

(343)

鉄鋼の急冷過程中的粒界偏析

東京大学工学部 堂山昌男, 日野出憲治

1. 目的 鉄鋼を急冷した直後に、不純物の粒界偏析が、急冷温度、急冷速度などと、どのような関係にあるかを求める。温度 T_a において、粒内と粒界の濃度の間に熱平衡が成立した後、冷却した場合、不純物の粒界偏析が冷却中どう変化するか、冷却後どうなっているかを求める。

2. 計算方法 粒内の不純物濃度を C_0 、粒界(厚さ d_b)での不純物濃度を C_b とすると、粒内、粒界不純物が熱平衡にあるときは $C_b = C_0 \exp(B/kT)$ の関係がある。 B は粒界と不純物の結合エネルギーである。等冷却速度 α で冷却する場合は $T = T_a - \alpha t$ となる。 T は温度、 t は時間である。数値計算から、通常の条件では境界への拡散距離は小さく、1次元問題と考えよことがわかった。不純物の粒内から粒界への流れ密度 J を $J = -D[C_b \exp(-B/kT) - C_0]/\Delta l$ と書く。 Δl は区間の長さである。通常の拡散方程式 $\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$ を電子計算機により解く(温度が刻々変化する)。

3. 結果 図1は急冷中、温度が下る間の、粒界濃度の変化を求めたものである。図2は急冷中の粒内不純物濃度の変化と粒界からの距離の間数で表わしたものである。不純物として鉄中の Sb の拡散 $D = 1.1 \times 10^{-3} \exp(-66 \text{ Kcal/mol} / RT) \text{ cm}^2/\text{sec}$ をとった。粒内のはじめの不純物濃度 $C_0^0 = 500 \text{ ppm}$ 、 $\alpha = 500^\circ\text{C/sec}$ の場合である。温度(T^*) (臨界温度より上では、粒界と粒内間に熱平衡が成り立つが、 T^* 以下では拡散が遅く、全然拡散が起らないと考えよ。この T^* は

$$-\frac{B d_b}{k T^*} \exp\left(\frac{B}{k T^*}\right) \frac{\partial T}{\partial t} \bigg|_{T^*} = \beta D_0 \exp\left(-\frac{E_D}{k T^*}\right) \quad \dots (1)$$

なる関係を解いて得られる。(β は定数である。図1より $\beta = 3.829 \times 10^4$ を得た。これを使うと、図1の膨大な計算をしなくても式(1)より T^* が容易に求まる(表1)。急冷後の粒界不純物濃度は $C_b = C_0 \exp(B/kT)$ で与えられる。 T^* がわかると、冷却後の粒界濃度がわかる。

4. 結言 冷却中、不純物が粒内から粒界へ拡散する場合、臨界温度が存在する。この温度 T^* より上では粒界と粒内の不純物濃度の間に熱平衡関係があるが、 T^* 以下では拡散が遅すぎ、 T^* の状態が凍結されていると考えられる。この T^* は式(1)により求めることができる。この T^* がわかると、冷却後の粒界不純物濃度がきめられる。例えば 1500°C/sec 、 $d_b = 3\text{\AA}$ 、 $B = 0.2 \text{ eV}$ の場合 990K 以上の何度から急冷しても 990K の状態を凍結される。

表1. T^* と急冷後の粒界の Sb の濃度 ($\times 10^{-3}$)

$B(\text{eV})$	$\alpha = 500^\circ\text{C/sec}$ $d_b = 9\text{\AA}$ $\alpha = 750$ $d_b = 6\text{\AA}$ $\alpha = 1500$ $d_b = 3\text{\AA}$		$\alpha = 167^\circ\text{C/sec}$ $d_b = 9\text{\AA}$ $\alpha = 250$ $d_b = 6\text{\AA}$ $\alpha = 500$ $d_b = 3\text{\AA}$		$\alpha = 83^\circ\text{C/sec}$ $d_b = 9\text{\AA}$ $\alpha = 125$ $d_b = 6\text{\AA}$ $\alpha = 250$ $d_b = 3\text{\AA}$		$\alpha = 33^\circ\text{C/sec}$ $d_b = 9\text{\AA}$ $\alpha = 50$ $d_b = 6\text{\AA}$ $\alpha = 100$ $d_b = 3\text{\AA}$	
	T^*	C_{Sb}	T^*	C_{Sb}	T^*	C_{Sb}	T^*	C_{Sb}
0.1	942 ^K	1.714	916 ^K	1.975	900 ^K	1.816	880 ^K	1.870
0.2	990	5.215	962	5.584	945	5.831	924	6.166
0.3	1031	14.65	1003	16.09	984	17.21	962	18.66

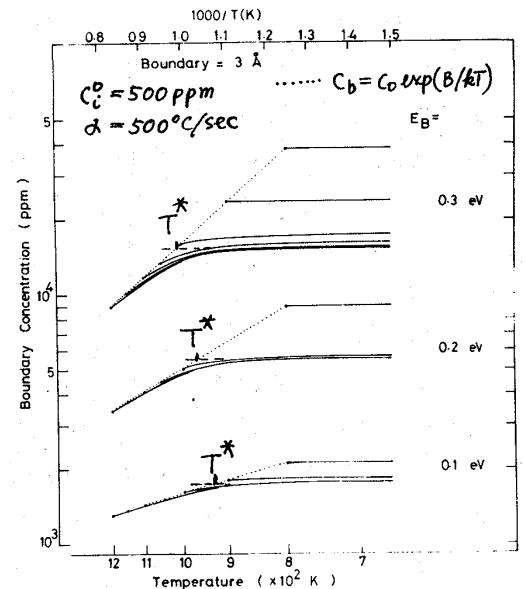


図1. 急冷中の粒界不純物濃度の変化

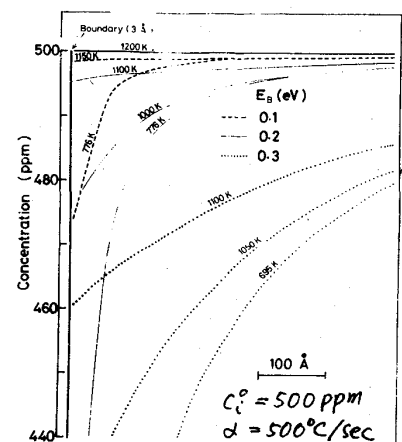


図2. 急冷中の粒内不純物濃度変化