

文章编号:1673-9981(2011)04-0283-04

# 冷却速率对 82B 盘条相变规律影响的研究

王冠军<sup>1,2</sup>, 杨建玺<sup>1</sup>, 王武军<sup>2</sup>, 张义林<sup>2</sup>, 王志广<sup>2</sup>

1. 河南科技大学, 河南 洛阳 471003; 2. 河南天海电器有限公司, 河南 鹤壁 458030

**摘要:**采用热模拟试验机对 82B 热轧盘条进行连续冷却实验, 利用光学显微镜和扫描电镜对不同冷却速率下试样的金相组织和形貌进行观察, 并测定其索氏体片层间距. 结果表明, 当冷却速率小于 4 °C/s 时, 82B 热轧盘条中存在珠光体(P)和索氏体(S)组织; 冷速等于 4 °C/s 时, 试样中出现少量的马氏体(M)和贝氏体(B); 当冷却速率大于 4 °C/s 时, 随着冷却速率加快, 最终相变组织为马氏体(M)和珠光体(P). 随着冷却速率增大, 索氏体的片层间距减小, 且在同一冷速下索氏体片层间距由边部向心部逐渐增大. 在 82B 热轧盘条轧后冷却过程中, 最佳冷却速率小于 4 °C/s.

**关键词:**82B 盘条; 冷却速率; 相变; 珠光体

**中图分类号:** TG142.4

**文献标识码:** A

82B 热轧盘条主要用于生产 1860 MPa 及以上级别的低松弛预应力混凝土结构用钢丝和钢绞线. 因其具有高强度和良好的强韧性等特点, 被广泛应用于高层建筑、铁路轨枕、桥梁以及水利工程等重要的机械、工程建设等领域<sup>[1-5]</sup>. 在线材生产过程中, 线材轧后的温度和冷却速率对其内部组织结构和力学性能, 以及产品的最终质量都有着极大的影响. 因此, 在 82B 热轧盘条的实际生产过程中, 轧后如何控制冷却速率, 对最终生产的 82B 热轧盘条的质量起着关键的作用<sup>[6-9]</sup>.

本文介绍了 82B 热轧盘条在不同冷却速率下, 其内部组织的变化规律, 确定了 82B 热轧盘条在不同冷速下的温度相变区, 为提高 82B 热轧盘条产品质量提供了理论依据.

## 1 实验方法

试验材料为某线材厂生产的  $\Phi 9\text{mm}$  82B 热轧盘条, 其化学成分列于表 1. 将试料加工成  $\Phi 8\text{mm} \times 60\text{mm}$  圆棒试样, 在 Gleeble-1500 热模拟试验机上进行连续冷却转变实验. 实验方案如图 1 所示. 以

25 °C/s 将  $\Phi 8\text{mm} \times 80\text{mm}$  的圆棒试样加热到 900 °C 保温 15 min, 再以 10 °C/s 冷却到 650 °C, 最后, 以不同冷速冷却至室温. 用光学显微镜和扫描电镜观察不同冷速下试样的金相组织, 并测定索氏体片层间距.

表 1 试验用钢的化学成分

Table 1 The chemical composition of the tested steel

成分	C	Si	Mn	P	S	Cr
含量 w/%	0.82	0.24	0.76	0.005	0.008	0.35

## 2 实验结果与讨论

### 2.1 控冷工艺对组织的影响

将经热模拟控冷工艺处理的试样进行金相组织观察, 如图 2 所示. 从图 2 可以看出, 当冷却速率小于 4 °C/s 时, 试样中有珠光体(P)和索氏体(S)组织; 当冷速等于 4 °C/s 时, 试样中出现少量马氏体(M)和贝氏体(B)组织; 随着冷却速率的增加, 珠光体(P)和索氏体(S)组织的数量减少, 马氏体(M)和贝氏体(B)组织的数量增多; 当冷却速率大于 15 °C/s 时, 试样组织全部为马氏体(M)和贝氏体(B).

收稿日期: 2011-04-21

作者简介: 王冠军(1972-), 男, 河南鹤壁人, 工程师, 硕士.

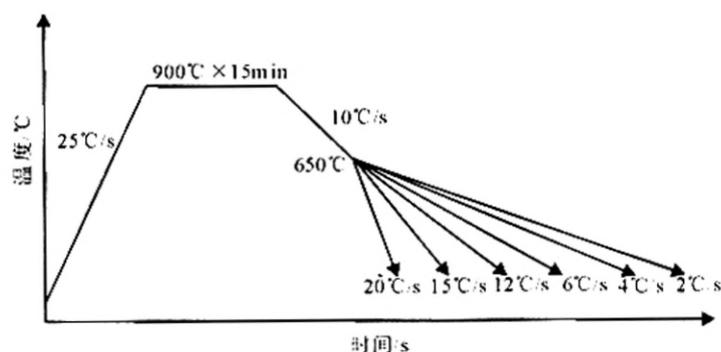


图1 82B热轧盘条的控冷工艺示意图

Fig. 1 The controlled cooling process graphic of 82B wire rod

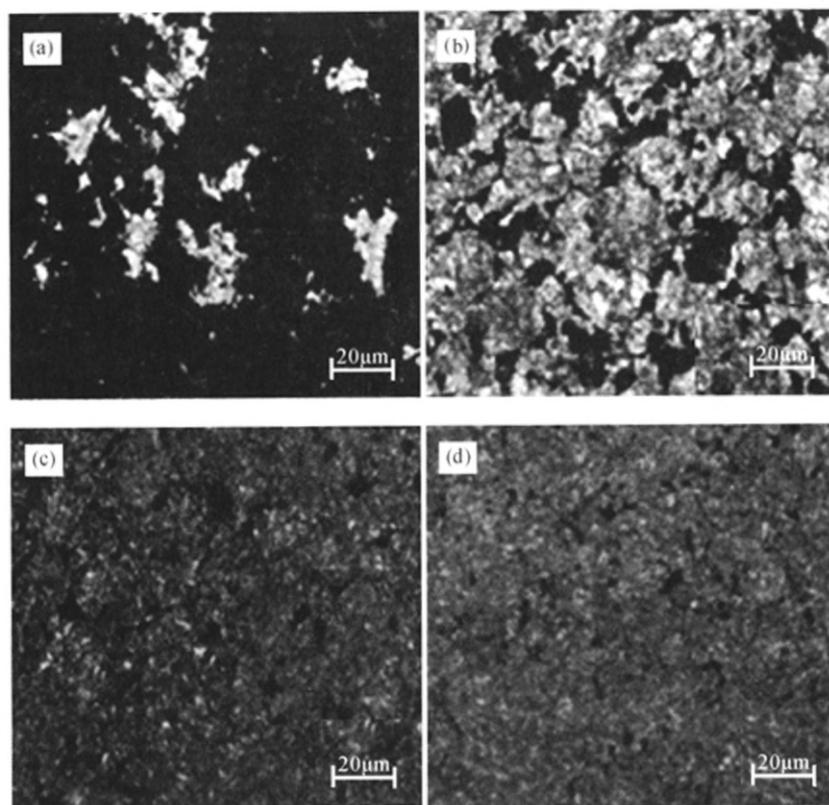


图2 不同冷速下的金相组织

Fig. 2 Microstructure of 82B wire rod at different cooling rates

(a) 2 °C/s; (b) 4 °C/s; (c) 15 °C/s; (d) 20 °C/s

利用扫描电镜进一步分析控冷工艺对线材相变及其组织的影响. 在不同冷速下 82B 热轧盘条的显微组织如图 3 所示. 从图 3 可以看出, 当冷速小于 4 °C/s 时, 试样中出现组织细小且分布均匀的珠光体 (P) 和索氏体 (S) 组织. 当冷却速率为 4 °C/s 时, 试样中出现马氏体 (M) 和贝氏体 (B), 其属于异常组

织; 当冷速为 6 °C/s 时, 马氏体 (M) 和贝氏体 (B) 的数量相对于冷速为 4 °C/s 时有所增加. 组织中出现马氏体 (M) 和贝氏体 (B) 将会降低 82B 热轧盘条的拉拔强度和延伸性. 因此, 要使组织中细小且分布均匀的珠光体 (P) 尽可能的多, 控冷工艺的最佳相变冷却速率应小于 4 °C/s.

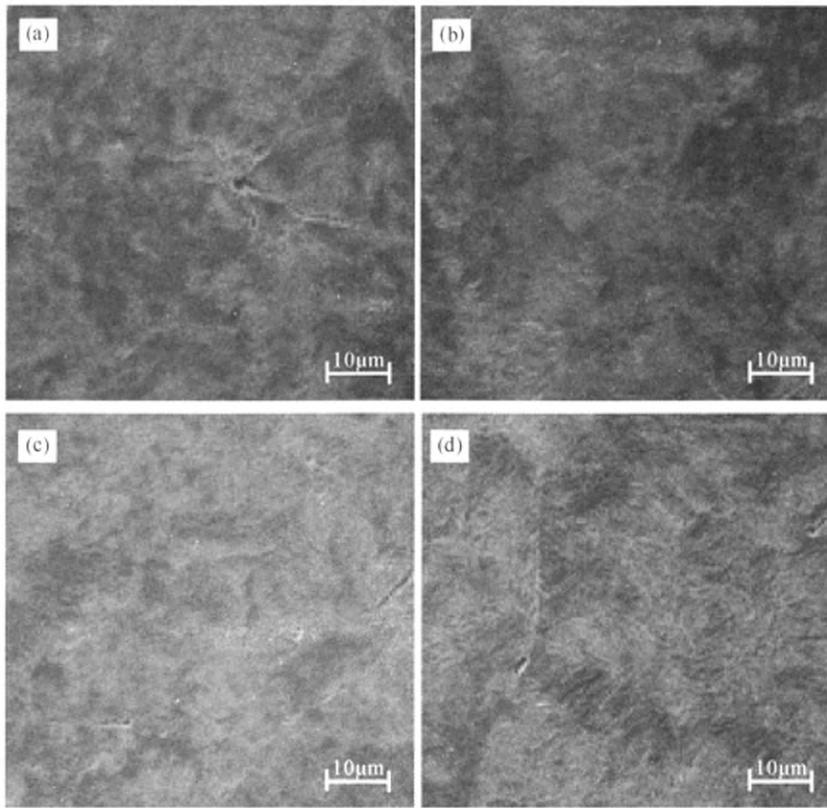


图 3 不同冷速下的扫描电镜照片

Fig. 3 The SEM images of 82B wire rod at different cooling rates  
(a)2 °C/s;(b)4 °C/s;(c)6 °C/s;(d)15 °C/s

2.2 冷却速率对索氏体片层间距的影响

珠光体片层间距减小时,铁素体与渗碳体片变薄,在外力作用下可以滑移而产生塑性变形,也可以弯曲,使钢的塑性变形能力增加.珠光体球团直径减小时,单位体积内片层的排列方向增多,使局部发生大量塑性变形而引起应力集中的可能性减小.因此,珠光体片层间距以及球团直径的减小既可提高强度又能改善韧性.

奥氏体向珠光体转变是在一定过冷度下通过扩散实现的,过冷度是发生转变的驱动力.因此,等温转变珠光体(索氏体)片层的成长是与转变温度紧密相关的,影响珠光体片层间距的主要因素是转变温度.随着转变温度降低,形成的珠光体组织越细.在

实际生产中,珠光体的转变是在连续冷却过程中进行的,相变分析时可将连续冷却过程划分为间隔 $\Delta t$ 的若干个等温过程的组合,冷却速率越慢,越接近于等温过程,获得的组织层间距越均匀,反之亦然.冷却速率越大,珠光体转变的温度区间也越大,开始转变的温度也越低,珠光体片层间距也就越小<sup>[10]</sup>.

在 82B 热轧盘条中索氏体的片层间距对产品的内部性能起着重要的作用,所以在实验中应对索氏体片层间距予以测量<sup>[11-15]</sup>.表 2 为不同冷却速率下测得的索氏体片层间距.由表 2 可知,冷速越小,索氏体片层间距越大;在同一冷速下,索氏体的片层间距由边部向心部逐渐增大.

表 2 不同冷速下 82B 热轧盘条中的索氏体片层间距

Table 2 The sorbite's lamellar spacing of 82B wire rod at different cooling rates

冷却冷速/(°C · s <sup>-1</sup> )	心部索氏体片层间距/µm	1/4 处索氏体片层间距/µm	边部索氏体片层间距/µm
2	130.3	123.3	119.1
4	119.2	117.8	115.4
6	108.5	101.3	97.4
15	99.8	94.7	91.2

综上所述,82B 轧后冷却过程中,冷却速率小于  $4\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ ,可保证在不出现马氏体组织的前提下,增加变形奥氏体的稳定性,推迟相变的发生,以得到索氏体率高和珠光体球团的理想组织。

### 3 结论

在 82B 热轧盘条轧后冷却过程中,当冷却速率低于  $4\text{ }^{\circ}\text{C/s}$  时,可得到珠光体(P)和索氏体(S)组织;当冷速高于  $4\text{ }^{\circ}\text{C/s}$  时,随着冷却速率加快,珠光体(P)和索氏体(S)减少,马氏体(M)和贝氏体(B)增多;当冷却速率大于  $15\text{ }^{\circ}\text{C/s}$  时,全部组织为马氏体(M)和贝氏体(B)。随着冷却速率增大,索氏体的片层间距减小,且在同一冷速下索氏体片层间距由边部向心部逐渐增大。在 82B 热轧盘条轧后冷却过程中,最佳冷却速率小于  $4\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ ,可以大大改善最终产品的性能。

#### 参考文献:

- [1] SUN X, CHOI K S, LIU W N, et al. Predicting failure modes and ductility of dual phases steels using plastic strain localization[J]. International Journal of Plasticity, 2009, 25(10): 1888-1909.
- [2] 程方. 合金结构钢[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1999: 228-232.
- [3] 覃之光, 桂美文. 82B 高碳钢连铸坯中心偏析及线材质量的改善[J]. 炼钢, 2005(3): 1-4.
- [4] LIU D L, WANG Y L, HUO X D, et al. Electron microscopic study on nanoscaled precipitation in low carbon steels[J]. J Chinese Electron Microscopy Society, 2002, 21(3): 283-287.
- [5] LIU Dongyu, BAI Bingzhe, FANG Hongsheng, et al. Effect of tempering temperature on the strength and toughness of a novel carbide free bainite/martensite duplex phase steel[J]. Journal of Iron and Steel Research International, 2002, 9(1): 46-49.
- [6] GARDEY B, BOUVIER S, RICHARD V, et al. Texture and dislocation structures observation in a dual-phase steel under strain-path changes at large deformation[J]. Materials Science and Engineering, 2005, A400-401: 136-141.
- [7] 覃之光, 桂美文, 周新龙. 高碳钢 82B 精炼过程夹杂物的研究[J]. 炼钢, 2004, 3(20): 37-38.
- [8] 龚桂仙, 杨志婷. 82B 盘条断裂分析[J]. 武钢技术, 2001(1): 29-31.
- [9] 张翔. 高碳钢 82B 线材的质量改进[J]. 轧钢, 2001, 18(4): 56-60.
- [10] RAINER K, MICHAEL K, MEINERT M, et al. Optimization of material properties for bars and wire rod[J]. MPT International, 2002(2): 56-62.
- [11] REN C, VARO R. Controlled cooling process in the Tianjin high speed wire rod mill[J]. MPT International, 1999, 22(2): 30.
- [12] 于同仁, 刘开开. 高碳钢盘条拉拔脆断原因分析[C]// 全国线材制品行业年会论文集. 南京: 中国金属学会轧钢学会, 2002: 208-211.
- [13] 王新江, 郭世宝, 巫宝振. PC 钢绞线用 82B 线材质量研究[J]. 金属制品, 2007(5): 27-30.
- [14] YAMAGUCHI M, INUI H, ITO K. High temperature structural intermetallics[J]. Acta Mater, 2000, 48: 306-308.
- [15] MORITO S, TANAKA H, KONISHI R, et al. The morphology and crystallography of lath martensite in Fe-C alloys[J]. Acta Mater, 2003, 51: 1789-1799.

## Study on the influence of cooling rate on phase transformation of 82B wire rod

WANG Guanjun<sup>1,2</sup>, YANG Jianxi<sup>1</sup>, WANG Wujun<sup>2</sup>, ZHANG Yilin<sup>2</sup>, WANG Zhiguang<sup>2</sup>

1. Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China;

2. Henan THB Electric CO., LTD, Hebi 458030, China

**Abstract:** In this paper, the continuous cooling transformation of 82B wire rod was studied by thermal simulation testing machine. Meanwhile, the microstructure and morphology of samples at different cooling rates were observed by optical microscopy and SEM, and the lamellar spacing of sorbite of samples was calculated. It was found that when the cooling rate was less than  $4\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ , pearlite and sorbite presented in the 82B wire rod; when cooling rate was equal to  $4\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ , a small amount of bainite and martensite existed; when greater than  $4\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ , the final phases were martensite and pearlite. Meanwhile the optimal cooling rate for phase changing of 82B wire rod should be controlled to be less than  $4\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ .

**Key words:** 82B wire rod; rate of cooling; phase transition; pearlite