

Frittage et évolution de la microstructure au cours des traitements thermiques d'aimants NdFeB : influence sur les propriétés magnétiques

Brice HUGONNET

Sous la direction de Jean-Michel Missiaen et Cyril Rado (CEA)

Lundi 21 novembre à 10h30

Salle A203, ENSE3 (21 avenue des Martyrs 38031 Grenoble)

Résumé : Les aimants NdFeB sont les aimants les plus puissants que l'on peut trouver actuellement sur le marché. Leurs propriétés exceptionnelles proviennent des propriétés intrinsèques de la phase Nd₂Fe₁₄B mais également de la microstructure imposée par le mode d'élaboration. Ces aimants sont généralement réalisés par frittage avec phase liquide à partir d'une poudre monocristalline préalablement orientée sous champ magnétique. Cette voie permet d'obtenir une microstructure à grains fin découplés magnétiquement les uns des autres par une fine couche de phase riche en néodyme, dont la distribution est optimisée après un recuit à une température donnée. Pour une utilisation dans des moteurs et générateur électriques, il est courant d'ajouter du dysprosium pour conserver une coercitivité suffisante à la température de fonctionnement. Mais ce gain de coercitivité se fait au détriment de l'induction rémanente et du coût de l'aimant de par la rareté du dysprosium. Il est donc nécessaire de pouvoir s'affranchir de son utilisation par une meilleure compréhension des liens entre le procédé d'élaboration et la microstructure du matériau, afin d'optimiser les propriétés magnétiques finales.

Cette thèse s'intéresse tout d'abord au frittage d'aimants NdFeB pour une nuance du commerce et donc fortement alliée. La forte anisotropie de retrait lors de la densification n'est pas clairement expliquée dans la littérature et son interprétation peut apporter un éclairage sur les propriétés magnétiques. Le frittage a ainsi été étudié à l'aide d'essais de dilatométrie dans la direction d'orientation de la poudre ainsi que dans la direction transverse. Le frittage a également été interrompu à différents moments et la microstructure analysée. Des analyses d'images ont permis de comprendre, à l'aide d'un modèle analytique du frittage, qu'une partie de l'anisotropie de retrait s'expliquait par une distribution anisotrope des surfaces de contact entre les grains de poudre, issue de l'étape d'orientation sous champ. Cette analyse a été confirmée par des simulations par éléments discrets.

Le deuxième volet de la thèse s'intéresse au rôle des éléments d'alliage les plus couramment rencontrés dans les aimants hors dysprosium. Le rôle de l'aluminium, du cobalt et du cuivre sur les propriétés magnétiques a été examiné en étudiant une vingtaine de compositions simplifiées avec des quantités d'éléments d'alliage voisines des valeurs que l'on retrouve dans les aimants du commerce. Les différents échantillons ont été recuits à des températures déduites d'essais DSC. Les résultats montrent que ces trois éléments d'alliage agissent de manière croisée sur la coercitivité. Au-delà de la mesure de coercitivité, l'évolution de la forme de la courbe de désaimantation en fonction de la composition et de la température de recuit apporte des informations importantes sur l'action des éléments d'alliage sur la microstructure.