

## 高碳合金钢 75Cr1 高温变形后相和组织的转变

胡松涛<sup>1</sup> 余万华<sup>2</sup> 廉晓洁<sup>1</sup> 翟士斌<sup>2</sup>

(1 太原钢铁(集团)有限公司技术中心,太原 030003;2 北京科技大学材料科学与工程学院,北京 100083)

**摘要** 通过 Gleeble-3800 热模拟机将高碳合金钢 75Cr1 (/% : 0.75C, 0.27Si, 0.85Mn, 0.010P, 0.003S, 0.60Cr) 在 1 090 °C 以 15 s<sup>-1</sup> 进行第 1 道次 25% 压缩变形,以 20 °C/s 冷却至 880 °C, 20 s<sup>-1</sup> 进行第 2 道次 25% 压缩变形,再分别以 0.05 ~ 45 °C/s 不同冷速冷却至室温,得出连续冷却转变 (CCT) 曲线和冷却速率对该钢相和组织的影响。结果表明,相变临界 Ac<sub>1</sub> 和 Ac<sub>3</sub> 分别为 730 °C 和 773 °C;冷速低于 1 °C/s 时钢的组织主要为先共析铁素体和细小珠光体,冷速在 1 ~ 10 °C/s 时钢的组织为珠光体和贝氏体,冷速高于 10 °C/s 时组织中会出现马氏体,马氏体会随着冷速的增加逐渐增多,当冷速大于 18 °C/s 时,钢的组织以马氏体为主,含有极少量的贝氏体。

**关键词** 高碳合金钢 75Cr1 热变形 相 组织 转变

## Transformation of Phases and Structure in Elevated-Temperature Deformed High Carbon Alloy Steel 75Cr1

Hu Songtao<sup>1</sup>, Yu Wanhua<sup>2</sup>, Lian Xiaojie<sup>1</sup> and Zhai Shibin<sup>2</sup>

(1 Technology Center, Taiyuan Iron and Steel (Group) Co Ltd, Taiyuan 030003;  
2 School of Materials Science and Technology, University of Science and Technology, Beijing 100083)

**Abstract** The continuous cooling transformation (CCT) curves of high carbon alloy steel 75Cr1 (/% : 0.75C, 0.27Si, 0.85Mn, 0.010P, 0.003S, 0.60Cr) and the effect of cooling rate on phases and structure of steel are obtained by Gleeble-3800 thermal simulation testing machine to carry out first reduction 25% deformation with deformation rate 15 s<sup>-1</sup> at 1 090 °C then with 20 °C/s cooling to 880 °C and second reduction 25% with deformation rate 20 s<sup>-1</sup> then with 0.05 ~ 45 °C/s cooling to ambient temperature. Results show that the critical points of phase transformation Ac<sub>1</sub> and Ac<sub>3</sub> are respectively 730 °C and 773 °C; with cooling rate being lower than 1 °C/s the main structure of steel is proeutectoid ferrite and fine pearlite, with cooling rate being 1 ~ 10 °C/s, the structure of steel is pearlite and bainite; with cooling rate being larger than 10 °C/s the martensite occurs in structure and with increasing cooling rate the amount of martensite increases, and with cooling rate being larger than 18 °C/s the main structure of steel is martensite and has minor bainite.

**Material Index** High Carbon Alloy Steel 75Cr1, Hot Deformation, Phases, Structure, Transformation

高碳合金钢 75Cr1, 其碳含量在 0.7% ~ 0.8%, 具有优越的耐磨性能、良好的切削性、较高的热稳定性和使用寿命长等优点,广泛应用于制造石材、建筑和工程等行业所用的锯片<sup>[1-2]</sup>。由于钢中的碳、锰、铬元素含量较高,具有过热敏感性,生产难度较大。国内锯片钢 75Cr1 市场需求量缺口严重,主要依靠进口<sup>[3]</sup>。

太原钢铁(集团)公司研发生产的高碳合金钢 75Cr1, 广泛用于国内锯片生产企业,并获得好评。解决了连铸生产组织困难、表面裂纹敏感性高的难题,研发出了具有高的淬硬性和淬透性、耐磨性和厚度规格、宽度规格更为宽泛的高碳合金钢 75Cr1 热轧卷板,对替代进口,满足国内用户需求具有重要的意义<sup>[4-6]</sup>。本文研究了高碳合金钢 75Cr1 热轧过程中组织性能、析出物和冷速之间的变化规律,为高性能高碳合金钢 75Cr1 工业大批量生产提供重要的参考依据。

### 1 实验材料和方法

#### 1.1 实验用钢化学成分

实验所用钢来自太原钢铁(集团)公司 2250 mm 热连轧机组生产的热轧卷板中间坯,中间坯厚度 40 mm,表 1 为实验钢化学成分。

#### 1.2 CCT 样加工尺寸

将高碳合金钢 75Cr1 热轧卷板中间坯,加工成如图 1 所示尺寸(单位:mm)。

#### 1.3 动态 CCT 的试验方案

在太原钢铁(集团)有限公司 Gleeble-3800 热模拟试验机上测定高碳合金钢 75Cr1 的动态 CCT 曲线,将试样以 10 °C/s 加热到 1 250 °C,保温 10

表 1 试验高碳合金钢 75Cr1 的分析成分/%

Table 1 Analysis of test high carbon alloy steel 75Cr1 /%

C	Si	Mn	P	S	Cr
0.75	0.27	0.85	0.010	0.003	0.60

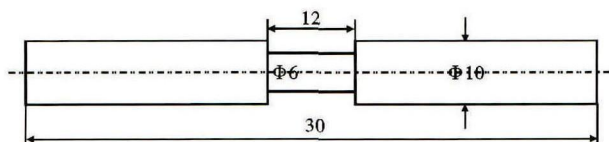


图 1 75Cr1 钢动态连续冷却转变 (CCT) 试样尺寸  
Fig. 1 Size of specimen for dynamic continuous cooling transformation (CCT) test of steel 75Cr1

min 后以 2.5 °C/s 的冷速冷却至 1 090 °C; 以 15 s<sup>-1</sup> 的应变速率, 25% 相对变形量进行第 1 道次压缩变形, 然后以 20 °C/s 冷却至 880 °C, 以 20 s<sup>-1</sup> 的应变速率和 25% 相对变量进行第 2 道次压缩变形, 再分别以 0.05 ~ 45 °C/s 的不同冷却速度冷却至室温。测量温度-膨胀量-时间之间的关系, 用热膨胀法确定相变温度和时间, 绘制 CCT 曲线。动态 CCT 需要进行两次高温变形, 这与实际生产接近。实际生产中存在连续多道次高温变形, 这会对相变和最终组织产生影响。

冷却至室温的样品从中部截开, 进行磨制、抛光, 用 4% 的硝酸酒精侵蚀, 观察分析显微组织。

## 2 实验结果与讨论

### 2.1 75Cr1 钢 CCT 曲线

根据上述实验方案测得温度-膨胀量曲线, 利用切线法取膨胀曲线直线部分的延长线与曲线部分的分离点作为临界点来确定相变的开始与结束点得出各个冷却速度下的转变点, 见图 2。

结合金相组织利用 Origin 绘图软件绘制实验钢的动态 CCT 曲线, 如图 3 所示。由动态 CCT 曲线可以看出, 相变开始温度和结束温度随冷却速度的增加而有所降低, 由等温转变曲线可知铁素体 (F)、贝氏体 (B)、马氏体 (M) 的转变开始温度是逐渐降低

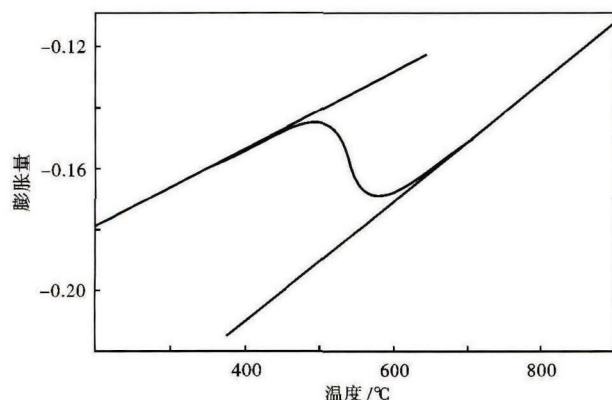


图 2 75Cr1 钢 5 °C/s 时冷却阶段膨胀量曲线图  
Fig. 2 Diagram of expansion curves of steel 75Cr1 during cooling period with 5 °C/s

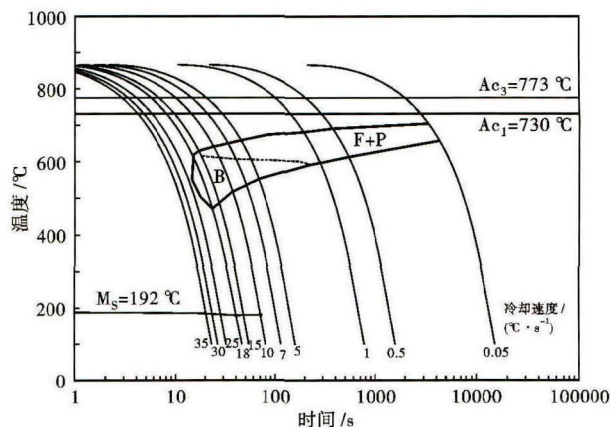


图 3 75Cr1 钢的动态连续冷却转变 (CCT) 曲线  
Fig. 3 Curves of dynamic continuous cooling transformation (CCT) of steel 75Cr1

的, 对于同一相的转变, 不一样的冷却速度意味着不一样的过冷度, 冷速越大, 过冷度越大, 该相开始转变的温度就越低。

75Cr1 钢的 Ac<sub>1</sub> 和 Ac<sub>3</sub> 分别为 730 °C 和 773 °C, 最低冷速下的相变开始温度为 715 °C, 接近于 Ac<sub>1</sub> 线, 相变孕育期较短。由 CCT 曲线可以看出其 Ms 转变温度为 192 °C, 右端向下倾斜, 这是由于钢中出现铁素体后, 使未转变的奥氏体中碳含量有所增高, 以致使 Ms 温度下降。随着冷速的增加先由奥氏体 A 到先共析铁素体 F 的转变, 奥氏体 A 到珠光体 P 的转变, 以及奥氏体 A 马氏体 M 的转变。冷速达到 25 °C/s 组织几乎全部是马氏体。

### 2.2 75Cr1 钢显微组织

冷速为 0.05 °C/s 的扫描电镜图片如图 4 所示, 由图 4 可以看出, 组织为超细的珠光体和少量的先共析铁素体组成。珠光体呈片状, 层片间的距离

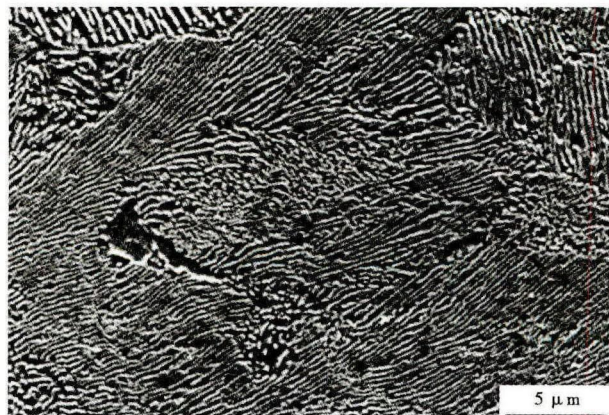


图 4 0.05 °C/s 冷却后 75Cr1 钢的组织形貌, SEM  
Fig. 4 Morphology of structure of steel 75Cr1 cooling with 0.05 °C/s, SEM

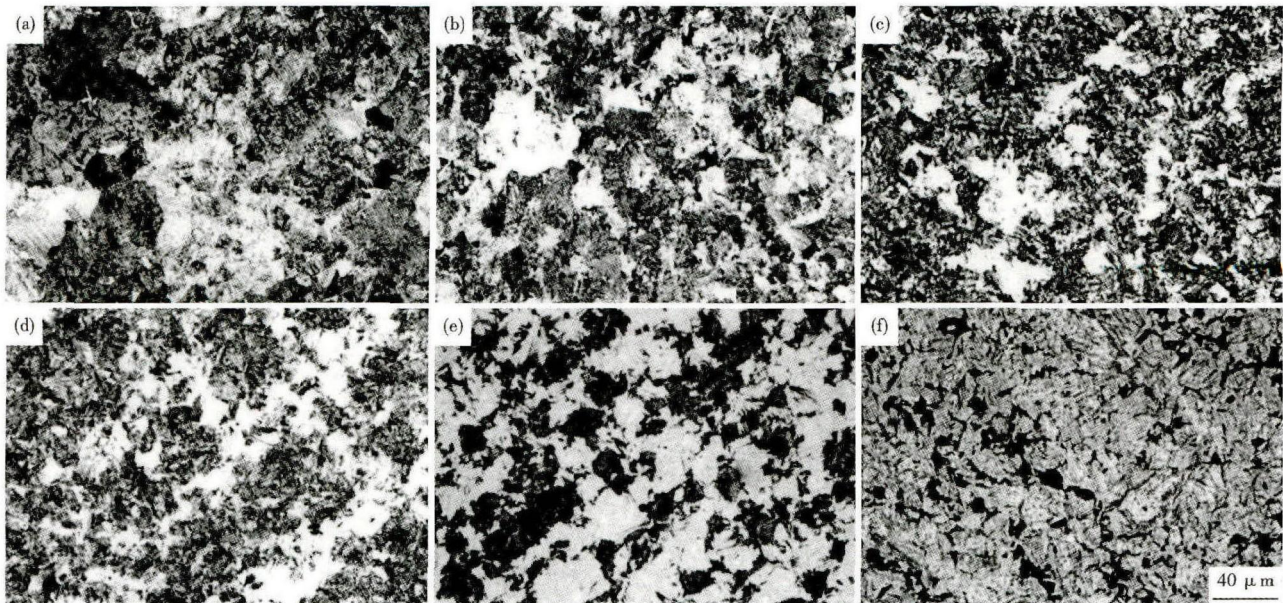


图5 75Cr1 钢动态 CCT 实验时组织形貌,冷速/ $(^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1})$ :0.05(a);1(b);5(c);10(d);18(e);30(f)

Fig. 5 Morphology of structure of dynamic CCT tested steel 75Cr1, cooling rate /  $(^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1})$ : 0.05 (a); 1 (b); 5 (c); 10 (d); 18 (e) and 30 (f)

较小,组织细密。组织细密成分均匀,接触的相界面多,易于形核,容易发生相变。

图5是实验钢 CCT 曲线不同冷速对应下的金相照片,在冷速为  $0.05^{\circ}\text{C}/\text{s}$  时组织为珠光体和极少量先共析铁素体的混合组织。珠光体呈现层片状,片间距较小,组织较为细密,在珠光体边界上可看见少量的铁素体。随着冷速的增加铁素体逐渐增多,珠光体片间距逐渐增大。当冷速大于  $1^{\circ}\text{C}/\text{s}$  时,组织中会出现少量贝氏体,铁素体逐渐减少,冷却速度  $1^{\circ}\text{C}/\text{s}$  到  $10^{\circ}\text{C}/\text{s}$  时主要为珠光体和贝氏体的组织。冷速进一步增大,贝氏体的含量进一步增加,整体组织没有太大变化,当冷速大于  $10^{\circ}\text{C}/\text{s}$  时,组织中会出现少量马氏体,同时发生马氏体和贝氏体相变,马氏体呈现板条状,冷却速度  $10 \sim 25^{\circ}\text{C}/\text{s}$  时,组织以板条马氏体(LM)和贝氏体(B)为主。随着冷速的增加马氏体含量进一步增多。当冷速大于  $18^{\circ}\text{C}/\text{s}$  时组织主要为马氏体,含有极少量的贝氏体。

### 3 结论

(1)高碳合金钢 75Cr1 在动态相变中,其  $A_{c1}$  和  $A_{c3}$  分别为  $730^{\circ}\text{C}$  和  $773^{\circ}\text{C}$ ,规定的冷速下相变区

间为  $488 \sim 710^{\circ}\text{C}$ ,相变组织有先共析铁素体、贝氏体和马氏体,马氏体转变温度  $M_s$  为  $192^{\circ}\text{C}$ 。

(2)高碳合金钢 75Cr1 在动态相变中,结合各冷速下的显微组织可以看出, $10 \sim 25^{\circ}\text{C}/\text{s}$  可以获得 B、F、M 的混合组织。

### 参考文献

- [1] 杨源华. 75Cr1 冷轧合金钢带的试制[J]. 江西冶金, 2009, 29(1):5-7.
- [2] 陈景沂,庄汉洲. 75Cr1 钢连续冷却转变曲线的研究[J]. 冶金丛刊, 2014(1):5-7.
- [3] 刘丹,初国军,李嘉玲,等. 75Cr1 锯片用钢的开发[J]. 河北冶金, 2013(7):9-11.
- [4] 欧鹏,江来珠,杨峰,等. 锯片钢 75Cr1 连铸板坯裂纹成因初探[J]. 机械工程材料, 2007, 31(8):76-78.
- [5] 徐立山,林大帅. 锯片用钢 75Cr1 的开发[J]. 河北冶金, 2015(1):4-6.
- [6] 张宏斌. 连铸 75Cr1 锯片钢生产工艺优化[J]. 轧钢, 2014, 31(1):32-35.

胡松涛(1967-),男,硕士(2009年天津大学),教授级高级工程师,1989年北京科技大学(本科)毕业,热连轧工艺技术、质量控制、新产品新技术开发。

E-mail: hust@tisco.com.cn

收稿日期:2015-08-25