

高碳帘线钢 72A 连续冷却转变 (CCT) 的特性

王超¹ 赵刚¹ 蔡国庆¹ 程先舟² 欧阳标² 董素梅²

(1 武汉科技大学材料与冶金学院, 武汉 430081; 2 武汉钢铁集团公司, 武汉 430083)

摘要 采用热膨胀法, 通过 THERMECMASTOR-Z 热模拟实验机测试了高碳帘线钢 72A (0.72C, 0.53Mn, 0.22Si) 的连续冷却转变 (CCT) 曲线, 并分析了开始冷却温度 (840 ~ 930 °C) 和冷却速度 (0.8 ~ 22 °C/s) 对钢组织的影响。结果表明, 相同开始冷却温度条件下, 冷却速度越快, 相变时间越短; 相同冷却速度条件下, 随着开始冷却温度的升高, 到达相变开始转变温度的时间和到达转变终了温度的时间会延后; 提高开始冷却温度, 珠光体的百分含量增加, 珠光体片层间距减少, 有利于提高线材力学性能。

关键词 高碳帘线钢 CCT 组织

Features of Continuous Cooling Transformation (CCT) of High Carbon Steel 72A for Tyre Core Wire

Wang Chao¹, Zhao Gang¹, Cai Guoqing¹, Cheng Xianzhou², Ouyang Biao² and Dong Sumei²

(1 School of Materials and Metallurgy, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081;

2 Wuhan Iron and Steel Co., Wuhan 430083)

Abstract The continuous cooling transformation (CCT) curves of high carbon steel 72A (0.72C, 0.53Mn, 0.22Si) for tyre core wire has been measured by THERMECMASTOR-Z thermal simulation machine using thermal dilatation method, and the effect of start cooling temperature (840 ~ 930 °C) and cooling rate (0.8 ~ 22 °C/s) on structure of steel has been analyzed. Results showed that at same start cooling temperature, with increasing cooling rate, the phase transformation period decreased; at same cooling rate, with increasing start cooling temperature, the time reaching the start and end of phase transformation increased; Increasing start cooling temperature was available to increase pearlite percentage content and decrease interlamellar spacing and enhance mechanical properties of wire.

Material Index High Carbon Steel for Tyre Cord Wire, CCT, Structure

CCT 曲线反映的是过冷奥氏体在连续冷却条件下的转变规律, 对轧后控制冷却具有重要指导意义^[1]。通过对钢的 CCT 曲线的研究, 可以确定冷却工艺参数 (如开始冷却温度和冷却速度) 对相变温度、相变速度和组织等的影响。本文采用 THERMECMASTOR-Z 热模拟实验机的试验数据, 对高线 72A 帘线钢的连续冷却转变 CCT 曲线进行了研究, 讨论了冷却速度和开始冷却温度对相变的影响, 并通过金相试验分析了不同开始冷却温度对最终室温下显微组织的影响及对力学性能的影响。

1 实验方法

实验用钢为高速线材 72A 帘线钢, 化学成分 (%) 为: 0.72C、0.53Mn、0.22Si、0.010P、0.010S。实验取样于某厂高线精轧机组前的旋转卡断剪处, 试样加工成 $\Phi 8 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$ 的圆柱体。

连续冷却实验在 THERMECMASTOR-Z 热模拟

实验机上进行。将若干试样以 10 °C/s 的速度加热至 1100 °C, 保温 5 min 后再以 5 °C/s 的速度冷却至 1050 °C, 然后以 50 s⁻¹ 应变速率、60% 相对变形程度进行变形。根据 72A 帘线钢实际生产工艺参数控制范围, 为了接近现场生产情况, 实验中变形后的试样分别在 840, 870, 900, 930 °C 以 0.8, 5, 10, 25 °C/s 和淬火 5 种速度快速冷却, 测得温度-膨胀量曲线和膨胀量-时间曲线, 根据曲线数据确定相变温度和时间, 并用此数据在 excel 里绘制该钢种的连续冷却转变 CCT 曲线图。通过 LEICA DM6000 M 显微镜和 SEM Quant 400 扫描电镜分析该钢的组织 and 性能, 并通过 SISC IAS 软件测定淬火试样的晶粒尺寸。

2 实验结果和分析

2.1 CCT 曲线的绘制与分析

从 THERMECMASTOR-Z 热模拟实验机上获取时间、温度、膨胀量的数据。将相同开始冷却温度下

4 种不同冷却速度(除去淬火试样有 4 种)的温度-时间曲线分为 1 组,在每组曲线中,根据某一冷却速度下的温度-膨胀量曲线或膨胀量-时间曲线上的极值点对应的坐标,确定相变温度和时间,将各相变点标到温度-时间坐标上,横坐标均取对数刻度^[2],用连线法将同一组中不同冷却速度各物理意义相同的相变点(相变开始点或者相变结束点)连接起来即可绘出 CCT 曲线。

从图 1(a,b,c,d)可知,在某一相同开始冷却温度下,冷却速度越快,相变时间越短。其原因是随着冷却速度提高,过冷度增大,使得奥氏体到铁素体转变的自由焓差增大,晶界、位错等处的临界形核自由能与均匀形核时的临界形核自由能相比逐渐变小,故在晶界上越容易形核,相变易于进行,相变时间变短^[3]。

冷却速度为 10 °C/s(接近实际生产的冷速)的开始转变温度在 610~620 °C(图 1e)。

在某一冷速下,转变终了温度随开始冷却温度的升高,会有不同程度的升高(图 1f)。因为在某一冷速下,随着开始冷却温度的升高,72A 钢的连续转

变过程中在高温阶段停留的时间较长,具有的能量较高,在晶界上越容易形核长大,并且此时过冷度也较大,转变较快,因而转变终了温度在某一冷速下会有不同程度的升高。

随着开始冷却温度的升高,在某一相同冷速下,到达开始转变温度的时间和到达转变终了温度的时间会延后(图 1e,f)。因为在相同冷速下,开始冷却温度越高,转变孕育期越长,到达相应转变终了的时间也越长,因此到达转变开始温度的时间和到达转变终了温度的时间会延后^[4]。

2.2 金相组织的观察与分析

2.2.1 开始冷却温度对组织的影响

图 2(a,b)是冷却速度为 10 °C/s,开始冷却分别为 900,930 °C 时的试样的金相组织图。组织全部由铁素体(白色)和索氏体(黑色)组成。从图 2(a,b)中可以清楚看到铁素体含量,随温度的升高,铁素体含量减少,当温度为 930 °C 时,出现左右不均匀的铁素体,可见为了得到性能更好的均匀组织,开始冷却温度应该在 930 °C 以下,900 °C 附近。降低开始冷却温度会增加铁素体的含量,减少索氏体的含量。

2.2.2 冷却速度对组织的影响

图 2(a,c)是开始冷却温度为 900 °C,冷却速度分别为 10,22 °C/s 试样的金相组织图,组织全部由铁素体(白色)和索氏体(黑色)组成。从图 2(a,c)中可以清楚看到冷却速度越快,铁素体含量越少,加快冷却速度有利于提高索氏体的百分含量。但是过快的冷却速度会形成贝氏体或马氏体组织^[5]。

2.2.3 开始冷却温度对晶粒大小的影响

变形后试样在 840,870,900,930 °C 加热时的奥氏体晶粒尺寸,可通过在该温度淬火后测出。将试样腐蚀后在金相光学显微镜下观察,发现其组织均为针叶状马氏体,如图 3(a)。从表 1 可以看出,开始冷却温度越高平均晶粒直径增大,晶粒度减小。可见较低的开始冷却温度有利于得到较细的晶粒。

2.2.4 开始冷却温度对珠光体片层间距的影响

通过 SEM Quant 400 扫描电镜,拍摄珠光体片层图片并取得片层间距的数据。图 3(b,c)为冷却速度 10 °C/s,开始冷却温度分别为 840,900 °C 的珠光体的片层间距。开始冷却温度为 840,900 °C 平均片层间距分别为 155.424 nm、145.174 nm。从测量数据可以清楚看到,开始冷却温度越低,珠光体片层间距越大。而理论认为珠光体的片层间距越小,抗拉强度和屈服强度越大。因此提高开始冷却温度有

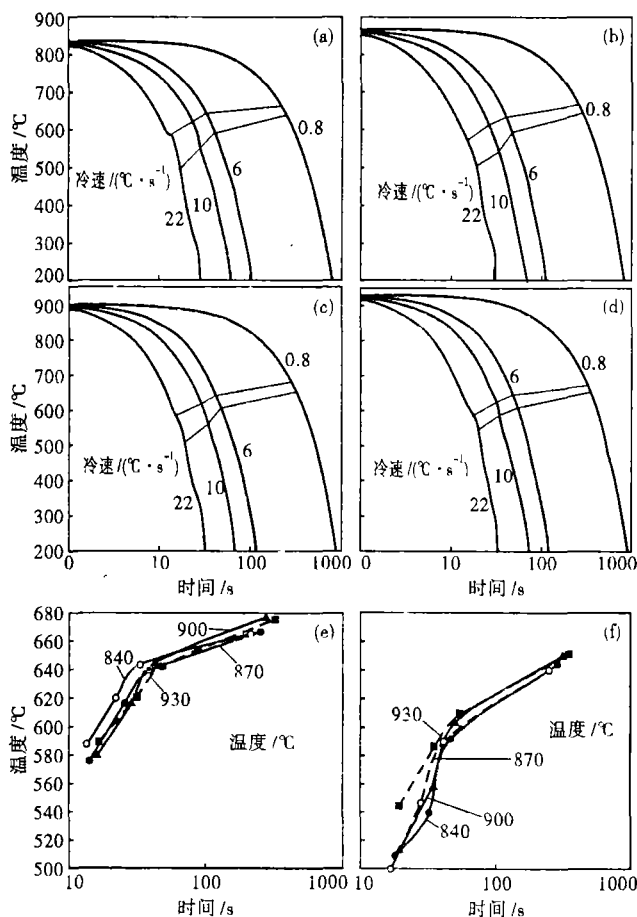


图 1 72A 钢 CCT 曲线:开始冷却温度 840 °C (a),870 °C (b),900 °C (c),930 °C (d);相变开始(e)和结束(f)转变温度曲线

Fig.1 CCT curves of 72A steel: start cooling temperature 840 °C (a), 870 °C (b), 900 °C (c) and 930 °C (d); and curves of start (e) and end (f) phase transformation temperature

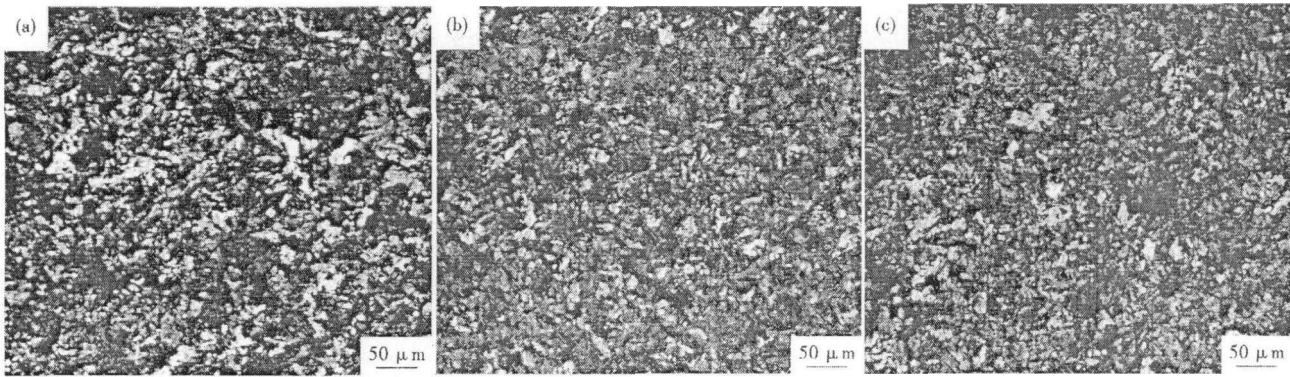


图2 72A钢的组织形貌,索氏体(黑色)+铁素体(白色):(a)开始冷却温度900℃,10℃/s,F3.71%;(b)开始冷却温度930℃,10℃/s,F0.62%;(c)开始冷却温度900℃,22℃/s,F1.60%

Fig.2 Morphology of structure of 72A steel, sorbite (black) + ferrite (white); (a) start cooling temperature 900℃, 10℃/s, F3.71%; (b) start cooling temperature 930℃, 10℃/s, F0.62%; (c) start cooling temperature 900℃, 22℃/s, F1.60%

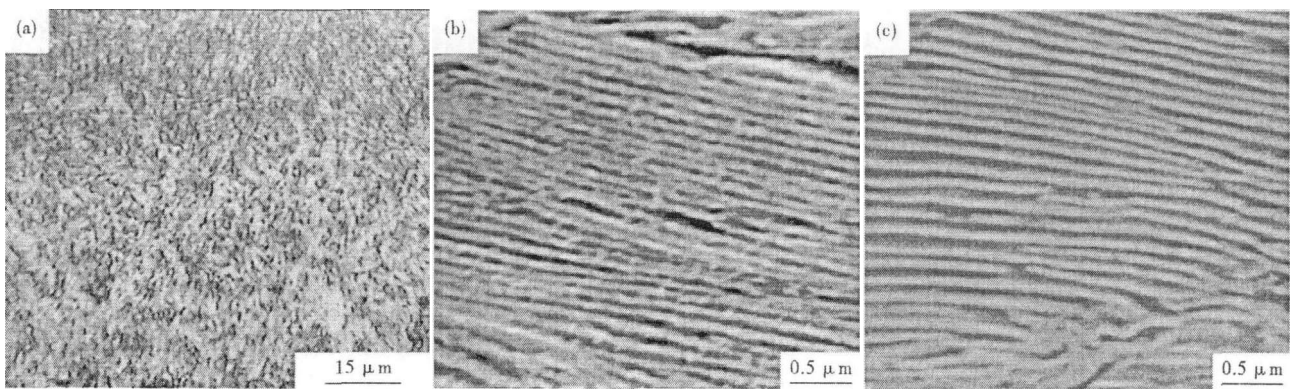


图3 72A钢开始冷却温度840℃的组织:淬火,针叶状马氏体(a)和10℃/s冷却的珠光体片层间距(b);72A钢开始冷却温度900℃10℃/s冷却的珠光体片层间距(c)

Fig.3 Quenching structure: acicular-leaf martensite (a) and 10℃/s cooling pearlite interlamellar spacing (b) of 72A steel, start cooling temperature 840℃; 10℃/s cooling pearlite interlamellar spacing (c) of 72A steel, start cooling temperature 900℃

表1 开始冷却温度对72A钢晶粒度的影响

Table 1 Effect of start cooling temperature on grain size of 72A steel

开始冷却温度/ ℃	平均晶粒直径/ μm	晶粒度/ 级	组织
840	33.59	6.59	针叶状马氏体
900	33.82	6.48	针叶状马氏体

利于得到拉拔性能更优的线材。

3 结论

(1)用膨胀法测得72A钢的CCT图,为该钢种轧制中控轧控冷工艺的制订提供了依据。

(2)在相同开始冷却温度条件下,冷却速度越快,相变时间越短;在相同冷却速度条件下,随着开始冷却温度的升高,到达开始转变温度的时间和到达转变终了温度的时间会延后。

(3)开始冷却温度对组织演变影响较大,开始冷却温度既不能太高,也不能太低。降低开始冷却

温度,一方面,影响变形后奥氏体晶粒长大倾向,使相变前奥氏体晶粒越小,晶界面积增大,组织中铁素体比例增加,有利于形成较细晶粒组织;另一方面,珠光体量减少,珠光体片层间距变大,抗拉强度和屈服强度降低。

参考文献

- 1 宋维锡.金属学.北京:冶金工业出版社,1988
- 2 张世中.钢的过冷奥氏体转变曲线图集.北京:冶金工业出版社,1982
- 3 张迎晖,康永林.C-Si-Mn系列TRIP钢连续冷却过程相变研究.机械工程材料,2005,29(12):4
- 4 蔡丹.82B钢热轧及控冷过程中组织演变计算机模拟:[硕士论文].武汉:武汉科技大学,2003
- 5 李红英,龚美涛.77B奥氏体连续冷却转变曲线(CCT图).热加工工艺,2005(4):61

王超(1981-),男,硕士生,轧钢过程组织性能的变化和计算机模拟控制。

收稿日期:2008-03-31