

试验研究

70 kg级低碳贝氏体钢相变规律研究

刘金泉, 田世永, 夏佃秀

(济钢集团有限公司 技术中心, 山东 济南 250101)

摘要: 利用MMS-200热模拟试验机和光学显微镜研究了70 kg级低碳贝氏体钢板在不同终轧温度和冷却速度下的相变规律。结果表明, 随冷却速度的增大, 钢中依次出现多边形铁素体、珠光体、针状铁素体、粒状贝氏体、下贝氏体和马氏体组织, 奥氏体向铁素体相变温度 A_s 降低, 晶粒细化。随着终轧温度的降低, 铁素体诱导相变明显增加, 铁素体晶粒细化。

关键词: 低碳贝氏体钢; 冷却速度; 终轧温度; 形变诱导铁素体相变

中图分类号: TG142.41

文献标识码: A

文章编号: 1004-4620(2011)06-0033-03

1 前言

低碳贝氏体钢是近年来国内外新发展起来的与铁素体+珠光体钢、传统马氏体调质钢并列的一大类新钢种^[1], 具有高强高韧和良好的焊接性能, 广泛用于工程机械、煤矿机械、油气管线、海洋设施等大型结构件中^[2]。低碳贝氏体钢主要通过降低C含量, Nb、V、Ti微合金化, 利用控轧控冷工艺, 得到有益的贝氏体组织, 获得钢板高的强韧性和优良的焊接性。本研究利用MMS-200热模拟试验机, 对70 kg级低碳贝氏体钢动态组织转变进行试验, 探讨终轧温度和冷却速度对组织演变的影响, 以期工业化生产提供技术参考。

2 试验材料与方法

2.1 试验材料

试验材料为济钢中厚板厂生产的70 kg级低碳贝氏体钢板, 化学成分如表1所示。

表1 试验材料化学成分(质量分数) %

C	Si	Mn	P	S	Nb	Ti	Ni+Mo
0.05 ~ 0.09	0.25 ~ 0.55	1.25 ~ 1.55	≤ 0.010	≤ 0.005	0.035 ~ 0.065	0.020 ~ 0.035	≤ 0.30

2.2 试验方法

将试样加工成 $\phi 10 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$ 的圆柱形热模拟试样, 考虑到MMS-200热模拟试验机参数, 制定如下方案:

1) 取7个试样, 将试样以10 °C/s速度升温到奥氏体化温度(1 200 °C), 保温5 min, 以5 °C/s的速度冷却到910 °C, 以1 s⁻¹的应变速度变形50%, 然后分别以1、3、5、10、20、30、40 °C/s的冷却速度冷却到室温。利用金相显微镜、显微硬度计进行金相组织观

察和显微硬度检测, 绘制动态CCT曲线, 研究冷却速度对组织转变的影响, 试验方案见图1a。

2) 取4个试样, 将试样以10 °C/s速度升温到奥氏体化温度(1 200 °C), 保温5 min, 以5 °C/s的速度分别冷却到890、870、850、830 °C, 以1 s⁻¹的应变速度变形50%, 然后以20 °C/s的速度冷却到室温, 研究终轧温度对组织转变的影响, 试验方案见图1b。

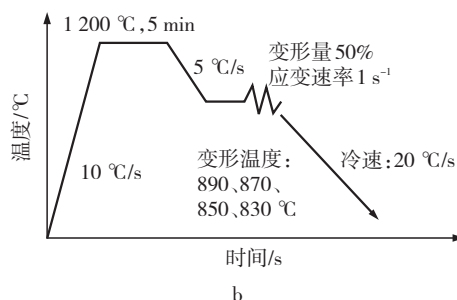
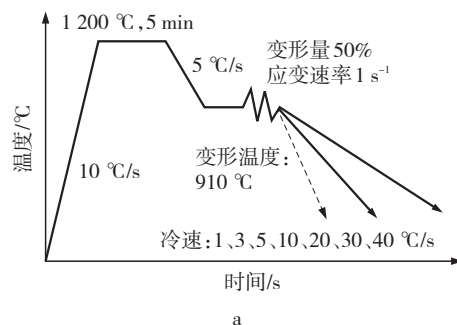


图1 试验方案

3 试验结果及分析

3.1 冷却速度对相变的影响

图2为不同冷却速度下试样的金相组织。在冷却速度为1 °C/s时, 显微组织主要为多边形铁素体和珠光体混合组织(图2a)。冷却速度为3 °C/s, 开始出现针状铁素体, 多边形铁素体明显减少, 还存在微量的珠光体组织(图2b)。冷却速度为5 °C/s, 出现粒状贝氏体组织, 基体中有不规则形状的残余奥氏体和MA组元, 原奥氏体晶界清晰(图2c)。当冷却速度为10 °C/s时, 粒状贝氏体中的岛状物开始

收稿日期: 2011-09-19

作者简介: 刘金泉, 男, 1984年生, 2007年毕业于东北大学材料成型及控制工程专业。现为济钢技术中心助理工程师, 从事新产品开发工作。

拉长,即粒状贝氏体开始向下贝氏体转变(图2d)。在冷速为20℃/s时,显微组织主要为下贝氏体,板条宽度3~5μm,板条内及板条间有残余奥氏体,同方向的板条组成不同取向的板条束,并且还

少量的粒状贝氏体。当冷却速度增加到30℃/s时,板条逐渐细化,得到细小的板条状下贝氏体组织(图2f)。当冷却速率为40℃/s时,出现马氏体,金相组织为马氏体和下贝氏体混合组织(图2g)。

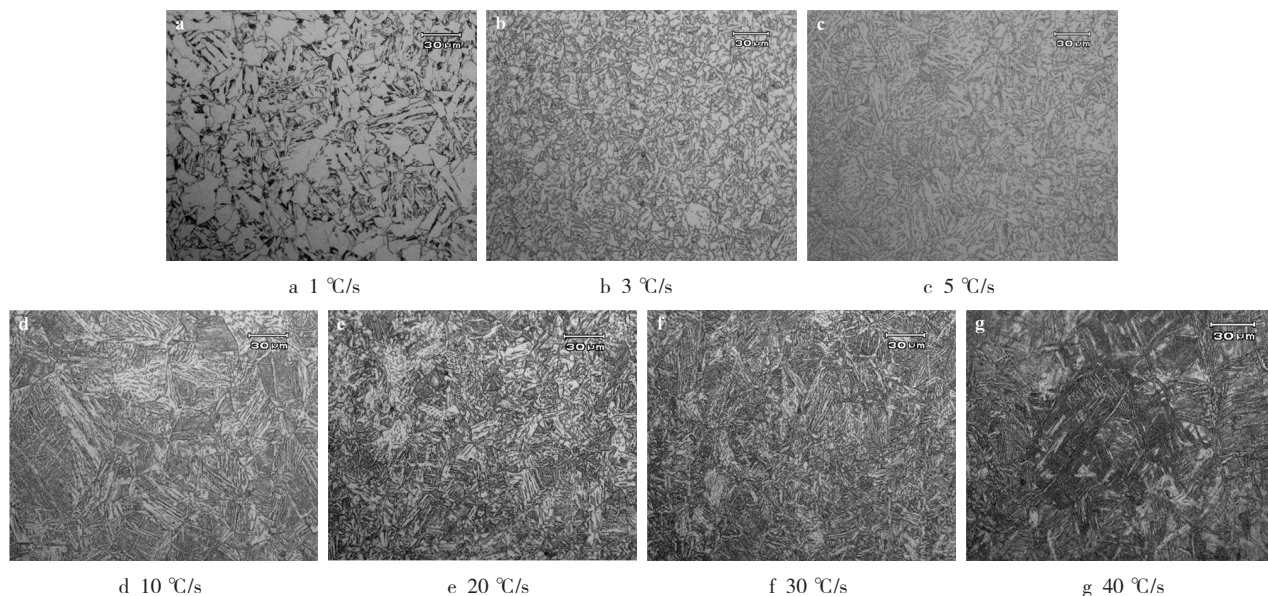


图2 不同冷却速度下热模拟金相组织

随着冷却速度的增加,过冷度增加,形核驱动力增加,从而增加了相变时铁素体的形核率,细化了铁素体组织。另一方面,随冷却速度的增加,富碳奥氏体在随后的冷却过程中来不及转变为珠光体而被保留到贝氏体转变区域,转变为粒状贝氏体,粒状贝随冷却速度的提高而减少,出现下贝氏体或马氏体^[3]。根据上述分析,绘制910℃变形时的连续冷却转变曲线,如图3所示。

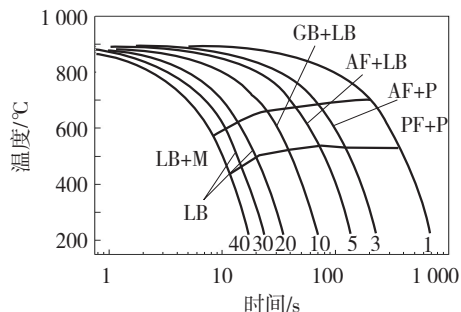


图3 70 kg级低碳贝氏体钢动态CCT曲线

由图3可知,随着冷却速度增大,奥氏体向铁素体相变温度 A_{s3} 降低。由于铁素体转变属于扩散型转变,加大冷却速度制约了原子的扩散能力,若要使转变发生,必须降低温度增大过冷度,导致 A_{s3} 降低。因此,冷却速度的增大使 A_{s3} 下降,即相变区域显著地向低温侧扩大。

3.2 冷却速度对硬度的影响

用型号为mh-6的显微硬度计进行显微硬度测试,硬度载荷为100g。图4给出了热模拟过程中不同冷却速度下试样显微硬度的变化情况。

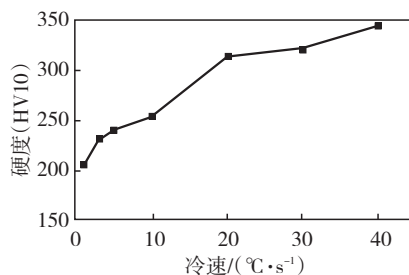


图4 显微硬度随冷速的变化趋势

由图4可见,在5℃/s的冷却速度下,HV在240以下,而在10~20℃/s时,HV在250~310之间,当冷速在20~40℃/s以上时,基体HV硬度在320以上。冷速<20℃/s时,硬度增加较快,冷速为3℃/s时,组织出现了针状铁素体,针状铁素体较铁素体、珠光体组织硬度要高,硬度相应增加较快。随着冷速的提高,贝氏体由大块粒状向细小的板条结构转化,而粒状贝氏体的硬度较低,硬度相应提高较快。冷速>20℃/s后,组织类型主要为板条贝氏体或马氏体,其硬度差别较小,因此硬度增加缓慢。硬度值和显微组织存在很好的对应关系。

3.3 终轧温度对相变的影响

图5为不同终轧温度下的金相组织。从图5可以看出,随着终轧温度的降低,下贝氏体板条逐渐细化。这是因为,在奥氏体未再结晶区变形时,变形使奥氏体晶粒拉长,晶内形成大量的位错和变形带,且随着终轧温度的降低,晶内的变形带增多,大量的变形带、空位、位错等缺陷为铁素体的形核提供了更多的相变形核点,且终轧温度降低,晶粒长

大的速度变缓,因而晶粒得到细化。

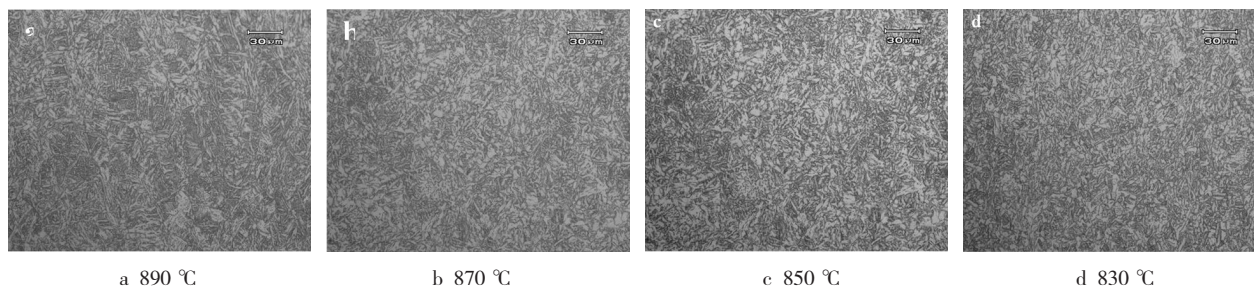


图5 不同终轧温度下的金相组织

终轧温度为890 °C时,组织主要为下贝氏体(见图5a);终轧温度为870 °C时,出现形变诱导铁素体(见图5b);随终轧温度的降低,诱导铁素体析出量增加,且铁素体晶粒也变细(见图5c、d)。

根据 A_{f3} 计算公式:

$$A_{f3}=910-310C-80Mn-20Cu-15Cr-80Mo,$$

可得试验材料成分下的 A_{f3} 约为750 °C,试验终轧温度在 A_{f3} 之上,将发生形变诱导铁素体相变,在 A_{f3} 温度之上降低轧制温度,奥氏体晶粒内部产生大量变形带,铁素体形核地点向奥氏体晶内扩展,诱发铁素体析出的变形区域在增加,所以铁素体量增加。终轧温度的降低直接影响晶粒细化程度和形变诱导铁素体的析出数量与尺寸,但考虑到设备能力,对于低合金高强度钢种终轧温度不宜过低。综合考虑组织、性能、设备能力等,依据试验结果,生产中建议终轧温度850~830 °C,冷却速度10~20 °C/s。

4 结论

4.1 随冷却速度的增大,试验钢在连续冷却转变组织中依次出现多边形铁素体、珠光体、针状铁素体、粒状贝氏体、下贝氏体和马氏体。冷却速度增大,奥氏体向铁素体转变温度 A_{f3} 降低,晶粒细化。硬度值与显微组织存在良好的对应关系。

4.2 终轧温度的降低直接影响晶粒细化程度,在 A_{f3} 温度之上降低轧制温度,将促进形变诱导铁素体的析出,且铁素体晶粒尺寸更为细小。

参考文献:

- [1] 贺信莱.21世纪新钢种-超低碳贝氏体钢[J].金属世界,1996,68(6):3.
- [2] 陈忠伟,张玉柱,杨林浩.低碳贝氏体钢的研究现状与发展前景[J].材料导报,2006,20(10):84-86.
- [3] 李承基.贝氏体相变理论[M].北京:机械工业出版社,1995.

Study on Phase Transformation Behaviors of 70 kg Grade Low Carbon Bainitic Steel

LIU Jin-quan, TIAN Shi-yong, XIA Dian-xiu

(The Technology Center of Jinan Iron and Steel Group Corporation, Jinan 250101, China)

Abstract: The continuous cooling transformation behaviors of 70 kg grade low carbon bainitic steel at different finishing temperature and cooling rate were studied by using MMS-200 thermomechanical simulator and optical metalloscope. The results showed that with the increase of cooling rate, the structure evolution in turns was polygonal ferrite, pearlite, acicular ferrite, granular bainite, lath bainite and martensite, ferrite transformation temperature (A_{f3}) decreased and the grain size was refined. Decreasing finishing temperature had marked effect on grain refinement. The strain induced transformation was promoted obviously and ferrite grain was refined with the reduction of finishing temperature above A_{f3} .

Key words: low carbon bainitic steel; cooling rate; finishing temperature; strain induced ferrite transformation

(上接第32页)

Research and Application of V-type Retaining Wall in Tundish

CHEN Liang¹, JIAO Yu-li², ZHU Shi-jiang¹

(1 Laiwu Iron and Steel Co., Ltd., Laiwu 271104, China;

2 Shandong Province Metallurgical Engineering Co., Ltd., Laiwu 271104, China)

Abstract: SEM analysis showed that the inclusions in the slab are main Al_2O_3 and $CaO-Al_2O_3-SiO_2-MgO$ compound inclusions. In order to promote the inclusions fully floating in tundish, four retaining walls were designed for making water model tests. The test results showed the effects of V-type wall with 20° hole inclination are best. The field application showed that the retaining wall optimized the flow field in tundish, homogenized the temperature, promoted the inclusions gathering and floating and increased the cleanliness of molten steel in tundish. Big sample electrolysis results showed that after applying the retaining wall, the inclusion amount was reduced to 7.526 mg/10 kg from 35.740 mg/10 kg averagely.

Key words: tundish; retaining wall; inclusion; flow field