

18Mn2CrMoBA 钢下贝氏体结构中 碳化物与基体间取向关系的测定

李 春 志

在研究合金的组织与结构时,弄清新相与基体间的晶体学取向关系是十分重要的。通常使用X射线衍射和电子衍射方法来研究这个关系。通过对电子衍射谱的标定来确定两相取向关系的方法在文献〔1〕、〔2〕、〔3〕中有详细的论述。应当指出,使用选区电子衍射的方法来处理这个问题时必须注意衍射谱标定的 180° 不唯一性。在确定取向关系时,如果孤立地标定一张张的电子衍射谱底片,不考虑所得到的这些个别关系间的内在联系与自洽以及 180° 不唯一性,是得不到正确的取向关系的。为保证所得取向关系的自洽和排除 180° 不唯一性的干扰,文献〔1〕、〔2〕系统地介绍了极图方法;作者在文献〔3〕中给出了一种矩阵方法。

本文依据这一矩阵方法研究 18Mn2CrMoB 钢的下贝氏体中碳化物和铁素体片间的取向关系。材料状态为 920°C 固溶处理,空冷。由棒材上切片,经双喷法制成金属薄膜。使用JEM 200A电镜进行透射观察。图1, 5, 8为两相组织的明场照片,图2为碳化物的暗场照片。图3, 4, 6, 7, 9, 10是两相衍射谱照片和衍射谱的标定示意图。

通过对电子衍射谱的分析找出两相间的取向关系,这需要许多张电子束不同入射方向的两相的复合电子衍射谱。在这些底片上电子衍射斑点的强弱分布应几乎中心对称,这样误差较小。

首先标定两相衍射谱上基体相的衍射谱,其倒易面为 $(uvw)^*$,该倒易面上一倒易矢为 (hkl) 。再初步标定新相的衍射谱,其倒

易面为 $(u'v'w')^*$,此倒易面上平行于基体的 (hkl) 倒易矢的新相的一个倒易矢为 $(h'k'l')$ 。那么其取向关系为

$$(hkl) \parallel (h'k'l') \\ [uvw] \parallel [u'v'w']$$

由此可以写出

$$(h_1'k_1'l_1') \parallel (h_1k_1l_1) \\ (h_2'k_2'l_2') \parallel (h_2k_2l_2) \\ (h_3'k_3'l_3') \parallel (h_3k_3l_3)$$

此处 $(h_i'k_i'l_i')$ 代表新相的晶面, $(h_ik_il_i)$ 代表母相的晶面。

将此关系代入文献〔3〕给出的公式

$$B = \begin{pmatrix} h'_1 & k'_1 & l'_1 \\ h'_2 & k'_2 & l'_2 \\ h'_3 & k'_3 & l'_3 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \alpha_1 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_2 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} h_1 & k_1 & l_1 \\ h_2 & k_2 & l_2 \\ h_3 & k_3 & l_3 \end{pmatrix}$$

其中 $\alpha_i = g_i' / g_i = d_i / d_i'$, g_i 表示母相倒易矢, g_i' 表示新相倒易矢。 d_i 表示母相面间距, d_i' 表示新相面间距。

我们知道,遵循一定取向关系的新相与母相间的晶向与晶面指数的坐标变换是由一定的变换矩阵决定的。

$$\begin{pmatrix} u' \\ v' \\ w' \end{pmatrix} = B \begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} h \\ k \\ l \end{pmatrix} = B^T \begin{pmatrix} h' \\ k' \\ l' \end{pmatrix}$$

考虑到 180° 不唯一性,再将 $(h'k'l')$ 反号(即将新相的衍射谱绕入射电子束方向转动 180° 。也可不转动新相的衍射谱而转动基体相衍射谱,即将 hkl 反号,这是完全等效的。)得到关系式为

$$(hkl) \parallel (\bar{h}'\bar{k}'\bar{l}') \\ [uvw] \parallel [u'v'w']$$

经运算也得到其对应的晶向指数变换矩阵。上述两种变换矩阵中一种是代表正确取向关系的,另一种则不是。

许多张不同倒易面的两相电子衍射谱都作同样处理。我们将看到,有一类相似的变换矩阵将反复出现。这类变换矩阵对应的典型的取

向关系就是正确的取向关系。

按上述方法标定图3、6、9并且计算出对应的晶向指数变换矩阵(取铁素体的点阵常数 $a_0 = 2.866 \text{ \AA}$;渗碳体的点阵常数 $a_0 = 4.524 \text{ \AA}$, $b_0 = 5.088 \text{ \AA}$, $c_0 = 6.742 \text{ \AA}$),结果如下:

<p>图3 初标</p> <p>$(2\ 0\ 0)\alpha \parallel (0\ 1\ 2)\text{Fe}_3\text{C}$</p> <p>$[0\ 1\ 2]\alpha \parallel [\bar{1}\ 2\ \bar{1}]\text{Fe}_3\text{C}$</p> $B_{11} = \begin{bmatrix} 0.000 & 0.433 & -0.463 \\ 0.311 & 0.343 & 0.321 \\ 0.354 & -0.171 & -0.160 \end{bmatrix}$	<p>转动180°</p> <p>$(2\ 0\ 0)\alpha \parallel (0\ \bar{1}\ \bar{2})\text{Fe}_3\text{C}$</p> <p>$[0\ 1\ 2]\alpha \parallel [\bar{1}\ 2\ \bar{1}]\text{Fe}_3\text{C}$</p> $B_{12} = \begin{bmatrix} -0.000 & -0.630 & 0.069 \\ -0.311 & 0.051 & 0.467 \\ -0.354 & -0.025 & -0.233 \end{bmatrix}$
<p>图6 初标</p> <p>$(\bar{2}\ \bar{1}\ 1)\alpha \parallel (0\ 0\ \bar{1})\text{Fe}_3\text{C}$</p> <p>$[1\ 1\ 3]\alpha \parallel [2\ \bar{1}\ 0]\text{Fe}_3\text{C}$</p> $B_{21} = \begin{bmatrix} 0.319 & -0.101 & 0.538 \\ 0.159 & -0.506 & -0.189 \\ 0.347 & 0.174 & -0.174 \end{bmatrix}$	<p>转动180°</p> <p>$(\bar{2}\ \bar{1}\ 1)\alpha \parallel (0\ 0\ 1)\text{Fe}_3\text{C}$</p> <p>$[1\ 1\ 3]\alpha \parallel [2\ \bar{1}\ 0]\text{Fe}_3\text{C}$</p> $B_{22} = \begin{bmatrix} 0.014 & 0.434 & 0.461 \\ -0.325 & 0.340 & -0.310 \\ -0.347 & -0.174 & 0.174 \end{bmatrix}$
<p>图9 初标</p> <p>$(\bar{4}\ \bar{1}\ 1)\alpha \parallel (0\ 1\ 1)\text{Fe}_3\text{C}$</p> <p>$[1\ 1\ 5]\alpha \parallel [\bar{3}\ 1\ \bar{1}]\text{Fe}_3\text{C}$</p> $B_{31} = \begin{bmatrix} -0.012 & -0.422 & -0.472 \\ -0.311 & -0.346 & 0.318 \\ -0.354 & 0.180 & -0.151 \end{bmatrix}$	<p>转动180°</p> <p>$(\bar{4}\ \bar{1}\ 1)\alpha \parallel (0\ \bar{1}\ \bar{1})\text{Fe}_3\text{C}$</p> <p>$[1\ 1\ 5]\alpha \parallel [\bar{3}\ 1\ \bar{1}]\text{Fe}_3\text{C}$</p> $B_{32} = \begin{bmatrix} -0.195 & 0.215 & -0.563 \\ 0.380 & 0.415 & 0.027 \\ 0.285 & -0.249 & -0.194 \end{bmatrix}$

从上述变换矩阵可以看出, B_{11} , B_{22} , B_{31} 是相似的一类变换矩阵(而 B_{12} , B_{21} , B_{32} 是不相似的,互不相干的)。这一类相似的变换矩阵反复出现,它们对应着正确的取向关系。应当指出在确定取向关系上,电子衍射方法不如X射线方法精确。这种误差的原因之一是倒易棒的拉长,还有其他一些原因,请参看文献〔2〕。

现在以误差较小的衍射谱底片(图3)得到的变换矩阵寻求 Fe_3C 与 α 基体的典型的普遍的取向关系。 B_{11} 的转置矩阵为 B_{11}^T ,则

$$B_{11}^T = \begin{bmatrix} 0.000 & 0.311 & 0.354 \\ 0.433 & 0.343 & -0.171 \\ -0.463 & 0.321 & -0.160 \end{bmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} h_1' \\ k_1' \\ l_1' \end{pmatrix} = B_{11}^T \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \approx 0.448 \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} h_2' \\ k_2' \\ l_2' \end{pmatrix} = B_{11}^T \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \approx 0.325 \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} h_3' \\ k_3' \\ l_3' \end{pmatrix} = B_{11}^T \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \approx 0.171 \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

由此写出取向关系

$$\begin{aligned} (0\ 1\ \bar{1})\alpha &\parallel (1\ 0\ 0)\text{Fe}_3\text{C} \\ (1\ 1\ 1)\alpha &\parallel (0\ 1\ 0)\text{Fe}_3\text{C} \\ (2\ \bar{1}\ \bar{1})\alpha &\parallel (0\ 0\ 1)\text{Fe}_3\text{C} \end{aligned}$$

这关系式也可写为。

$$(2\bar{1}\bar{1})\alpha \parallel (001)\text{Fe}_3\text{C}$$

$$[11\bar{1}]\alpha \parallel [100]\text{Fe}_3\text{C}$$

Fe_3C 与 α 应有12个等效的具体的取向关系式。上述关系式是其中之一。

我们由这一类变换矩阵得出的典型的取向关系与Ю. А. Багарацкий^[4]在其它钢中用X射线衍射方法确定的取向关系是完全一致的。

图4、7、10分别为两相衍射谱图3、6、9的正确标定图。

上述标定方法表明,由电子衍射谱测定两相取向关系使用矩阵方法比极图方法要简

捷得多,繁复的计算工作可由电子计算机完成。

颜鸣皋总工程师对本文提出了宝贵意见,作者表示深切感谢。

参 考 文 献

- [1] J. W. Edington, Practical Electron Microscopy in Materials Science (1976), 4, 47, MACMILLAN Philips Technical Library.
- [2] 金属研究所技术资料, 电子衍射(应用部分), 1977.
- [3] 李春志, 物理学报, 28 (1978), 314.
- [4] Ю. А. Багарацкий, ДАН СССР, 6 (1950), 1161.



×30000

图1 18Mn2CrMoBA钢920°C固溶处理, 空冷。下贝氏体组织明场象



×30000

图2 图1视场的 Fe_3C 暗场象

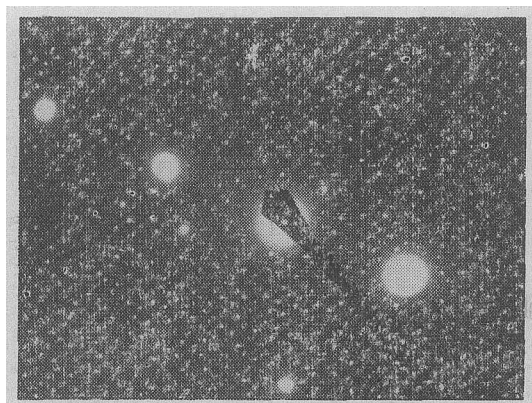
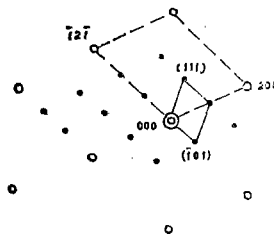


图3 图1视场下贝氏体中 Fe_3C 与 α 两相电子衍射谱



$$(012)_{\alpha}^* \parallel (\bar{1}\bar{2}\bar{1})_{\text{Fe}_3\text{C}}^*$$

○ α 基体点

• Fe_3C 点

图4 图3衍射图的标定图

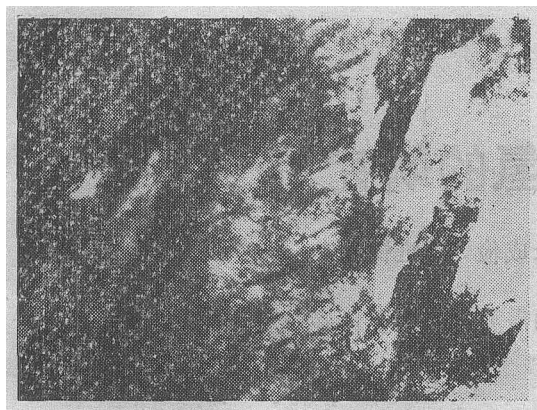


图 5 下贝氏体组织明场象 $\times 30000$

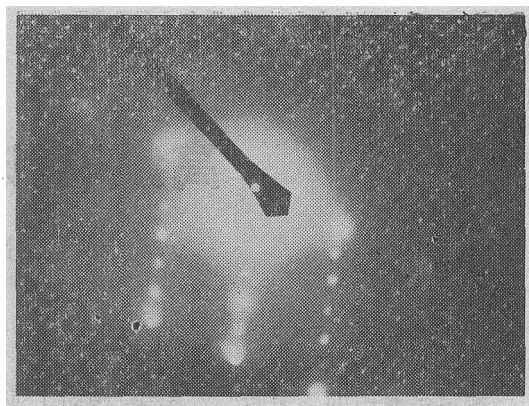
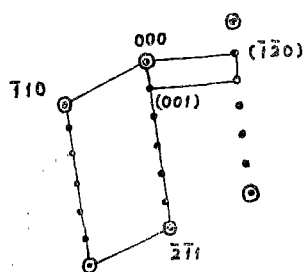


图 6 图5下贝氏体中 Fe_3C 与 α 两相电子衍射谱



$$(113)_{\alpha}^* // (2\bar{7}0)_{\text{Fe}_3\text{C}}^*$$

○ α 基体点

• Fe_3C 点

图 7 图6衍射图的标定图

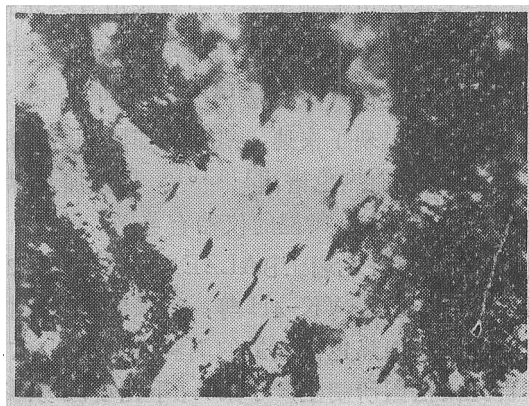


图 8 下贝氏体组织明场象 $\times 30000$

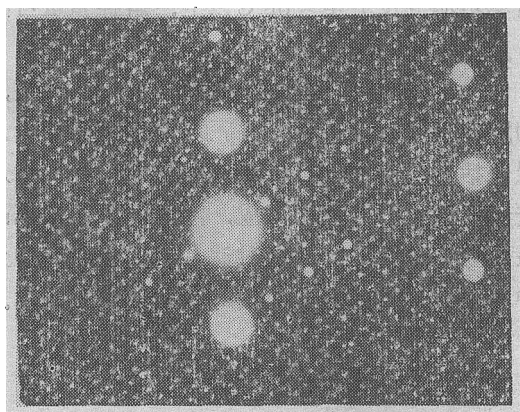
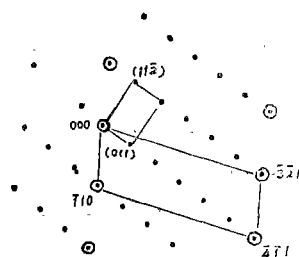


图 9 图8下贝氏体中 Fe_3C 与 α 两相电子衍射谱



$$(115)_{\alpha}^* // (3\bar{1}\bar{1})_{\text{Fe}_3\text{C}}^*$$

○ α 基体点

• Fe_3C 点

图 10 图9衍射图的标定图