

# Alnico 8 永磁合金析出相的形貌观察

王运新 刘瑞群\*

(物理学系)

铝镍钴型永磁合金的固溶体分解具有 Spinodal 分解的特征<sup>[1,2]</sup>。分解析出的  $\alpha_1$  (弱磁性相) 与  $\alpha_2$  相 (强磁性相) 的形状各向异性及其取向对永磁性能起决定作用。合金中存的晶界, 非金属夹杂物以及在 Spinodal 分解前存在的  $\gamma$  相都有可能影响合金的分解及析出相的排列。为了从合金组织上分析晶界, 夹杂物及  $\gamma$  相对磁性能的影响, 我们对晶界, 夹杂物及  $\gamma$  周围的  $\alpha_1$  与  $\alpha_2$  相的形貌进行了电子显微镜观察。

所用试样是桂林电器科学研究所研究的高性能含 Nb Alnico 8<sup>[3]</sup>。用阳极氧化制取复型<sup>[4]</sup>进行观察。

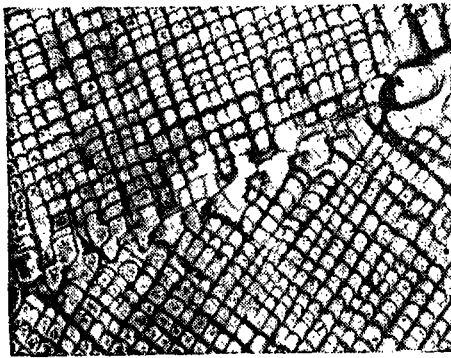
## 一、实验结果

### 1、晶界及夹杂物附近析出相的观察

晶界与夹杂物附近  $\alpha_1$  与  $\alpha_2$  的观察所用的试样经最佳磁能处理后于 810°C 退火 2 小时。垂直于磁场方向的截面上, 晶界附近析出相的形貌如图 1 a 所示。平行于磁场方向的截面上, 晶界附近析出相的形貌如图 1 b 所示。由图 1 可见, 成分周期调幅在离开晶界约 2 个波长的范围以外就能很好地保持, 即晶界对  $\alpha_1$  与  $\alpha_2$  形态的影响范围很小, 只在两 3 个波长范围内, 即使在晶界处仍然有两相析出。图 1 b 是垂直于磁场方向的一个晶界。呈棒状的析出相颗粒从一个晶粒穿过晶界进入另一晶粒。只是颗粒的取向较晶粒内不规则。小角度边界的影响更小一些 (见图 2)。

图 3 清楚地显示了夹杂物附近  $\alpha_1 + \alpha_2$  的形貌, 沿着磁场方向观察, 在夹杂物的前方及后方的一个范围内,  $\alpha_1 + \alpha_2$  相的一致取向几乎完全被破坏。夹杂物两侧,  $\alpha_1 + \alpha_2$  的取向无明显改变。图 3b 可见在夹杂物的前后方。有些棒状析出相的纵向垂直图面, 在图面上近似方形。

\*74 届学员郑爱玲、丁丽、张俊光、陈章德参加了部分工作。



a 垂直于磁场方向 30000x



b 平行于磁场方向 5000x

图1 晶界附近析出相的形貌

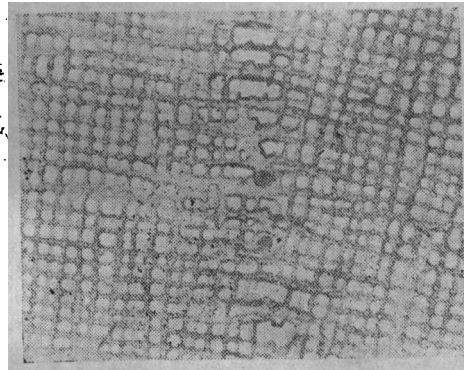
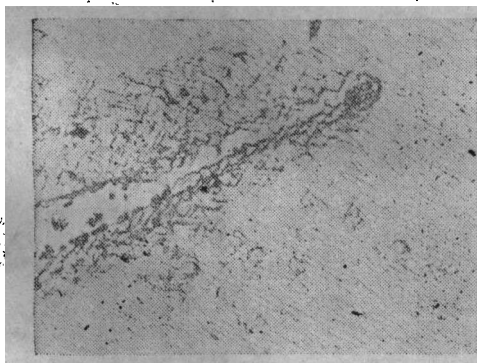


图2 小角度边界附近 $\alpha_1$ 与 $\alpha_2$ 的形貌 x30000



a x10000



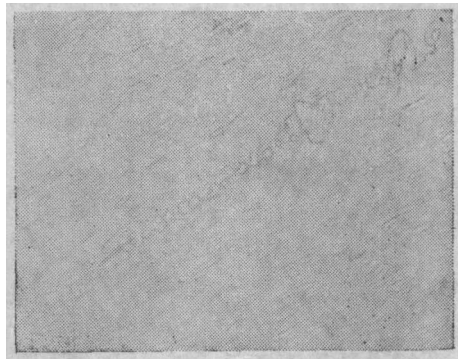
b\* x10000

图3 夹杂物附近 $\alpha_1 + \alpha_2$ 的形貌

\*此照片是最佳磁场处理后于830°C退火2小时的情况。



a 垂直于磁场方向的截面 6000×

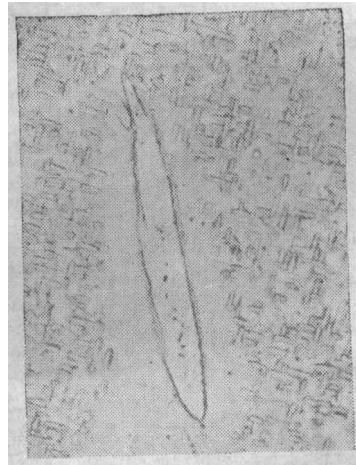


b 平行于磁场方向的截面 6000×

图4  $\gamma$ 相附近析出相的形貌

## 2、 $\gamma$ 相附近析出的观察

通常 $\gamma$ 相颗粒的尺寸比 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 相的尺寸大很多。为了在同一个照片上既能显出 $\gamma$ 相的全貌又能分辨出 $\alpha_1$ 与 $\alpha_2$ 相。我们将样品于较高温度(830°C)退火两小时,使析出相 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 长大一些。 $\gamma$ 相附近,析出相的形貌如图4所示。图4表明在 $\gamma$ 相周围有一个区域,这个区域中基本上没有 $\alpha_2$ 的析出。不论 $\gamma$ 相颗粒的大小如何,无析出区的宽度大致相同(见图5)。



(a)



(b)



(c)

图5  $\gamma$ 相的大小与无析出区的宽度的关系4000×

b)中 $\gamma$ 相的宽度约为a)的两倍,c)中二片 $\gamma$ 相的总宽度相当于b)的宽度。

## 二、讨 论

### 1、夹杂物对 $\alpha_1$ 与 $\alpha_2$ 形貌及磁性的影响

Alnico 8中的夹杂物主要是钛的硫化物。夹杂物的存在相当于在合金中存在空孔。空孔的存在,产生一个退磁场。顺着外磁场方向观察,这个退磁场在夹杂物的前后方刚好与外磁场方向相反,在这个区域内抵消了外磁场的作用,Spinodal分解沿三个[100]方向进行。因而在这个区域内形状各向异性的铁磁相颗粒的长轴方向沿三个[100]发生,与我们观察的结果一致(见图3b)。夹杂物的体积百分比测定值为 $P=0.015$ 。由图3a可以认为颗粒长轴沿三个方向分布的区域所占体积百分比约为夹杂物的三倍(即 $3P$ )。按形状各向异性单畴颗粒的磁化理论可以约略估计夹杂物对磁性的影响。令形状各向异性颗粒的饱和磁化强度为 $M_s$ 。则不存在夹杂物的样品的剩余磁化强度为 $M_r^{(1)} = M_s$ 。夹杂物含量为 $P$ 的样品的剩余磁化强度为:

$$M_r^{(2)} = M_s(1 - 4P) + \frac{1}{3} M_s \cdot 3P = M_s(1 - 3P)$$

剩余磁化强度相对减小为

$$\left( M_r^{(1)} - M_r^{(2)} \right) / M_r^{(1)} = 3P$$

以所测的夹杂物含量 $P \approx 0.015$ 代入,得出,由于夹杂物存在,使剩磁下降约4.5%。

当反磁化场平行长轴方向(易轴)时,形状各向异性单畴粒子的矫顽力 $H_c^{(1)} = H_k$ (各向异性场)。反磁化场垂直于易轴时,无磁滞现象, $H$ 与 $M$ 成线性关系。在夹杂物影响区域有 $\frac{1}{3}$ 的颗粒的易轴与反磁化场平行, $\frac{2}{3}$ 的粒子的易轴与反磁化场垂直。当反磁化场 $H = H_c^{(1)}$ 时,夹杂物含量为 $P$ 的样品的磁化强度为

$M = (1 - 4P)M_s + \frac{1}{3} \times 3PM_s - \frac{2}{3} \times 3PM_s = (1 - 5P)M_s$ 。即 $(MH)_{max}$ 相对减小为:

$$\frac{H_c^{(1)} M_s - (1 - 5P) H_c^{(1)} M_s}{H_c^{(1)} M_s} = 5P$$

以含量 $P \approx 0.015$ 代入,得到磁能积减小约7.5%。因为影响区大小的估计值( $3P$ )可能偏大,因此磁能积的减小值估计得偏大。但是上述估计可以定性地看出夹杂物对磁性的影响。

### 2、 $\gamma$ 相的影响

$\gamma$  相的存在阻止了周围的分解。而对于其他区域 $\alpha_1$ 与 $\alpha_2$ 颗粒的形貌与分布无影

响, 由于 $\gamma$ 相周围有一个大致一样宽的无析出区(见图5)。若 $\gamma$ 相含量相同而弥散度不同, 则对于分散度高的样品, 无析出区的总的百分比就较高(图5b与5c比较), 因而对磁性能的影响就较大。我们的观察比较好地解释了磁性能测量的实验结果。

### 参 考 文 献

- [1] K. J. Devos, *magnetism and Metallurgy*, Vol.1, 1969, 473.
- [2] 岩間义郎, 国外金属材料, 1975, 3, 57—63.
- [3] K. J. Devos, *phil. Rep.*, 18(1963), 405.