

## ESTUDO DE VACÂNCIAS NA SOLUÇÃO SÓLIDA DE ALUMÍNIO-MAGNÉSIO (0,87% at Mg) POR MEIO DA RESISTIVIDADE ELÉTRICA

Carlos Roberto Sobreira BEATRICE\*  
Mário CILENSE\*  
Antonio Tallarico Vicente ADORNO\*  
Waldir GARLIPP\*\*

**RESUMO:** Determinou-se a variação da resistividade elétrica em amostras de solução sólida de alumínio-magnésio (0,87% at Mg), em função da temperatura de têmpera. A energia de formação da vacância de  $(0,52 \pm 0,02)$  e  $V$  para a solução foi menor que a energia de formação de vacâncias no alumínio puro, encontrada na literatura.

**UNTERMOS:** Defeitos pontuais; solução sólida de alumínio-magnésio; energia de formação de vacâncias; têmpera de vacâncias.

### INTRODUÇÃO

O método da determinação da energia de formação de vacâncias em metais, através da têmpera a partir de temperaturas elevadas, tem sido bastante usado em metais puros<sup>1,2,3,4</sup> em ligas concentradas<sup>5,6,7,8</sup> e ligas diluídas<sup>9,10,11,12</sup>, e nesta última o estudo visa principalmente à interação entre a vacância e um átomo substitucional. Neste estudo, buscou-se determinar a energia de formação de vacâncias na solução sólida de alumínio-magnésio (0,87% at Mg) por meio da variação da resistividade elétrica em função da temperatura de têmpera. O aumento na resistividade elétrica  $\Delta\epsilon$  imediatamente após a têmpera, é descrito pela equação:

$$\Delta\epsilon = A \exp(-E_f/kT_q) \quad (1)$$

onde  $A$  é uma constante,  $T_q$  a temperatura absoluta da têmpera,  $k$  a constante de BOLTZMANN e  $E_f$  a energia de forma-

ção dos defeitos, responsável pelo aumento da resistividade elétrica.

### PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Foram utilizadas amostras da solução sólida de alumínio-magnésio (0,87% at Mg) na forma de lâminas, tendo em média 76,531mm de comprimento, 3,195mm de largura e 0,308mm de espessura. A análise química da solução revelou ainda como impureza, cobre (2,3 a 2,8 x 10<sup>-3</sup>% at), Si (2 a 5 x 10<sup>-2</sup>% at), Fe (6 x 10<sup>-3</sup>% at) e Mn (6 x 10<sup>-3</sup>% at). As amostras foram mantidas na temperatura de 420°C no vácuo durante 16 horas e depois esfriadas lentamente com o fim de aliviar as tensões, apresentando no final deste tratamento um tamanho médio de grão igual a 480  $\mu$ m. A seguir, separou-se as amostras que foram utilizadas como padrão, e as demais foram temperadas a partir de temperaturas variando entre 368°C a 558°C, em banho de salmoura a -2°C. As variações da resistividade elétrica das amostras foram medidas a 0°C,

\* Departamento de Físico — Química — Instituto de Química — UNESP — 14.800 — Araraquara — SP.

\*\* Departamento de Materiais da Escola de Engenharia de São Carlos — USP.

empregando-se a técnica preconizada por BAUERLE & KOEHLER<sup>13</sup>, onde a medição da relativa dessas variações permite que a influência de pequenas oscilações térmicas e outros fatores, inerentes à solução, sejam eliminadas. A Fig. 1 mostra um detalhe do circuito em ponte, utilizado nas medidas da resistividade elétrica.

As variações da resistividade elétrica foram calculadas através da diferença de potencial  $V_a - V_b$ , utilizando-se um potenciômetro CAMBRIDGE com precisão até  $10^{-7}$ V e a igualdade de corrente em ambos os lados da ponte foi monitorada através de um galvanômetro NORMA, com precisão até  $10^{-10}$ A e das resistências  $R_2$  e  $R_3$ .

#### RESULTADOS

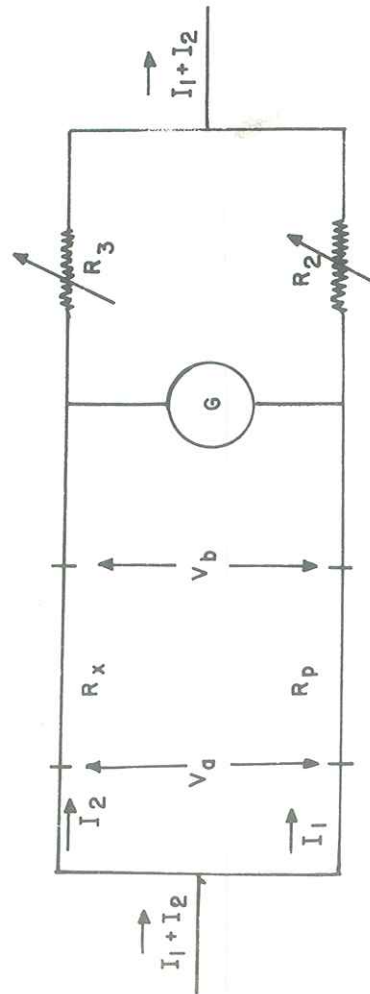
A Fig. 2 mostra o gráfico do logaritmo da variação relativa da resistência elétrica,  $(\frac{\Delta R}{R_0})$  em função do inverso da temperatura de  $T_q^{-1}$ . Comparando a equação da reta, obtida a partir da Fig. 2, com a equação (1) na forma logarítmica, obteve-se a energia de formação de va-

cância na solução sólida de alumínio-magnésio (0,87% at Mg),  $E_f = (0,52 \pm 0,02)$  e V.

#### DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O resultado obtido para a energia de formação de uma vacância, nesta solução sólida de alumínio-magnésio (0,87% at Mg), permite concluir que este valor não deve se referir unicamente à vacância livre<sup>14</sup>, mas também ao conjunto dos agrupamentos de vacâncias e magnésio pois, à medida que se eleva o teor de magnésio, há uma distribuição não conhecida de porcentagem de vacâncias livres e vacâncias ligadas a um, dois e três átomos de magnésio<sup>15,16,17</sup>.

Assim, a análise da energia de formação aparente,  $E_f$ , em soluções sólidas de alumínio-magnésio, para outras concentrações de magnésio, poderá esclarecer melhor qual a distribuição percentual dos diferentes tipos de ligações de vacâncias e átomos do soluto magnésio.



$$\Delta R = R - R_0 = \frac{V_a - V_b}{I_1}$$

FIG. 1 — Detalhe do circuito utilizado para as medidas de resistividade elétrica.

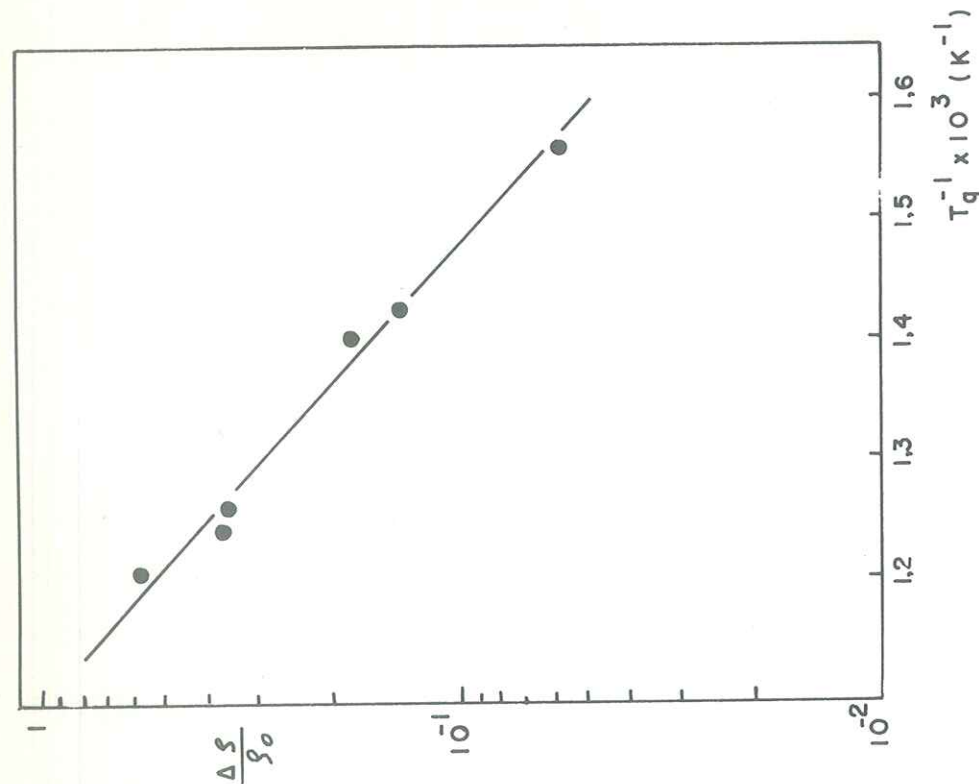


FIG. 2 — Variação da resistividade da solução sólida Al-Mg, em função do inverso da temperatura absoluta de temperatura.

BEATRICE, C.R.S. *et alii* — Estudo de vacâncias na solução sólida de alumínio-magnético (0,87% at Mg) por meio da resistividade elétrica. *Ecl. Quim.*, São Paulo, 9:33-34, 1984.

BEATRICE, C.R.S. *et alii* — Quenched-in vacancies in the Al-Mg solid solution (0.87% at Mg). *Ecl. Quim.*, São Paulo, 9:31-34, 1984.

**ABSTRACT:** The electrical resistivity changes with the quench temperature, in the aluminium-magnesium solid solution (0.87% at Mg) was measured for several temperatures values. The formation energy of a vacancy in the solid solution was found to be lower than that for the pure aluminium.

**KEY-WORDS:** Point defects; solid solution of Al-Mg; formation energy of vacancy and quench of vacancies.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. De SORBO, W.; TURNBULL, D. — *Acta Met.*, 1959, 7, 83.
2. BALLUFFI, R.W. — *J. Nuclear Mat.*, 1978, 69-70, 240.
3. TAKAMURA, J.; FURUKAWA, K.; KUWANA, N.; TAJIMA, R. — *The 27th Annual Meeting, The Physical Society of Japan, Hiroshima*, 1972, 11a-U-12.
4. MORI, M.; MESHII, M.; KAUFFMAN, J.W. — *Journal of Applied Physics*, 1962, 33, 2776.
5. SHULZE, A.; LUCKE, K. — *Acta Met.*, 1972, 20, 529.
6. RIVIÈRE, J.P.; GRILHE, J. — *Acta Met.*, 1972, 20, 1275.
7. KIMURA, H.; KIMURA, K.; HASIGUTI, R.R. — *Acta Met.*, 1962, 10, 607.
8. ADORNO, A. T. V.; CILENSE, M.; GARLIPPE, W. — *Scripta Met.*, 1982, 16, 507.
9. DUCKWORTH, F.; BURKE, J. — *Phil. Mag.*, 1966, 14, 473.
10. MARCH, N.H. — *J. Nuclear Mat.*, 1978, 69-70, 490.
11. DOYAMA, M.J. — *Nuclear Mat.*, 1978, 69-70, 350.
12. BEAMAN, D.R.; BALLUFFI, R.W.; SIMMONS, R.O. — *Phys. Rev.*, 1965, 137, A917.
13. BAUERLE, J.E.; KOEHLER, J.S. — *Phys. Rev.*, 1957, 107, 1493.
14. FURUKAWA, K.; TAKAMURA, J.; KUWANA, N.; TAHARA, R.; ABE, M. — *J. Phys. Soc. Japan*, 1976, 41, 1584.
15. HEHENKAMP, Th.; SCHMIDT, W.; SCHLETT, V. — *Acta Met.*, 1980, 28, 1715.
16. HEHENKAMP, Th.; SANDER, L. — *Z. Metallk.*, 1979, 70, 202.
17. HEHENKAMP, Th. — *Point Defects and Defect Interactions in Metals*. University of Tokyo Press, Tokyo, 1982.