

LABO - Axe ou Equipe : Institut Pascal - M3G - ME

Directeur de thèse : Benoît BLAYSAT (PU), benoit.blaysat@uca.fr

Co-encadrant : Thomas JAILIN (MCF), thomas.jailin@uca.fr

Titre du sujet de thèse : *Étude expérimentale du comportement thermomécanique des alliages à mémoire de forme à l'aide de mesures de champs couplées.*

Contexte

Afin de répondre aux enjeux écologiques actuels le développement de matériaux plus légers est un thème de recherche majeur. Les alliages à mémoire de forme (AMF) font partie des matériaux d'intérêt, notamment pour leurs propriétés de super-élasticité et d'effet mémoire. Certains AMF permettent par exemple de réduire les vibrations dans les moteurs d'avion, permettant ainsi des conceptions plus compactes et plus légères.

Les AMF sont toutefois particulièrement difficiles à étudier expérimentalement en raison des couplages thermo-métallurgiques-mécaniques induits lors de leur transformation de phase [1]. L'étude de ces couplages requiert des données très riches pour pouvoir discriminer l'effet de chaque mécanisme et identifier des modèles de comportement, souvent dépendants de nombreux paramètres. Les techniques de mesure de champs sont donc généralement favorisées par rapport aux mesures locales, afin de pouvoir estimer les hétérogénéités pouvant apparaître lors des essais.

Néanmoins, malgré le fait que les techniques de mesure de champs thermique et cinématique soient bien maîtrisées, la mesure simultanée de ces deux grandeurs avec des performances métrologiques élevées reste un défi majeur. Les méthodes thermiques et cinématiques nécessitent effectivement des moyens de mesure et des hypothèses différents pour pouvoir être appliquées dans de bonnes conditions.

Récemment, Jones a proposé dans [2] de combiner la peinture au thermo-phosphore (TP) et la corrélation d'images numériques (CIN) pour des mesures couplées (TP + CIN). Cette méthode utilise la peinture thermo-phosphore pour déposer le mouchetis sur la surface de l'échantillon. Le champ thermique est ensuite obtenu à l'aide de caméras standards, en exploitant la photosensibilité de la peinture aux variations de température lorsqu'elle est excitée par un rayonnement ultraviolet. Cette technique permet de mesurer simultanément les deux types de champs sur des images haute résolution, sans interpolation. Cependant, le motif obtenu avec cette peinture est très grossier. Cela réduit considérablement les performances métrologiques du champ cinématique obtenu.

Enjeux

Cette thèse se découpe en deux volets, répondant à deux enjeux distincts. Dans un premier temps, une méthode de mesure de champs couplée cinématique et thermique sera développée, basée sur les travaux de Jones. Cette méthode couplée pourra être appliquée à une large gamme de matériaux utilisés dans différents secteurs d'activités. L'équipe dans laquelle ce sujet de thèse s'insère dispose de compétences reconnues en mesures de champ, et commence à travailler sur ces mesures couplées [3].

Une fois la méthode développée, celle-ci sera utilisée pour étudier la transformation de phase austénite-martensite lors du refroidissement d'un échantillon d'AMF. Les données à la fois cinématique et thermique permettront une meilleure compréhension des mécanismes à l'œuvre lors du changement de phase. Des bilans d'énergie seront finalement mis en place en s'appuyant sur la richesse des données obtenues.

Méthodes

D'un point de vue expérimental, la LSA (Localised Spectrum Analysis) [4] développée au sein de l'équipe Mécanique Expérimentale de l'Institut Pascal sera utilisée pour pallier les difficultés de mouchetis rencontrés par la corrélation d'images dans les travaux de Jones. Cette thèse propose donc tout d'abord d'étendre le concept de (TP + CIN) à celui de (TP + LSA). La gravure du damier en peinture thermo-phosphore permettra d'obtenir un mouchetis optimal sur la surface de l'échantillon, tout en restant sensible aux variations de température. Une fois la méthode développée, une étude sur ses performances métrologiques sera réalisée.

Dans un second volet, cette méthode sera appliquée pour étudier la transformation austénite-martensite lors du refroidissement d'un AMF. Ce volet reposera notamment sur l'implication du Centre des Matériaux des Mines-Paris au sein de cette thèse. Les données obtenues permettront dans un premier temps d'enrichir les données disponibles actuelles et de mieux comprendre les phénomènes physiques à l'œuvre lors de la transformation de phase. Dans un second temps, des bilans d'énergie seront réalisés, afin de quantifier les

quantités d'énergies stockées et les barrières d'énergies à franchir lors du changement de phase. Cela passera notamment par l'identification des sources de chaleur intervenant lors du processus de transformation.

Cette thèse multidisciplinaire reposera donc sur des développements expérimentaux (protocole expérimental et réalisation d'essais), numériques (méthode de mesures de champs couplée développée en Python) et matériaux (bilans d'énergie, analyse de mécanismes de transformation).

Références

- [1] Maynadier A., et al. Procedia Engineering (10), 2011.
- [2] Jones E. M., et al. Strain, (58), 2022.
- [3] Jailin T., et al. BSSM conference, Liverpool, United Kingdom, 2024.
- [4] Grédiac M., et al. Experimental Mechanics (59), 2019.