

## 热变形参数对 0.05C-0.13Nb 钢相变组织影响

阴树标<sup>1,2</sup> 刘清友<sup>2</sup> 张志波<sup>2</sup> 孙新军<sup>2</sup> 雷霆<sup>1</sup>

(1 昆明理工大学材料与冶金工程学院, 昆明 630091; 2 钢铁研究总院结构材料研究所, 北京 100081)

**摘要** 利用 Thermecmastor-Z 热模拟试验机, 研究了含铌 0.13% 微合金低碳钢奥氏体未再结晶区 (超过 50%、发生再结晶) 变形, 并以 0.1 ~ 50 °C/s 的冷却速度连续冷却过程相变。研究了热变形参数对相变组织的影响。结果表明, 在未再结晶区变形, 在连续冷却条件下, 冷却速度  $\geq 5$  °C/s 时, 90% 以上组织为粒状贝氏体; 在相同变形温度情况下, 随着变形量的增加, 先共析铁素体的量增加, 贝氏体的量随之减少。

**关键词** 低 C 钢 铌微合金 热变形 相变

## Effect of Hot Deformation Parameters on Phase Transformation Structure of 0.05C-0.13Nb Steel

Yin Shubiao<sup>1,2</sup>, Liu Qingyou<sup>2</sup>, Zhang Zhibo<sup>2</sup>, Sun Xinjun<sup>2</sup> and Lei Ting<sup>1</sup>

(1 School of Material and Metallurgy Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 630091; 2 Institute for Structure Materials, Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081)

**Abstract** Phase transformation of 0.13Nb microalloying low carbon steel with deformation in non-crystallization temperature zone (as deformation  $\geq 50\%$ , crystallization occurred) and continuous cooling with cooling rate 0.1 ~ 50 °C/s has been studied by using thermecmastor-Z thermal simulation test machine and the effect of thermal deformation parameters on phase transformation structure was analyzed. Results indicated that with deformation in non-crystallization temperature zone, in continuous cooling with cooling rate larger than 5 °C/s, more than 90% of structure was granular bainite, and at same deformation temperature, with increasing deformation the amount of proeutectoid ferrite increased and the amount of bainite decreased.

**Material Index** Low C Steel, Nb Microalloying, Thermal Deformation, Phase Transformation

近年来随着 HTP (High Temperature Press) 技术的发展, 部分企业采用超低碳高铌 HTP 轧制板卷, 进行了螺旋焊管试制并取得进展<sup>[1,2]</sup>, 因此很有必要对低碳高铌钢进行深入研究。

### 1 试验材料及方案

试验钢由真空感应冶炼, 其成分为 (%): 0.05C、0.13Nb、1.44Mn、0.006N、0.002S、0.010P、0.18Si。浇注成 50 kg 钢锭, 1 200 °C 保温 1 h, 然后锻成 45 mm × 100 mm × L 钢坯, 终锻温度为 1 000 ~ 1 100 °C; 再改锻成  $\Phi 15$  mm × 1 000 mm 的棒材。

棒材预热处理为 1 280 °C 保温 1 h 水淬。取  $\Phi 8$  mm × 12 mm 规格的试样, 在 Thermecmastor-Z 试验机上进行热变形模拟研究。

### 2 试验结果及分析

#### 2.1 冷却速度的影响

采用设备上的激光跟踪仪器, 利用热膨胀法, 绘制出了此钢种的动态 CCT 曲线 (图 1)。1 000 °C 变形, 以 2/s 应变速率变形 40%, 不同冷却速度的组织见图 2。结合图 1、2 所示, 在低于 5 °C/s 的冷却速度下, 奥氏体开始转变为铁素体 + 珠光体, 随着冷却

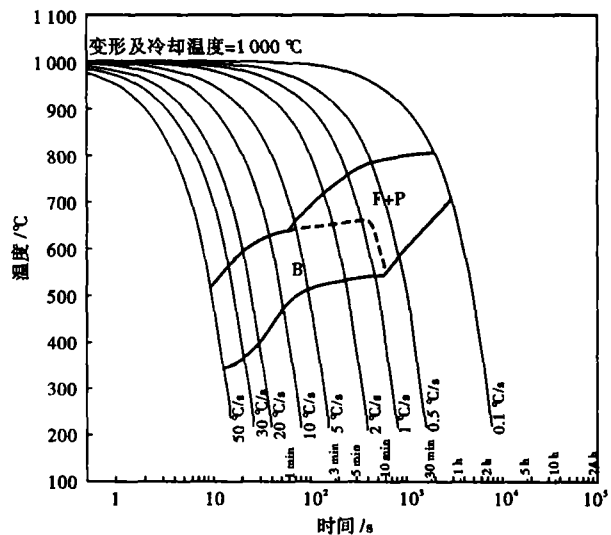


图 1 0.05C-0.13Nb 钢连续冷却转变 (CCT) 曲线

Fig. 1 Curves of continuous cooling transformation (CCT) of 0.05C-0.13Nb steel

速度的增大, 铁素体只形成于奥氏体晶界及变形带等位错缺陷较为集中的地方, 同时有部分贝氏体形成; 当冷却速度  $\geq 5$  °C/s 时, 已有铁素体 + 珠光体组织, 转变为粒状贝氏体组织为主, 这比低 Nb 钢<sup>[3]</sup> 所

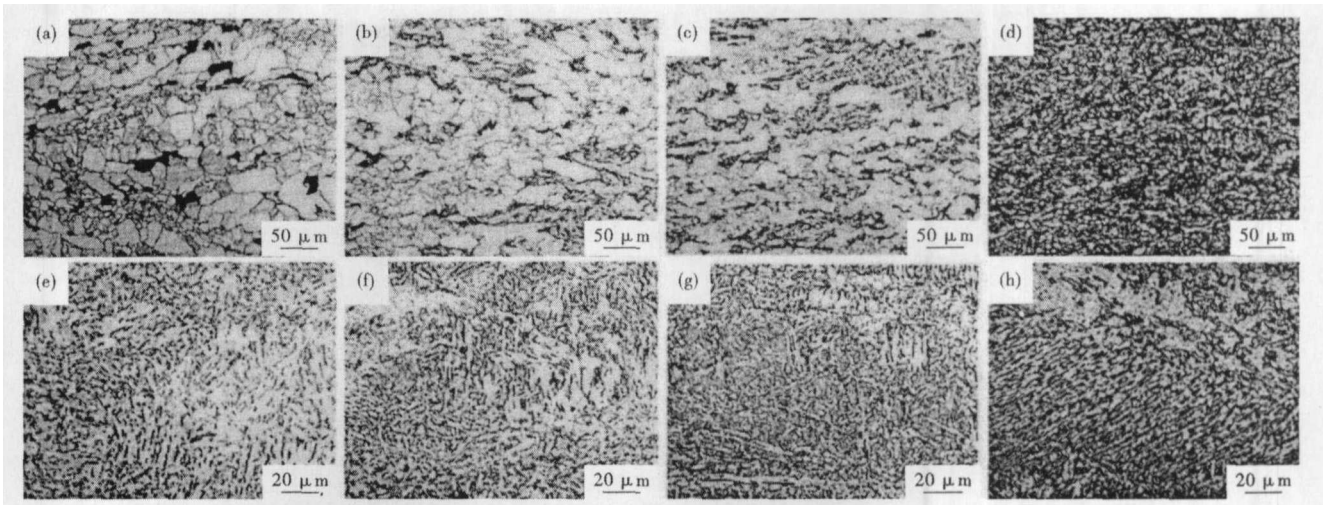


图2 0.05C-0.13Nb钢连续冷却的组织1000 °C变形40%:冷却速度/( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$ )- (a)0.1;(b)1.0;(c)2.0;(d)5.0;(e)10;(f)20;(g)30;(h)50

Fig.2 Structure of continuous cooling 0.05C-0.13Nb steel with 1000 °C deforming 40% : cooling rate/( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$ )- (a) 0.1; (b) 1.0; (c) 2.0; (d) 5.0; (e) 10; (f) 20; (g) 30; (h) 50

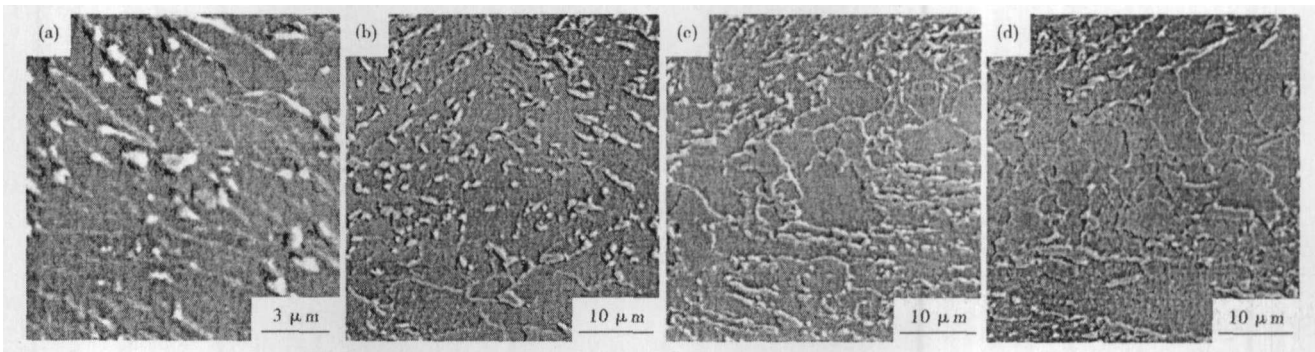


图3 0.05C-0.13Nb钢1000 °C 2/s应变速率,5 °C/s冷却速度的组织:变形量/%- (a) 20;(b) 30;(c) 40;(d) 60

Fig.3 Structure of 0.05C-0.13Nb steel with strain rate 2/s, cooling rate 5 °C/s at 1000 °C, deforming /%- 20 (a), 30 (b), 40 (c) and 60 (d)

需最低冷却速度要低很多。冷却速度的进一步增大,粒状贝氏体的岛状组织由类圆形向短棒状或长条状转变。粒状贝氏体的小岛组织一般是马氏体(或马氏体+贝氏体)等亚稳组织+残余奥氏体(也称之为MA组元/马奥岛),即小岛内有马氏体及残余奥氏体,因此小岛是富碳区域,通常小岛的边缘更加富碳。

## 2.2 变形量的影响

由图3可以看到,随着变形量的增加,先共析铁素体的量明显增加,变形30%时先共析铁素体的量为3.8%,当变形量达到40%时,其量达到7.0%,变形量60%时达到35%。同时贝氏体的量随之减少。这是由于变形增加了奥氏体内部的空位浓度、位错等晶体缺陷,引起非均匀形核点增多,增加了铁素体转变量,因而贝氏体量减少。

## 2.3 应变速率的影响

试验表明,应变速率对显微组织影响不明显,随

应变速率提高,铁素体的量略微增加,原因为在高应变速率下,增加了变形带等缺陷,增加了有效形核点,促进了铁素体相变。

## 3 结论

0.05C-0.13Nb钢变形后当冷却速度 $\geq 5$  °C/s时,组织中贝氏体达93%,低于此冷却速度的组织为F+P或F+P+B。随变形量增加先共析铁素体增多,贝氏体量减少,但应变速率对组织影响较小。

973国家重点基础研究基金资助项目(2004cb619101)

## 参考文献

- 1 郑磊,高珊,吴海凤. HTP工艺生产高强度管线钢的试验研究. 高温轧制工艺(HTP)国际研讨会暨技术讲座报告集,2006
- 2 傅俊岩. 钕·科学与技术. 北京:冶金工业出版社,2003
- 3 衣海龙,杜林秀,王国栋,等. 含钕微合金低碳钢的连续冷却过程的相变. 东北工业大学学报(自然科学版),2005,26(8):743

阴树标(1977-),男,博士,含钕低碳微合金钢研究。

收稿日期:2007-05-24