

Approche multi-échelle de la modélisation du Fe-27%Co faiblement magnétostrictif

Maxime SAVARY, Olivier HUBERT, Anne-Laure HELBERT, Thierry BAUDIN, Rémy BATONNET, and T. Waeckerlé

LMT (ENS Paris-Saclay/CNRS/Université Paris Saclay), 61 Av. Président Wilson, 94235 Cachan, France

L'amélioration des performances et l'allègement des dispositifs électriques dans les avions conduisent à un besoin profond d'outils numériques prédictifs, permettant l'optimisation des matériaux et des structures. Par conséquent, des modèles avancés sont requis pour décrire le comportement magnétique sous un chargement thermomécanique. Une approche multi-échelle a été proposée il y a quelques années afin de modéliser le comportement magnéto-élastique des matériaux polycristallins ferromagnétiques. L'outil permet de modéliser le comportement magnétostrictif de l'alliage Fe-27%Co de 0,2mm d'épaisseur et recuit à 1000°C (FeCo_A). Le même matériau recuit à 900°C (FeCo_B) présente en revanche une très basse magnétostriction sur une large plage d'induction ($\pm 1,5T$). La modélisation multiéchelle standard ne permet pas de modéliser ce comportement. Une amélioration du modèle est alors recherchée en tenant compte des phénomènes physiques apparaissant à cette température de recuit.

L'hypothèse proposée est celle de l'effet de forme qui induit une microstructure magnétique composée principalement de domaines séparés par des parois à 180° orientée selon l'axe long de l'échantillon. Une telle structure serait créée durant la recristallisation en phase ferritique. Du fait d'une énergie d'anisotropie magnéto-cristalline élevée ($K_1 = 40\text{kJ/m}^3$), l'aimantation s'effectue principalement par le déplacement de parois à 180° jusqu'à 1,5T synonyme d'une basse magnétostriction. Pour des niveaux d'induction plus élevés, la rotation de l'aimantation permet d'atteindre la saturation magnétique et induit une déformation de magnétostriction non nulle. Par ailleurs, la recristallisation dans le domaine austénitique (au delà de 950°C) tend à réduire cet effet de forme. Des essais de magnétostriction sous chargement mécanique uniaxial ont été réalisés afin de confirmer cette hypothèse. Les résultats expérimentaux montrent que le comportement magnétostrictif du FeCo_A sous une contrainte de 16MPa est identique au FeCo_B libre de contrainte. L'intégration de l'effet de forme dans l'approche multi-échelle permet de modéliser le comportement magnétostrictif du FeCo_B avec précision.

[1] L.Daniel, O.Hubert, N.Buiron and R.Billardon, "Reversible magneto-elastic behavior: A multiscale approach", *Journal of the Mechanics and Physics of Solids* **56** (3), 1018- 1042 (2008).

[2] O. Hubert, L. Daniel "Multiscale modeling of magneto-mechanical behavior of grain oriented silicon steel", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* **320** (7), 1414- 1422 (2008).

[3] K. Rizzo, O. Hubert and L. Daniel "Magnetic and Magnetostrictive Behavior of Iron- Silicon Single Crystals Under Uniaxial Stress", *IEEE Transactions on Magnetics* **46** (2), 270-273 (2010).

[4] C. W. Chen "Magnetism and metallurgy of soft magnetic materials", Courrier corporation (2013).

[5] B. Yoo, S. Na, A.B. Flatau, D.J. Pines "Magnetic shape anisotropy effect on sensing performance and directional sensitivity in magnetostrictive nickel patch transducer", *Journal of Intelligent Magnetic Material Systems and Structure* **27** (8), 1075- 1091 (2016).

[6] M. Savary, O. Hubert, A.L. Helbert, T. Baudin, T. Waeckerlé, « Magnetostrictive and magnetic effects in Fe-27%Co laminations », *AIP Advances*, **8**, (2018) 047711.

[7] M. Savary, O. Hubert, A.L. Helbert, T. Baudin, R. Batonnet, T. Waeckerlé, « Multiscale modeling of a low magnetostrictive 0.5wt%Cr-27wt%Co-Fe alloy », *AIP Advances*, **8**, (2018) 056117.