

$\text{Al}_{65}\text{Cu}_{20}\text{Co}_{15}$ 十边形准晶体*

吴玉琨 孟祥敏 何伦雄 郭可信

中国科学院金属研究所固体原子象实验室, 沈阳, 110015

1989 年 4 月 10 日收到

X 射线衍射证明正常凝固 $\text{Al}_{65}\text{Cu}_{20}\text{Co}_{15}$ 合金主要由 10 边形二维准晶体组成. 扫描电子显微镜在断口上观察到平截头 10 棱锥柱体的完整外形, 反映了其 $10/m$ 或 $10/m\ mm$ 点群对称性. 组成外形的各平面与 10 边形相 D 面电子衍射图上强衍射斑对应.

PACC: 6140

一、引 言

20 面体准晶的理想外形在 AlLiCu 系呈 30 面体状^[1], 在 AlMn 系^[2], AlCuFe 系^[3] 呈 12 面体状, 这些外形都反映了准晶体的 $m\bar{3}5$ 点群对称性. 10 边形二维准晶(以下简称 T 相)由于含一个 10 次对称轴, 它应呈柱状外形. Verger-Gauger 等人利用扫描电子显微镜 (SEM) 在快冷 Al-Mn 合金中曾观察到柱状 T 相^[4], Bendersky 在这类合金中用透射电子显微镜 (TEM) 观察到 T 相的 10 边形截面^[5]. 由于受快冷合金限制, T 相的理想外形并未显露出来.

何伦雄等人^[6]利用电子衍射观察到 $\text{Al}_{65}\text{Cu}_{20}\text{Co}_{15}$ 合金在正常凝固条件下存在 $c=0.4, 0.8, 1.2, 1.6\text{ nm}$ 的 4 种周期的稳定 T 相. 本文用 X 射线衍射进一步证实这一合金系主要由 10 边形准晶相组成, 同时用 SEM 观察到理想的反映其点群对称的 T 相外形.

二、实验结果与分析

将 Al, Cu, Co 金属按 $\text{Al}_{65}\text{Cu}_{20}\text{Co}_{15}$ 的成份配比在带磁搅拌的非自耗炉中多次熔化以使样品均匀化, 炉冷铸锭敲开后, 一部份样品研磨成粉供 X 射线衍射用, 一部份样品在 SEM 上做断口观察.

1. X 射线衍射分析

图 1 是在 D/MAX-rA 型衍射仪上用 CuK_α 辐射得到的 $\text{Al}_{65}\text{Cu}_{20}\text{Co}_{15}$ 合金粉末衍射图. 衍射峰的六指数标定采用 HO^[7] 及 Koopman 等人^[8]的方法. 尽管 $\text{Al}_{65}\text{Cu}_{20}\text{Co}_{15}$

* 国家自然科学基金资助的课题.

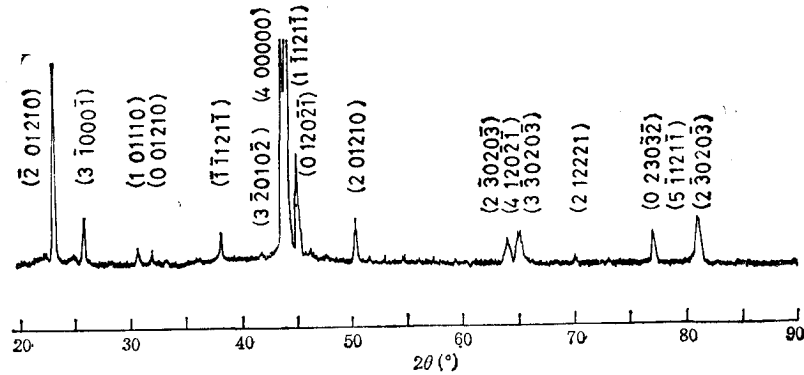


图1 正常凝固 $\text{Al}_{65}\text{Cu}_{20}\text{Co}_{15}$ 合金粉末X射线衍射图 ($\text{CuK}\alpha$)

合金中T相沿周期方向 c 有4种周期,但从其电子衍射图上可看到它们的强衍射斑分布全相同^[6],实际上这是长周期多型结构的衍射特征^[9].图1中的中等强度以上的衍射峰为4种周期T相所共有.某些弱峰可用 $c = 1.6 \text{ nm}$ 的T相标出,因此各峰的指标化统一用此T相标定.

在六指数标定中倒易矢量 ($hijklm$) 即 $\mathbf{G} = h\mathbf{q}_0 + i\mathbf{q}_1 + j\mathbf{q}_2 + k\mathbf{q}_3 + l\mathbf{q}_4 + m\mathbf{q}_5$, 式中倒易基矢 $\mathbf{q}_0$ 与10次轴平行, $\mathbf{q}_1, \dots, \mathbf{q}_5$ 绕 $\mathbf{q}_0$ 呈5次对称分布并与其呈 α 的夹角,长度为 q_d . α 与 q_d 以 $A = q_d \sin \alpha$, $B = q_d \cos \alpha$ 的形式做为可调参量出现在倒易矢量的表达式中.为标定方便,引入直角坐标系,上述基矢在直角坐标系中的表达式为: $\mathbf{q}_0 = 2B\hat{z}$, $\mathbf{q}_1 = A(\cos 18^\circ\hat{x} + \sin 18^\circ\hat{y}) + B\hat{z}$, $\mathbf{q}_2 = A\hat{y} + B\hat{z}$, $\mathbf{q}_3 = A(-\cos 18^\circ\hat{x} + \sin 18^\circ\hat{y}) + B\hat{z}$, $\mathbf{q}_4 = A(-\cos 54^\circ\hat{x} - \sin 54^\circ\hat{y}) + B\hat{z}$, $\mathbf{q}_5 = A(\cos 54^\circ\hat{x} - \sin 54^\circ\hat{y}) + B\hat{z}$. 式中 $\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}$ 为直角坐标系三个坐标轴方向上的单位矢量.由此可计算任意倒易矢量长度.例如 $(3\bar{1}000\bar{1}) = A(-1.539\hat{x} + 0.5\hat{y}) + 4B\hat{z}$ 的长度为 $[A^2(1.539^2 + 0.5^2) + 16B^2]^{1/2}$.通过调正参量 A, B 数值使其与实验测定的各衍射峰的 $q = 2\pi/d$ 值达到最佳符合, d 为 $2d \sin \theta = \lambda$ 中的 d .在图1各衍射峰的标定中 $A = 0.6311$, $B = 0.3818$.图1中除个别极弱衍射峰未能标出以及 $(1\ 01110)$ 与 $(3\ \bar{3}020\bar{3})$ 两峰强度过强外,大多数峰位的计算值与实验值相符合,强度与电子衍射相对应.据此可知 $\text{Al}_{65}\text{Cu}_{20}\text{Co}_{15}$ 合金主要由T相组成.这是继存在稳定20面体相合金外另一个存在稳定准晶相的合金系.

2. SEM 观察

在日立 S-750 型 SEM 中对 $\text{Al}_{65}\text{Cu}_{20}\text{Co}_{15}$ 合金正常凝固铸锭断口进行观察.在断口的疏松区内可见大量自由生长的大小不同、形态各异的柱状T相,如图2(见图版I)所示.图2中右下部一个较大棱柱体的不完全截面上可见7个边,尽管不是正视图,相邻边的夹角也都在 144° 附近.图3(见图版I)则是一个柱体的正视截面图,是一个不完全的正10边形,只显示相互间夹角为 144° 的8个边.上述形貌表明我们看到的柱体确属正10棱柱体.

图4(见图版 I)是在高放大倍率下观察到的顶部为自由生长端的半个完整平截头10棱锥柱体的形貌。清晰地显示柱体的6个棱柱面,及二层锥面,上部平面隐约可见其10边形特征。由图4可测量出第一层锥面偏离柱面的角度和第二层锥面偏离第一层锥面的角度均在 30° 左右。这个角度值恰与T相D面电子衍射图上几个强斑点间夹角关系相对应^[6],图5(见图版 I)示意地给出。这种关系。衍射斑点或倒易矢量($1\bar{1}21\bar{1}$)与($2\bar{3}02\bar{3}$), ($5\bar{1}121\bar{1}$)与($1\bar{1}21\bar{1}$)之间的计算夹角分别为 29.73° 与 30.02° ,两者符合相当好。外表面与强衍射斑相对应,表明组成T相完整外形的平面对应表面自由能低的“密排面”,一如晶体那样,组成其外形的平面均为低指数的密排面。图4的T相形貌显示其点群对称性为 $10/m$ 或 $10/mmm$,只不过由于其下半部长自其他准晶体而未能显示垂直10次轴的镜面 m 。

电子探针给出这种柱体的成份为 $\text{Al}_{53-55}\text{Cu}_{18-22}\text{Co}_{14-17}$, 与配比成份一致。

三、结 论

1) 正常凝固 $\text{Al}_{65}\text{Cu}_{20}\text{Co}_{15}$ 合金除微量未确定的相外主要由稳定10边形二维准晶体组成。

2) 10边形二维准晶相的理想外形为由柱面,双层锥面组成的平截头10棱锥柱体,反映了其 $10/m$ 或 $10/mmm$ 的点群对称性。

3) 理想形貌外表面与强衍射对应。

本所刘兴志、朱桂秋、苏会和在 SEM 实验中给予了大力协助,谨致谢意。

- [1] A. R. Kortan, H. S. Chen and J. Waszczak, *J. Mater. Res.*, 2(1987), 294.
- [2] H.-U. Nissen, R. Wessicken, C. Beeli and A. Csányi, *Phil. Mag.*, B57(1988), 587.
- [3] A.-P. Tsai, A. Inoue and T. Masumoto, *Jap. J. Appl. Phys.*, 26(1987), L1505.
- [4] J. -L. Verger-Gaugry, F. Moret, N. Eustathopoulos and P. Guyot, *Inst. Phys. Conf. Ser.*, Vol. 2, No.93, chapter 5, paper presented at EUREM 88, York, England, (1988).
- [5] L. Bendersky, *Phys. Rev. Lett.*, 55(1985), 1461.
- [6] L. X. He(何伦雄), Y. K. Wu(吴玉琨) and K. H. Kuo(郭可信), *J. Mater. Sci. Lett.*, 7(1988), 1284.
- [7] T. L. Ho, *Phys. Rev. Lett.*, 56(1986), 468.
- [8] B. Koopman, P. J. Schurer and F. van der Woude, *Phys. Rev.*, B35(1987), 3005.
- [9] 郭可信、叶恒强、吴玉琨,电子衍射图,科学出版社,(1983),370页。

$\text{Al}_{65}\text{Cu}_{20}\text{Co}_{15}$ DECAGONAL QUASICRYSTAL

WU YU-KUN MUNG XIANG-MIN HE LUN-XING GUO KE-XIN

Laboratory of Atomic Imaging of Solids, Institute of Metal Research, Academia Sinica, Shenyang, 110015

(Received 10 April 1989)

ABSTRACT

X-ray diffraction showed that the conventionally solidified $\text{Al}_{65}\text{Cu}_{20}\text{Co}_{15}$ alloy consists mainly of 2-D decagonal quasicrystal (T phase). SEM reveals that T phase formed the perfect morphology of prismoid with $10/m$ or $10/m\ mm$ symmetry. The bounded planes of prismoid correspond to the strong spots in the electron diffraction pattern of T phase.

PACC: 6140