

空冷低碳贝氏体钢 DB590 的组织 and 性能

陈忠伟 江雅民

(西北工业大学凝固技术国家重点实验室, 西安 710072)

摘要 试验用空冷低碳贝氏体钢 DB590 (0.06C, 0.92Mn, 0.49Mo, 0.65Cr, 0.02Nb, 0.08V, 0.0010B) 由 50 kg 真空感应炉熔炼、铸成 22 kg 锭、锻成 (mm) 100 × 100 × 150 钢坯, 并控制轧成 16 mm 板, 空冷。通过 Gleeble 1500 热模拟机得出该钢的 CCT 曲线。DB590 钢轧后空冷 (3 °C/s) 的组织为贝氏体 + 铁素体基体, 钢板的抗拉强度 645 MPa, 屈服强度 471 MPa, 伸长率 32%, 0 °C 冲击功 94 J 以及优良的冷弯性能。

关键词 空冷低碳贝氏体钢 组织 性能

Microstructure and Properties of Air-Cooled Low Carbon Bainitic Steel DB590

Chen Zhongwei and Jiang Yamin

(State Key Laboratory of Solidification Processing, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

Abstract Test air-cooled low carbon Bainitic steel DB590 (0.06C, 0.92Mn, 0.49Mo, 0.65Cr, 0.02Nb, 0.08V, 0.0010B) was melted by a 50 kg vacuum induction furnace, cast to 22 kg ingot, forged to 100 mm × 100 mm × 150 mm billet then control-rolled to 16 mm plate, air-cooled. The CCT curves of the steel have been got by Gleeble 1500 thermal simulation machine. The microstructure of steel DB590 air-cooled (3 °C/s) after rolling was bainite + ferrite matrix, the mechanical properties of plate were tensile strength 645 MPa, yield strength 471 MPa, elongation 32%, impact energy at 0 °C 94 J with excellent cold-bending property.

Material Index Air-cooled Low Carbon Bainitic Steel, Microstructure, Properties

目前开发的空冷贝氏体钢有 Mo-B 系^[1]、Mn-B 系^[2]、微合金化系列^[3,4]以及 Si-Mn-Mo 系列准贝氏体钢^[5]。本文采用 CCT 曲线试验研究了微合金化低碳贝氏体钢 DB590 的组织转变, 并在实验室进行控制轧制, 获得 16 mm 厚空冷低碳贝氏体钢 DB590 板材。

1 试验方法

在 50 kg 真空感应炉熔炼 DB590 钢 25 kg 钢锭 (表 1)。试验钢种的连续冷却转变曲线 (CCT) 在北京科技大学的 Gleeble 1500 热模拟机上进行: 升温速率 10 °C/s, 950 °C 10 min 奥氏体化。以 200 °C/h 的升温速率测定钢的 A_{c3} 、 A_{c1} 。以 100 ~ 0.05 °C/s 15 个不同的冷却速率连续冷却。

将真空感应炉熔炼所得的 22 kg 钢液浇注成圆锥状铸锭, 上口直径为 130 mm, 锻造开坯温度在

1 050 ~ 1 080 °C, 锻坯尺寸为 (mm) 100 × 100 × 150。在北京科技大学国家轧制中心进行奥氏体完全再结晶区 (1 000 ~ 1 180 °C) 轧制与奥氏体非再结晶区 (830 ~ 930 °C) 轧制。轧后空冷, 冷却速率 3 °C/s。道次压下率为 16%, 成品板材厚度为 16 mm。

2 试验结果与讨论

2.1 试验 DB590 钢的 CCT 曲线

低碳贝氏体钢 DB590 的 CCT 曲线 (图 1) 表明, 冷却速率为 2 °C/s 时开始形成贝氏体铁素体组织, 10 °C/s 时形成大量的贝氏体组织, 铁素体组织减少。同时, 由于加入了硼元素, 贝氏体开始转变点 B_s 降低, 且 B_s 在相当大的冷却速率范围内基本不随冷却速率的变化而变化, 维持在 600 °C 左右, 这样可以保证在较大的板厚范围内维持组织的均匀性, 保证中厚钢板在随后的冷却过程中得到基本相似的贝氏体组织。贝氏体终止转变温度 B_f 约为 510 °C, B_{50} 约为 550 °C。试验钢种的相变点 A_{c3} 、 A_{c1} 分别为 895 °C、835 °C。

2.2 空冷 DB590 钢的组织

由图 2 可见, 在较低的冷却速率下连续冷却时, 钢板的最终组织为条状或粒状贝氏体 (灰色) 分布

表 1 试验低碳贝氏体钢 DB590 的化学成分 / %

Table 1 Chemical composition of test low carbon bainitic steel DB590 / %

C	Mn	Mo	B	Nb	Cr	V	P	S
0.06	0.92	0.49	0.0010	0.02	0.65	0.08	0.004	0.009

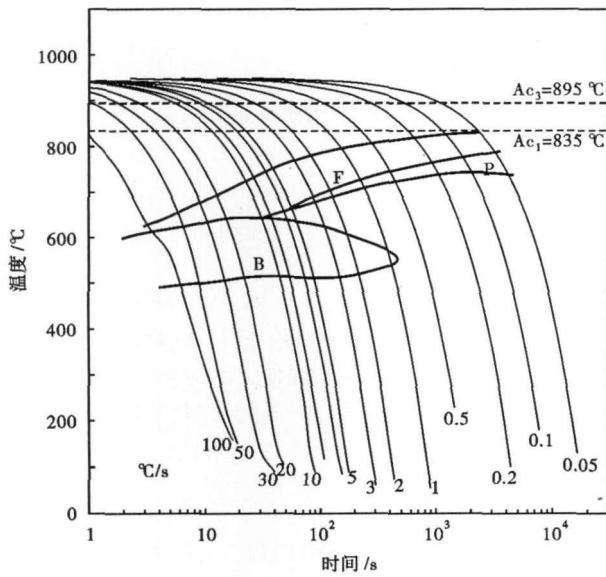


图1 试验的低碳贝氏体钢 DB590 CCT 曲线

Fig.1 CCT curves of test low carbon bainitic steel DB590

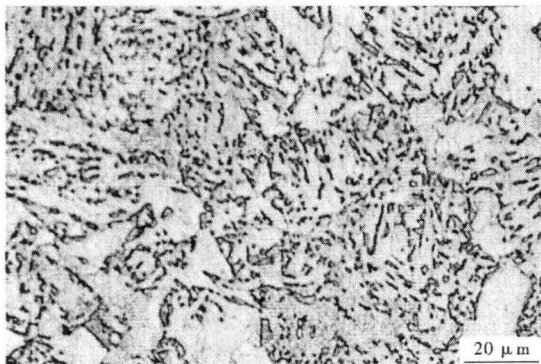


图2 轧后空冷低碳贝氏体钢 DB590 的组织

Fig.2 Structure of low carbon bainitic steel DB590 air-cooled after rolling

于铁素体基体(白色)中,基本不含珠光体组织。轧后空冷的冷却速率为 $3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时,贝氏体开始转变点 B_s 约为 $620\text{ }^{\circ}\text{C}$,贝氏体终了转变点 B_f 约为 $510\text{ }^{\circ}\text{C}$,贝氏体转变不完全性。

2.3 空冷 DB590 钢的力学性能

表2可见,实验钢种轧后空冷条件下,力学性能均达到国内同行目标值,钢板具有良好的成形性能,也具有优良的低温韧性与冷弯性能。

表2 轧后空冷低碳贝氏体钢 DB590 16 mm 板的力学性能
Table 2 Mechanical properties of 16 mm plate of low carbon bainitic steel DB590 air-cooled after rolling

钢号	σ_s / MPa	σ_b / MPa	δ / %	0 °C 冲击 A_{KV}/J	冷弯试验 $d =$ 0.5 a, 180°
DB590	471.44	645.36	32.73	94	完好
JG590 ^[6] (济钢)	≥ 450	≥ 590	≥ 18	≥ 47	完好($d = 3\text{ a}$)

试验钢种利用较高温度非再结晶区控制轧制得到变形奥氏体晶粒,钢中加有少量提高淬透性的元素如 Mn、Mo、B 等,在轧后空冷条件下,变形奥氏体可以转变为细小的各种形态的贝氏体组织,这种组织中的贝氏体板条束起到细化实际晶粒尺寸作用,从而起到强化作用。并通过 Nb、Mo 的析出强化,从而使钢材的屈服强度明显提高,同时还能保持优良的韧性。这类钢中碳含量很低,因此碳的危害、碳化物析出的影响等问题几乎完全消除,故该钢种的焊接性能极佳^[7,8]。热影响粗晶区在冷却条件下均能得到极高韧性的贝氏体组织,具有低的碳当量和低的焊接裂纹敏感性,可以实现焊前不预热、焊后不热处理。根据微观组织与力学性能分析,试验钢种通过控轧控冷工艺还能进一步细化组织,提高性能。它的不足之处是,钼元素(0.50%左右)含量较高,从而增加了钢种生产成本。

3 结论

(1) 低碳贝氏体钢 DB590 轧后冷却速率在 $2 \sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时,可形成条状或粒状贝氏体组织。 B_s 为 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, B_f 为 $510\text{ }^{\circ}\text{C}$, B_{50} 为 $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 冷却速率为 $3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$, 16 mm DB590 钢板的微观组织为条状或粒状贝氏体 + 铁素体组织。其力学性能与冲击韧性及冷弯性能,超过国内同行业 DB590 钢的设计要求。

(3) 试验钢种的不足之处是钼元素含量较高(0.50%左右)。

参考文献

- 章守华,吴承建.钢铁材料学.北京:冶金工业出版社,1992
- 方鸿生,郑燕燕,黄进峰.我国贝氏体钢的前景.金属热处理,1998(7):11
- 李凤照,敖青,姜江.超细晶组织空冷贝氏体钢.金属热处理,1998(1):5
- Nakasuki H, Matsuda H, Tamahiro H. Development of Controlled Rolled Ultra Low Carbon Bainitic Steel for Large Diameter Linpipe. Processings Alloys for the Eighties. Greenwich Climax Molybdenum Company, 1980:213
- 康沫狂,贾虎生,杨延清.新型系列准贝氏体钢.金属热处理,1995(12):3
- 济南钢铁公司. JG590 高强度钢板,产品技术说明书,2006
- 姚连登.控轧工艺对 Mn-Mo-Nb-B 系超低碳贝氏体钢力学性能的影响.钢铁研究,2004(4):43
- 赵志平,康永林,丛津功. HQ590DB 超低碳贝氏体钢中厚板的研制.特殊钢,2005,26(1):52

陈忠伟(1970-),男,博士,副教授,西北工业大学,金属材料凝固加工的研究。

收稿日期:2008-05-22