

· 组织和性能 ·

## 终轧温度对热轧中碳含硼钢 40B 实际晶粒度的影响

黄 镇

(江阴兴澄特种钢铁有限公司, 江阴 214429)

**摘 要** 研究了终轧温度(880~935 ℃)对热轧中碳含硼钢 40B 实际晶粒度的影响。在开轧温度 990~1 010 ℃ 的情况下,通过控制圆钢轧制节奏,实现不同的终轧温度,得出终轧温度降低有利于改善 Φ32 mm 热轧中碳含硼钢的实际晶粒度。通过试验生产实践,并分析圆钢头、中、尾部 1/2 半径区域的纵向金相组织,发现当终轧温度在 880~890 ℃ 时,热轧中碳含硼钢 40B 的实际晶粒度最细小且均匀。

**关键词** 终轧温度 中碳含硼钢 40B 实际晶粒度

## Effect of Finishing Rolling Temperature on Actual Grain Size of Hot Rolled Medium Carbon Boron-Containing Steel 40B

Huang Zhen

(Jiangyin Xingcheng Special Steel Works Co Ltd, Jiangyin 214429)

**Abstract** The effect of finishing rolling temperature (880~935 ℃) on the actual grain size of hot rolled medium carbon boron steel 40B has been studied. With start rolling at 990~1 010 ℃, the different finishing rolling temperatures are achieved by controlling the rolling rhythm of round steel. It is verified that decreasing finishing rolling temperature is beneficial to improve the actual grain size of Φ32 mm hot rolled medium carbon boron steel. Through experimental production and analysis of the longitudinal metallographic structure in the radius 1/2 of the head, middle and tail of round steel, it is found that the actual grain size of hot rolled medium carbon boron steel is the smallest and uniform as the finishing rolling temperature is in the range of 880~890 ℃.

**Material Index** Finishing Rolling Temperature, Medium Carbon Boron-Containing Steel 40B, Actual Grain Size

中碳含硼钢由于其良好的淬透性,广泛应用于制造汽车零部件中的轴类零件。典型的等速万向节中间轴强化工艺包括渗碳淬火、中频淬火等<sup>[1]</sup>,在提高零件表面硬度和耐磨性的同时,使其芯部仍然保留圆钢热轧状态的铁素体+珠光体的金相组织,形成外硬内韧的特性,确保零件可以同时承受剪切应力和扭转应力。基于以上原因,零部件的芯部金相组织,即热轧圆钢的实际晶粒度必须细小且均匀。因为在常温下,金属的晶粒越细小,强度和硬度则越高,同时塑性韧性也越好<sup>[2]</sup>,从而保证汽车零部件的良好运行。

热加工后组织结构在奥氏体区的缓冷过程中将继续发生变化,力图消除加工硬化组织,这种变化仍然是再结晶过程,以变形储存能为驱动力并通过热化过程再结晶成核和长大而再生成新的晶粒组织,使系统由高能状态转变为较稳定的低能状态,这个自发过程就是静态再结晶<sup>[3]</sup>。金属热塑性变形过程中晶粒度的调整主要是通过动态和静态再结晶机制<sup>[4]</sup>,因此对于中碳含硼热轧圆钢,其静态再结晶发生在终轧结束之后,直接影响圆钢棒材的实际晶粒度大小。影响静态再结晶晶粒尺寸的因素包括

再结晶形核速率  $N$  和再结晶晶粒的成长速度  $G$ 。用  $d$  表示再结晶晶粒中心点之间的平均距离,则这 3 个参数之间有下列近似关系<sup>[5]</sup>。

$$d = \text{常数} (G/N)^{1/4}$$

其中再结晶晶粒的成长速度  $G = BE_s/\lambda$ , 其中  $B$  为晶界的迁移率,  $E_s$  为克分子的储存能。变形温度提高,晶界迁移率增大,即  $B$  增大,从而引起再结晶晶粒的成长速度  $G$  增大,进而导致再结晶晶粒中心点之间的平均距离  $d$  增大。

基于以上理论依据,为保证热轧中碳含硼钢实际晶粒度细小均匀,应该采取较低的终轧温度。结合实际生产需要,开展相应的工艺试验和研究,需找合适的终轧温度。

### 1 试验材料及方法

#### 1.1 试验材料

试验材料为直径 Φ32 mm 的热轧圆钢棒材,专门用于制造轿车传动系统轴类零件的中碳含硼钢 40B,制造工艺流程如下。

100 t BOF → 100 t LF → 100 t RH → CCM (200 mm × 200 mm) → 加热 → 轧制 (轧制 17 道次,成品直

径  $\Phi 32$  mm) → 切断 → 冷却 (冷床空冷) → 矫直 → 倒棱 → 无损探伤 → 成品检验 → 包装入库。

40B 钢的化学成分见表 1。

## 1.2 试验方法

在避免两相区轧制的前提下,为满足实际晶粒度不允许混晶的要求,设计从高到低 3 种不同的终轧温度进行试验生产;3 组试验进行时,均采用相同的加热工艺对连铸坯进行加热,保证开轧温度一致。试验批次连铸坯加热和轧制工艺如表 2 所示。

按照表 2 工艺对 40B 钢连铸坯进行加热后,3 组试验料的开轧温度基本一致;通过控制轧制节奏,实现不同的终轧温度。其中第 I 组终轧温度最高,第 III 组终轧温度最低,第 II 组介于二者之间。

从 3 个批次中各选取任意一支圆钢,在这支钢材的头部、中部和尾部分别取样,使用 4% 硝酸酒精腐蚀后,观察 1/2 半径区域纵向金相组织,对比其金相组织的差异。

## 2 结果分析讨论

从 3 个批次中各选取任意一支 40B 圆钢,在这支钢材的头部、中部和尾部分别取样,使用 4% 硝酸酒精腐蚀后,对比 3 个批次 1/2 半径区域纵向金相组织,结果如图 1、2、3 所示。

图 1 显示了 3 组不同终轧温度钢材头部纵向金相组织,其中,终轧温度 925 ~ 935 °C 的第 I 组钢材,钢材头部存在粗大晶粒,呈现明显的混晶现象;终轧

表 1 试验用 40B 钢的化学成分 / %

Table 1 Chemical composition of research steel 40B / %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	Ti	B
0.39	0.27	0.99	0.012	0.017	0.11	0.02	0.03	0.01	0.031	0.041	0.002 2

表 2 40B 钢试验批次连铸坯加热、开轧和终轧温度 / °C

Table 2 Continuous casting billet heating, start and finish rolling temperature of test batches of steel 40B / °C

组别	预热段	加热一段	加热二段	均热段	开轧温度	终轧温度
I	≤800	900 ~ 1 050	1 060 ~ 1 120	1 120 ~ 1 160	1 000 ~ 1 010	925 ~ 935
II	≤800	900 ~ 1 050	1 060 ~ 1 120	1 120 ~ 1 160	990 ~ 1 005	905 ~ 915
III	≤800	900 ~ 1 050	1 060 ~ 1 120	1 120 ~ 1 160	995 ~ 1 000	880 ~ 890

温度 905 ~ 915 °C 的第 II 组钢材,钢材头部晶粒较粗大,但是没有出现混晶现象;终轧温度 880 ~ 890 °C 的第 III 组钢材,钢材头部晶粒细小且均匀,未出现粗大晶粒,无混晶现象。

图 2 显示了 3 组不同终轧温度钢材中部纵向金相组织,其中,终轧温度 925 ~ 935 °C 的第 I 组钢材,钢材中部区域存在粗大晶粒,呈现明显的混晶现象;终轧温度 905 ~ 915 °C 的第 II 组钢材,钢材中部晶粒较粗大,同样出现了混晶现象;终轧温度 880 ~ 890 °C 的第 III 组钢材,钢材中部晶粒较前两组细小均匀,无混晶现象。

图 3 显示了 3 组不同终轧温度钢材尾部纵向金相组织,其中,终轧温度 925 ~ 935 °C 的第 I 组钢材,钢材尾部区域存在粗大晶粒,呈现明显的混晶现象;终轧温度 905 ~ 915 °C 的第 II 组钢材,钢材尾部出现了粗大晶粒;终轧温度 880 ~ 890 °C 的第 III 组钢材,

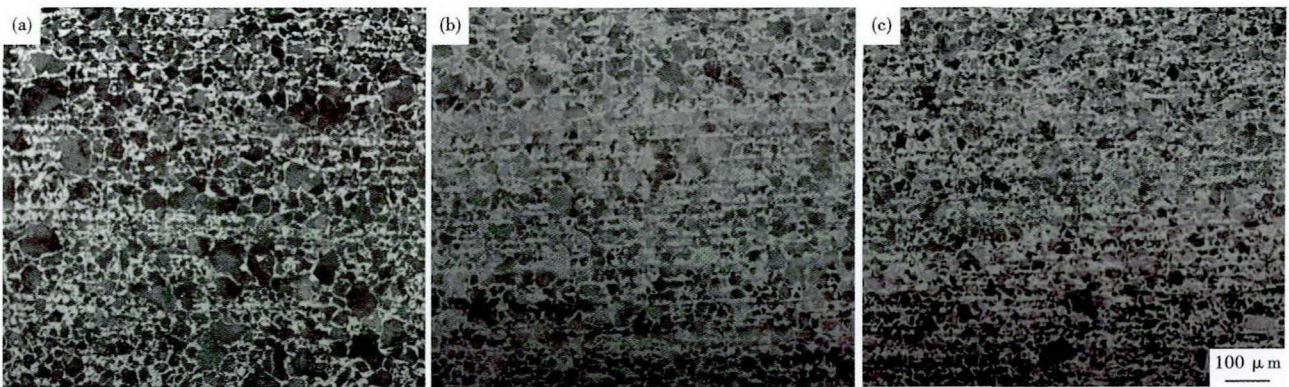


图 1  $\Phi 32$  mm 圆钢头部 1/2 半径区域金相组织,终轧温度:(a)925 ~ 935 °C;(b)905 ~ 915 °C;(c)880 ~ 890 °C

Fig. 1 Metallographic structure of 1/2 radius region in head part of  $\Phi 32$  mm round bar, finishing temperature: (a)925 ~ 935 °C;(b)905 ~ 915 °C;(c)880 ~ 890 °C

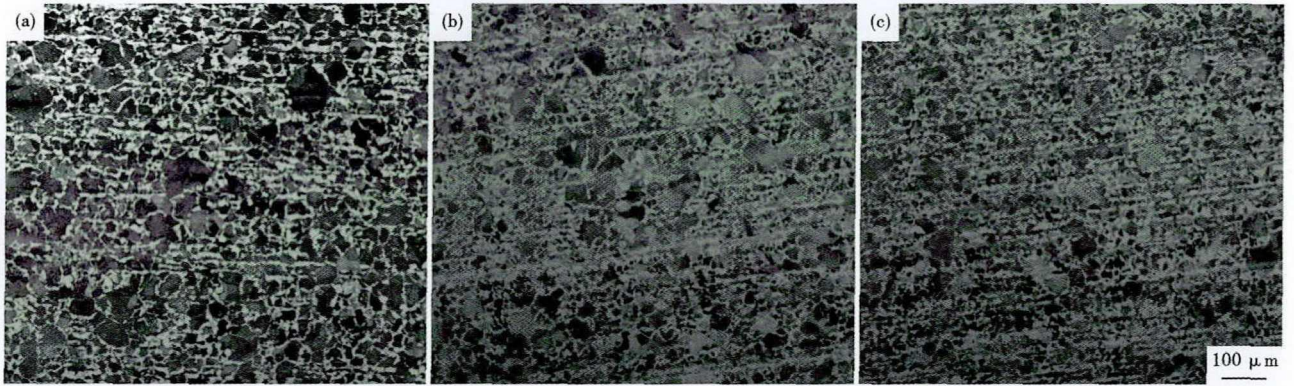


图 2 Φ32 mm 圆钢中部 1/2 半径区域金相组织, 终轧温度: (a)925 ~ 935 °C; (b)905 ~ 915 °C; (c)880 ~ 890 °C

Fig. 2 Metallographic structure of 1/2 radius region in median part of Φ32 mm round bar, finishing temperature: (a)925 ~ 935 °C; (b)905 ~ 915 °C; (c)880 ~ 890 °C

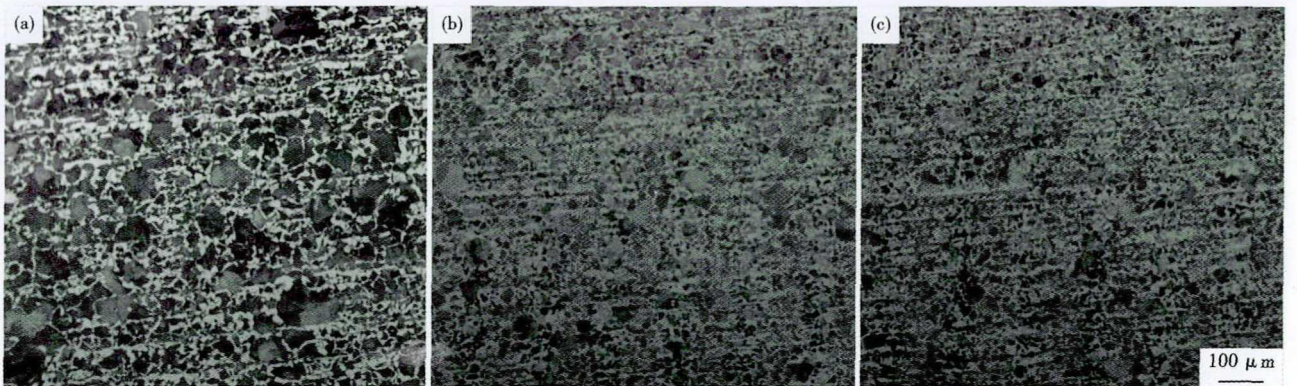


图 3 Φ32 mm 圆钢尾部 1/2 半径区域金相组织, 终轧温度: (a)925 ~ 935 °C; (b)905 ~ 915 °C; (c)880 ~ 890 °C

Fig. 3 Metallographic structure of 1/2 radius region in end part of Φ32 mm round bar, finishing temperature: (a)925 ~ 935 °C; (b)905 ~ 915 °C; (c)880 ~ 890 °C

钢材尾部晶粒细小均匀, 未出现粗大晶粒和混晶现象。

综上所述, 第 I 组钢材, 头、中、尾 3 个部位 1/2 半径区域都出现了明显的混晶组织; 第 II 组金相组织得到明显改善, 粗大晶粒明显减少, 但是钢材中部由于冷速慢仍出现了混晶现象; 第 III 组在头、中、尾均未出现粗大晶粒, 晶粒度细小均匀。

### 3 结论

(1) 在开轧温度一致的情况下, 随着终轧温度的降低, 中碳含硼钢的实际晶粒度逐步细小均匀, 微观组织变得越来越均匀。

(2) 当圆钢的终轧温度在 880 ~ 890 °C 时, 得到的中碳含硼钢, 其实际晶粒度细小, 金相组织均匀。

### 参考文献

- [1] 卢 曦. 轿车等速万向传动中间轴热处理工艺强化[J]. 材料热处理学报, 2015, 36(增刊 2): 41-44.
- [2] 崔忠圻, 刘北兴. 金属学与热处理原理[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004.
- [3] 张 聪. 碳锰钢再结晶行为研究[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2011.
- [4] 李 娜, 张 铮. 贝氏体塑料模具钢 SDP1 热变形再结晶行为研究[J]. 热加工工艺, 2018, 47(20), 63-66.
- [5] 黄 杰. 奥氏体的变形与再结晶及其对相变的影响[D]. 上海: 上海交通大学, 2005.

黄 镇(1972-), 男, 硕士(2004 年北京科技大学), 所长, 1996 年华东冶金学院(本科)毕业, 特殊钢研发。

E-mail: x961755@citicsteel.com

收稿日期: 2019-07-12