

# 等淬球铁的贝氏体形态<sup>\*</sup>

戴 秋 莲

( 华侨大学机电工程系, 泉州 362011 )

**摘要** 利用 100 CX 型透射电镜对球铁的上、下贝氏体形态进行观察与分析. 结果表明, 球铁的上、下贝氏体均为板条状铁素体, 其间有奥氏体. 随着等温转变、温度降低, 板条变得细小密集, 奥氏体量及其含碳量也减少. 在上贝氏体中未检测到碳化物, 但在下贝氏体中证实有碳化物析出在铁素体片内, 排列成行并与贝氏体针长轴成 55° 角.

**关键词** 等淬球铁, 贝氏体, 精细结构

**分类号** TG 115. 213. 2

通过等温淬火处理得到的奥氏体-贝氏体复相组织球铁, 简称等淬球铁. 它具有优良的综合机械性能, 目前其研究和应用深受国内外同行的广泛关注. 关于球铁上贝氏体中是否有碳化物存在, 人们还有不同的看法. 资料<sup>[1,2]</sup>研究表明, 非合金球铁上贝氏体中无碳化物析出, 文 [3] 中则观察到在上贝氏体铁素体板条间有碳化物颗粒析出. 此外, 研究有关球铁下贝氏体的精细结构的报道还很少. 本文将着重探讨合金球铁上、下贝氏体的精细结构.

## 1 实验方法

所用合金球铁的成分(质量分数)分别为 C 3.60, Si 2.43, Mn 0.57, P 0.054, S 0.023, Mo 0.22, Cu 0.65, Ni 0.60. 该合金球铁的原始基体组织为珠光体. 试样的热处理工艺为 930 °C 奥氏体化 40 min, 等温冷却温度分别为 360 °C 和 280 °C, 等温时间为 120 min. 残余奥氏体量及其含碳量的测定在日产 D/MAX 旋转超强力转靶 X 射线衍射仪上进行. 残余奥氏体量的计算选取  $\alpha_{111}$  和  $\gamma_{311}$  衍射峰, 测定其累积强度并略去其它相, 采用直接对比法. 残余奥氏体的含碳量通过测量  $\gamma_{311}$  衍射峰峰位角  $2\theta$  来计算点阵常数  $a$ , 再应用近似公式  $C_s = (a - 3.571) / 0.044$  求得<sup>[4]</sup>. 珠铁薄膜样品的制备是先用线切割从金相试样上切下厚约为 0.1 mm 的薄片, 然后用机械抛光减薄至 30  $\mu\text{m}$  左右, 最后在 IONT 型离子减薄机上减薄至穿孔为止. 在 100CX 型透射电镜下观察分析球铁上、下贝氏体的薄膜样品.

## 2 结果与讨论

### 2.1 上贝氏体

球铁上贝氏体的光学显微形貌如图 1 所示, 呈羽毛状. 该试样经 X 射线衍射分析, 其残余

奥氏体量(质量分数)为 39.4, 奥氏体的含碳量(质量分数)为 1.728. 薄膜试样在透射电镜下的观察结果如图 2, 3 所示. 可以看出, 球铁上氏体为几乎平行的板条状结构. 即贝氏体铁素体板条平行排列, 其间分布着残余奥氏体, 板条较宽, 板条之间的距离也较大. 从图 2(d) 可以看出, 残余奥氏体不仅呈断续条状分布在贝氏体铁素体板条周围, 而且在其板条内也存在着细条状的奥氏体. 这说明贝氏体铁素板条是由一些更小的单元(基元)构成的, 即贝氏体铁素体的成长是不连续的. 此外, 经过透射电镜分析, 上述试样中未检测到任何碳化物.



图 1 上贝氏体(930 °C/40 min  
360 °C/120 min, 500×)

从上面分析可知, 球铁上贝氏体的显微结构与钢中上贝氏体的显微结构有明显的差别. 一

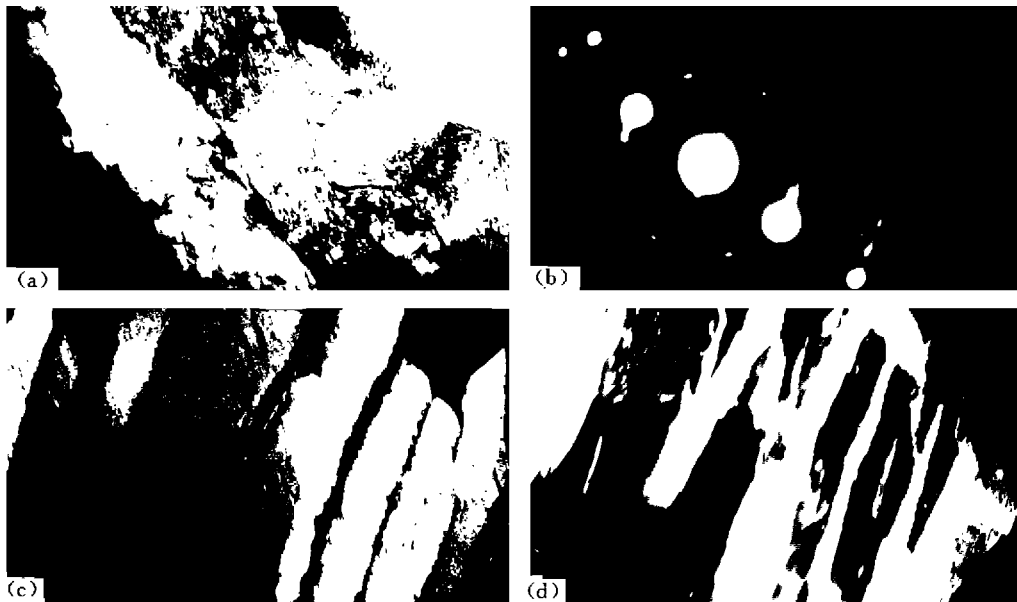


图 2 等淬球铁上贝氏体在透射电镜下的形貌(等淬工艺为 360 °C × 120 min)

(a) 中心暗场像(48 000×); (b) 选区电子衍射花样; (c) 铁素体(110) $\alpha$   
的暗场像(36 000×); (d) 奥氏体(111) $\gamma$ 的暗场像

般钢的上贝氏体是板条铁素体及其边界的片状或杆状渗碳体的混合物, 而球铁的上贝氏体是板条铁素体及其间的残余奥氏体的混合物, 其中没有碳化物, 是无碳化物贝氏体. 这可能是球铁中高硅阻止碳化物晶坯生长的缘故<sup>[6]</sup>. 等淬球铁的上贝氏体转变有两个阶段, 第一阶段是奥氏体转变成贝氏体铁素体和富碳的残余奥氏体, 第二阶段是残余奥氏体进一步分解为铁素体和碳化物<sup>[6,6]</sup>. 因此, 可认为在上述等温温度下, 如果进一步延长保温时间, 则残余奥氏体将分解出碳化物. 但是, 上述球铁贝氏体转变的第二阶段是人们所不希望有的, 因为若有之则将降低等淬球铁的塑性和韧性.

## 2.2 下贝氏体

等淬球铁下贝氏体的光学显微形貌如图4所示,呈针状。经X射线衍射分析,该试样的残

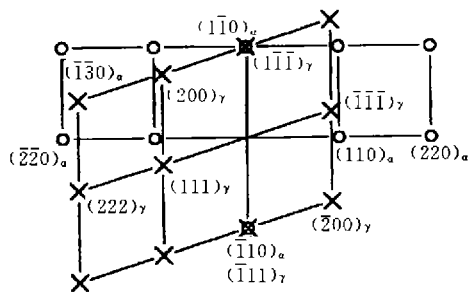


图3 衍射花样指标化

o 为  $[001]_a$ ; x 为  $[0\bar{1}1]_f$

余奥氏体量为 25.6, 奥氏体的含碳量为 1.42。图5是它的薄膜试样在透射电镜下的观察结果。从图5中可以看出, 球铁下贝氏体是几乎平行的板条状结构, 且与球铁上贝氏体相比, 该下贝氏体板条较为细小、密集。由图5(c)可见铁素体板条内有大量的亚结构, 其中有些可能是位错。但是, 有些亚结构的排列与板条的长轴约成  $55^\circ$  交角, 初步确定这些亚结构是碳化物。

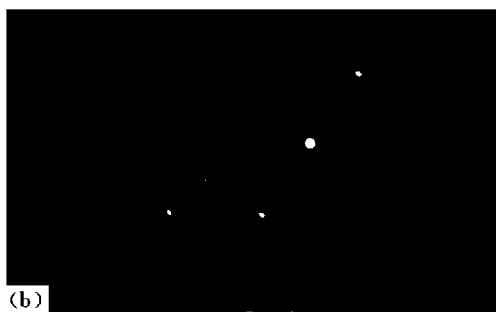


图4 下贝氏体(930 / 40 min

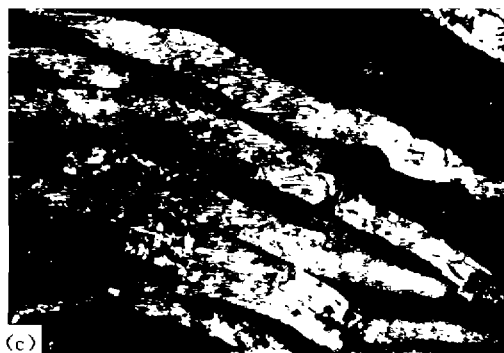
280 / 120 min, 500 ×)



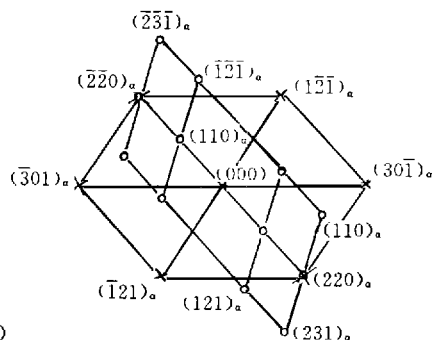
(a)



(b)



(c)



(d)

图5 等淬球铁下贝氏体在透射电镜下的形貌(等淬工艺为 280 × 120 min)

(a) 中心暗场像(48 000 ×); (b) 选区电子衍射花样; (c) 铁素体(110)<sub>a</sub>的

暗场像(48 000 ×); (d) 衍射花样指标化, 图中 o 为  $[\bar{1}1\bar{1}]_a$ , x 为  $[\bar{1}1\bar{3}]_a$

经过进一步的电镜分析, 证实上述的亚结构就是碳化物。也就是说, 在球铁下贝氏体铁素体板条内存在着碳化物颗粒, 如图6中的白色质点所示。可以看出, 碳化物在铁素体片内排列成行并与贝氏体针长轴成  $55^\circ$  角。实验结果还表明, 碳化物与下贝氏体铁素体间存在不止一种取向关系, 因此可认为碳化物是从过饱和的贝氏体铁素体中析出的。这是由于等温温度较低,

碳原子的扩散较困难,不能充分地由铁素体通过铁素体-奥氏体相界面向奥氏体扩散.由于碳化物的析出,使贝氏体铁素体形成时向其周围奥氏体的排碳量减少,从而使球铁下贝氏体中的残余奥氏体量较上贝氏体中的残余奥氏体量少,残余奥氏体的含碳量也较低.

### 3 结论

(1) 等淬球铁上、下贝氏体在透射电镜下的形貌均为板条状结构,即贝氏体铁素体与残余奥氏体交错排列.(2) 等淬球铁上贝氏体铁素体板条较粗大,残余奥氏体量较多,含碳量也较高.(3) 等淬球铁上、下贝氏体的显微结构,它们最显著的差别是上贝氏体铁素体中未检测到碳化物,而下贝氏体铁素体板条内有碳化物颗粒析出.碳化物在铁素体片内排列成行并与贝氏体针长轴成  $55^\circ$  角.

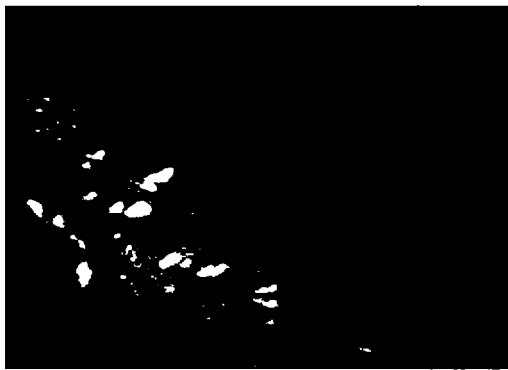


图6 ( $\bar{1}21$ )碳化物衍射的暗场像(72 000 $\times$ )

### 参 考 文 献

- 1 石德珂,郭大展,宋晓平等.球墨铸铁的贝氏体转变特点.金属学报,1987,23(3):135~139
- 2 王甫培,杨佳荣,肖承和等.奥贝球铁中贝氏体形态的电镜观察.浙江大学学报,1988,22(1):127~130
- 3 Dubensky W J, Rundman K B. An electron microscope study of carbide formation in ADI. AFS Transactions, 1985, 93(64):389~394
- 4 范 雄.X射线金属学.北京:机械工业出版社,1981.97~118
- 5 Bhadeshia H K D H, Edmonds D V. The bainite transformation in a silicon steel. Metallurgical Transactions A, 1979, 10A(7):895~907
- 6 Janowak J F, Gundlach R B. Development of a ductile iron for commercial austempering. AFS Transactions, 1983, 91(54):377~388

## Morphology of Bainites in Austempered Ductile Iron

Dai Qiulian

(Dept. of Electro. Mech. Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

**Abstract** The morphology of upper and lower bainites in austempered iron is observed and analysed with help the of a 100 CX type transmission electron microscope. As shown by the results, upper and lower bainites in ductile iron are all lath ferrites with austenites amidst them, the lathes become tiny and crowded together and the austenites reduce in amount and carbon content along with the change from isothermal to cool down; no carbide is detected in upper bainites, while the isolation of carbide particles from lath ferrites in lower bainites has been confirmed and the carbide particles are found to form a  $55^\circ$  intersecting angle with major axis of the lath.

**Keywords** austempered ductile iron, bainite, austenite