

汽车大梁用钢 WL510 连续冷却过程的相变和组织

王生朝¹ 赵刚² 鲍思前²

(1 湖南工业大学冶金工程学院, 株洲 412000; 2 武汉科技大学材料与冶金学院, 武汉 430081)

摘要 通过 Thermecmator-Z 热模拟试验机研究了 WL510 钢(/% ; 0.090C, 0.13Si, 1.45Mn, 0.005S, 0.019P, 0.040Al, 0.020Ti, 0.030Nb) 粗轧后板坯(36 mm × 1 500 mm) 在 1 ~ 36 °C/s 连续冷却条件下的相变和组织的变化, 并用热膨胀法测定了试验钢连续冷却转变(CCT) 曲线。结果表明, 试验钢 WL510 在 1 ~ 23 °C/s 低冷却速度下, 主要形成多边形铁素体和少量珠光体; 当冷却速度 ≥ 30 °C/s 时, 主要组织为细针状铁素体、少量细珠光体和岛状马氏体/奥氏体(M/A)。随着冷却速度的增加, 试验钢组织明显变细。

关键词 汽车大梁用钢 WL510 CCT 曲线 热膨胀法 组织 相变

Phase Transformation and Structure of Steel WL510 for Automobile Beam during Continuous Cooling

Wang Shengzhao¹, Zhao Gang² and Bao Siqian²

(1 College of Metallurgical Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou 412000;
2 College of Material and Metallurgical Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081)

Abstract The phase transformation and structure of rough rolled slab (36 mm × 1 500 mm) of steel WL510 (/% ; 0.090C, 0.13Si, 1.45Mn, 0.005S, 0.019P, 0.040Al, 0.020Ti, 0.030Nb) during continuous cooling with 1 ~ 36 °C/s have been studied by a Thermecmator-Z thermal mechanical simulator, and the continuous cooling transformation (CCT) curves are measured by thermal dilatometer method. Results show that at low cooling rate 1 ~ 23 °C/s, polygonal ferrite and minor pearlite are mainly formed in test steel WL510; as the cooling rate ≥ 30 °C/s, the main structure in test steel is fine acicular ferrite, minor fine pearlite and martensite/austenite islands. With increasing cooling rate, the structure of test steel is finer.

Material Index Steel WL510 for Automobile Beam, CCT Curves, Thermal Dilatometer Method, Structure, Phase Transformation

汽车大梁钢 WL510 是汽车用钢的重要组成部分, 具有优良的冷冲压成型性能、低温韧性和抗疲劳性能, 能满足多种载重车和轻型车等汽车零部件的生产和使用要求, 主要用于冲压载重汽车和轻型汽车的车架纵梁、横梁等结构件^[1-2]。其轧后冷却条件对于组织演变起着重要的作用, 它对相变、组织性能关系有着重要的影响, 合理的冷却速度是获得理想组织的前提条件, 正确制定冷却工艺, 必须充分了解工艺参数对轧后奥氏体相变的影响规律^[3-4]。本实验结合热连轧带钢厂生产的 WL510 钢种, 采用 Thermecmator-Z 热模拟实验机, 模拟现场热轧工艺条件。对轧后冷却过程的相变行为进行研究, 有热膨胀法绘制该钢种动态 CCT 曲线, 研究不同冷却速度条件对高温奥氏体连续冷却相变的影响, 分析了连续冷却条件下的组织转变规律。

1 试验材料和设备

试样取自生产现场粗轧后板坯(36 mm × 1 500 mm), 加工成 Φ8 mm × 12 mm 系列试样(编号为

S1 ~ S8), 试样两端压有 0.2 mm 深度凹槽, 以存放润滑剂。其化学成分如表 1。试验设备采用从日本引进的 Thermecmator-Z 热模拟机, 测试时试样处在真空条件下。

表 1 实验用钢 WL510 的化学成分 / %

Table 1 Chemical composition of test steel WL510 / %							
C	Si	Mn	S	P	Al	Ti	Nb
0.090	0.13	1.45	0.005	0.019	0.040	0.020	0.030

2 试验目的和方案

2.1 试验目的

在热模拟实验机上模拟轧制工艺条件, 测定 WL510 钢种的 CCT 图及观测不同冷却速度条件下样品的微观组织。实验目的主要有两方面:

(1) 绘制动态 CCT 曲线, 测量不同冷却速度条件下, 连续冷却过程中相变发生时, 各组织组成物的开始转变温度和开始转变时间及终止转变温度和终止转变时间;

(2) 观察试样的显微组织,分析不同冷却条件对材料微观组织的影响。

2.2 试验方案

考虑试验设备条件和符合生产现场的工艺条件,制定如下工艺方案:

(1) 将试样以 10 °C/s 的速度加热到 1 200 °C,保温 10 min,以使合金元素(Nb)充分溶解;再冷却到形变温度,压缩变形 4 道次,模拟生产现场的 7 道次轧制,变形工艺参数见表 2;

(2) 试样的变形程度(真变形)为 1.19,接近试验设备所能允许的最大变形程度,且变形程度在道次间的分配和生产现场相仿;

(3) 4 个道次的变形温度的制定:第 1 个道次的温度选为精轧第 1 道次的轧制温度 TF1,此时温度在再结晶温度(一般为 950 °C 左右)之上;第 2 道次的温度选在再结晶温度以下的 945 °C;第 3 道次选用 945 °C 与第 7 机架出口温度的平均值;第 4 道次选第 7 机架的出口温度 TF7。变形速度为穿带变形速度和加速后的变形速度的平均值;

(4) 冷却速度 1 ~ 36 °C/s,覆盖研究钢种实际冷却速度范围,开始冷却温度取 860 °C。冷却介质采用气冷方式,冷却速度分别采用 1、2、5、9、15、23、30、36 °C/s;

(5) 采用膨胀法测量相变点,记录温度-膨胀曲线,绘制 CCT 曲线。

表 2 WL510 钢热模拟试验变形工艺参数

Table 2 Parameters of deformation process for thermal simulated test of steel WL510

道次	加热温度/°C	保温时间/min	冷却速度/(°C·s ⁻¹)	变形温度/°C	真变形	变形速度/s ⁻¹	道次间隙时间/s	再次变形
1	1 200	10	20	1 000	0.36	5.4	4.46	是
2				945	0.29	16.35	1.94	是
3				900	0.31	22.17	1.5	是
4				860	0.23	20.15	-	否

2.3 试验样显微组织的测定

将热模拟试样从垂直于截面直径 1/3 处用线切割机切开,制成金相试样(经过镶样、磨样、抛光、腐蚀等处理工序),通过德国的 OPTON 公司生产 IBAS2000 光学显微镜,拍照观察分析其组织成分。

3 试验结果与分析

3.1 临界转变点的确定

根据膨胀仪所记录的膨胀量随温度的变化关系,可得到绝对膨胀量-温度曲线。确定相变温度,

通常采用极值法、切线法和平均法等方法^[5]。采用平均法对曲线进行处理可得到钢临界点如表 3 所示。

表 3 不同冷却速度下 WL510 钢的相变温度和时间

Table 3 Temperature and time of phase transformation of steel WL510 at different cooling rate

试样编号	冷却速度/(°C·s ⁻¹)	开始转变温度/°C	开始转变时间/s	结束转变温度/°C	结束转变时间/s
S1	1	784	76	650	210.0
S2	2	756	52	617	121.5
S3	5	746	22.8	577	56.5
S4	9	722	15.3	554	34.0
S5	15	700	10.7	535	21.7
S6	23	683	7.7	495	15.9
S7	30	640	7.3	487	12.4
S8	36	613	6.9	471	10.8

转变时间的计算如下式:

$$t_{\text{开始}} = \frac{T_{\text{终}} - T_{\text{开始}}}{V_{\text{冷却速度}}}$$

式中: $T_{\text{终}}$ - 最终道次的变形温度/°C; $T_{\text{开始}}$ - 相变开始温度/°C; $V_{\text{冷却速度}}$ - 冷却速度/(°C·s⁻¹)。如 S1,可以得到 $t_{\text{开始}} = (860 \text{ °C} - 784 \text{ °C}) / 1 (\text{°C} \cdot \text{s}^{-1}) = 76 \text{ s}$ 。同理算出结束转变时间为 210 s,其它试样的开始转变时间和终止转变时间依照此计算方法得出。

3.2 CCT 曲线的绘制

表 3 中不同的冷却速度下开始转变温度和开始转变时间,以及终止转变温度和终止转变时间描绘在以“温度-时间(对数)”为坐标的冷却曲线上,然后分别连接起来,得到 WL510 钢在该冷却速度范围内的动态 CCT 曲线,各个相变点的连线即为相变开始线和相变终止线^[6]。一般说来,亚共析钢的相图包括 3 个部分,即奥氏体、先共析铁素体和珠光体^[7]。本实验中的试样的碳含量为 0.09% 左右,产生的珠光体数量比较少。

从图 1 可以看出,随着冷却速度的增大,奥氏体-铁素体实际相变温度就越低,同时冷却速度越大珠光体转变温度范围就越小。

3.3 金相图片及分析

将经热模拟实验后的各个试样经过镶样、磨样、抛光后,采用 4% 硝酸酒精作为腐蚀剂,腐蚀时间为 3 ~ 5 s,然后在光学显微镜下观察其金相组织如图 2 所示,试样 S1 ~ S8 的冷却速度依次为 1、2、5、9、15、23、30、36 °C/s。

对在不同的冷却条件下热模拟试验后试样的显微组织金相图片进行定性的分析。从试样(S1 ~ S8)的金相照片(图 2a ~ h)可以看出,随着冷却速度

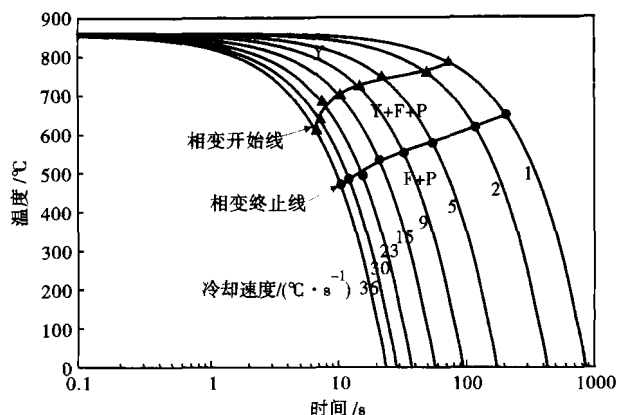


图 1 试验钢 WL510 的 CCT 曲线
Fig. 1 CCT curves of test steel WL510

的提高,组织逐渐变细。当冷却速度为 1 °C/s 时,组织主要为多边形铁素体和少量的珠光体,铁素体相对比较粗大,如图 2(a);当冷却速度为 5 °C/s 时,组织主要为多边形铁素体、珠光体和少量 M/A 组织,先析出铁素体在原奥氏体晶界形核,并向晶粒内长大,如图 2(b);当冷却速度提高到 30 °C/s 以上时,如图 2(g) 和图 2(h),少量的多边形铁素体先析出,主要组织为细针状铁素体、少量细珠光体和岛状 M/A 组织,第 2 相的 M/A 组织均匀的分布在针状铁素体基体上。

4 结论

(1) 轧后的冷却速度决定了奥氏体组织相变的

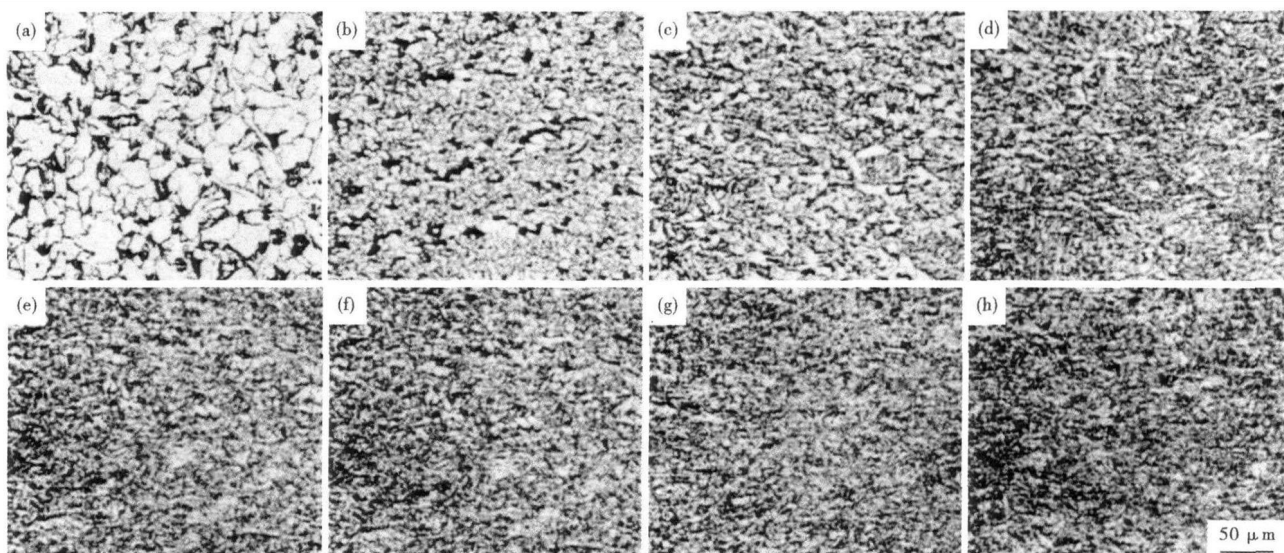


图 2 冷却速度对试验钢 WL510 组织的影响:冷却速度/(°C·s⁻¹):(a)1;(b)2;(c)5;(d)9;(e)15;(f)23;(g)30;(h)36

Fig. 2 Effect of cooling rate on structure of steel WL510, cooling rate/(°C·s⁻¹): (a) 1; (b) 2; (c) 5; (d) 9; (e) 15; (f) 23; (g) 30; (h) 36

完成程度及相变后的组织和结构,对带钢的金相组织和力学性能的影响很大。

(2) 随着冷却速度的逐渐增大,试样组织的晶粒尺寸减小,组织逐渐变细,并且铁素体、珠光体量逐渐减少,铁素体由多边形铁素体变成针状铁素体,这对提高组织强度和塑性有重要的作用。

湖南省科学技术厅科技计划项目资助(2011GK3147)

参考文献

- 1 杨澄. 汽车大梁板 WL510 钢的性能控制[J]. 金属热处理, 2011, 36(10): 10-11.
- 2 毛新平, 王中丙, 林振源, 等. 电炉 CSP 流程低碳高强汽车大梁钢的开发[J]. 钢铁, 2004, 39(9): 418-421.

- 3 衣海龙, 杜林秀, 王国栋, 等. 含铌微合金低碳钢的连续冷却过程的相变[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2005, 26(8): 743-746.
- 4 Manohar P A, Chandra T. Continuous Cooling Transformation Behavior of High Strength Microalloyed Steels for Linepipe Applications[J]. ISIJ International, 1998, 38(7): 766-768.
- 5 刘宗昌. 材料组织结构转变原理[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006.
- 6 YB/T5127-1993. 钢的临界点测定方法(膨胀法)[S]. 北京: 中国标准出版社, 1994.
- 7 崔忠圻. 金属学与热处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.

王生朝(1970-), 男, 博士研究生, 副教授, 2004 年武汉科技大学毕业, 材料加工研究。E-mail: Super_wsz@163.com

收稿日期: 2012-05-21