ETUDE DE L'EVOLUTION STRUCTURALE D'UN VERRE METALLIQUE $\text{Fe}_{83}\text{B}_{14}\text{Si}_{1,5}\text{Cl}_{1,5}$ PAR MESURE DU FROTTEMENT INTERIEUR ET DU MODULE DE YOUNG

F. Guyot, F. Fouquet, C. Mai, J. Perez

► To cite this version:

F. Guyot, F. Fouquet, C. Mai, J. Perez. ETUDE DE L'EVOLUTION STRUCTURALE D'UN VERRE METALLIQUE $\text{Fe}_{83}\text{B}_{14}\text{Si}_{1,5}\text{Cl}_{1,5}$ PAR MESURE DU FROTTEMENT INTERIEUR ET DU MODULE DE YOUNG. Journal de Physique Colloques, 1982, 43 (C9), pp.C9-595-C9-598. 10.1051/jphyscol:19829118 . jpa-00222423

HAL Id: jpa-00222423

<https://hal.science/jpa-00222423>

Submitted on 1 Jan 1982

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ETUDE DE L'ÉVOLUTION STRUCTURALE D'UN VERRE METALLIQUE $\text{Fe}_{83}\text{B}_{14}\text{Si}_{1,5}\text{C}_{1,5}$ PAR MESURE DU FROTTEMENT INTERIEUR ET DU MODULE DE YOUNG

F. Guyot, F. Fouquet, C. Mai et J. Perez

Groupe d'Etudes de Métallurgie Physique et de Physique des Matériaux (LA 341)
I.N.S.A. de Lyon, Bât 502, 69621 Villeurbanne Cedex, France

Résumé. - L'influence de la relaxation structurale et du début de la cristallisation sur l'effet ΔE et l'amortissement magnéto-mécanique a été étudiée dans un verre métallique ferromagnétique $\text{Fe}_{83}\text{B}_{14}\text{Si}_{1,5}\text{C}_{1,5}$.

Abstract. - The influence of structural relaxation and of the onset of crystallization on ΔE effect and magnetomechanical damping has been studied in a ferromagnetic metallic glass $\text{Fe}_{83}\text{B}_{14}\text{Si}_{1,5}\text{C}_{1,5}$.

Introduction. - L'application des techniques de mesure de module élastique et de frottement intérieur au cas des verres métalliques, et en particulier à l'étude de leur évolution structurale, n'a donné lieu, à ce jour, qu'à un nombre de travaux relativement restreint, parmi lesquels on peut citer ceux de SOSHIRODA et al. [1], BERRY [2], KURSOMOVIC et al [3], KUNZI et al [4] et KISS et al [5]. Des mesures de pouvoir thermoélectrique, ainsi que des expériences de diffraction et de diffusion aux petits angles de rayons X [6], nous ont permis de mettre en évidence plusieurs étapes dans l'évolution structurale d'un verre métallique de composition $\text{Fe}_{83}\text{B}_{14}\text{Si}_{1,5}\text{C}_{1,5}$ fabriqué par SAINT-GOBAIN RECHERCHES : (i) en phase vitreuse, un premier stade de mise en ordre topologique, puis un second stade de mise en ordre chimique (ii) lors de la dévitrification, l'apparition de cristallites de solution solide $\text{Fe}-\alpha+\text{Si}$, puis la cristallisation de la phase amorphe restante en une phase Fe_2B et une phase métastable du type $(\text{Fe}, \text{Si})_3(\text{B}, \text{C})$ qui se décompose par la suite. Une série d'isothermes nous ont permis de tracer les courbes T.T.T. de l'évolution structurale de cet alliage vitreux [7]. Les mesures de module élastique et de frottement intérieur peuvent mettre en évidence la mobilité atomique dans le matériau ainsi qu'un éventuel couplage magnéto-élastique. L'objectif de ce travail est donc d'obtenir, en liaison avec les travaux antérieurs, une meilleure connaissance du matériau, du point de vue des propriétés magnétiques (magnétoélasticité, température de Curie), et de l'évolution structurale (relaxation structurale et cristallisation).

Méthode expérimentale. - Dans la technique de la "lame vibrante" utilisée, l'échantillon est encastré à une extrémité et libre à l'autre. L'excitation et la détection de la vibration se font par voie électrostatique. Le système fonctionnant en boucle fermée, l'éprouvette vibre sur un mode propre avec une amplitude de vibration qui est maintenue constante (environ $2 \cdot 10^{-6}$). La fréquence f est alors proportionnelle à $\sqrt{E}$, E étant le module élastique. Pour nos échantillons à l'état brut, dont les dimensions sont $0,035 \times 1,1 \times 12 \text{ mm}^3$, la fréquence est de l'ordre de 150 Hz sur le mode fondamental. Le frottement intérieur est obtenu à partir du décroissement logarithmique mesuré en décroissance libre après coupure de l'excitation. Ces mesures sont réalisables entre 80 et 700 K, sous un vide de 10^{-3} Torr.

Résultats expérimentaux. - La figure 1 représente le comportement d'un échantillon brut d'élaboration lors d'une montée en température et du refroidissement consécutif. Le module de Young ne présente que de faibles variations jusqu'à 660 K, température à partir de laquelle il augmente rapidement sous l'effet de l'apparition des premiers cristallites de $\text{Fe}-\alpha$. Il est à noter que la seule amorce de la cristallisation suffit à provoquer un accroissement du module de 30% à la température ambiante. Le frottement intérieur présente une augmentation rapide à partir de 500 K environ, avec vers 670 K un maximum dû à la cristallisation.

Figure 1: Variations du module de Young et du frottement intérieur en fonction de la température, à partir de l'état brut d'élaboration. E est rapporté à sa valeur E_0 à l'état brut de trempe et à la température ambiante. Vitesse de chauffage: 1 K/min.

Lors d'une telle montée en température la structure du verre n'est pas stable et elle évolue constamment. La figure 2 représente le comportement du matériau lors de montées successives jusqu'à des températures de plus en plus élevées. On observe que : (i) après montée à 423 K, l'augmentation du module et la diminution du frottement intérieur traduisent qu'une évolution a déjà eu lieu dans le matériau, aboutissant probablement à une densification par diminution et redistribution du volume libre [8] ; (ii) un effet ΔE apparaît après montée à 523 K avec un coefficient de température du module positif et, à basse température, une augmentation du frottement intérieur due à un amortissement d'origine magnétomécanique ; cet effet devient très important après montée jusqu'à 623 K, la chute de module à 300 K atteignant 30 % par rapport à l'état brut ; (iii) la disparition vers 630 K de l'effet ΔE nous permet une détermination de la température de Curie ; (iv) l'apparition des premiers cristallites de Fe- α diminue fortement le couplage magnétoélastique, avec en particulier pour conséquence une remontée très importante de la valeur du module

à 300 K. C'est la combinaison de ces divers phénomènes (i à iv) qui peut expliquer l'allure des courbes de la figure 1.

Les courbes 4 de la figure 2 mettant en évidence une augmentation continue de l'effet ΔE lorsque la température diminue depuis T_c jusqu'à la température ambiante, il nous a semblé intéressant de connaître ce qui se passe à plus basse température. La figure 3 représente le comportement du frottement intérieur et du module de Young d'échantillons dans différents états structuraux. On constate que : (i) après recuit à 573 K, l'effet ΔE et l'amortissement magnétomécanique continuent d'augmenter lorsqu'on refroidit jusqu'à la température de l'azote liquide (courbes 2) ;

- a -

- b -

Figure 2: Variations du module de Young (a), et du frottement intérieur (b) en fonction de la température lors de montées successives, suivies d'un refroidissement rapide, jusqu'à: 423 K (courbes 1), 523 K (courbes 2), 623 K (courbes 3), 693 K (courbes 4) et 600 K (courbes 5).

(ii) la présence de premiers cristallites de Fe- α provoque une disparition progressive de l'effet ΔE avec apparition d'un maximum de frottement intérieur et d'un minimum de module de Young qui se déplacent vers les plus hautes températures au fur et à mesure que la cristallisation progresse (courbes 3-4-5).

Discussion. - L'existence d'un effet ΔE dans des verres du type Fe-P-C a déjà été signalée et étudiée par BERRY et PRITCHET [9,10]. Toutefois dans notre alliage, l'amplitude de l'effet atteint des valeurs plus importantes.

A l'état brut d'élaboration l'effet magnétoélastique est faible, car les contraintes internes sont très importantes. Lors d'un recuit sans cristallisation, la relaxation structurale a pour effet, d'une part un relâchement des contraintes internes rendant plus facile le mouvement des parois et la rotation des domaines, et d'autre part une modification de la structure magnétique étroitement liée à l'état de contraintes dans le matériau. L'absence d'énergie d'anisotropie d'origine magnétocristalline favorise encore le couplage et permet à l'effet ΔE de se développer quand la température décroît.

Lorsque la cristallisation s'amorce, la diminution progressive observée de l'effet ΔE s'explique par l'apparition de petits cristallites de Fe- α qui vraisemblablement provoquent à basse température un ancrage des parois, et la création de "centres" de contraintes et donc d'une anisotropie d'origine magnétostrictive. L'effet ΔE pourrait réapparaître lorsqu'on chauffe depuis la température de l'azote liquide grâce au désancrage thermiquement activé des parois de domaines : cela conduirait alors à un maximum de frottement intérieur (figure 3-b, courbes 3 et 4).

L'effet magnétoélastique et l'amortissement magnétomécanique d'un matériau ferromagnétique font intervenir différents mécanismes [11] : (i) un processus de relaxation résultant des courants de Foucault à l'échelle macroscopique et microscopique, et indépendant de l'amplitude de la déformation ϵ ; (ii) un processus d'hystérésis magnétomécanique, indépendant de la fréquence mais qui dépend fortement de ϵ .

Dans l'état désaimanté, la composante macroscopique du processus de relaxation, qui concerne l'aimantation globale du matériau, est nulle. Dans ce cas, quand ϵ tend vers zéro, la composante hystérétique s'annule, et seule intervient la contribution relaxationnelle par microcourants de Foucault qui tient compte des variations locales de la configuration de domaines. Lorsque ϵ augmente tout en restant faible, le phénomène d'hystérésis apparaît, et l'effet ΔE ainsi que l'amortissement doivent augmenter linéairement avec ϵ . C'est ce qu'on observe sur la figure 4. Nos résultats ayant été obtenus pour une valeur de $\epsilon_{\max}$ de $2 \cdot 10^{-6}$ environ, la contribution hystérétique

- a -

- b -

Figure 3: Variations du module de Young (a), et du frottement intérieur (b) en fonction de la température pour un échantillon: brut d'élaboration (courbes 1), recuit 145 min. à 573 K (courbes 2), et après chauffage jusqu'à 670 K (courbes 3), 680 K (courbes 4) et 700 K (courbes 5).

Figure 4: Variations du module de Young et du frottement intérieur en fonction de $\epsilon_{\max}$ pour un échantillon ayant subi un recuit de stabilisation à 573 K.

existe donc mais reste faible.

Contrairement à ce qu'a dit BERRY [10], un bref calcul nous a montré que le frottement intérieur à amplitude nulle pouvait être interprété uniquement en termes de relaxation par microcourants de Foucault. Toutefois, une mesure sur le premier harmonique, à 800 Hz environ, nous a montré qu'il ne variait pratiquement pas avec la fréquence. Ceci nous conduit donc à admettre que le frottement intérieur déterminé à amplitude nulle implique une autre contribution, qui ne dépend pas de la fréquence, et qui constituerait une sorte de fond continu magnétomécanique.

Conclusion. - Les mesures de module de Young et de frottement intérieur nous ont permis sur un verre métallique Fe₈₃B₁₄Si_{1,5}C_{1,5} : de mettre en évidence un effet magnétoélastique et un amortissement magnétomécanique, de déterminer la température de Curie, d'étudier la relaxation structurale et de détecter l'apparition des premiers cristallites dans la matrice vitreuse.

Références

- [1] T. SOSHIRODA, M. KOIWA, T. MASUMOTO, J. Non Cryst. Solids, 22 (1976), 173.
- [2] B. S. BERRY in "Metallic Glasses" ASM, 161
- [3] A. KURSOMOVIC, M.G. SCOTT, E. GIRT, R.W. CAHN, Scripta Met., 14 (1980), 1303.
- [4] K. AGYEMAN, E. ARMBRUSTER, H. U. KUNZI, A. DAS GUPTA, H.J. GÜNTHERODT, J. Physique, Coll. C5 suppl. n° 10 (1981), 535.
- [5] S. KISS, G. POSGAY, I.Z. HARANGOZO, F.J. KEDVES, J. Physique Coll. C5 suppl. n° 10 (1981), 529.
- [6] D.C. TIAN, F. FOUQUET, F. GUYOT, C. MAI, J. PEREZ, Mat. Sci. Eng. 53 (1982), 179.
- [7] F. FOUQUET, F. GUYOT, C. MAI, J. PEREZ, D.C. TIAN, Communication au colloque "Verres et amorphes" du Congrès de la SFP - Clermont-Ferrand 29 juin-4 juillet 1981.
- [8] A.I. TAUB, F. SPAEPEN, Acta Met. 28 (1980), 1781.
- [9] B.S. BERRY, W.C. PRITCHET, AIP Conf. Proc. 34 (1976) 292.
- [10] B.S. BERRY, W.C. PRITCHET, J. Appl. Phys. 47 (1976) 3295.
- [11] A.S. NOWICK, B.S. BERRY in "Anelastic Relaxation in Crystalline Solids" - Academic Press New York 1972 chap. 18.