

(489) 加工硬化したオーステナイトから生成するフェライト粒径の理論的定式化

金属材料技術研究所 ○大塚 秀幸

豊橋技術科学大学 梅本 実

京都大学名誉教授 田村今男

1. 緒言 オーステナイト (γ) を加工硬化させると生成するフェライト (α) 粒は微細化されるが、これは加工により α の核生成場所密度が増加するためである。加工硬化した γ における α の核生成場所としては、(1) γ 粒界、(2) 焼鈍双晶境界、(3) γ 粒内に導入された転位、の三つが挙げられる。そこで本研究ではこれら三つの核生成場所における α の核生成速度及び加工材における変態速度式を用いて加工硬化した γ から生成する α の粒径を理論的に定式化することを試みた。

2. 計算方法 加工硬化した γ から生成する α の粒径は単位体積当たりに生成した α 粒の数 n_t から求められる。 n_t は、粒界上で生成した α 粒の数 $n_{g,b}$ 、焼鈍双晶境界上で生成した α 粒の数 n_{dt} 、 γ 粒内の転位上で生成した α 粒の数 n_l の和で表される。まず、 $n_{g,b}$ について考える。加工によって単位粒界面積当たりの α の核生成速度は著しく増加するが、その原因は、Fig.1 に模式的に示すように加工により γ 粒界面上に ledge が多数形成され (Fig.1(a))、ledge 上で α が核生成する (Fig.1(b)) ため無加工の平らな粒界面上で生成する場合に比べて臨界核形成のための活性化エネルギーが小さくてすむからであると考えられる。従って $n_{g,b}$ は粒界面上における未変態率 $(1 - Y_{g,b})$ と単位粒界面積当たりの核生成速度、 $I_{g,b}^0 + L \cdot I_{g,b}^l$ (ただし、 $I_{g,b}^0$ は無加工材における単位粒界面積当たりの核生成速度、 $I_{g,b}^l$ は加工材における単位 ledge 長さ当たりの核生成速度、 L は単位粒界面積当りの ledge 長さ) との積を時間に関して変態開始から粒界面が埋め尽くされるまで積分することによって求められ、

$$n_{g,b} = \int_0^{\infty} \frac{2}{3} S_{g,b}(p) (I_{g,b}^0 + L \cdot I_{g,b}^l) (1 - Y_{g,b}) dt \quad (1)$$

と表される (ただし、 $S_{g,b}(p)$ は単位体積当たりの粒界面積)。ここで、 L は次のようにして求めることができる。今、加工度 p の加工を加えたときに、ある γ 粒内ですべり変形が起こり、全部で m 本の転位が粒内のすべり面上を通過したとすると、ある一つのすべり面上で l 本の転位が通過した確率 $F(l, m)$ は、

$$F(l, m) = \frac{(n-1)^{m-l}}{n^m} \cdot \frac{m!}{(m-l)! l!} \quad (2)$$

で表される。 j 本以上の転位が通過した面が α の核生成に有効な ledge を構成するとすれば、 γ 粒界面上における単位面積当たりの有効 ledge 長さ L は

$$L = \frac{\sqrt{3}}{2a} \cdot F(l \geq j, m) \quad (\text{ただし } a \text{ は格子定数}) \quad (3)$$

で表される。次に焼鈍双晶境界上で生成した α 粒の数 n_{dt} については焼鈍双晶境界上にも加工により ledge が形成されると考えられるので、同様にして求めることができる。また、 γ 粒内の転位上で生成した α 粒の数 n_l は未変態率 $(1 - X_t)$ と、転位密度 ρ 及び転位の単位長さ当たりの核生成速度 I_d の積を変態開始から終了まで積分することによって求められ、

$$n_l = \int_0^{\infty} \rho I_d (1 - X_t) dt \quad (4)$$

で表すことができる。さらに、 α 粒径 D_α は、単位体積当たりに生成した α 粒の数 n_t を用いて

$$D_\alpha = \left(\frac{2}{3n_t} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (5)$$

と表せる。以上の計算方法により加工硬化した γ から生成する α 粒径が、 γ 粒径、加工度の関数として表現できる。

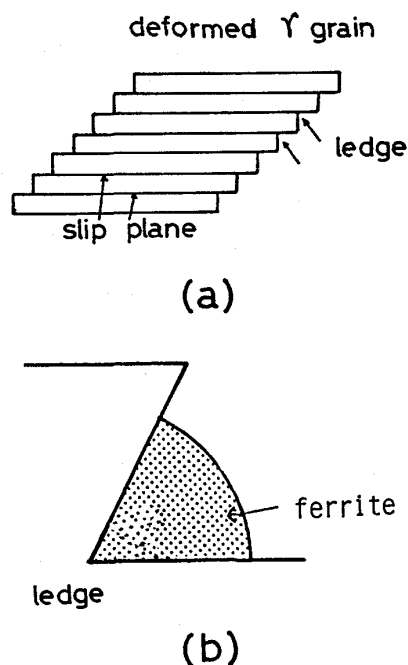


Fig.1 Schematic drawings showing (a) ledges on deformed austenite grain boundary and (b) ferrite nucleation at a ledge.