

(78) Fe-Cr-Cuの3成分系における拡散交叉現象について

名古屋大学大学院
名古屋大学工学部

高木隆行
鯉部吉基 飯尾 弘

1. 緒言: 3成分系の拡散において、交叉現象(cross or coupling effect)を引き起こすことはよく知られている。しかし、溶融鉄合金中のその定量的な研究はほとんどなされていない。そこで本研究はこの現象を調べる式を導入し、Fe-Cr-Cu系を用いて拡散実験をcouple法で行なった。CrとCuを用いたのはその相互作用が大きいとされているからである。

2. 実験原理: 3成分系において、拡散係数が濃度に依存しないと仮定した時、溶媒に相対的な拡散を示すFickの第2法則は次式である。

$$\begin{cases} \frac{\partial c_i}{\partial t} = D_{i1} \frac{\partial^2 c_1}{\partial x^2} + D_{i2} \frac{\partial^2 c_2}{\partial x^2} & \text{--- ①} \\ \frac{\partial c_2}{\partial t} = D_{21} \frac{\partial^2 c_1}{\partial x^2} + D_{22} \frac{\partial^2 c_2}{\partial x^2} & \text{--- ②} \end{cases}$$

ただし、 c_1, c_2 はそれぞれ1, 2成分の濃度を、 x, t はそれぞれ拡散時間、界面からの距離を示す。ここで、初期条件、境界条件を以下に示す。

$$\begin{cases} \frac{\partial c_i}{\partial x} = 0 & (x = \pm l, t > 0) \quad i = 1, 2 \\ c_i(x, 0) = (c_i)_A & (-l < x < 0, t = 0) \\ c_i(x, 0) = (c_i)_B & (0 < x < l, t = 0) \end{cases}$$

ただし、 l は試料の長さの1/2である。このもとで式①, ②を解くと次式のようになる¹⁾

$$\begin{cases} c_1(x, t) = \frac{1}{2}[(c_1)_A + (c_1)_B] + K_1^+ \psi_1(x, t) + K_1^- \psi_2(x, t) \\ c_2(x, t) = \frac{1}{2}[(c_2)_A + (c_2)_B] + K_2^+ \psi_1(x, t) + K_2^- \psi_2(x, t) \end{cases}$$

ここで、 $K_1^+, K_1^-, K_2^+, K_2^-$ 、および ψ_1, ψ_2 はすべて $D_{11}, D_{12}, D_{21}, D_{22}$ の関数である。この解により直接拡散係数を求めることは非常に困難であるため、 c_1, c_2 が x に関して奇関数であるという仮定のもとで、濃度差 $\Delta c_1 = \{c_1(x, t) - c_1(-x, t)\}$ および $\Delta c_2 = \{c_2(x, t) - c_2(-x, t)\}$ の t に関する0次モーメントを因式積分法により決定する。これにより上述の拡散係数を算出できる。

3. 実験方法: couple用試料は高周波誘導炉を用いて電解鉄を溶解し、水素で還元した後Cr, Cuを添加し、内径約4mmの石英管にて吸い上げ、急冷する。長さ10mmの濃度の異なる2つの吸い上げ試料を組合せ、内径約4mmの高純度アルミナ管に入れ、Mo管電熱体の拡散炉中で1550℃で一定時間拡散させた。その後、アルミナ管をとり出し、He7エンチする。試料の濃度分布はEPXMAにて求めた。

4. 結果: 実験はCrが0~13%, Cuが0~3%の範囲で行なった。couple (0% Cr, 2.4% Cu - 84% Cr, 0.7% Cu)を10分間拡散させた濃度プロファイルの1例を図1.に示す。これらの濃度プロファイルより、界面から等距離における濃度差 Δc と時間 t との関係を示した1例を図2.に示す。この関係を因式積分したものを組合せることにより、拡散係数を算出すると、 $D_{CuCr} = 5.3 \times 10^{-5}$, $D_{CuCu} = 10.6 \times 10^{-5}$, $D_{CrCr} = 4.8 \times 10^{-5}$, $D_{CrCu} = -0.3 \times 10^{-5}$ となった。

文献 1) H. Fujita; J. Phys. Chem., 63 (1959), p.242.

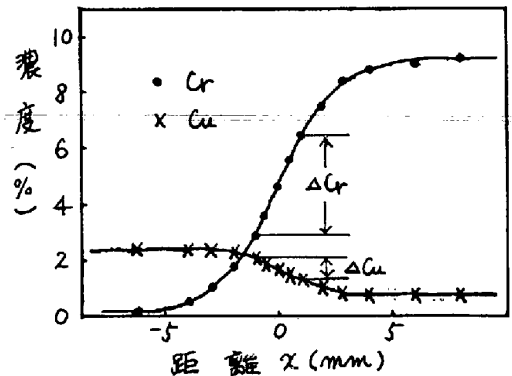


図1. 濃度プロファイル

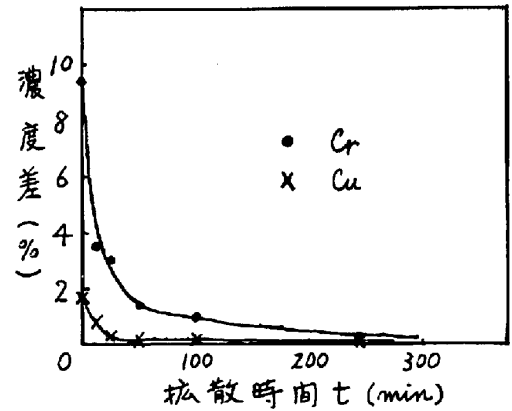


図2. 濃度差と時間との関係 (x = ±1.0mm)