

回火对超细贝氏体晶粒取向和尺寸的影响

陈庆丰 关云 陈邦文 汪福成 刘昌明 严翔
(武钢技术中心, 武汉 430080)

摘要 用 50 kg 真空感应炉冶炼的钢锭, 经 1 150 °C 开轧, 两阶段控制轧制, 830 °C 终轧成 12 mm 钢板, 驰豫 27 s, 720 °C 进水快冷 (冷却速率 30 ~ 35 °C/s) 后, 超低碳贝氏体钢 (成分% : 0.023C、1.63Mn、0.52Cu、0.25Mo、0.055 (Nb + Ti)、0.001 1B) 具有板条贝氏体 + 少量粒状贝氏体和不规则铁素体的复合组织, 贝氏体束团尺寸为 3 ~ 5 μm, 块状和不规则铁素体尺寸为 1 ~ 2.5 μm。650 °C 和 700 °C 回火对贝氏体晶粒取向无显著影响。

关键词 超低碳贝氏体钢 等效晶粒直径 回火

Effect of Tempering on Size and Orientation of Grain in Ultra-Fine Grain Bainite Steel

Chen Qingfeng, Guan Yun, Chen Bangwen, Wang Fucheng, Liu Changming and Yan Xiang
(Technology Center, Wuhan Iron and Steel Co, Wuhan 430080)

Abstract With 50 kg vacuum induction furnace melted ingot, breakdown at 1 150 °C and two stage control rolling, 12 mm plate finishing rolling at 830 °C, then relaxation for 27 s, water cooling at 720 °C with cooling rate 30 ~ 35 °C/s, the ultra-low-carbon bainite steel- 0.023C, 1.63Mn, 0.52Cu, 0.25Mo, 0.055 (Nb + Ti), 0.001 1B had compound structure consisting of lath bainite + minor granular bainite, and irregular ferrite. The bainite bunch colony size was 3 ~ 5 μm and the lump and irregular ferrite size was 1 ~ 2.5 μm. Tempering at 650 °C and 700 °C weren't obvious influence on bainite grain orientation.

Material Index Ultra-Low-Carbon Bainite Steel, Equivalent Grain Diameter, Tempering

采用驰豫-析出控制相变 (relaxation-precipitation controlling phase transformation, RPC) 新技术轧制的低 (超) 低碳贝氏体钢的组织主要是板条贝氏体, 以及少量粒状贝氏体或针状、形状不规则的铁素体。本实验观察了超低碳贝氏体钢微观组织, 并探讨了回火对晶粒取向、特征尺寸的影响。

1 试验钢的组织与性能

试验材料用 50 kg 真空感应炉冶炼 (表 1), 具体轧制工艺为: 钢锭 → 1 200 °C 加热 → 1 150 °C 开轧 → 两阶段控轧 → 830 °C 终轧成 12 mm 钢板 → RPC 技术 (驰豫 27 s) → 720 °C 进水快冷 (冷却速度 30 ~ 35 °C/s)。

表 1 试验钢化学成分/%

Table 1 Chemical composition of test steel /%

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Mo	Nb + Ti	B
0.023	0.30	1.63	0.006	0.005	0.52	0.27	0.25	0.055	0.001 1

试验钢热轧态, 650 °C 和 700 °C 回火后的力学性能列于表 2。

表 2 超低碳贝氏体钢的 RPC 热轧及回火后的力学性能
Table 2 Mechanical properties of RPC hot rolled and tempered ultra-low-carbon bainite steel

样号	状态	R _{el} /MPa	R _m /MPa	A/%	Z/%	-20 °C A _{KV} /J
1	热轧态	775	830	16.5	73.0	-
2	650 °C 回火	745	780	21.0	71.0	135 114 125
3	700 °C 回火	670	705	22.5	73.0	137 167 176

电子衍射分析胞状亚结构 (图 1), 显示多个位错胞的衍射斑点只有微小分裂, 表明其胞状组织的取向差极小。

在 Quant400 扫描电镜下, 采用电子背散射 (electron backscatter diffraction, EBSD) 观察, 热轧态晶粒沿轧制方向拉长。法向晶粒主要趋于 {112} 和 {110}; 轧向主要为 {111}; 横向近似为 {110}。

650 °C 回火后, 法向晶粒主要趋于 {111} 和 {110}, {112} 面明显减弱, 轧向靠近 {112}, 横向近似为 {110} 及 {123}; 700 °C 回火后板条合并粗化, 并形成部分块状铁素体组织, 法向晶粒主要趋于 {110} 及弱 {111}, 轧向主要为 {110}; 横向近似为 {100} 及微弱 {111}。

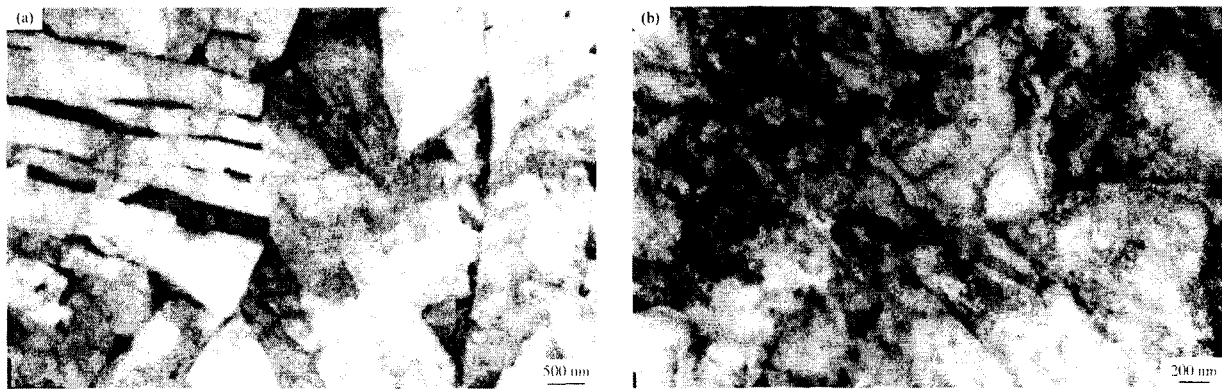


图1 超低碳贝氏体钢轧态的组织结构,TEM:(a)板条B+少量M-A岛;(b)胞状亚晶组织

Fig. 1 Structure morphology of rolled ultra-low-carbon bainite steel, TEM: (a) lath bainite + minor martensite-bainite island; (b) sub-grains cell structure

2 晶界和晶粒特征

由表3得知,超低碳贝氏体钢(轧态、回火态)的晶界取向以 $\leq 10^\circ$ 的小角度晶界为主,占57%~65%。与常规的铁素体钢不同,纯铁素体钢内部有

表3 超低碳贝氏体钢晶界取向差分布/%

Table 3 Distribution of grain boundaries misorientation of ultra-low-carbon bainite steel / %

晶界取向角度/ $^\circ$	试样状态		
	热轧	650 $^\circ\text{C}$ 回火	700 $^\circ\text{C}$ 回火
2.9~10	61.03	57.00	65.58
10.4~15	4.54	5.35	6.28
15.1~28	4.96	5.22	4.69
28.2~33	4.24	6.47	3.16
33.8~42	5.22	4.90	3.00
42.3~52	8.03	8.49	6.55
52.6~62	11.98	12.59	10.71

28%的小角度晶界,一般Q235钢中 $\leq 10^\circ$ 的小角度晶界仅为5%~20%,随形变温度的升高而减少^[1]。奥氏体不锈钢YUS701大部分是大角度晶界,可占晶界总数的92.5%,其中 $\geq 60^\circ$ 的大角度晶界在50%以上^[2]。

试验采用的回火温度对超低碳贝氏体钢的晶界取向影响不大(表3)。650 $^\circ\text{C}$ 回火时,2.9 $^\circ$ ~10 $^\circ$ 小角度晶界的晶粒数量比例与轧态相比,减少了4.0%,700 $^\circ\text{C}$ 回火后却比轧态增加4.5%。

随着回火温度的升高, $\geq 15^\circ$ 大角度晶界减少,夹角10.4 $^\circ$ ~15 $^\circ$ 晶界稍有增加,而2.9 $^\circ$ ~10 $^\circ$ 小角度晶界的晶粒数量比例却增加8.6%。

将取向差 $\geq 2^\circ$ 和 $\geq 10^\circ$ 的亚晶和晶粒作为测定晶粒度的有效起始值,测得结果如表4所示。

表4 不同状态超低碳贝氏体钢晶粒尺寸分布

Table 4 Distribution of grain size in ultra-low-carbon bainite steel at different conditions

试样状态	晶粒取向差 $\geq 2^\circ$				晶粒取向差 $\geq 10^\circ$			
	平均晶粒面积/ μm^2	平均等效晶粒尺寸/ μm	相对变化/%	平均晶粒度级别(ASTM)	平均晶粒面积/ μm^2	平均等效晶粒尺寸/ μm	相对变化/%	平均晶粒度级别(ASTM)
热轧态	0.71	0.95	100.0	17.5	1.82	1.52	100.0	16.1
650 $^\circ\text{C}$ 回火	0.84	1.03	108.4	17.2	1.75	1.49	98.0	16.2
700 $^\circ\text{C}$ 回火	1.10	1.18	124.2	16.8	4.13	2.29	150.6	14.9

超低碳贝氏体钢在650 $^\circ\text{C}$ 回火后,晶粒尺寸基本上未变化;在700 $^\circ\text{C}$ 回火后,晶粒直径长大了24%~50%,同时钢板强度约下降100 MPa。

3 结论

超低碳贝氏体钢经弛豫-析出控制相变轧制后,不规则铁素体尺寸为1~2.5 μm ,其晶界取向以 $\leq 10^\circ$ 的小角度晶界为主,占57%~65%,其次为 $\geq 52^\circ$ 的大角度晶界,占10.0%~12.6%;650~700 $^\circ\text{C}$ 回火对超低碳贝氏体钢的晶界取向影响不大。

国家重大基础研究“973”二期项目(2004C13619102)

参考文献

- 常守海,杨平,孙祖庆.形变条件对碳素钢形变强化相变铁素体晶粒取向的影响.新一代钢铁材料研讨会.中国金属学会,2001:263
- 范丽霞,潘春旭,蒋昌忠,等.奥氏体不锈钢超高温服役过程中组织转变和晶界特征的EBSD研究.中国体视学与图象分析,2005,10(4):233

陈庆丰(1963-),男,高级工程师,武汉科技大学毕业,从事超细高强度贝氏体钢的研究。

收稿日期:2006-06-05