

其中X角坐标为  $(\alpha_x, \beta_x, \gamma_x)$ 。根据矢量关系, 方程组 (1) 可以写成如下方程组形式:

$$\begin{cases} \cos\alpha_1 \cdot \cos\alpha_x + \cos\beta_1 \cdot \cos\beta_x + \cos\gamma_1 \cdot \cos\gamma_x = 0 \\ \cos\alpha_2 \cdot \cos\alpha_x + \cos\beta_2 \cdot \cos\beta_x + \cos\gamma_2 \cdot \cos\gamma_x = \cos 45^\circ \\ \cos^2\alpha_x + \cos^2\beta_x + \cos^2\gamma_x = 1 \end{cases} \quad (2)$$

求解方程组 (2) 得到 X 角坐标的两组解即是  $[100]$  和  $[001]$  矢量角坐标:  $(\alpha_3, \beta_3, \gamma_3)$  和  $(\alpha_4, \beta_4, \gamma_4)$ 。表 1 为用该方法测量计算的四个单晶试样的三维晶体取向关系, 试样 1、2、4 测得的均为  $\vec{A}$ :  $[010]$ ,  $\vec{B}$ :  $[110]$  矢量方向, 测量值计算的  $\vec{A}$ 、 $\vec{B}$  之间夹角和  $[010]$ ,  $[110]$  之间理论夹角  $90^\circ$  最大误差 2.60, 这个误差包括试样加工精度误差、测量时试样安装误差、X 射线本身误差、单晶试样晶体结构的不完美性造成的误差及计算误差等。试样 3 测得的为  $\vec{A}$ :  $[010]$ ,  $\vec{B}$ :  $[111]$  矢量方向, 两测量值计算的  $\vec{A}$ 、 $\vec{B}$  夹角为  $56.55^\circ$ , 和  $[010]$ ,  $[111]$  之间理论夹角  $54.74^\circ$  误差 1.81。试样 3

在求解  $[100]$  和  $[001]$  矢量角坐标时, 将方程组 (2) 中的  $45^\circ$  换成  $54.74^\circ$  即可。

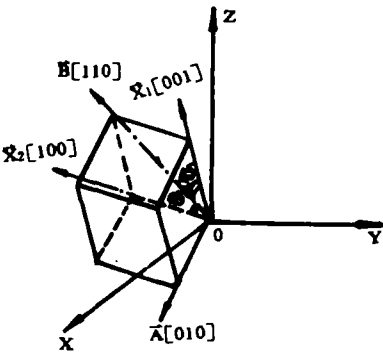


图 3 立方晶体  $\vec{A}$ 、 $\vec{B}$  和  $\vec{X}$  空间关系

表 1 单晶高温合金三维晶体取向的测定

试样 编号	测量 A 矢量						测量 B 矢量						$\vec{A} \cdot \vec{B}$ 夹 角 $\delta$	累计 误差	方 程 组 解							
	测量值 $\alpha \quad \phi$		计算 A 值 $\alpha_1, \quad \beta_1, \quad \gamma_1$				测量值 $\alpha \quad \phi$		计算 B 值 $\alpha_2, \quad \beta_2, \quad \gamma_2$													
1	37	12	010	80	-12	83	16	-22	110	-69	84	22	92.56	2.56	100	-26	-84	65	001	66	79	26
2	-132	-11	010	83	-11	82	10	-25	110	-65	86	25	89.81	-0.19	100	-21	-86	69	001	70	80	23
3	-104	-17	010	86	-17	74	1	17	111	90	-73	17	56.55	1.81	100	-42	82	49	001	46	75	47
4	-105	-18	010	85	-18	73	-10	-20	110	-87	70	20	92.60	2.60	100	-42	82	49	001	48	74	46

\* α, φ, α<sub>1</sub>, β<sub>1</sub>, γ<sub>1</sub> 均为角度值; 试样的参考坐标系 OXYZ 如图 2 所示。

四、结束语

用多晶 X 射线衍射仪测定、计算单晶高温合金三维晶体取向, 准确、方便, 是一种比用四角衍射仪费用低得多的实用方法, 不仅适合于单晶工程材料三维晶体取向的测定, 也适合于其它功能单晶材料三维晶体取向的测定。

参考文献

1. M. C. Flemings, Solidification Processing, McGraw Hill, New York, 1974  
2. W. Kurz and D. J. Fisher, Fundamentals of Solidification, Trans Tech Publications 1984  
3. B. K. Tanner, D. K. Bowen, Characterization of Crystal Growth Defects by X-Ray Methods, Plenum Press, New York, 1980.

CMSX-4 单晶高温合金

已有几家发动机公司采用第二代单晶高温合金 CMSX-4 铸造先进航空发动机涡轮叶片。该合金的成分为 Ni-9Co-6.5Cr-6W-6.5Ta-5.6Al-3Re-1Ti-0.6Mo-

334~338

4. B. K. Tanner, M. A. D. Phill, X-Ray Diffraction Topography, 1976

\*\*\*\*\*  
(上接第 45 页)

我国的国际地位。因此建议今后适当增派人员参加这类大型国际交流活动以进一步扩大国际交往与合作。

(2) 由于无损检测技术直接影响产品质量, 1991 年我国某型飞机就曾因发动机叶片质量问题漏检而导致飞机停飞, 造成经济损失, 教训深刻。因此建议今后应增加无损检测技术经费的投入, 尽快更新陈旧落后设备。

(3) 当代科技发展的关键在于人才。从尊重知识尊重人才出发, 要千方百计稳定现有的无损检测技术队伍和减少流失。应加强激励机制, 引导人们奋发向上。

0.1Hf。虽然该合金在 1343℃ 即熔化, 但在 1149℃ 仍保持有效的强度。它的持久性能高出第一代单晶合金 CMSX-2 和 CMSX-3 达 18℃。据称, 在美国 NASA 的 IHP-TET 计划中, 将采用 CMSX-4 作涡轮叶片。