

热变形后冷却速度对铁素体-贝氏体微合金钢组织演变的影响

管 丽 刘雅政 周乐育 宋仁伯

(北京科技大学材料科学与工程学院,北京 100083)

摘 要 开发了 0.06C-1.08Si-1.64Mn-0.30Mo-0.039Nb-0.01Ti 铁素体-贝氏体微合金化(F+B)钢;用 Gleeble-1500 热模拟机测定了该实验钢在 900 ℃ 变形 50% 后 0.5~40 ℃/s 冷却速度下的连续冷却转变曲线(CCT),并分析了形变奥氏体的相变组织。结果表明,该钢的 CCT 曲线分为多边形铁素体转变区和贝氏体转变区两大部分,中间被奥氏体亚稳区隔开;当冷速 ≤ 2 ℃/s 时,钢中出现多边形铁素体,当冷速 ≥ 5 ℃/s 时,组织主要为粒状贝氏体和板条贝氏体。

关键词 铁素体-贝氏体钢 热变形 冷却速度 组织演变 CCT 曲线

Effect of Cooling Rate on Structure Evolution of Hot Deformed Ferrite-Bainite Micro Alloying Steel

Guan Li, Liu Yazheng, Zhou Leyu and Song Renbo

(School of Materials Science and Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083)

Abstract Ferrite-bainite (F+B) microalloying steel 0.06C-1.08Si-1.64Mn-0.30Mo-0.039Nb-0.01Ti has been developed; continuous cooling transformation (CCT) diagram of 50% deformed test steel at 900 ℃ and with cooling rate 0.5~40 ℃/s was obtained by Gleeble-1500 thermal simulator, and phase transformation structure of deformed austenite was analyzed. Results showed that the CCT diagram was composed of polygonal ferrite transformation region and bainite transformation region which were divided by metastable austenite region; as cooling rate was ≤ 2 ℃/s, polygonal ferrite occurred in steel and as the cooling rate was ≥ 5 ℃/s, main structure in steel consisted of granular bainite and lath bainite.

Material Index Ferrite-Bainite Steel, Hot Deformation, Cooling Rate, Structure Evolution, CCT Diagram

目前,铁素体-马氏体钢^[1-4]已被广泛地应用在汽车制造业,但对铁素体-贝氏体钢的研究还不是很多。研究表明,与作为第二相的马氏体相比,贝氏体对凸缘拉伸性能和断裂韧性都具有有利的影响,具有高的扩孔率,可应用于汽车车轮的制造^[5-7]。研究设计了一种 C-Si-Mn-Mo-Nb 系热轧铁素体-贝氏体钢,通过对变形奥氏体连续冷却转变曲线的测定,以研究实验钢加工条件下的相变和组织演变规律。

1 实验材料及方法

铁素体-贝氏体钢由铁素体基体和弥散分布在基体中的贝氏体组成,实验钢采用真空感应炉冶炼,化学成分见表 1。

表 1 实验钢的化学成分/%
Table 1 Chemical composition of test steel /%

C	Si	Mn	S	P	Mo	Nb	Ti
0.06	1.08	1.64	0.005	0.008	0.30	0.039	0.01

实验钢经热锻开坯后,加工成尺寸为 $\Phi 8$ mm \times 14 mm 的热模拟试样。在 Gleeble-1500 热模拟实验

机上利用热膨胀法,配合金相观察确定连续冷却转变曲线。将试样以 20 ℃/s 的速度加热到 1200 ℃ 保温 600 s,以保证完全奥氏体化以及微合金元素基本固溶,而后以 20 ℃/s 的速度冷却到 900 ℃ 后变形 50%,再以不同冷速(0.5~40 ℃/s)冷却到室温,测定实验钢的 CCT 曲线。

2 实验结果与分析讨论

2.1 实验钢的连续冷却转变曲线

实验钢 CCT 曲线测定结果如图 1 所示。由图 1 可见,实验钢 CCT 曲线分为两个区域:高温的铁素体转变区,温度在 760~690 ℃;中温的贝氏体转变区,温度在 610~460 ℃。当冷速 ≤ 2 ℃/s 时,有铁素体出现,当冷速 ≥ 5 ℃/s 时,相变产物主要为贝氏体。由于 Mn、Mo 等亚稳奥氏体稳定化元素的添加,CCT 曲线中铁素体转变区和贝氏体转变区完全分离,中间产生了一个温度较宽的奥氏体亚稳区域,该区域温度纵向间隔为 70~100 ℃。铁素体区与贝氏体区的分离,可使双相钢冷却过程中贝氏体转变易于控制,可避免在卷取温度下珠光体转变。而较低的贝氏体开始转变温度,有利于获得板条较细的贝

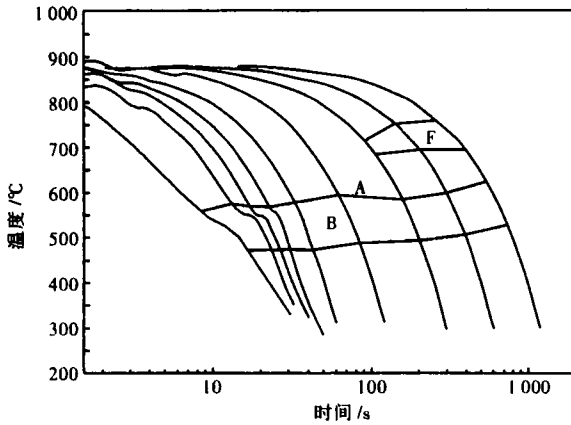


图 1 实验钢的 CCT 曲线
Fig. 1 CCT diagram of test steel

氏体组织。Mo 强烈抑制了珠光体转变,使得珠光体转变曲线右移,在冷速为 0.5 °C/s 时,仍未发现珠光体组织。因此,避免了冷却过程中珠光体的转变,从而有利于得到铁素体-贝氏体组织。

2.2 不同冷却速度下的显微组织

实验钢在不同冷速下的显微组织如图 2 所示。在不同冷速下,变形奥氏体的转变产物有多边形铁素体(α_p)、准多边形铁素体(α_q)、粒状贝氏体(α_B)、板条贝氏体或贝氏体-铁素体(α_B^0)和 MA 岛。显微组织中不存在珠光体,只有铁素体和贝氏体(少量马氏体)的存在。随着冷速的增加,铁素体

转变量不断减少,贝氏体转变量不断增加。当冷速 ≥ 5 °C/s 后,相变组织为粒状贝氏体和板条贝氏体。

由图 2 和图 3 分析可知,冷速为 0.5 °C/s 时的组织为多边形和准多边形铁素体基体上分布一定量的马氏体岛(MA 岛)和少量的粒状贝氏体组织(图 3a),铁素体体积分数约为 72%,晶粒尺寸为 15 μm ,晶界上尤其在三叉晶界分布有较大块的尺寸为 6 μm 左右的 MA 岛,其他较细小的尺寸约为 3 μm 的 MA 岛,分布于铁素体晶界处和晶内。冷速 1 °C/s 时为多边形铁素体和粒状贝氏体组织,铁素体体积分数约为 56%,晶粒尺寸为 11 μm ,粒状贝氏体组织中铁素体基体上分布着许多宽度约为 1.6 μm 的小块状 MA 岛。冷速为 2 °C/s 时,组织为准多边形铁素体基体上分布一定量的 MA 岛,以及部分粒状贝氏体组织,准多边形铁素体晶粒尺寸为 14 μm ,准多边形铁素体晶间分布较大块状尺寸为 4.5 μm 的 MA 岛,晶内有较小块状尺寸约为 2 μm 的 MA 岛。如图 2(d)和图 3(b)所示,当冷速为 5 °C/s 时,组织中已观察不到先共析铁素体,基本是粒状贝氏体。随冷速增加,粒状贝氏体-铁素体板条逐渐明晰,当冷速 ≥ 15 °C/s 后,组织中可观察到板条贝氏体(如图 3c),且可观察到明显的变形的原始奥氏体晶界(如图 2e)。不同冷速下贝氏体-铁素体板条和 MA 岛宽度统计结果如图 4 所示。

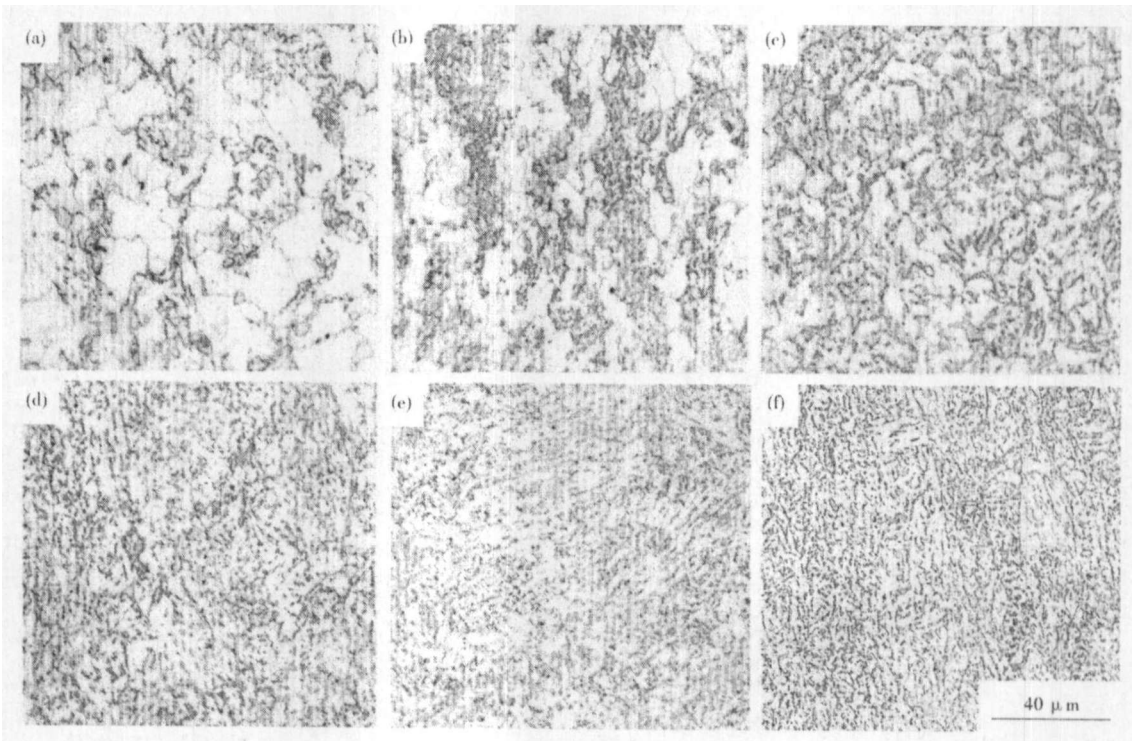


图 2 实验钢的组织,SEM;50% 热变形后冷却速度/(°C · s⁻¹)- (a) 0.5; (b) 1; (c) 2; (d) 5; (e) 15; (f) 40
Fig. 2 Structure of test steel, SEM; cooling rate after 50% deformation/(°C · s⁻¹)- (a) 0.5; (b) 1; (c) 2; (d) 5; (e) 15; (f) 40

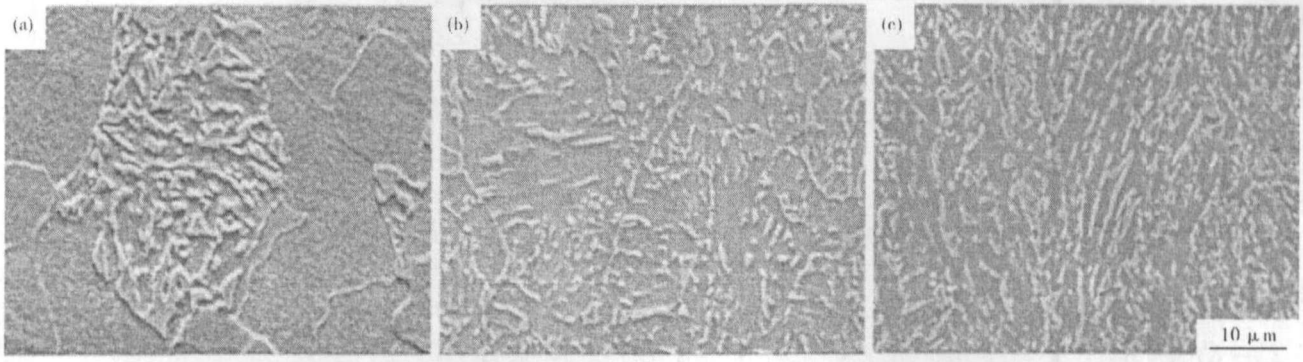


图3 实验钢组织形貌,SEM:50%热变形后冷速/($^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$)- (a) 0.5;(b) 5;(c) 15

Fig.3 Structure morphology of test steel, SEM: cooling rate after 50% deformation/($^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$)- (a) 0.5; (b) 5; (c) 15

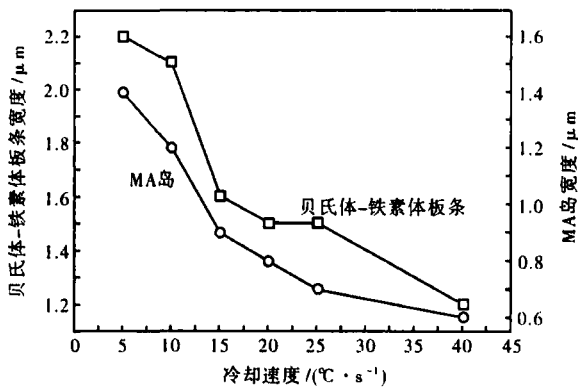


图4 冷速对贝氏体-铁素体板条和MA岛宽度的影响

Fig.4 Effect of cooling rate on width of bainite-ferrite lath and MA island

图5为冷速对实验钢铁素体和贝氏体显微硬度的影响。在0.5~1 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时,铁素体显微硬度基本一致,但由于1 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时铁素体体积分数较少,在铁素体转变后残留的亚稳奥氏体中C和其他合金元素富集程度降低,其贝氏体转变产物的显微硬度明显降低;2 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时,组织中的准多边形铁素体由于转变温度较低,C等元素向奥氏体富集程度不够,且铁素体

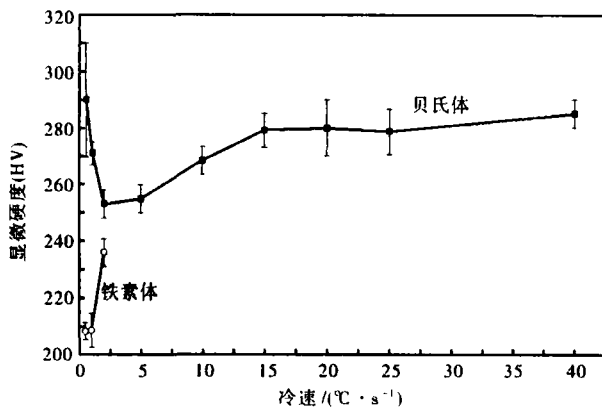


图5 冷速对铁素体和贝氏体的显微硬度的影响

Fig.5 Effect of cooling rate on micro-hardness of ferrite and bainite

内部缺陷密度较高,其显微硬度与0.5 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 和1 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时的多边形铁素体显微硬度相比明显升高,而相应的贝氏体硬度则明显降低。当冷速 $\geq 5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以后,随着冷速增加,贝氏体显微硬度逐渐增加,但增幅逐渐减小。

3 结论

(1)实验钢 CCT 曲线主要有 760~690 $^{\circ}\text{C}$ 的铁素体转变区和 610~460 $^{\circ}\text{C}$ 贝氏体转变区。两个转变区完全分离,中间为温度纵向间隔 70~100 $^{\circ}\text{C}$ 的奥氏体亚稳区域。

(2)冷速 0.5 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时,未发生珠光体转变;冷速 $\leq 2^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时,有多边形铁素体和准多边形铁素体出现;冷速 $\geq 5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时,相变产物主要为粒状贝氏体和板条贝氏体。贝氏体形态逐渐由粒状转化为板条状。

中信-CBMM 钕钢研究与开发基金资助项目(编号:2006RMJS-D017)

参考文献

- 1 Cole G. Magnesium Research Sponsored by EUCAR in Europe and USCAR in North America. Pares of Sinomag Die Casting Magnesium Seminar, Beijing, 2000, 10
- 2 敖炳秋. 轻量化汽车材料技术的最新动态. 汽车工艺与材料, 2002 (8/9): 1
- 3 党淑娥. 双相钢的研究现状及应用前景. 山西机械, 2002, 117 (4): 14
- 4 张梅, 符仁钰, 许洛萍, 等. 汽车用双相钢板的发展. 热处理, 2001 (1): 5
- 5 Tiwary S K. 塔塔钢公司热轧双相钢的开发. 鞍钢技术, 2004 (5): 63
- 6 张经波. 汽车车轮用复相钢的研究. 鞍钢技术, 2001 (3): 30
- 7 陈良, 余驰斌. 车轮用双相钢板控制轧冷工艺. 特殊钢, 2004, 25 (2): 58

管 丽(1982-),女,硕士研究生,汽车车轮用钢的研究。