus grande que celle de traction probablement en raison d'une rupture par cisaillement: elle peut atteindre 18.5%. Une loi de puissance peut être aussi utilisée pour représenter la contrainte en fonction de la déformation, mais le facteur n (écroutissage) est plus grand que celui pour la traction (Fig3(a)).

Pour le composite SiC/8090 la contrainte à rupture et la déformation maximale sont inférieures à celles enregistrées pour le composite SiC/2124 aussi bien dans les essais en traction que dans les essais en torsion. (Fig3(b))

La courbe contrainte-déformation en traction et en torsion a aussi une forme de loi de puissance pour une vitesse de déformation donnée et une température donnée.

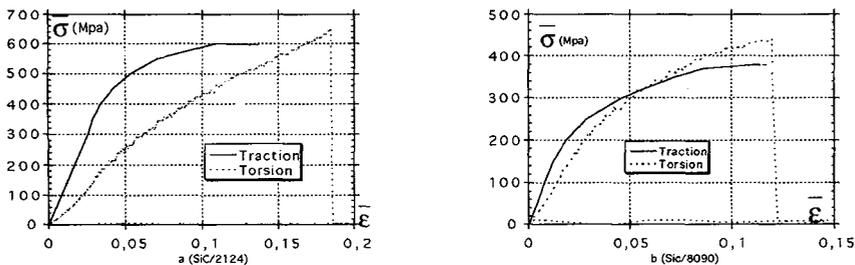


Figure (3)

3.2.2 Sollicitations dynamiques

3.2.2-1 Influence de la vitesse de déformation

En traction, la contrainte d'écoulement et la contrainte à rupture évoluent peu avec la vitesse de déformation dans la gamme de vitesse explorée, c'est à dire entre $10^{-2}s^{-1}$ et $3 \times 10^2 s^{-1}$, pour les deux matériaux.

En revanche, la déformation maximale varie avec la vitesse de déformation. Ce résultat est identique à celui obtenu par Harding sur $SiC_w/Al-2124$ [2].

On observe les mêmes phénomènes dans les essais de torsion. Sur les figures(4)(5) sont présentées les valeurs de la contrainte de cisaillement à rupture et la déformation de cisaillement maximale en fonction

de la vitesse de déformation.

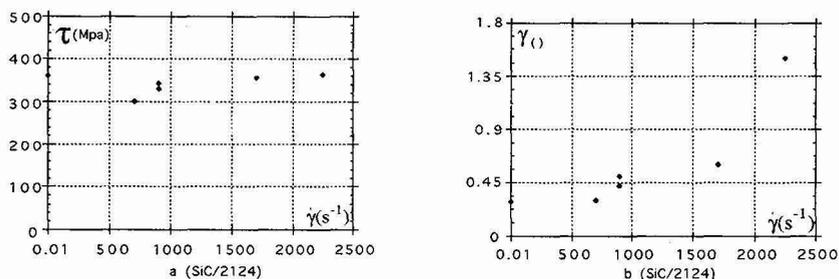


Figure (4)

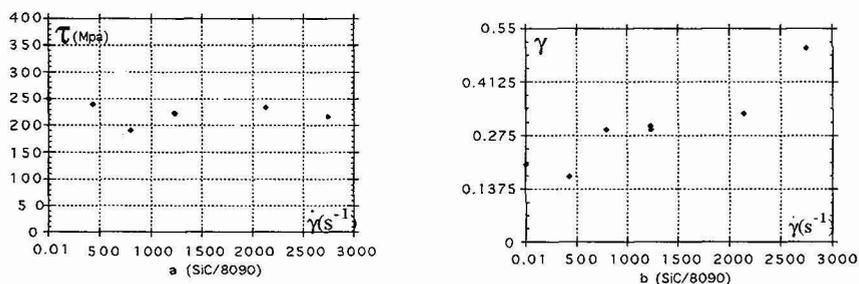
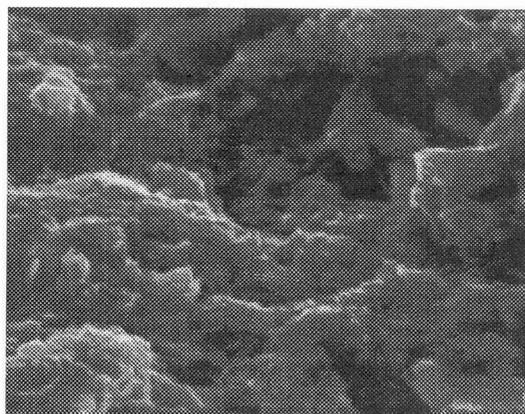


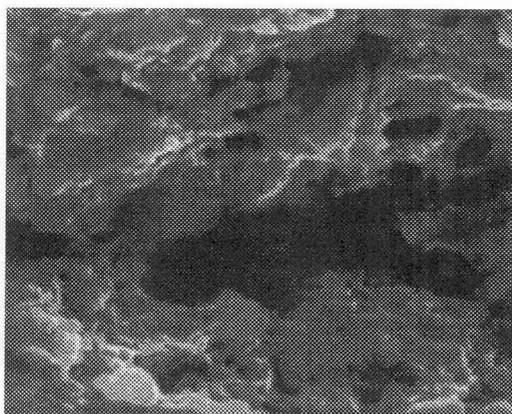
Figure (5)

3.2.2-2 Influence de la température

Entre 25°C et 250°C le comportement des matériaux varie peu en traction comme en torsion. Au delà de 250°C et pour des températures croissantes, la contrainte à rupture diminue. Mais le composite SiC/8090 est moins sensible à ce paramètre que le composite SiC/2124. L'évolution du couple contrainte déformation en fonction de la température se rapproche de l'équation de Johnson-Cook[3].



SiC/8090 (25°C) (1cm = 5 μ m)



SiC/8090 (450°C) (1cm = 5 μ m)

Figure (6)

La déformation maximale diminue lorsque la température augmente, il semblerait donc que le matériau se fragilise lorsqu'il est sollicité à hautes températures(Fig6). Cette évolution est à relier à une modification de la taille des grains ou plus probablement à l'accroissement de la taille des précipités.

4. CONCLUSION

La différence de comportement mécanique entre les alliages 2124 et 8090 se retrouve pour les composites SiC/2124 et SiC/8090, bien qu'un peu atténuée (influence du renfort). La résistance à rupture et la déformation maximale sont plus élevées pour le composite à alliage 2124.

La vitesse de déformation a relativement peu d'influence sur la contrainte à rupture. En revanche l'augmentation de la vitesse de déformation fait croître la déformation maximale, donc la ductilité, des deux composites à base de 2124 et 8090.

La température fait diminuer la résistance à rupture pour les deux matériaux. La déformation maximale décroît aussi: le composite à base de 2124 est plus sensible à ce paramètre que le composite 8090. L'élévation de température tend donc à augmenter la fragilité des deux matériaux.

Cet ensemble de résultats nous permettent de proposer une loi de comportement de ces matériaux basée sur l'équation de Johnson - Cook dans laquelle le paramètre concernant la vitesse de déformation doit être modifié.

REFERENCES

- [1].GILLES REGAZZONI "Comportement et ductilité du cuivre et du tantale purs dans le domaine de vitesse de déformation 10^{-4} - $3 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$ " Thèse de docteur es-sciences n° 79, Université de Grenoble (1983).
- [2].HARDING J., TAYA M., DERBY B., and PICKARD S. Elsevier applied science, London Vol.2; pp.224-233 (1987)
- [3].J. P. ANSART "Lois de comportement" stage de formation continue (1990) ENSTA/DYMAT