

Influence de la température et du temps du vieillissement sur la microstructure et les propriétés mécaniques de l'alliage d'aluminium 2024 pour application aéronautique

L. Briez^{a1}, V.A. Esin^a, A. Köster^a, M. Pachoutinsky^b, J. Crépin^a

a. MINES ParisTech, PSL Research University, Centre des Matériaux, CNRS UMR 7633, BP 87, Evry cedex 91003, France

b. Dassault Aviation, 78 quai Marcel Dassault, 92552 Saint-Cloud cedex 300, France

Résumé

L'influence du vieillissement sur la microstructure et les propriétés mécaniques d'un alliage d'aluminium 2024 a été étudiée. Les vieillissements aux différentes températures et pour différentes durées ont été réalisés. L'augmentation de la fraction de phase S en fonction du temps de vieillissement et de la température a été observée. D'autre part, l'évolution microstructurale a été corrélée à l'évolution des propriétés avec la « cinétique » d'évolution de propriétés à une température constante de vieillissement qui correspond à la cinétique de précipitation de la phase S.

Mots clés : alliage d'aluminium 2024 ; vieillissement ; précipitation ; durcissement

1. Introduction

Les alliages d'aluminium pour application aéronautique ont une bonne tenue mécanique spécifique (rapportée à leur densité) et un faible coût. Cependant, ils sont spécifiés pour des applications limitées à une plage de température comprise entre -55 et 85 °C. En dehors de cette plage, d'autres alliages sont privilégiés mais sont bien souvent plus onéreux en termes de masse et de coût.

La problématique de cette étude concerne l'emploi des alliages d'aluminium au-delà de 85 °C. En effet, des retours de cas en service démontrent que des pièces sont parfois exposées à des températures plus élevées (surchauffe à l'usage, dégivrage, etc.).

L'objectif est donc de déterminer l'évolution microstructurale des alliages d'aluminium en fonction des facteurs temps et température et de coupler ces observations à l'évolution des propriétés mécaniques de ces alliages.

2. Méthodologie

2.1 Matériau

Un alliage d'aluminium 2024 aux états T3 et T8 fait l'objet de cette étude. C'est un alliage avec durcissement structural dont les propriétés mécaniques dépendent des traitements thermiques.

¹ louise.briez@mines-paristech.fr

2.2 Traitements thermiques et caractérisations

Différents traitements thermiques (vieillissements) ont été réalisés en étuves à différents temps (1, 10, 100, 1000, 5000 et 10 000 h) et différentes températures (85, 120, 150, 200 et 250 °C). Des tests de traction entre la température ambiante et 250 °C ainsi que des essais non destructifs (conductivité électrique et dureté Brinell) ont été menés sur des éprouvettes brutes et/ou vieilles afin d'obtenir des indications concernant l'influence de l'exposition thermique sur les propriétés. Par la suite, la microstructure a été caractérisée par diverses techniques : DRX, MEB/EDS, MET.

3. Résultats et discussion

3.1 Evolution de la microstructure

Deux types de précipités ont été identifiés à l'état brut au moyen du MEB, de l'EDS et de la DRX : $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$ et phase S (Al_2CuMg) (Fig. 1). De plus, des dispersoïdes de la phase $\text{Al}_{20}\text{Cu}_2\text{Mn}_3$ ont été observés au MET.

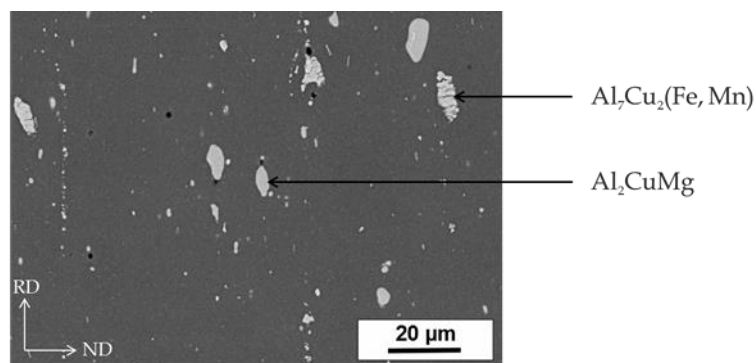


Figure 1. Précipitation dans un 2024 T3 à l'état brut

La phase intermétallique $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$ est présente dans les limites de tolérance imposées par le fournisseur, elle n'a pas de rôle d'amélioration des propriétés mais est uniquement due aux impuretés présentes (notamment du Fe) dans l'alliage. Elle n'évolue pas sous l'effet du vieillissement thermique car la température reste en dessous de sa température de solvus.

La phase S (Al_2CuMg) est un précipité durcissant dont la séquence de précipitation dépend du traitement thermique de l'alliage [1]. La fraction de cette phase évolue avec la température.

En effet, nous avons observé que, par exemple, un vieillissement à 250 °C induisait la formation de nombreux précipités dans la matrice et aux joints de grains d'autant plus marquée que le temps d'exposition augmentait (Fig. 2). Or, d'après les analyses menées en DRX, l'intensité relative des pics correspondant à la phase S est supérieure sur le diffractogramme des échantillons vieillis à 250 °C comparé à celui de l'état brut.

Les fractions surfaciques en précipité après différents vieillissements ont été obtenues par l'analyse d'images MEB et sont présentées dans la Fig. 3. Il est à noter que pour des températures de vieillissement inférieures à 200 °C, les observations au MEB n'ont pas permis de constater d'évolution microstructurale entre les états initiaux et vieillis.

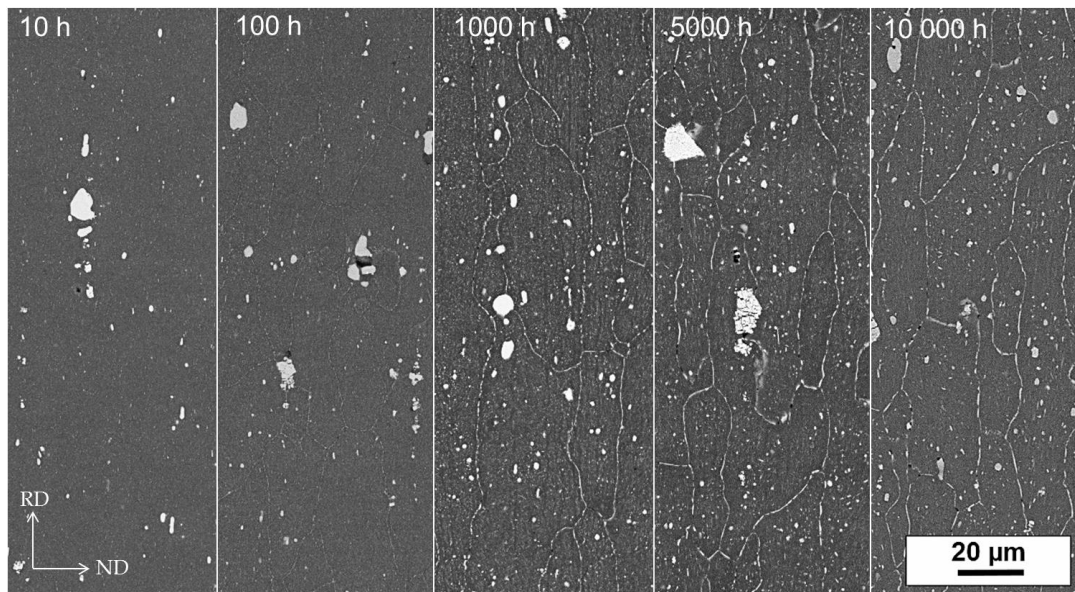


Figure 2. Précipitation dans un 2024 T3 après le vieillissement à 250 °C pour différentes durées

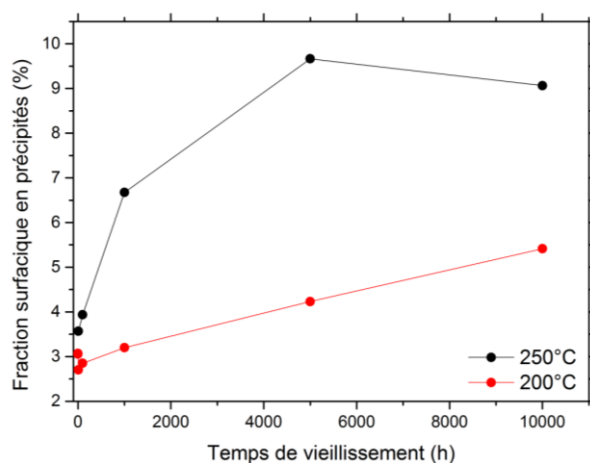


Figure 3. Fraction surfacique en précipité dans un 2024 T3 après le vieillissement à différentes températures pour différentes durées

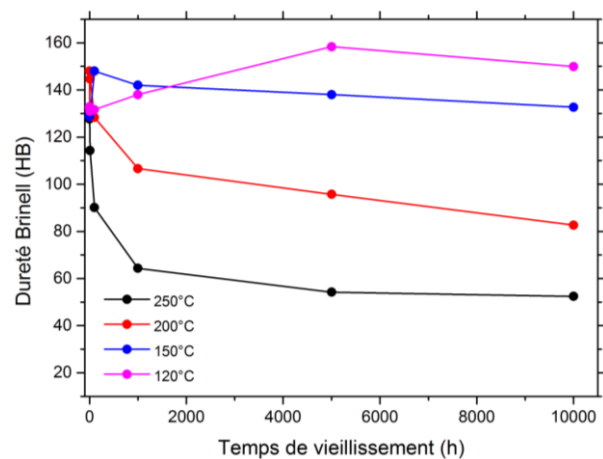


Figure 4. Dureté Brinell dans un 2024 T3 après le vieillissement à différentes températures pour différentes durées

3.2 Relation microstructure-propriétés

Afin d'étudier l'influence de l'évolution microstructurale sur les propriétés, plusieurs types de tests ont été réalisés sur des matériaux bruts et vieillis : essais de traction, mesures de conductivité électrique et dureté Brinell. Dans chacun de ces tests, une évolution notable des propriétés entre les états bruts et vieillis a été constatée.

A titre d'exemple, la dureté Brinell en fonction des températures et temps de vieillissement est présentée sur la Fig. 4. On constate une diminution continue de dureté pour des températures de 250 °C. Pour la température de vieillissement de 120 °C la dureté augmente pour atteindre un maximum à 5000 h et diminue par la suite. De même, pour la température de vieillissement de 150 °C la dureté augmente pour atteindre un maximum à 100 h avant de diminuer. Enfin, Pour la température de vieillissement de 200 °C la dureté augmente pour atteindre un maximum à 1 h et diminue par la suite.

Pour 200 et 250 °C, les « cinétiques » de changement de dureté peuvent être corrélées à celles de l'évolution des fractions surfaciques de précipités observées au MEB. Pour établir les relations microstructure-propriétés pour des températures de vieillissement de 120 et 150 °C des observations au MET ont été réalisées.

3. Conclusion

Les résultats de ce travail peuvent être résumés comme suit :

- augmentation de la fraction de phase S pendant les vieillissements
- évolution des propriétés mécaniques pendant les vieillissements
- changement de propriétés pouvant être corrélé à la précipitation de la phase S.

Remerciements

Dassault Aviation est remercié pour le financement de cette étude, la fourniture de l'alliage 2024 et la réalisation des traitements de vieillissement thermique. Dr. Mohammed Sennour et Dr. Loïc Nazé sont remerciés pour leur contribution aux observations en MET.

Références

[1] S. C. Wang et al. Precipitates and intermetallic phases in precipitation hardening Al-Cu-Mg-(Li) based alloys. International Materials Reviews, 50 (2005) 193.