

Courbe d'hystérésis magnétique d'un élastomère magnétorhéologique

P. SKALSKI^a, T. MONTIGAUD^b, J. MIROWSKA^c

- a. Insitute of Aviation, Centre of New Technologies, Al. Krakowska 110/114 ;
2.256 Warsaw, Poland ; pawel.skalski@gmail.com
- b. INSA Centre Val de Loire, 88 boulevard Lahitolle – CS 60013, 18022 Bourges, France ;
thibault.montigaud@insa-cvl.fr
- c. Warsaw University of Technology, Faculty of Electrical Engineering, Pl. Politechniki 1, 00-631
Warsaw, Poland ; julia.mirowska@gmail.com

Résumé :

Ce travail présente une approche pour déterminer la courbe d'hystérésis magnétique pour les élastomères magnétorhéologiques (MRE). Les MREs pourront être appliqués, dans un futur proche, dans beaucoup de domaines différents. Les expériences ont été conduites sur un banc d'essai capable de générer un fort champ magnétique qui se trouve à l'“Institute of Aviation” de Varsovie. Les résultats acquis sur ce banc d'essai ont permis d'obtenir la courbe d'hystérésis magnétique du MRE.

Abstract :

This work presents the approach to determine the magnetic hysteresis curve of the investigated magnetorheological elastomer (MRE). MREs can be applied in many engineering structures in the near future. The experiments were carried out on the test bench with strong magnetic field, located in the Institute of Aviation in Warsaw. Basing on the acquired results, the magnetic hysteresis curve of MRE was estimated.

Mots clefs : courbe d'hystérésis magnétique, élastomère magnétorhéologique, MRE, élaboration

1. Introduction

Les années 80 ont vu la naissance d'un intérêt pour les matériaux possédant des propriétés variables sous l'influence d'un facteur extérieur, e.g. la température, les champs électriques ou magnétiques. Ces matériaux sont appelés “smart materials”. On retrouve notamment dans leurs rangs les élastomères magnétorhéologiques (MREs) [1].

Les MREs sont composés de particules magnétiques polarisables dispersées dans une matrice faite d'un élastomère. Beaucoup de laboratoires scientifiques mènent des recherches sur les MREs. Usuellement des élastomères souples en silicone ou polyuréthane sont utilisés pour servir de matrice polymère; elles sont remplies avec une part significative de particules magnétiques, souvent 30% du volume. Pour réduire la quantité de particules magnétiques, un procédé de vulcanisation contraint par un champ magnétique a été utilisé. Ce dernier force la disposition des particules afin d'augmenter leur efficacité. Les MREs faits de matrices souples de silicone ou de polyuréthane montrent une réponse aux champs magnétiques significative mais leurs faibles propriétés mécaniques les empêchent d'être utilisés en ingénierie [2].

Il est attendu que ces matériaux, bien qu'ils soient en phase de développement, seront très utiles pour résoudre des problèmes de vibrations, qui sont des problèmes récurrents pour la construction et l'utilisation de machines ou de systèmes. L'effet magnétorhéologique et les propriétés d'amortissement sont fondamentaux pour les applications des MREs. Ils sont utilisés notamment pour réaliser des amortisseurs, des bagues de suspensions à raideur variable et des matériaux magnétostrictifs [3].

La sélection du matériau servant de matrice est donc un sujet important dans tout nouveau projet incluant des MREs, cela peut permettre d'économiser du temps et de l'argent.

Ces deux derniers siècles, la communauté scientifique s'est concentrée sur la connaissance du phénomène électrique. Maintenant l'intérêt est plus focalisé sur le développement du phénomène magnétique qui est associé au premier phénomène. Pour les MREs c'est bien entendu le phénomène magnétique qui importe. Pour déterminer les paramètres magnétiques, il est nécessaire de concevoir au préalable le banc de test ainsi que de préparer le test permettant d'obtenir les caractéristiques désirées. Afin d'obtenir la courbe d'hystérésis magnétique du MRE, les outils et les expériences suivantes ont été réalisés [4], [5].

Cette présentation est structurée de la façon suivante. Tout d'abord la fabrication de l'échantillon d'élastomère magnétorhéologique est présentée. Ensuite la microstructure de l'échantillon de MRE est décrite. Puis les outils mis en œuvre sont décrits. Enfin le protocole de mesure ainsi que les résultats obtenus pour le MREs sont présentés.

2. Recherches expérimentales

1.1. Matériau

L'élastomère magnétorhéologique fabriqué est constitué principalement de deux éléments : de poudre de fer HS, produite par BASF et d'un caoutchouc naturel (NR « Natural Rubber ») de type SVR 3L produit par Brenntag. Les particules de la poudre de fer ont une forme sphérique de diamètre moyen 1,8-2,3 μm . Il s'agit de fer pur (>99%).

Un moulin de laboratoire a permis d'obtenir le mélange maître, sans particules carbone-fer, du NR. Puis, grâce à un mélangeur, le mélange maître a été mélangé avec la quantité appropriée de charges ferromagnétiques. La vulcanisation du composant a été réalisée dans une presse de laboratoire. Les plaques de matériaux ont été vulcanisées à 145°C et à une pression de 17 MPa. Les plaques obtenues ont été coupées en disques de diamètre 20 mm et d'épaisseur 0,8 mm. Ce sont ces disques qui ont servi d'échantillon pour la détermination des courbes d'hystérésis magnétique.

1.2. Caractérisation de la morphologie du MRE

L'étude de la morphologie du matériau vulcanisé a été réalisée avec un microscope électronique à balayage (SEM, "Scanning Electron Microscope", Gemini LEO 1530). L'image prise au microscope électronique à balayage de l'échantillon est montrée en Fig. 1. Elle montre des particules de carbonyle-fer (CIP, "Carbonyl Iron Particles") suspendues dans la matrice polymère.

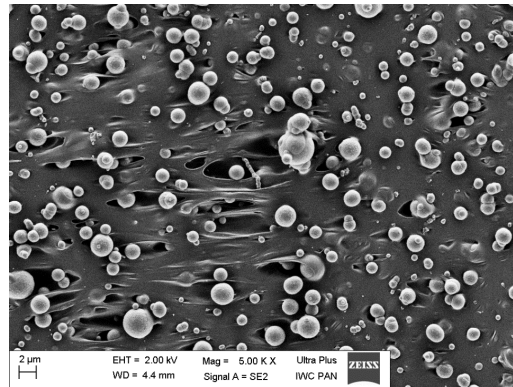


Fig. 1. Microstructure de surface obtenue au SEM de l'échantillon de MRE contenant des CIP HS

1.3. Banc d'essai

Avant de réaliser le banc d'essai, il a fallu déterminer le cahier des charges de ce dernier et donc les hypothèses à utiliser. Il fallait qu'il puisse produire de très forts champs magnétiques afin de déterminer si le MRE, qui est supposé être un paramagnétique, a un point de saturation. Si oui il est nécessaire de pouvoir au moins fournir cette valeur de champ magnétique. Il a été choisi de réaliser un perméamètre, car c'est ce qui est recherché, avec deux bobines connectées en séries pour produire le champ magnétique le plus important possible. Du fait que l'effet magnétique est sensible à la température (la température de Curie du matériau échantillonné était inconnue et comme la chaleur est proportionnelle au carré du courant traversant l'élément), il a été supposé que deux bobines de 1450 tours pourraient produire une force magnéto-motrice suffisante même avec 1 ampère de courant de valeur 2900 Ampère-Tours (AT). Le choix suivant s'est porté sur le matériau à utiliser pour conduire le flux magnétique. Il devait pouvoir conduire le plus de flux possible. Il a été décidé d'utiliser un matériau appelé Armco qui contient 99,99 % d'atome de fer. Il existe plusieurs types d'Armco avec un flux magnétique maximum admissible différent. Celui choisi peut atteindre les 2,2 T. Puis il a fallu déterminer l'épaisseur de l'espace d'air dans lequel placer le matériau à tester. Il a été convenu de prendre la forme présentée en Fig. 2. Les dimensions du cadre porteur en Armco sont 226 mm de large, 300 mm de haut et 100 mm de profondeur. Le tout a été alimenté par un générateur de tension continue et un transmetteur magnétique pour pouvoir inverser la polarité du courant. Un software permettant une mesure automatisée ainsi que le traçage des courbes d'hystérésis magnétique a été mis en place. La détermination de la densité du flux magnétique est obtenue au moyen d'un teslamètre. Le banc d'essai réalisé est visible sur la Fig. 3.



Fig. 2. Cadre porteur et bobines du perméamètre (Institute of Aviation)



Fig. 3. Banc d'essai permettant d'obtenir l'hystérésis magnétique (Institute of Aviation)

Le logiciel réalisé prend en compte toutes les hypothèses et la géométrie du perméamètre. Il utilise aussi une méthode comparative pour pouvoir éliminer une partie du bruit obtenu sur les résultats. Étant donné que la section du cadre porteur n'est pas uniforme, il a été nécessaire de réaliser des modèles en trois dimensions et non pas uniquement en deux dimensions. Les figures Fig. 4 et Fig. 5 montrent les modèles réalisés.

Ce qui est analysé c'est la densité du flux magnétique et l'intensité du champ magnétique dans l'espace d'air au centre du cadre porteur. C'est là que sont disposés les échantillons. L'espace est laissé à l'air libre, i.e. l'air que l'on trouve dans l'espace de test est le même que celui qui environne tout le circuit magnétique. L'épaisseur par défaut d'air choisie est de 3 mm.

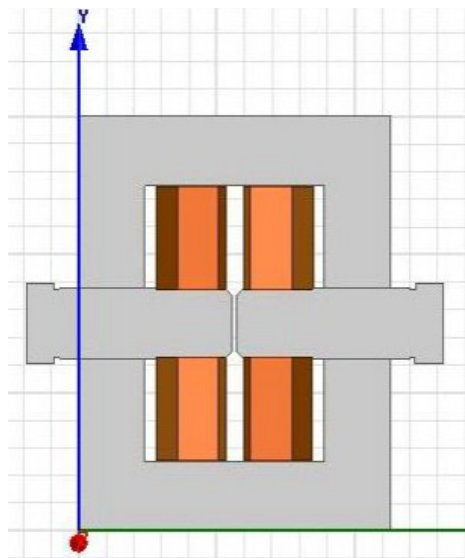


Fig. 4. Le perméamètre réalisé – modèle 2D (partie grise – circuit magnétique; orange – bobinages, marron – supports des bobines)

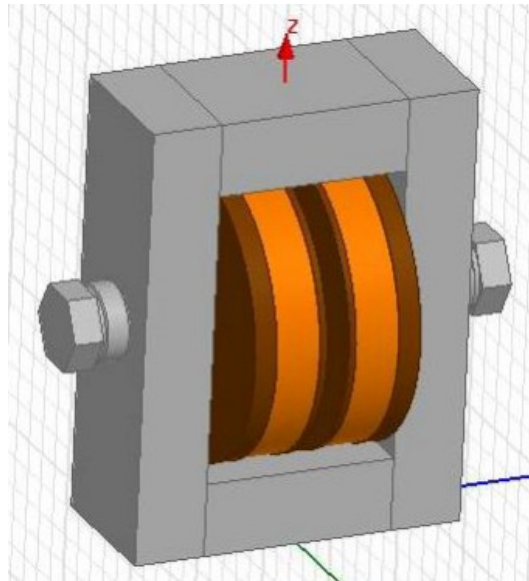


Fig. 5. Le perméamètre réalisé– modèle 3D

Le test pour le MRE a été réalisé en plaçant les échantillons dans l'espace d'air et en l'exposant à différents champs magnétiques pour déterminer l'hystérésis magnétique du matériau. Les tests et les résultats sont décrits dans la partie suivante.

3. Résultats des tests

Les recherches des paramètres magnétiques ont été réalisées grâce au banc de test présenté précédemment. Des échantillons de MRE de diamètre 20 mm et d'épaisseur 0,8 mm ont été utilisés pour les tests. Les échantillons ont été soumis à des champs magnétiques compris entre 0 et 1,8 T. Le banc de test a été placé à l'air ambiant et à une température de 20°C.

Le gaussmètre a permis d'obtenir l'intensité du champ magnétique dans l'espace de mesure. Les échantillons de MRE étaient fixes dans l'espace de mesure et l'intensité du champ magnétique a été relevée au contact des échantillons. Les résultats obtenus sont présentés dans Tab. 1. Puis le tracé de la courbe d'hystérésis magnétique est présenté en Fig. 6.

Tab. 1. Résultats des mesures de l'intensité du champ magnétique

I	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄
[A]	[T]	[T]	[T]	[T]
0.001	-0.00329	0.07374	0.036005	0.002327
0.1	0.201501	0.261605	-0.1695	-0.21569
0.2	0.424071	0.481255	-0.35758	-0.40202
0.3	0.638214	0.691261	-0.54085	-0.58093
0.4	0.846939	0.890302	-0.71599	-0.74898
0.5	1.033076	1.067682	-0.87551	-0.89868
0.6	1.188899	1.214587	-1.00827	-1.02377
0.7	1.325106	1.342442	-1.11994	-1.13036
0.8	1.441717	1.457598	-1.22272	-1.22813
0.9	1.555104	1.568493	-1.31999	-1.32048
1.0	1.661782	1.672707	-1.41108	-1.41312
1.1	1.757672	1.757672	-1.49217	-1.49217

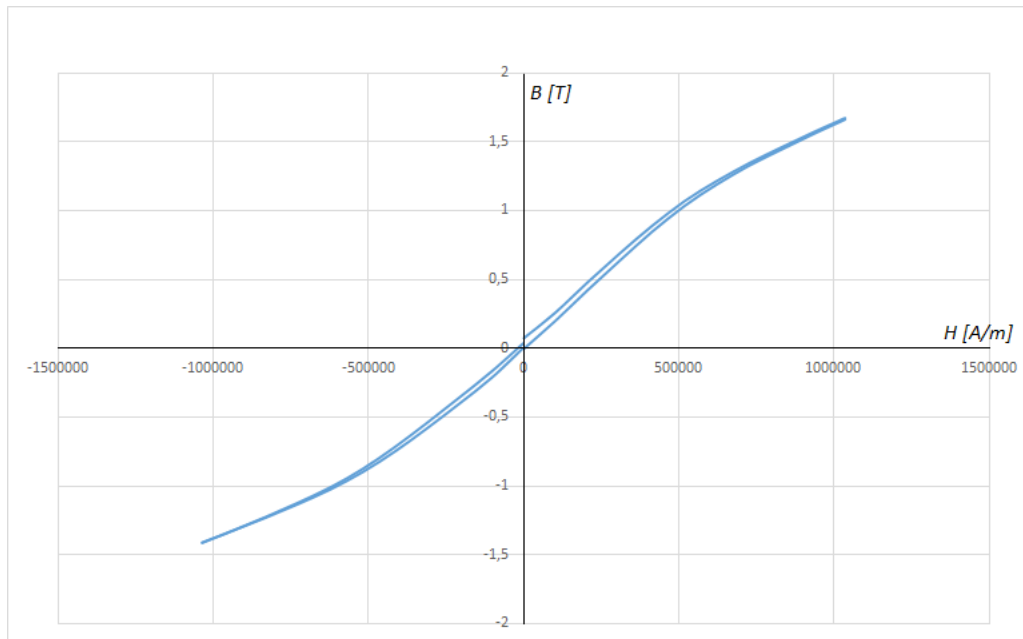


Fig. 6. Courbe d'hystérésis magnétique du MRE

4. Conclusions

Les propriétés magnétiques des MREs ont été étudiées par plusieurs recherches auparavant, mais l'étude réalisée sur les courbes d'hystérésis magnétique est nouvelle. Le MRE fabriqué avec des particules de carbone-fer dispersées dans un caoutchouc naturel a été étudié sous des champs magnétiques de 0 à 1,8 T. Une nouvelle méthode expérimentale de caractérisation magnétique a été conçue et réalisée. Elle permet de déterminer les propriétés de matériaux complexes comme les élastomères magnétorhéologiques.

Les résultats obtenus expérimentalement confirment qu'il s'agissait bien d'un matériau paramagnétique, comme le montre parfaitement la Fig. 6. Le banc d'essai proposé permet pleinement de déterminer les propriétés magnétiques des MREs.

Remerciements

Le travail reporté dans ce document a été soutenu par le "National Science Centre in Poland", grant no. DEC-2011/01/D/ST8/07456.

Références

1. Carlson J.D., Jolly M.R., MR fluid, foam and elastomer devices, *Mechatronics*, 10:555-569, 2000.
2. Farshad M., Benine A., Magnetoactive elastomer composites, *Polymer Testing* 23: 347-353, 2004.
3. Zhou G.Y., Shear properties of magnetorheological elastomer, *Smart Materials and Structures* 12:139-146, 2003.
4. Tumanski S., *Handbook of Magnetic Measurements*", CRC Press Taylor & Francis Group, 2006.
5. Fiorillo F., *Measurement and characterization of magnetic materials*, Elsevier Academic Press, 2004.