



## LES ALLIAGES À MÉMOIRE DE FORME

Série Matériaux (MIM) dirigée par André Pineau

**Christian LExcellent**

ISBN : 978-2-7462-4505-1- Format : 15,5 x 24 - 408 p. - 145 € Parution  
04/2013

Editions Lavoisier / Hermès

**Rapport de lecture** par C. Esling.

L'ouvrage est divisé en subdivisé en 10 chapitres.

**Le chapitre 1** « Quelques généralités sur les AMF » donne une présentation globale et rapide des Alliages à Mémoire de Forme AMF pour familiariser le lecteur avec la notion de mémoire de forme, la transformation martensitique, mécanisme de base de la mémoire de forme avant de donner un synopsis rapide de l'ensemble de l'ouvrage.

**Le chapitre 2** « Le monde des alliages à mémoire de forme » établi en coopération avec Michel Morin, INSA Lyon, développe la métallurgie des alliages à mémoire de forme, notamment les traitements thermiques qui confèrent les propriétés de mémoire de forme aux alliages base cuivre et alliages NiTi.

**Le chapitre 3** « La transformation martensitique » étudie cette transformation de phase à l'état solide qui est le mécanisme cristallographique de la mémoire de forme. L'auteur précise avoir, pour rédiger ce chapitre, synthétisé l'ouvrage de Kaushik Bhattacharya sur la microstructure de la martensite, ouvrage qui fait référence sur ce sujet.

**Le chapitre 4** « Cadre thermodynamique pour la modélisation des matériaux solides » donne les bases thermodynamiques de la modélisation thermomécanique des alliages à mémoire de forme thermiques et magnétiques, modélisation étudiée plus loin dans l'ouvrage.

**Le chapitre 5** « Utilisation de la CTM pour la modélisation des AMF » où l'abréviation CTM vient de l'expression Crystallographic Theory of Martensite, étudie le processus de réorientation des variantes de martensite et le comportement pseudo-élastique dans le cas d'un monocristal. De plus, les surfaces seuils de transformation dans l'espace des contraintes sont calculées dans l'espace des contraintes pour le monocristal et le polycristal. Dans le cas du polycristal l'étude est rigoureuse, l'orientation cristallographique des grains de l'agrégat polycristallin étant paramétrée par les angles d'Euler. Il s'agit en fait d'un passage micro-macro ou technique d'homogénéisation qui prend en compte la texture cristallographique.

**Le chapitre 6** « Approches phénoménologiques et statistiques des AMF » étudie les couplages thermomécaniques (magnétiques le cas échéant) au moyen de modèles phénoménologiques comme ceux de Preisach, ou de modèles basés sur la thermodynamique des processus irréversibles, cf. chapitre 4.

**Le chapitre 7** « Modèles macroscopiques à variables internes » résume de nombreux modèles dont la plupart sont basés sur la thermodynamique des processus irréversibles. L'auteur et ses doctorants ainsi que l'ensemble de l'école française de mécanique des matériaux ont apporté une contribution importante à ces modèles.

**Le chapitre 8** « Dimensionnement d'éléments en AMF : étude de cas » présente des méthodes simplifiées des calculs de dimensionnement des structures basées sur les calculs de Résistance Des Matériaux RDM ou sur les calculs par éléments finis.

**Le chapitre 9** « Comportement des AMF magnétiques » introduit une classe d'AMF pour lesquels le changement de forme ne résulte pas de l'application d'un champ thermique mais d'un champ magnétique. L'intérêt principal de ces matériaux plus récents est que leur temps d'actionnement est aussi bref que celui des matériaux magnétostrictifs, de l'ordre de la milliseconde. Les publications scientifiques consacrées aux matériaux à mémoire de forme ferromagnétiques connaissent actuellement une progression particulièrement importante. Leur étude est passionnante parce qu'en plus de l'approche thermomécanique, il faut inclure la physique du magnétisme qui est riche et subtile.

**Le chapitre 10** « Mécanique de la rupture des AMF » rappelle que ces matériaux sont essentiellement destinés à fabriquer des actionneurs et des capteurs. Bien que l'auteur n'étudie pas directement la tenue en fatigue des AMF, il consacre une large étude à la mécanique de la rupture. En se plaçant dans l'hypothèse d'un comportement élastique linéaire, l'analyse des contraintes en pointe de fissure est faite par une approche analytique de type potentiel complexe. Pour finir, le chapitre 10 « Conclusion générale » donne la liste des problèmes résolus ainsi que celle – encore plus longue – des problèmes non résolus. L'auteur donne également des pistes pour le futur, pistes qui peuvent aider à orienter les recherches de collègues ou doctorants qui voudraient travailler sur ce beau sujet de recherche.

Sous un format relativement compact (env. 400 p) et pratique – on peut facilement l'emporter dans sa mallette – l'ouvrage de Christian LExcellent est en réalité un véritable handbook si on s'autorise un anglicisme, voire une encyclopédie sur les AMF. En effet, il traite à la fois les AMF à actionnement thermique et ceux à actionnement magnétique, les problèmes les plus théoriques comme la transformation martensitique, la thermodynamique des processus irréversibles, les théories d'homogénéisation et les problèmes les plus pratiques de dimensionnement des AMF. De plus, deux lectures de l'ouvrage sont possibles, crayon en main en suivant les calculs – le lecteur est bien guidé – ou en faisant confiance au calcul et en se concentrant sur la signification physique des résultats de ces calculs. Même dans cette dernière hypothèse, le texte d'accompagnement des calculs souligne suffisamment le sens physique sous-jacent pour que le lecteur puisse bien comprendre. L'auteur a fait un travail pédagogique important pour rendre plus accessibles des théories parfois abstraites. A titre d'exemple, le calcul de la structure martensitique dans laquelle l'épaisseur de deux variants est paramétrée par  $x$ , respectivement  $(1-x)$  fait appel aux matrices définies positives et à la décomposition polaire, ce qui a sans doute conduit LICHT C. (référence [LIC 96] du livre) à donner le titre énigmatique «  $x(1-x)$  j'aime assez » à sa contribution aux Actes MECAMAT-AUSSOIS, 1998. Mais avec la présentation pédagogique de Christian LExcellent, la description précise des étapes du calcul, l'illustration par des exemples de calculs pratiques, le lecteur aimera beaucoup. L'auteur met également à la disposition du lecteur des résumés concis mais informatifs de théories publiées dans des articles scientifiques longs et ardues. A titre d'exemple, pour les AMF à actionnement magnétique, les modèles de base de O'Handley et Murray sont synthétisés sur une demi-page, de même que les modèles de Likhachev et Ullakko. Un chercheur désireux de travailler sur les AMF à actionnement magnétique peut ainsi bénéficier de cette revue sur les modèles de base et gagner un temps précieux dans l'étude bibliographique.

Bien que ce soit une première édition, il n'y a que quelques très rares petites coquilles mais qui ne gênent absolument pas la compréhension, et une traduction de twinning par « jumelage », qu'il vaudrait mieux remplacer par « maclage », qui est en usage en cristallographie et science des matériaux.

Pour conclure le rapporteur a eu un réel plaisir à étudier, souvent dans le détail, ce livre fort utile à tout chercheur confirmé ou débutant s'intéressant aux AMF. Il en recommande très vivement l'acquisition et la lecture. L'ouvrage est édité par les Editions Hermès-Lavoisier, le prix de vente est de 145 euros. L'éditeur indique qu'il est en vente dans toutes les librairies spécialisées, et qu'on peut aussi se le procurer, sur commande accompagnée du règlement, à la Librairie Lavoisier – 14 rue de Provigny – 94236 Cachan cedex, ainsi que sur Internet à l'adresse <http://editions.lavoisier.fr/notice.asp?ouvrage=2708719>

Nota : Ouvrage traduit en Anglais : "Shape- memory alloys handbook" et édité chez Wiley ISTE.

Metz, le 17 septembre 2013.  
Claude Esling, Professeur Emérite à l'Université de Lorraine.  
Laboratoire LEM3, CNRS UMR 7239  
Labex DAMAS