

# Recyclage par voie solide des alliages d'aluminium : diminuer l'impact environnemental grâce à la déformation plastique.

Mathilde Laurent-Brocq<sup>1,\*</sup>, Lola Lilensten<sup>2</sup>, Théo Duchateau<sup>1,2</sup>, Loïc Perrière<sup>1</sup>, Johannes Gebhard<sup>3</sup>, Oliver Schulz<sup>3</sup>, Erman Tekkaya<sup>3</sup>, Yannis Korkolis<sup>3</sup>, B. Huneau<sup>4</sup>, T. Corre<sup>4</sup>, J. Perrin<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Institut de Chimie et des Matériaux Paris Est, UPEC-CNRS, Thiais

<sup>2</sup> Institut de Recherche de Chimie Paris, Chimie ParisTech – CNRS, Paris,

<sup>3</sup> Institute of Forming Technology and Lightweight Components (IUL), TU Dortmund University, Germany

<sup>4</sup> Institut de recherche en Génie Civil et mécanique (GeM), EC Nantes - CNRS, Nantes

\*[mathilde.laurent-brocq@cnrs.fr](mailto:mathilde.laurent-brocq@cnrs.fr)

## Conférence invitée

Face au défi du réchauffement climatique, l'Union européenne s'est engagée à réduire ses émissions de gaz à effet de serre (GES) d'au moins 40 % à l'horizon 2030. Atteindre cet objectif nécessite une réduction drastique des émissions dans tous les secteurs, y compris celui de la production d'alliages d'aluminium.

Dans un premier temps, on proposera un état des lieux du cycle de vie actuel de ces alliages et de leur impact environnemental [1]. Ensuite, on présentera une voie alternative, le recyclage par voie solide qui consiste à extruder directement les alliages à recycler. On montrera comment, grâce à la déformation plastique, on évite la refusion et on diminue l'impact environnemental. Mais le contrôle des contaminations, en particulier des oxydes, en est rendu plus complexe [2] et limite les propriétés mécaniques. Aujourd'hui le recyclage par voie solide n'est pas suffisamment maîtrisé pour produire des alliages aussi performants que ceux non recyclés [3].

Dans un deuxième temps, on étudiera le lien entre paramètres du procédé et microstructure afin d'améliorer les propriétés mécaniques, en se concentrant sur la nuance AA6060. Une méthodologie de caractérisation microstructurale, basée en particulier sur l'analyse thermogravimétrique, la spectroscopie de photoélectrons et la microscopie électronique en transmission, permet une description qualitative et quantitative des oxydes. Le rôle majeur du magnésium, un élément d'alliage, et l'influence de la température du procédé sont ainsi mis en évidence [4]. Ensuite, des essais de traction et de cisaillement montrent que la résistance mécanique des alliages recyclés est excellente mais que la ductilité reste dégradée et que cette dernière dépend de manière complexe de l'oxydation. Pour finir, on proposera un mécanisme d'oxydation en fonction de la température et de la déformation plastique ainsi que des pistes d'amélioration.

[1] M. Laurent-Brocq, L. Lilensten, Récupération et recyclage de l'aluminium - Stratégie, Techniques de l'ingénieur M2345 V2 (2023) 1-17.

[2] M. Laurent-Brocq, L. Lilensten, C. Pinot, A. Schulze, A. Duchaussoy, J. Bourgon, E. Leroy, A.E. Tekkaya, Solid state recycling of aluminium chips: Multi-technique characterization and analysis of oxidation, *Materialia* 31 (2023) 101864.

[3] Corre, T., Perrin, J., Gebhard, J., Duchateau, T., Lilensten, L., Laurent-Brocq, M., Tekkaya, A.E., and Huneau, B., Tensile and shear behavior of recycled AA 6060 aluminium chips by direct hot extrusion. *Materials Science and Technology*, 2024. 0(0): p. 02670836241287768.

[4] Duchateau, T., Lilensten, L., Zhang, X., Gebhard, J., Tekkaya, A.E., and Laurent-Brocq, M., Effect of annealing on oxidation during solid-state recycling of aluminium chips. *Journal of Alloys and Compounds*, 2025. 1010: p. 178178.