

Estudo por RFM da cristalização da liga amorfa 2605S-3A*

R. S. de Biasi**
M. L. N. Grillo***

A estabilidade térmica dos vidros metálicos é um assunto de grande interesse, já que a cristalização pode modificar consideravelmente as propriedades desses materiais. A ressonância ferromagnética (RFM) parece ser [1-10] um método conveniente para estudar a cristalização dos vidros metálicos, pois se trata de uma técnica rápida, sensível e não-destrutiva. No presente trabalho, a técnica da RFM foi usada para investigar a cristalização de uma liga amorfa à base de ferro, Metglas 2605S-3A [11], fabricada pela AlliedSignal Inc.

A liga, de composição nominal $\text{Fe}_{76}\text{B}_{16}\text{Si}_5\text{Cr}_2\text{C}_1$, foi fornecida na forma de fitas com 25 mm de largura e 30 μm de espessura. Os tratamentos isotérmicos fo-

ram realizados no ar, em pequenos pedaços da fita (dimensões típicas: 4 mm x 3 mm) em um forno tubular com uma precisão de ± 1 K. Os espectros de RFM foram obtidos à temperatura ambiente em um espectrômetro Varian E-12 trabalhando na Banda X (9,5 GHz). Todas as medidas foram feitas com o campo magnético estático paralelo à superfície da amostra e na direção do eixo maior da fita.

Os espectros de RFM de duas amostras, uma como recebida e outra tratada por 2 h a 743 K, aparecem na Fig. 1. Embora a largura de linha seja visivelmente maior na amostra tratada, ela não pode ser medida em termos da largura de linha pico-a-pico, como foi feito para outros vidros metálicos [1-3,6-9], porque o lado de baixo campo da primeira derivada da curva de absorção está parcialmente ausente (Fig. 1). Como estamos interessados apenas na variação relativa da largura de linha devido à cristalização, podemos medir, em vez disso, a largura a meia altura da parte de alto campo da primeira deriva-

*Trabalho apresentado na International Conference on Magnetism 97, Cairns, Austrália, julho de 1997.

**Engenheiro Eletrônico (PUC/RJ), Mestre em Ciências em Engenharia Eletrônica (PUC/RJ) e Ph.D. em Engenharia Eletrônica (Universidade de Washington, Seattle, EUA). É Professor Titular do IME.

***Bacharel em Física (UERJ), Mestre em Ciências em Física (PUC) e Doutora em Física (UFRJ). É Professora Adjunta da UERJ.

da da curva de absorção, ΔH , como se vê na Fig. 1. Este parâmetro de largura de linha aparece na Fig. 2 em função do tempo de tratamento para três temperaturas de tratamento. A variação segue de perto equações da forma $\Delta H = A + B[1 - \exp(-kt^n)]$ com $A = 45$ mT, $B = 113$ mT. Isto sugere que, como acontece com outros vidros metálicos [1-3,6-10], a largura de linha aumenta linearmente com a fração transformada da amostra. A Fig. 3 foi plotada usando os dados da Fig. 2 para determinar o valor do expoente de Avrami, n . A fração transformada, f , foi calculada a partir da largura de linha, supondo que a relação linear $f = (\Delta H - 45)/113$ seja válida para todas as temperatura investigadas. O valor médio de n é 1,04.

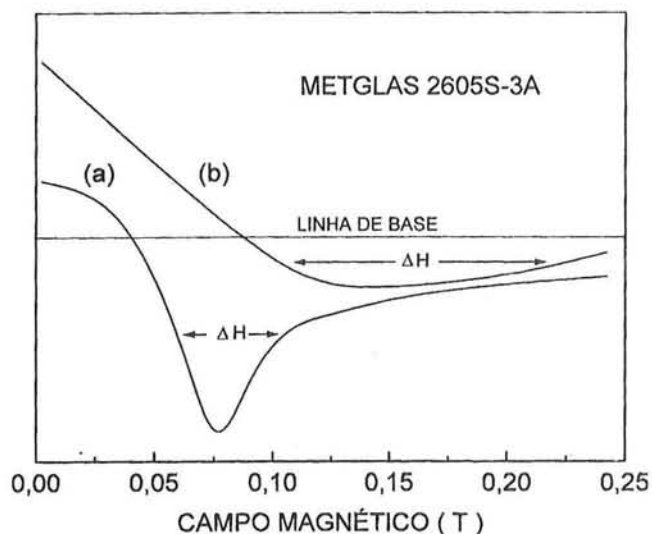


Figura 1 – Espectros de RFM de amostras de Metglas 2605S-3A. (a) Como recebida; (b) tratada por 2 h a 743 K.

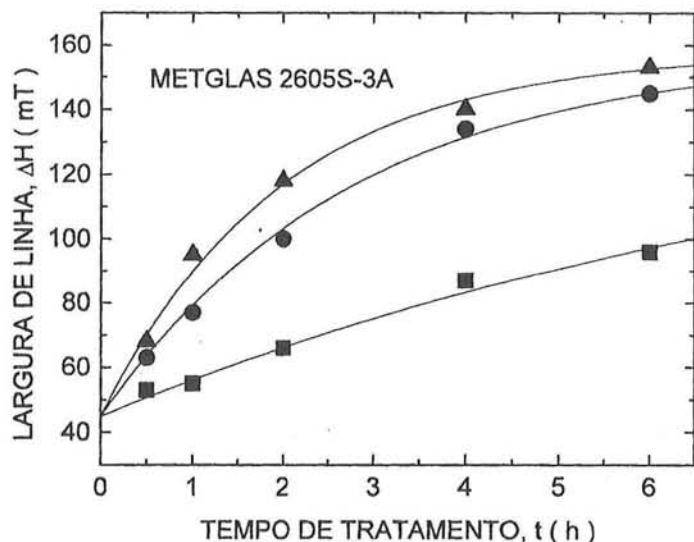
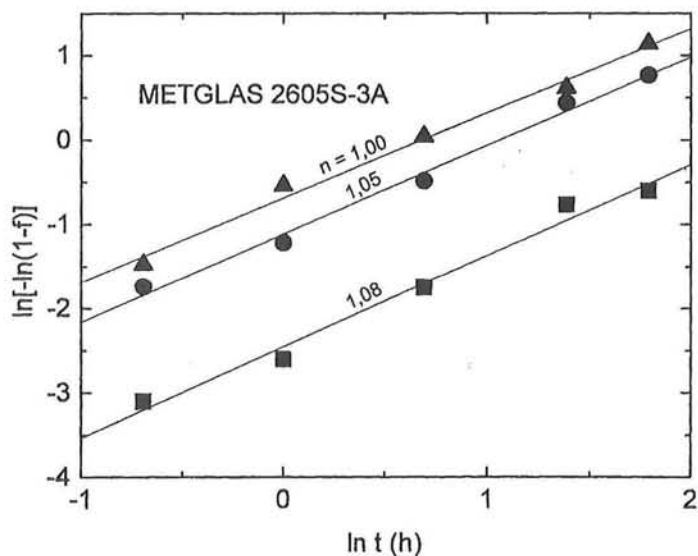


Figura 2 – Parâmetro de largura de linha em função do tempo de tratamento, para três diferentes temperaturas de tratamento: (■) 723 K; (●) 733 K; (▲) 743 K.

Figura 3 – Gráficos de Avrami para três diferentes temperaturas: (■) 723 K; (●) 733 K; (▲) 743 K.



A energia aparente de cristalização E_c foi calculada a partir da variação com a temperatura do tempo para um certo valor de largura de linha, $t_{\Delta H}$, de acordo com a equação $t_{\Delta H} = A \exp(-E_c/kT)$. Gráficos de $\ln t_{\Delta H}$ em função de $1/T$ aparecem na Fig. 4 para três valores de largura de linha. Os valores correspondentes de E_c , obtidos a partir da inclinação de retas ajustadas por mínimos quadrados aos pontos experimentais, também estão indicados na figura. O uso de ajustes lineares se justifica pelo fato de que a cristalização de vidros metálicos é um processo termicamente ativado [12]. O valor médio de E_c é 359 kJmol^{-1} . Os valores do

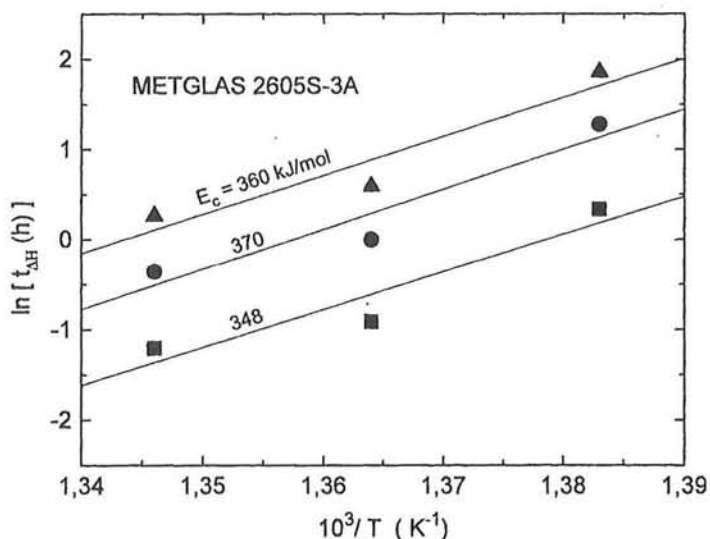


Figura 4 – Gráfico de $\ln t_{\Delta H}$ em função da temperatura de tratamento. As retas são ajustes por mínimos quadrados aos dados experimentais. $\Delta H =$ (■) 60 mT; (●) 80 mT; (▲) 100 mT.

expoente de Avrami, n , são compatíveis com um processo de crescimento controlado por difusão com uma taxa de nucleação próxima de zero [12,13].

Os valores de n e E_c para várias ligas amorfas à base de ferro aparecem na Tabela 1. De acordo com a tabela, em ligas como 2605-3A and Metglas 2605S-2, de composições semelhantes e quase com a mesma energia de ativação, o expoente de Avrami pode variar de quase 100%. Aparentemente, a introdução de uma pequena fração de elementos como Cr e C pode ter um efeito importante sobre a taxa de nucleação. Esta é uma observação importante no que diz respeito à estabilidade dos vidros metálicos.

Tabela 1
Resultados Experimentais para Algumas Ligas Amorfas à Base de Ferro

Nome	Composição	E_A (kJ/mol)	n	Referência
Metglas 2605S-3A	$Fe_{76}B_{16}Si_5Cr_2C_1$	359	1,04	Este trabalho
Metglas 2826MB	$Fe_{40}Ni_{38}Mo_4B_{18}$	353	1,08	8
Vitrovac 0040	$Fe_{40}Ni_{40}B_{20}$	364	1,58	4
Metglas 2826A	$Fe_{32}Ni_{36}Cr_{14}P_{12}B_6$	306	1,65	1
Metglas 2826	$Fe_{40}Ni_{40}P_{14}B_6$	412	1,67	2
Metglas 2605S-2	$Fe_{78}B_{13}Si_{19}$	351	1,92	9

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. R.S. de Biasi e R.W.D. Rodrigues, J. Mater. Sci. 20, 1985, 845.
2. R. S. de Biasi e A.A. R. Fernandes, J. Magn. Magn. Mater. 54-57, 1986, 253.
3. R. S. de Biasi e A.A. R. Fernandes, J. Mater. Sci. Lett. 5, 1986, 1258.
4. R.S. de Biasi e A.A.R. Fernandes, J.Mater.Sci. 24,1989, 41.
5. R. S. de Biasi e A.A. R. Fernandes, Phys. Rev. B42, 1990, 527.
6. G. Balasubramanian, A.N. Tiwari e C.M. Srivastava, J.Mater.Sci. 25, 1990,1636.
7. R.S. de Biasi, J. Mater. Sci. Lett. 12,1993,1028.
8. R.S. de Biasi e F.M.R. D'Almeida, J. Mater. Sci. Lett. 11, 1992,1696.
9. R. S. de Biasi e S. M.V. Araújo, J. Mater. Sci. Lett. 14, 1995, 94.
10. R.S. de Biasi e M.L.N Grillo, J. Mater. Sci. Lett. 15, 1996, 1916.
11. E. S. Hamdi e G. H. Shirkoohi, J.Magn. Magn. Mater. 112, 1992, 293.
12. S. Ranganathan e M. von Heimendahl, J.Mater.Sci. 16,1981, 2401.
13. B. Ilschner, Archiv fd. Eisenhüttenwesen 26, 1955, 59.