

Co-Al 合金中的长周期结构 21R

张国光 李万通 郭可信

(北京钢铁学院) (中国科学院金属研究所)

1983年8月6日收到

提 要

用电子衍射和点阵象方法观察到Co-Al合金发生马氏体相变时产生大量层错,其中有局部的短程有序21R排列. 实验表明光学衍射法对分析点阵象中的局部短程有序是一种有效的方法.

一、引 言

某些具有低层错能($\gamma < 30 \text{ mJ/m}^2$)的合金在发生马氏体相变时会产生长周期结构. 为研究Co-Al合金这种相变的机制和条件, Nikolin等^[1]对低Al的Co-Al单晶进行过X射线衍射研究. 发现了 $126R_1$, $126R_2$, $84R_1$ 和 $48R_1$ 四种长周期结构. 他们认为这些结构是fcc基体(β 相)转变到hcp(α 相)的中间相,但未能确定出其密排层的具体排列顺序.

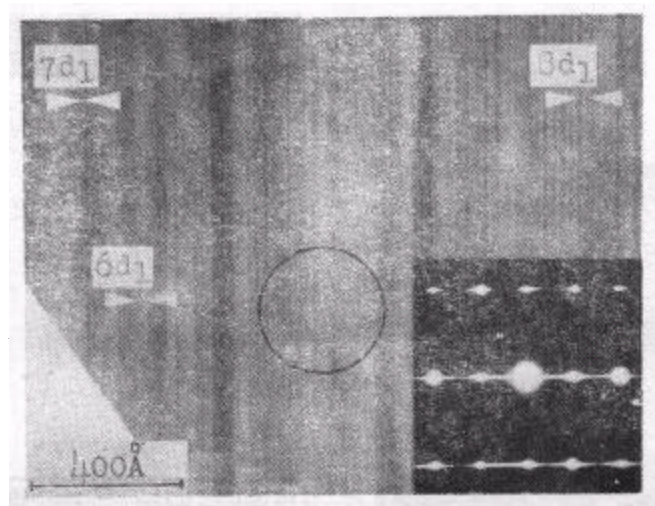
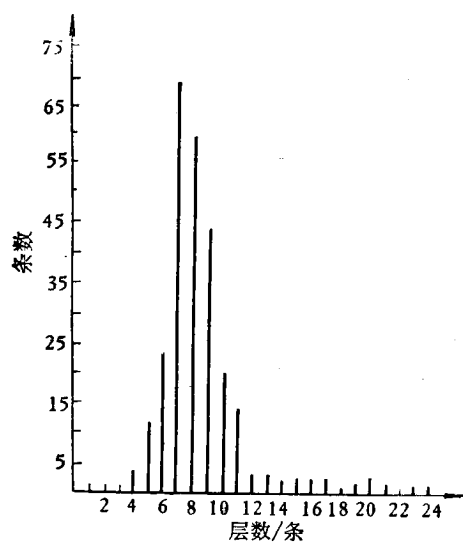
本工作主要用点阵象的方法对低Al的Co-Al合金进行观察. 把电子衍射与点阵象观察结合起来分析. Co-Al合金在发生马氏体相变时产生大量层错,在Co-4.49%Al和Co-5.90%Al合金的长程无序排列中发现了局部短程有序区—21R长周期结构. 由点阵象底片的条纹统计分析和光学衍射分析验证了这种21R的存在. 由电子衍射图确定了密排层排列顺序,点阵常数及与基体取向关系.

Co-4.49%Al和Co-5.90%Al合金先经 1200°C 均匀化15h,再切成厚0.2mm圆片. 圆片试样经 1200°C 均匀化10—15h随即在水中淬火,再经 700°C 时效2h后,在水中淬火再在液氮中冷却或直接在液氮中冷却.

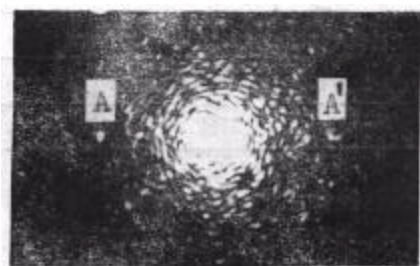
用电解抛光法将试样预减薄至 $20\text{--}50\mu\text{m}$,再用双喷法制成电子显微镜薄膜.

二、实验结果和分析

为直接观察密排层的堆垛情况,我们拍摄了点阵象(图1(a)). 观察到条纹宽度不等,说明有大量层错,即密排层存在一定的无序排列. 这一点也可由电子衍射斑点间的连续条纹看出(图2). 图1(a)中的条纹宽度主要与6层($6d_1$), 7层($7d_1$), 8层($8d_1$)……等单元对应(d_1 表示相邻密排层间距). 为找出不同宽度条纹出现的几率,在图1(a)中的较大范围内(约 $0.5\mu\text{m}$)对条纹进行测量和统计. 在条纹统计分布图中(图1(b)) $7d_1$ 的条纹占比例最大,说明在局部存在21R堆垛的可能性.

(a) Co-4.49%Al 合金 $[0\bar{1}0]$ 取向点阵象

(b) (a) 中点阵象条纹统计分布图



(c) (a) 中点阵象局部光学衍射图

图 1

为进一步在条纹的长程无序排列中找出局部短程有序性, 采用了光学衍射法. 这实际上是把电子显微镜底片上记录的象在更小范围内经过光学透镜的傅里叶变换作用得出衍射图, 换言之, 这是非常小的选区衍射 (一般为数十、数百埃). 图 1(c) 是图 1(a) 中圆圈范围 (约 $300 \text{ \AA}$) 的光学衍射图. 斑点 A 和 A' 与中心斑点间距为 $1/7d_1$, 验证了 Co-4.49%Al 合金中存在局部的 21R, 而在有其他宽度条纹的区域也会产生对应间距的衍射. 显然通过光学衍射有可能把电子衍射图中连在一起的衍射斑点重新分辨开来.

仔细观察图 1(a) 也会发现有些相同宽度的条纹呈连续排列, 说明局部排列的有序化. 其中有连续排列的 $7d_1$ 条纹, 每条是一个 7 层的亚周期, 三条构成 21R 的一个周期.

由电子衍射图的分析也表明 21R 的存在. 图 2 为 Co-4.49%Al 合金六角密堆的 $[0\bar{1}0]$

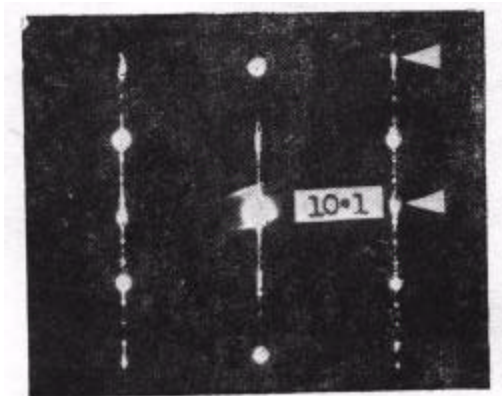
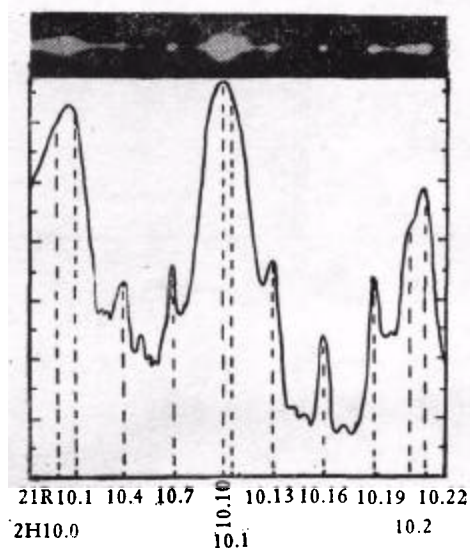


图 2

图 3 $10 \cdot l$ 点列一个周期的相对衍射强度曲线表 1 $10 \cdot l$ 点列中一个周期的相对衍射强度计算值

序 号	空间群 (国际符号)	排列顺序 (Жданов 符号)	相 对 衍 射 强 度 I						
			10.1	10.4	10.7	10.10	10.13	10.16	10.19
1	$R\bar{3}m$	$[43]_3$	1.35	5.85	12.0	10.4	9.67	7.07	3.06
2		$[61]_3$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3		$[2212]_3$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4		$[21(11)_2]_3$	8.81	2.79	3.00	17.4	3.82	2.61	4.61
5	$R3m$	$[3211]_3$	3.65	6.58	7.94	14.4	8.00	2.93	6.41

衍射图,由相当于 $1/d_1$ 范围内 $10 \cdot l$ 衍射斑点数目及分布不难确定存在 2H 和 21R 两种结构^[2]. 由于多次衍射效应,属于消光的一些 $00 \cdot l$ 衍射也得以出现.

这种 21R 中的 7 层单元的可能排列顺序有属于 $R\bar{3}m(D_{3d}^5)$ 空间群的 43, 61, 2212, $21(11)_2$, 属于 $R3m(C_{3v}^2)$ 空间群的 3211^[3]. 为了弄清密排层的排列顺序,计算 10.1 到 10.19 一个周期的衍射斑点的强度,并与实验结果对比. 电子衍射的动力学效应较强,在计算时取 $I \propto |F|^2$ 的关系^[4]. 计算结果列于表 1 中.

图 3 为图 2 中 $10 \cdot l$ 点列放大图和测出的相对衍射强度曲线. 把计算值与曲线对比时注意到 2H 对衍射强度的影响. 对比结果 $[21(11)_2]_3$ 排列符合较好,因此这种 21R 结构可能具有属于 $R\bar{3}m$ 空间群的 $[21(11)_2]_3$ 排列. 显然它主要是由六角密堆 2H 的 (11) 排列组成的,如

(A) $\overline{BCBCBCBCACACACABABABA}$ (B) 即由四个 2H 为一个单元相互重叠并错动而成,这也可以看作是有周期性层错的 2H 堆垛.

21R 的点阵常数用六角轴系表示为 $a = 2.50 \text{ \AA}$, $c = 43.05 \text{ \AA}$. 与基体的取向关系为:

$$(111)_\beta // (001)_{21R}, [1\bar{1}0]_\beta // [0\bar{1}0]_{21R}.$$

在 $\text{Ni}_3(\text{Ti}_x, \text{V}_{1-x})$ 合金系中也发现有 21R 结构¹⁾其排列顺序为 $[(21)(22)]_3$, 显然这是一种以 Ni_3Ti 的 4H 排列为基础的衍生物. 尽管它们同属 21R, 由于构成的基本单元不同, 一个是 2H 另一个是 4H, 所以具体排列顺序不同.

实验结果表明: 1. Co-4.49% Al 和 Co-5.90% Al 合金在从高温的 fcc 的 β 相转变为 hcp 的 α 相中产生大量层错. 2. 在密排层的长程无序排列中存在着几百埃范围的短程有序区——具有 21R 长周期结构. 这种 21R 的堆垛方式与六角密堆的堆垛相近而与 fcc 的基体不同, 它是由 2H 衍生出的多型体. 3. 光学衍射法对分析点阵象条纹长程有序中的局部短程有序是一种有效的方法.

三、讨 论

21R 与 126R₁^[1] 同属一个空间群并都是每隔 7 层密排层发生一次错排, 后者一个周期的总层数是前者的 6 倍, 说明它们可能有一定关系.

中国科学院金属研究所及北京冶金研究所提供所用合金试样, 北京钢铁学院物质结构中心, 中国科学院物理研究所电子显微镜室及北京大学物理系金属物理教研室在实验方面给予大力支持, 在此一并致谢.

参 考 文 献

- [1] B. I. Nikolin and N. N. Shevchenko, *Scripta Metallurgica*, **14** (1980), 476.
- [2] 郭可信、周敬、吴玉琨, 科学通报, **25**(1980), 67.
- [3] J. S. Kasper, *et al.*, *International Tables for X-Ray Crystallography*, II (1959), p. 348.
- [4] 李方华, 物理学报, **19**(1963), 735.

A LONG PERIOD STRUCTURE 21R IN Co-AL ALLOYS

ZHANG GUO-GUANG LI WAN-TONG
(Beijing University of Iron and Steel Technology)

GUO KE-XIN (K. H. KUO)
(Institute of Metal Research, Academia Sinica, Shenyang)

ABSTRACT

During the martensitic transformation of Co-Al alloys stacking faults occur abundantly and sometimes a local ordered 21R structure can be found by electron diffraction and lattice imaging techniques. It is shown that optical diffraction method is a useful means of studying this kind of local ordered structure.

1) 郭可信, 私人通信.