

钒对微合金化重轨钢高温塑性的影响

刘霞¹ 史凤武² 王晓丽^{1,3} 焦国利⁴

(1 包头钢铁职业技术学院, 包头 014010; 2 包钢技术中心, 包头 014010;

3 北京科技大学冶金与生态工程学院, 北京 100083; 4 包钢机制公司, 包头 014010)

摘要 用 Gleeble-1500D 热模拟试验机研究了 U71Mn 钢 (% : 0.75C、1.20Mn) 和 U75V 钢 (% : 0.75C、0.94Mn、0.05V、0.005Al) 700 ~ 1 300 °C 的高温塑性。结果表明, 由于碳氮化钒在晶界和晶粒内部析出, 加钒降低微合金化重轨钢的高温塑性, 特别是第 III 脆性区 (850 °C) 的塑性。为防止铸坯裂纹出现, 铸坯矫直温度应 ≥ 900 °C。

关键词 微合金化重轨钢 钒 高温塑性

Influence of Vanadium on Hot Plasticity of Microalloying Heavy Rail Steel

Liu Xia¹, Shi Fengwu², Wang Xiaoli^{1,3}, Jiao Guoli⁴

(1 Baotou Iron and Steel Vocational Technical College, Baotou 014010; 2 Technical Center, Baotou Iron and Steel Corp, Baotou 014010; 3 School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083; 4 Mechanical Equipment Manufacture Co, Baotou Iron and Steel Corp, Baotou 014010)

Abstract Hot plasticity of U71Mn steel (% : 0.75C, 1.20Mn) and U75V steel (% : 0.75C, 0.94Mn, 0.05V, 0.005Al) at 700 ~ 1 300 °C has been studied by using Gleeble-1500D thermo-simulation machine. Results show that as vanadium carbo-nitride precipitates at grain boundary and inside, the hot plasticity, especially the plasticity at III brittle zone (850 °C), of microalloying heavy rail steel decreases by adding vanadium. The strengthening temperature of cast bloom should be ≥ 900 °C to prevent bloom crack forming.

Material Index Microalloying Heavy Rail Steel, Vanadium, Hot Plasticity

常温下, U75V 钢平均抗拉强度为 1 055 MPa, 远高于 U71Mn 钢的 956 MPa, 而 U75V 钢平均伸长率为 11.2% 低于 U71Mn 钢的 12.6%^[1]。随着包钢含钒钢连铸坯产量逐年增高, 在一段时间内曾出现含钒钢连铸坯角横裂较多的情况。本文研究了钒对重轨钢连铸坯高温塑性的影响。

1 试验方案

采用断面收缩率 RA 作为衡量材料塑性大小的指标。 RA 计算公式为:

$$RA = (F - f) / F \times 100\% \quad (1)$$

式中: F - 试样原始断面积; f - 试样断口处的断面积。

高温塑性拉伸实验试样取自包钢生产的含微合金元素重轨钢 U75V 和 U71Mn 连铸坯, 为了准确地模拟连铸条件, 测试前从连铸坯裂纹处的相关层面进行取样。试样的化学成分见表 1。

高温塑性拉伸实验用样的尺寸为 $\Phi 10 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$ 。轧制变形研究试样取自包钢实际轧制生产现场, 在生产进行到相应所需道次时, 生产线暂停通过现场锯切机切割下一段切片。试样尺寸为 $\Phi 10$

表 1 U75V 和 U71Mn 钢化学成分 / %

Table 1 Chemical composition of steel U75V and U71Mn / %

钢种	熔炼号	C	Si	Mn	P	S	V	Al
U75V	205396	0.75	0.62	0.94	0.019	0.008	0.05	0.005
U71Mn	201396	0.73	0.26	1.20	0.018	0.007	-	-

mm × 15 mm。

高温塑性测试在 Gleeble 1500D 试验机上进行, 试样升温速度为 10 °C/s, 到达 1 300 °C 保温 5 min 后, 以 3 °C/s 的速率降温到预定的变形温度, 变形温度范围为 700 ~ 1 300 °C, 每隔 25 °C 取点一次, 保温 2 min 后, 在该温度下以 $1 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 的应变速率进行拉伸实验, 拉断后空冷。

用 KQ-100E 型超声清洗断口, 通过扫描电镜 SEM 观察试样断口形貌。

2 实验结果与分析

2.1 脆性区的划分

以断面收缩率 $RA = 60\%$ 为阈值划分重轨钢的高塑性区和低塑性区^[2]: (1) 第 I 脆性温度域为 1 250 °C ~ 熔点: 钢种塑性极差; (2) 第 III 脆性温度域为 700 ~ 950 °C: 钢种塑性陡然下降; (3) 高温塑

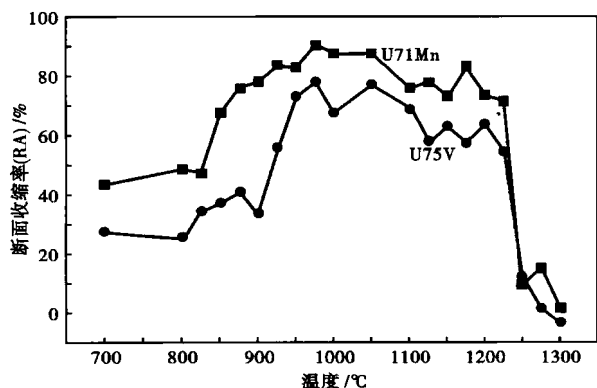


图1 温度对 U71Mn 钢和 U75V 钢断面收缩率的影响
Fig. 1 Effect of temperature on reduction of area of steel U71Mn and U75V

表2 U71Mn 钢与 U75V 钢断面收缩率 (RA) 比较 / %
Table 2 Comparison between reduction of area (RA) of steel U71Mn and steel U75V / %

项目	U71Mn	U75V
975 °C 最大值	90.76	77.48
1 000 ~ 1 225 °C 平均值	80.28	65.17
≤ 1 000 °C 对应拐点 RA 及温度	67.87 (850 °C)	56.31 (925 °C)
第Ⅲ脆性区 (≤ 950 °C) 平均值	76.64	42.05

性区为 1 000 ~ 1 225 °C: 钢种具有良好的延塑性。

2.2 U71Mn 与 U75V 的高温塑性曲线

在加载速度为 $1 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 的条件下分别测定 U75V 和 U71Mn 重轨钢的高温塑性曲线(图 1)。由图 1、表 2 可见:

(1) 高温塑性区在 950 ~ 1 225 °C。U71Mn 与 U75V 试样均具有良好的塑性, U71Mn 的 RA 平均值为 80.28%, U75V 的 RA 平均值为 65.17%, U71Mn 的平均 RA 值比 U75V 高 15.11%。U71Mn 在 975 °C RA 为最大值 90.76%, 在 1 225 °C RA 为 71.38%, 当温度升高到 1 300 °C 时, 出现零塑性, 故 1 225 °C 是 U71Mn 高温塑性的拐点。U75V 在 1 050 °C 的 RA 值为最大 77.48%, 在 1 225 °C 同样是高温

塑性的拐点, RA 值为 70.62%, 在 1 225 °C U71Mn 比 U75V 的 RA 值高 6.86%。可见, 在 1 000 ~ 1 225 °C 高温塑性区, U71Mn 具有比 U75V 更高的延塑性。

(2) 第Ⅲ脆性区 ≤ 950 °C。随着温度的降低, U71Mn 从 850 °C RA 值开始下降, 由 67.87% 下降到 800 °C 的 49.31%。RA 值波动对应的温度范围为 50 °C。该温度段 RA 的平均值为 76.64%。随后试样的塑性一直缓慢下降到更低的温度区间。而 U75V 在 925 °C 的 RA 值开始下降, 由 56.31% 下降到 850 °C 的 37.46%, RA 值波动温度范围为 75 °C。该温度段 RA 的平均值为 42.05%。到 800 °C 最低点后随温度的进一步降低而回升。

(3) 第Ⅰ脆性区在 1 250 ~ 1 300 °C。两个试样的 RA 值都很低, U71Mn RA 值从 10.55% 下降到 1.85%; 而 U75V RA 值从 12.64% 下降到 0。

2.3 断口形貌

由图 2 可见, 高温塑性区 (950 ~ 1 250 °C) 断口: U75V 钢和 U71Mn 钢变形试样的断口形貌中心部分都呈现出大量韧窝, 这是韧性断裂的典型特征, 塑性很好。第Ⅲ脆性区 (≤ 950 °C) 断口: 变形试样的温度由 950 °C 降至 850 °C 时, U75V 和 U71Mn 的塑性都显著下降。从断口形貌中可以看出, 均属于沿晶断裂, 钢的热塑性差。第Ⅰ脆性区 (1 250 ~ 1 300 °C) 断口: 塑性都几乎为零的 U75V 钢和 U71Mn 钢变形试样的断口形貌是沿晶断裂, 属于典型的脆性断裂, 塑性极差。

3 结论

(1) 钒使微合金重轨钢高温塑性降低。它对微合金重轨钢高温塑性的影响主要表现在第Ⅲ脆性区。

(2) 钒微合金重轨钢在生产工艺上应使铸坯温度提高到 900 °C 以上, 有效地避开第Ⅲ脆性区, 以防止铸坯裂纹缺陷的产生。

参考文献

- 1 张银花, 詹新伟, 周清跃. CrNb 轨钢与 PD3、BNbRE 轨钢组织与性能的对比如研究. 铁道学报, 2003, 25(4): 35
- 2 蔡开科. 连铸坯裂纹与钢的高温力学行为. 连铸, 1990, 6(2): 78

刘霞 (1966-), 女, 研究生, 副教授, 冶金机械研究。

收稿日期: 2010-02-27

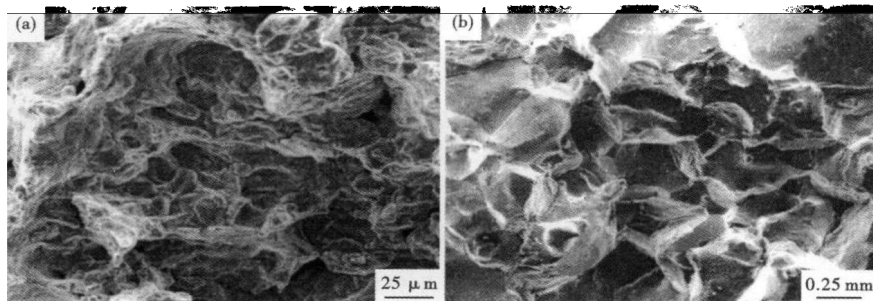


图2 U75V 钢断口的形貌, SEM: (a) 950 °C, 韧窝; (b) 1 250 °C, 沿晶断口

Fig. 2 Morphology of fracture of steel U75V, SEM: (a) at 950 °C, tough fracture; (b) at 1 250 °C, fracture along grain boundary