

# 15MnVB 钢 160 mm × 160 mm 铸坯热变形奥氏体连续冷却转变行为

李世琳<sup>1,2</sup> 阮士朋<sup>1,2</sup> 王利军<sup>1,2</sup> 王宁涛<sup>1,2</sup>

(1 邢台钢铁有限责任公司技术中心, 邢台 054027; 2 河北省线材工程技术研究中心, 邢台 054027)

**摘要** 采用 Gleble-1500 热模拟机测定了 15MnVB 钢在 0.05 ~ 20 °C/s 冷速下连续冷却转变的膨胀曲线, 结合光学显微镜的微观组织观察, 测绘了该钢热变形奥氏体连续冷却转变过程中的动态 CCT 曲线; 研究了其连续冷却转变产物的组织形态和硬度。实验结果表明, 15MnVB 钢在 0.05 ~ 20 °C/s 冷却速率下的组织主要由铁素体 + 珠光体、铁素体 + 珠光体 + 贝氏体、铁素体 + 珠光体 + 贝氏体 + 马氏体、贝氏体 + 马氏体组成。

**关键词** 15MnVB 钢 铸坯 热模拟 CCT 曲线

## Continuous Cooling Transformation Behavior of Hot Deformation Austenite in 15MnVB Steel 160 mm × 160 mm Casting Billet

Li Shilin<sup>1,2</sup>, Ruan Shipeng<sup>1,2</sup>, Wang Lijun<sup>1,2</sup> and Wang Ningtao<sup>1,2</sup>

(1 Technology Center, Xingtai Iron and Steel Corp Ltd, Xingtai 054027;

2 Hebei Province Engineering and Technology Research Center for Wire Rod, Xingtai 054027)

**Abstract** By measuring the dilatometric curves of 15MnVB steel with cooling speed 0.05 ~ 20 °C/s on Gleble-1500 thermo-mechanical simulator, and combining with metallographic analysis, a CCT diagram of hot deformed austenite in continuous cooling transformation was obtained, and the products microstructure and hardness of the continuous cooling transformation occurring in steel 15MnVB was investigated. The results show that the microstructure of the steel consists of ferrite + pearlite, ferrite + pearlite + bainite, ferrite + pearlite + bainite + martensite and bainite + martensite at the cooling rate from 0.05 °C/s to 20 °C/s.

**Material Index** 15MnVB Steel, Casting Billet, Thermal Mechanical Simulation, CCT Curves

15MnVB 作为低碳马氏体淬火用钢, 在淬火及低温回火后, 不但具有高强度与良好的塑性、韧性相结合的特点, 同时还具有低的冷脆转化温度; 常用于 10.9 ~ 12.9 级高强、超高强级别的螺栓用钢, 如汽车发动机连杆螺栓、汽车发动机缸盖螺栓、半轴螺栓等<sup>[1]</sup>。实际生产过程中, 若工艺参数控制不当, 转变后可能产生魏氏组织、贝氏体和马氏体组织, 不利于产品的进一步拉拔加工。为了保证热加工过程中产品的组织性能, 获得制订合适加工工艺的理论依据, 有必要对该钢种的动态连续冷却转变曲线 (CCT) 进行测定与分析<sup>[2-6]</sup>。

动态 CCT 曲线的测试主要是以膨胀法并结合金相分析进行。过冷奥氏体连续冷却转变过程中的温度-膨胀曲线是在热模拟试验机上进行的, 组织观察主要在金相显微镜下进行。

### 1 实验材料及方法

#### 1.1 实验材料

15MnVB 钢冶炼及轧钢工艺流程: 转炉 → LF → RH → 280 mm × 325 mm 方坯连铸 → 开坯 160 mm ×

160 mm → 加热 → 高压水除鳞 → 控制轧制 → 控制冷却 → 精整 → 检验 → 打包。

实验材料取自热轧坯 (断面 160 mm × 160 mm) 试样, 经锯床切割后加工成哑铃状, 具体尺寸及形状如图 1 所示。15MnVB 试样的化学成分如表 1 所示。

#### 1.2 实验方法

采用 Gleble-1500 热模拟试验机上测定 15MnVB

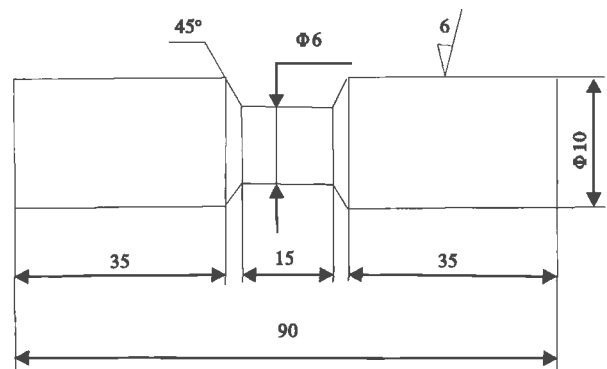


图 1 动态 CCT 曲线测定所用的加工试样图

Fig. 1 Diagram of testing sample for measuring dynamic CCT curves

表 1 15MnVB 钢化学成分/%

Table 1 Chemical composition of 15MnVB steel/%

C	Si	Mn	S	P	V	B
0.15	0.18	1.40	0.008	0.017	0.10	0.002

钢过冷奥氏体连续冷却转变过程中的膨胀曲线,由膨胀曲线确定相变温度。实验方案为:以 10 °C/s 速度升温到 1 100 °C ,保温 5 min;然后以 10 °C/s 降

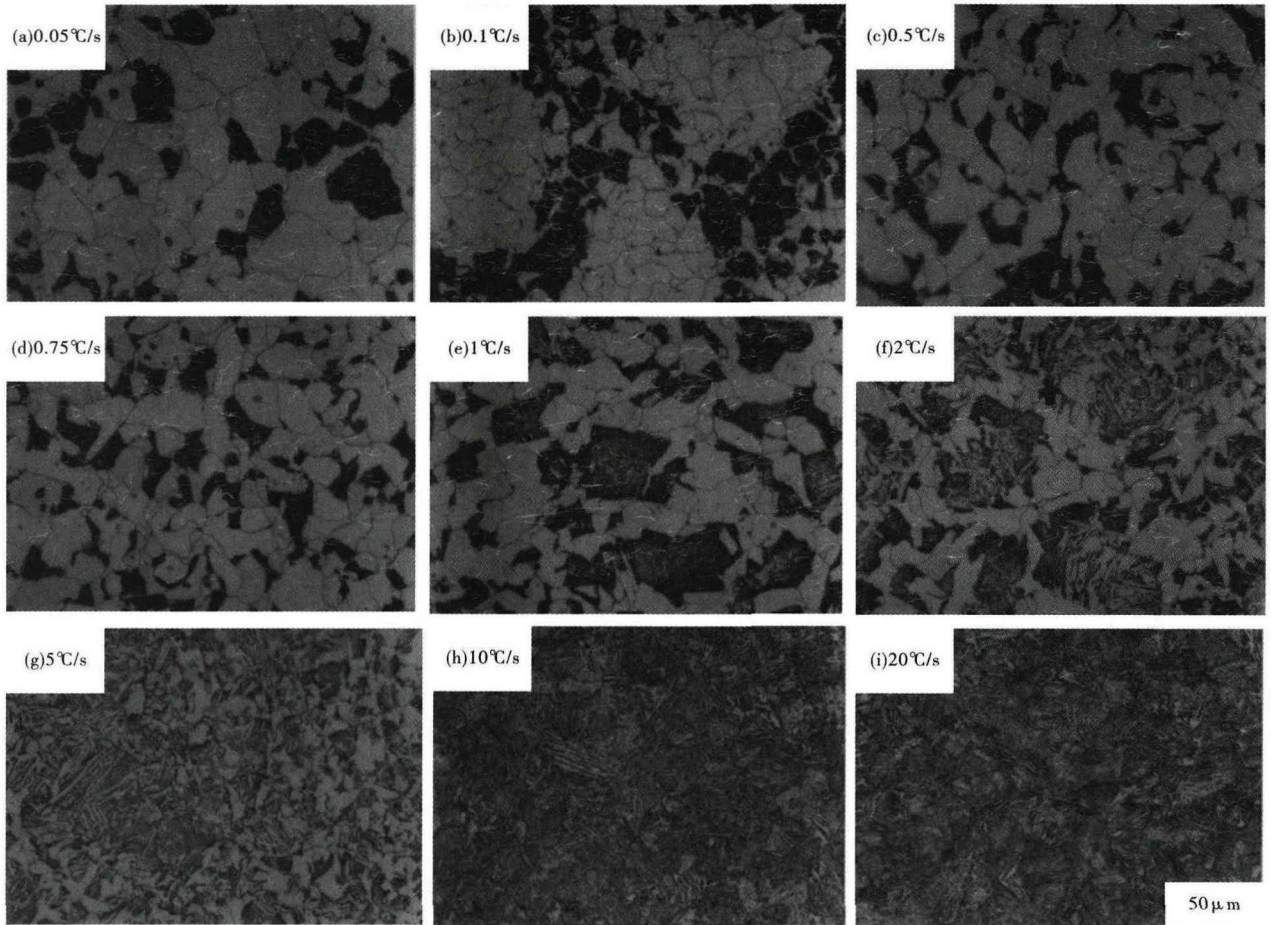


图 2 15MnVB 钢在不同冷却速度下的显微组织

Fig. 2 Microstructure of 15MnVB steel under different cooling rates

温到 935 °C ,保温 3 s 后,以 20/s 的变形速率进行应变量为 35% 的应变;再停留 1 s 后,以 20/s 的变形速率进行应变量为 30% 的应变;应变完后以 20 °C/s 降温到 850 °C ,分别以 0.05、0.1、0.5、0.75、1、2、5、10、15、20 °C/s 的速度进行冷却。用金相显微镜分析转变后的显微组织,采用 HRB 硬度计测定各冷却试样的硬度。

## 2 实验结果及分析

### 2.1 不同冷却速度下的显微组织

不同冷却速度下所发生的组织转变情况如图 2 所示。可以看出,冷却速度影响着变形后过冷奥氏体的组织转变。在冷却速度较低即冷速为 0.05、0.1 °C/s 时,组织为聚集的块状 F 和 P;当冷却速度为 1 °C/s 时,得到 F + P 组织,但此时部分 F 素体已

呈现针状即魏氏组织形貌;当冷却速度为 2 °C/s 时,组织中出现了少量的贝氏体,即对应的室温组织主要为铁素体、珠光体和少量的贝氏体;随着冷却速度的增加,开始出现 M,当冷却速度增加到 10 °C/s 时,铁素体消失,出现 B + M;随着冷却速度的继续增加,贝氏体含量减少,马氏体含量增加。因此,从冷却曲线上分析,15MnVB 钢容易出现混合组织,只有在合适的冷却速度下才能得到均匀的块状的 F + P 组织,此时的冷却速度为 0.5 ~ 0.75 °C/s。

### 2.2 不同冷却速度下的硬度

对不同冷却速度下的试样进行硬度检测,结果见图 2。由图 2 可知,随着冷却速度从 0.05 °C/s 到 20 °C/s 时,HRB 硬度值也从 79.7 增加到 108.8,硬度值明显增大;且当冷却速度在 0.05 ~ 1 °C/s 时,硬度处于较低水平,增加缓慢,结合组织分析可知此时硬

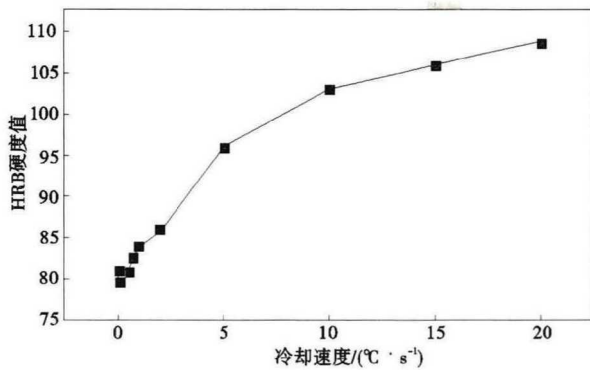


图3 冷却速度对15MnVB钢硬度的影响

Fig. 3 Effect of cooling rate on hardness of 15MnVB steel

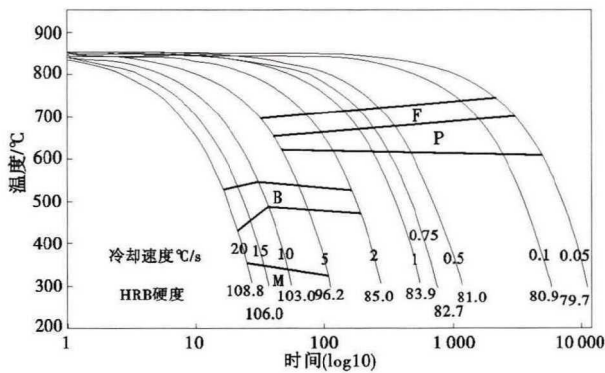


图4 15MnVB钢热变形奥氏体连续冷却过程中的动态CCT曲线

Fig. 4 Dynamic CCT curve of 15MnVB steel in continuous cooling transformation

度的增加主要是铁素体含量减少,珠光体含量增加造成;当冷却速度在2~20 °C/s时,硬度呈现快速增加的趋势,此时硬度变化主要是因为随着冷却速度的增加,硬相贝氏体、马氏体体积分数逐渐增多。当冷却速度达到20 °C/s时,其组织中除了少量的贝氏体外,其余大部分都是马氏体,因而硬度值达到最大。为了保证后续良好的冷镦成形性能,材料的HRB硬度值一般应控制在85以下,对应此钢种,冷却速度应控制在2 °C/s以下。

### 2.3 动态CCT曲线测定和分析

根据Gleeble-1500热模拟试验机上采集的温

度-膨胀曲线,采用偏量法和图2的显微组织确定不同冷却速度下各个相变点:铁素体开始转变点 $F_s$ 、铁素体结束转变点 $F_f$ 和珠光体开始转变点 $P_s$ 、珠光体结束转变点 $P_f$ 、贝氏体开始转变点 $B_s$ 、和马氏体开始转变点 $M_s$ 。再根据相变点计算出不同冷却速度下达到相变点所需要的时间,这样就可以在温度-时间(对数)坐标上绘出15MnVB钢的连续冷却转变(CCT)曲线。

图3为在本试验条件下的15MnVB钢的连续冷却转变动态CCT曲线。可见,当冷却速度小于2 °C/s时,过冷奥氏体主要转变为铁素体和珠光体;当冷却速度为2 °C/s时,出现了贝氏体组织转变;当冷却速度 $\geq 5$  °C/s时,珠光体组织转变中止;当冷却速度 $\geq 5$  °C/s时,出现了马氏体组织转变;当冷却速度为20 °C/s时,以马氏体组织转变为主。

### 3 结论

(1)用膨胀法结合金相分析测得了15MnVB钢过冷奥氏体连续冷却转变过程的动态CCT曲线,为其控轧控冷工艺的制定提供了依据。

(2)对于15MnVB钢而言,为获得均匀的珠光体+铁素体的组织和合适的硬度,以利于提高后续加工,连续冷却速度应控制在0.5~0.75 °C/s为宜。

### 参考文献

- [1] 项程云. 合金结构钢 [M]. 北京:冶金工业出版社,1999:316.
- [2] 徐光,王巍,张鑫强,等. 金属材料CCT曲线测定及绘制 [M]. 北京:化学工业出版社,2009:119.
- [3] 马占福. 控制轧制和轧后控冷对钢材组织及性能影响的研究 [D]. 西安:西安建筑科技大学,2004:8-10.
- [4] 宋维锡. 金属学 [M]. 北京:冶金工业出版社,1989:372.
- [5] 阮士朋,赵爱民,崔娟,等. 硼微合金化中碳冷镦钢10B33的连续冷却转变行为 [J]. 金属热处理,2016,41(9):6-9.
- [6] 张志宏,薛向欣. 含硼微合金钢的连续冷却相变行为 [J]. 材料热处理学报,2012,32(2):111-115.

李世琳(1982-),女,硕士(2008年四川大学),高级工程师,2005年河北工业大学(本科)毕业,线材产品研发。  
E-mail:shilin@126.com

收稿日期:2018-11-28