

薄片贝氏体微观组织形貌及其精细结构

武晓雷 陈光南 康沫狂

(中国科学院力学研究所) (西北工业大学)

摘要 利用透射电子显微镜研究了钢中贝氏体转变初期的微观组织形貌及精细结构。首次观察到贝氏体的薄片状形貌及 $\{111\}_f$ 面缺陷。贝氏体具有应力应变诱发形核特征, $\{111\}_f$ 面缺陷为母相奥氏体的塑性协调亚结构并可作为贝氏体铁素体/奥氏体的相界面。实验结果表明贝氏体初期转变可能具有滑移切变特征。

关键词 薄片贝氏体 $\{111\}_f$ 面缺陷 切变

柯俊^[1]提出的贝氏体的马氏体型切变相变机制,在形貌学、预相变、热力学及动力学等方面均已进行过深入研究^[2~5],贝氏体组织的相界面结构和精细结构则成为当前相变机制研究的前沿^[6]。本文研究了高碳高合金钢中的贝氏体转变,并据此探讨了贝氏体的相界面结构和性质。

1 实验材料及方法

实验用钢经真空熔炼,主要成分(%,质量分数):Fe-0.79C-8.3Mn-0.87Si-0.50Mo。试样经1473 K ×72h 均匀化退火及固溶处理,室温组织为单相奥氏体(), M_s 点为213 K。经1473 K ×600s 奥氏体化后在623 K等温,等温时间略长于孕育期,可得到一定量的初期贝氏体组织(),因而非常适宜于贝氏体转变的研究。TEM 薄膜样品经化学减薄、室温双喷减薄及离子减薄,利用 Philips EM400 及 H-800 型 TEM 进行观察分析。

2 实验结果与讨论

图 1a)为贝氏体的光镜显微组织。图 1b)表明在转变初期阶段贝氏体片条由许多小的相变单元构成,相变单元二维形貌呈规则平行四边形,具有平直界面。新的相变单元往往是在已形成相变单元的尖端形成,表明贝氏体具有应力应变触发形核特征。图 1c)及 d)分别为经倾转操作后的低倍形貌像,表明贝氏体相变单元三维形貌呈薄片状。值得注意的是沿贝氏体片条的伸长方向,贝氏体相变单元与母相奥氏体的界面(A)及相邻两贝氏体相变单元的界面(B)均存在具有一定厚度的面缺陷。面缺陷的尺寸大小及分布具有不均匀性,局部区域还

本文收到日期:1997年1月30日初稿,1997年5月10日修改稿

本文联系人:武晓雷,男,1965年8月生,博士后,北京市(100080)中国科学院力学研究所材料工程中心

可单独伸进母相基体(C),因而面缺陷的晶体结构和滑移性质对此类贝氏体的相界面结构和性质有重要影响。经倾转操作使缺陷面厚度最窄,即面缺陷与入射电子束平行(Edge-on位置),确定面缺陷的晶面指数为 $(111)_f$ 。 $(111)_f$ 缺陷面的大小及分布不均匀,并在伸长方向具有一定厚度。因此,可以初步认为面缺陷是由一定数量的奥氏体 $(111)_f$ 晶面叠加而成。图1e)为相变单元(α_1)的微衍射花样,表明相变单元为体心立方结构。图1f)为相变单元(α_1)与相邻面缺陷的 $[110]_f$ $[100]_b$ 带轴花样,可以看出 $(111)_f$ $(011)_b$ 。

www.cnki.net

图1 薄片贝氏体微观形貌及精细结构

Fig.1 Micrograph and fine structure of thin plate bainite

- a) optical morphology, b) bright-field image of thin plate bainite with $(111)_f$ planar defect, c) and d) TEM morphologies of b) after tilting, e) micro-diffraction and indexing of bainitic sub-unit α_1 , f) SAD pattern of α_1 and $(111)_f$ planar defect

从图 2a) 观察到在贝氏体的生长前端()新形成的相变单元及面缺陷的尺寸均较小,表明面缺陷的形成及扩展长大可伴随着贝氏体的形成过程,它是母相奥氏体的塑性协调亚结构。在贝氏体生长前端存在较大的切应力应变场^[2],使相界面处奥氏体最密排面 $(111)_f$ 先发生塑性协调变形,导致形成 $(111)_f$ 缺陷面。图 2b) 为利用 $(111)_f$ 操作反射得到的面缺陷暗场像,表明转变初期形成的面缺陷具有面心立方结构及相同的晶体学位向。因缺陷面上碳原子富集造成微区成分不均匀,改变了正常晶面间距及微区衍射条件,导致面缺陷与基体奥氏体的结构因子不同,使面缺陷与基体奥氏体存在明显的衬度差别^[7]。

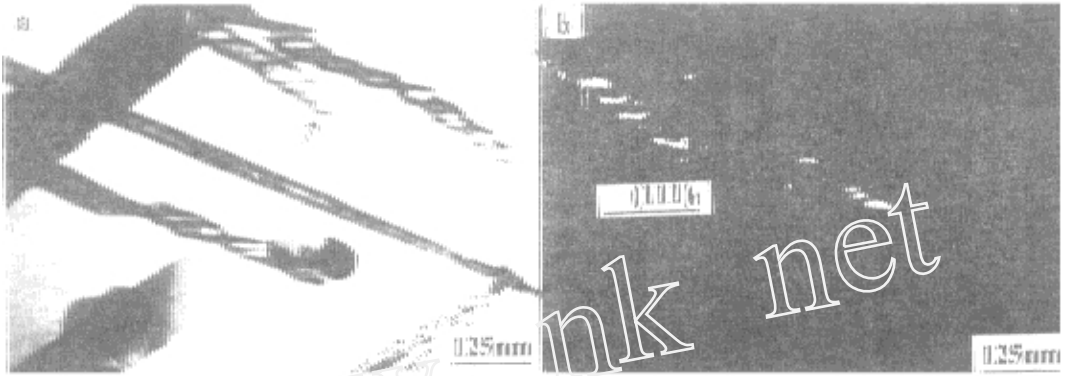


图 2 $(111)_f$ 面缺陷形成机制

Fig. 2 Formation of $(111)_f$ planar defects

- a) bright-field image of bainite at the most early stage of formation, the arrow indicate possible suboperational embryo and $(111)_f$ defect which are much smaller than the fully grown ones respectively,
 b) dark-field image of $(111)_f$ planar defects

从上述实验结果可以看出,具有相变单元结构特征的薄片状贝氏体及面缺陷的形貌、晶体学位向及形成机制与 $(252)_f$ 马氏体及其 $(111)_f$ 面缺陷^[8]相比较具有一致性。 $(111)_f$ 缺陷面为具有滑移性质的面缺陷^[8],表明此类贝氏体的初期形成可能具有切变特征。

3 结 论

- 1) 贝氏体存在类马氏体的薄片状形貌及滑移型的 $(111)_f$ 缺陷面。
- 2) 贝氏体初期转变具有切变特征。

参 考 文 献

- 1 Ko T, Cottrell S A. The formation of bainite. J. Iron Steel Inst., 1952, 172: 307.
- 2 俞德刚, 朱钰如, 陈大军等. Fe-C 合金贝氏体铁素体的相变基元与类马氏体形貌贝氏体的形成. 金属学报, 1994, 30: A385.
- 3 康沫狂, 杨延清, 张喜燕等. 硅钢中的贝氏体及其转变模型. 金属学报, 1996, 32: 897.
- 4 Wu X L, Zhang X Y, Kang M K, et al. Displacive mechanism of bainitic formation in carbon-depleted region of austenite. Mater. Trans. JIM, 1994, 35: 782.

- 5 Wu X L ,Zhang X Y ,Kang M K , et al. Formation of carbon-poor regions during pre-bainitic transformation. Mater. Letters,1994 ,22 :141.
- 6 Christian J W. Crystallographic theories ,interface structures and transformation mechanisms. Metall. Mater. Trans. A , 1994 ,25A :1821.
- 7 黄孝瑛.透射电子显微学.上海:上海科学技术出版社,1986:282.
- 8 Sandvik B P J ,Wayman C M. The substructure of $(252)_f$ martensite formed in an Fe-8Cr-1C alloy. Metall. Trans. A ,1983 , 14A :2455.

TEM Observation of Bainitic Microstructures and Fine Structures

Wu Xiaolei Chen Guangnan

(Institute of Mechanics ,Chinese Academy of Sciences ,Beijing 100030)

Kang Mokuang

(Northwestern Polytechnical University)

ABSTRACT The microstructure and substructure of the bainitic-ferrite at the most early stage of growth are studied by TEM in a Fe-0.79C-8.3Mn-0.87Si-0.5Mo steel. It is observed that the bainite nuclei exhibits a thin plate morphology. And ,the bainite formation has the character of catalysis nucleation by sub-units. Moreover ,the existence of $(111)_f$ planar defects is firstly observed ,the formation of which is considered to result from the plastic accommodation effect occurred in parent austenite during bainitic nucleation and growth. Planar defects ,in fact ,the glide plane of austenite matrix ,consist of part of the bainitic-ferrite/ austenite interface. Thus ,the formation of bainitic-ferrite is of shear nature.

KEY WORDS bainite , $\{111\}_f$ planar defect , shear