

· 组织性能 ·

## 稀土对 V 微合金重轨钢高温塑性的影响

王晓丽<sup>1,2</sup> 宋波<sup>1</sup> 智建国<sup>3</sup> 高明星<sup>3</sup> 陈沅<sup>4</sup> 安胜利<sup>5</sup>

(1 北京科技大学冶金与生态工程学院,北京 100083; 2 包头钢铁职业技术学院,包头 014010;  
包钢(集团)公司 3 技术中心,4 技术质量部,包头 014010; 5 内蒙古科技大学,包头 014010)

**摘要** U76CrRE 钢( $\% : 0.71 \sim 0.80C, 0.50 \sim 0.80Si, 0.80 \sim 1.10Mn, 0.04 \sim 0.10V, 0.25 \sim 0.35Cr, 0.02RE$ )和 U75V 钢( $\% : 0.70 \sim 0.78C, 0.50 \sim 0.70Si, 0.75 \sim 1.05Mn, 0.04 \sim 0.08V$ )的冶炼工艺流程为铁水预处理-150 t 复吹转炉-LF-VD 280 mm × 380 mm 连铸,LF 精炼后通过喂稀土包芯线加入稀土。对钢的铸坯进行热塑性试验结果表明,加入稀土主要在第Ⅲ脆性区提高 V 微合金重轨钢的高温塑性,950 ~ 1 225 °C U76CrRE 钢和 U75V 钢的平均断面收缩率 Z 值分别为 83.34% 和 65.17%,1 250 °C U76CrRE 钢和 U75V 钢的 Z 值分别为 58% 和 12%。为防止铸坯出现裂纹,铸坯的矫直温度应  $\geq 900$  °C。

**关键词** 稀土 重轨钢 U76CrRE 微合金化 高温塑性

## Effect of RE on Hot Plasticity of V Microalloying Heavy Rail Steel

Wang Xiaoli<sup>1,2</sup>, Song Bo<sup>1</sup>, Zhi Jianguo<sup>3</sup>, Gao Mingxing<sup>3</sup>, Chen Yuan<sup>4</sup> and An Shengli<sup>5</sup>

(1 School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083;  
2 Baotou Iron and Steel Professional Technical College, Baotou 014010; 3 Technical Center,  
4 Technology and Quality Department, Baotou Iron and Steel (Group) Corp, Baotou 014010;  
5 Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010)

**Abstract** Steelmaking flow sheet for steel U76CrRE ( $\% : 0.71 \sim 0.80C, 0.50 \sim 0.80Si, 0.80 \sim 1.10Mn, 0.04 \sim 0.10V, 0.25 \sim 0.35Cr, 0.02RE$ ) and steel U75V ( $\% : 0.70 \sim 0.80C, 0.50 \sim 0.70Si, 0.75 \sim 1.05Mn, 0.04 \sim 0.08V$ ) is hot metal pretreatment-150 t top and bottom combined blown converter-LF-VD-280 mm × 380 mm bloom casting, and RE is added in steel by feeding cladding RE wire after LF refining. The simulation test results on hot plasticity of steel casting bloom show that the hot plasticity of V microalloying heavy rail steel is increased by adding RE mainly in III brittle zone, at 950 ~ 1 225 °C the average reduction of area Z value of steel U76CrRE and steel U75V is respectively 83.34% and 65.17%, and at 1 250 °C the Z value of steel U76CrRE and steel U75V is respectively 58% and 12%. In order to prevent forming crack of casting bloom, the strengthening temperature of casting bloom should be  $\geq 900$  °C.

**Material Index** Rear Earth Elements, Heavy Rail Steel U76CrRE, Microalloying, Hot Plasticity

U76CrRE 钢轨是近几年发展起来的合金钢轨<sup>[1-6]</sup>。本文研究了微量稀土元素对 U76CrRE 重轨钢高温塑性的影响。

### 1 实验材料及方案

试样取自重轨钢 U75V 和 U76CrRE 连铸坯(表 1),生产流程为:铁水预处理-150 t 复吹转炉冶炼-LF-VD-方坯连铸。铸坯规格 280 mm × 380 mm,断面尺寸 60 kg/m。进 VD 之前,在钢包喂入稀土包芯线 150 m。脱氧剂硅钙钡在转炉出钢及精炼 LF 两个地方加入,精炼后  $[O] \leq 20 \times 10^{-6}$ ,  $[N] \leq 80 \times 10^{-6}$ 。当终点  $[C] \geq 0.20\%$  时,硅钙钡加入量为 1.0 kg/t<sub>钢</sub>; 终点  $[C]$

0.10% ~ 0.20%, 1.5 kg/t<sub>钢</sub>; 终点  $[C] \leq 0.10\%$ , 2.0 kg/t<sub>钢</sub>。合金加完后加入 200 kg 白灰块。采用硅锰、锰铁或硅铁合金进行罐内脱氧合金化。该钢液相线 1 490 °C,过热度  $\leq 30$  °C,控制在 15 ~ 25 °C,连铸时使用电磁搅拌。

### 2 实验结果与分析

用 Gleeble-1500D 试验机在加载速度为  $1 \times 10^{-3} s^{-1}$  的条件下分别测定 U75V 和 U76CrRE 重轨

表 1 U75V 钢和 U76CrRE 钢的化学成分 / %  
Table 1 Chemical composition of steel U75V and steel U76CrRE / %

钢号	C	Si	Mn	P	S	V	Al	Cr	RE (加入量)
U75V	0.70 ~ 0.78	0.50 ~ 0.70	0.75 ~ 1.05	$\leq$ 0.025	$\leq$ 0.025	0.04 ~ 0.08	$\leq$ 0.004	-	-
U76CrRE	0.71 ~ 0.80	0.50 ~ 0.80	0.80 ~ 1.10	$\leq$ 0.025	$\leq$ 0.025	0.04 ~ 0.10	-	0.25 ~ 0.35	0.02

通讯作者:安胜利,教授,内蒙古科技大学,包头 014010

钢的高温塑性曲线(图 1)。由图 1、表 2 可见:

(1) 高温塑性区(950~1 250 ℃)。U76CrRE 与 U75V 试样均具有良好的塑性, U76CrRE 的断面收缩率  $Z$  平均值为 83.34%, U75V 的  $Z$  平均值为 65.17%, U76CrRE 的平均  $Z$  值比 U75V 高 18.17%。U76CrRE 在 1 150 ℃ 的  $Z$  为最大值 85.26%, 在 1 250 ℃ 是 U76CrRE 高温塑性的拐点,  $Z$  值为 58%, 当温度升高到 1 275 ℃ 时, 出现零塑性。U75V 在 975 ℃ 的  $Z$  值为最大值 77.48%, 在 1 225 ℃ 是高温塑性的拐点,  $Z$  值为 57.48%。当温度升高到 1 275 ℃ 时, 出现零塑性。U76CrRE 1 250 ℃ 时的断面收缩率  $Z$  为 58%, 而 U75V 为 12%, 在 1 250 ℃ 时, U76CrRE 的  $Z$  值比 U75V 高 46%。

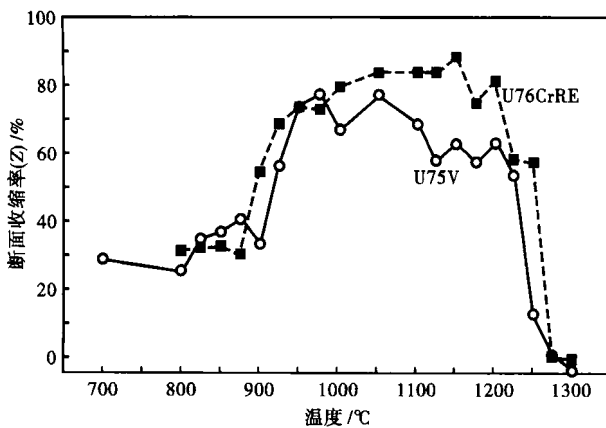


图 1 温度对 U76CrRE 钢与 U75V 钢的  $Z$  值的影响

Fig. 1 Effect of temperature on  $Z$  value of steel U76CrRE and U75V

(2) 第 III 脆性区(950~800 ℃)。随着温度的降低, U76CrRE 从 950 ℃ 开始  $Z$  值下降, 由 77.87% 下降到 800 ℃ 的 32%。 $Z$  值波动对应的温度范围为 50 ℃。随后试样的塑性一直缓慢下降到更低的温度区间。U75V 在 950 ℃ 的  $Z$  值开始下降, 由 77.87% 下降到 800 ℃ 的 26.46%,  $Z$  值波动温度范围为 75 ℃。U76CrRE 的高温塑性在 900 ℃ 以后略低于 U75V, 但比较平稳, 在 30% 以上。

(3) 第 I 脆性区(1 250~1 300 ℃)。两个试样的  $Z$  值都很低, U76CrRE 的  $Z$  值从 58% 下降到 1.85%; U75V 的  $Z$  值从 12% 下降到 0。

表 2 U76CrRE 钢与 U75V 钢的断面收缩率( $Z$ )比较 / %

Table 2 Comparison between reduction of area ( $Z$ ) of steel U76CrRE and steel U75V / %

钢种	断面收缩率( $Z$ ) 最大值	950~1 225 ℃ 平均值	1 200 ℃ 以上对应 拐点 $Z$ 及温度	1 250 ℃ 对应 $Z$
U76CrRE	85.26(1 150 ℃)	83.34	58(1 250 ℃)	58
U75V	77.48(975 ℃)	65.17	57.48(1 225 ℃)	12

利用金相显微镜和扫描电镜观察其微观组织(图 2), U76CrRE 钢与 U75V 钢 860 ℃ 40 min 水冷后奥氏体晶粒尺寸分别为 7.5~8 级和 6~6.5 级。

由图 2 可知, 随着稀土含量的增加, 高碳稀土钢的奥氏体晶粒尺寸显著减小。这表明, 在本实验条件下, 稀土可实现对高碳钢奥氏体晶粒的细化作用。

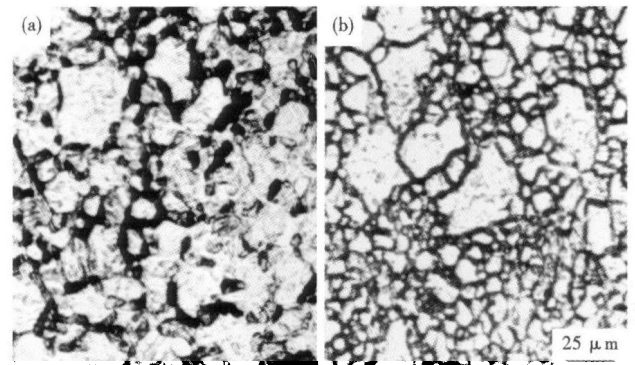


图 2 U75V 钢(a)与 U76CrRE 钢(b)的晶粒度对比

Fig. 2 Comparison between grain size of steel U75V (a) and steel U76CrRE (b)

### 3 结论

(1) 在本实验条件下, 稀土可实现对高碳钢奥氏体晶粒的细化作用。

(2) 稀土使微合金重轨钢高温塑性提高。它对微合金重轨钢高温塑性的影响主要表现在高温塑性区。

(3) 稀土微合金重轨钢铸坯矫直温度应该避开低温裂纹敏感区, 即铸坯温度大于 875 ℃, 最好 900 ℃ 以上矫直。

### 参考文献

- 郭善莉, 张智, 赵桂英. 高强度热处理钢轨试验研究[J]. 包钢科技, 2009, 35(2): 27-29.
- 张智, 任新建, 魏仁群, 等. U76CrRE 稀土钢轨性能研究[J]. 稀土, 2009, 30(1): 62-65.
- 张智, 洪海峰, 智建国, 等. U76CrRE 钢轨的热处理[J]. 金属热处理, 2010, 35(3): 119-121.
- 蔡开科. 连铸坯裂纹与钢的高温力学行为[J]. 连铸, 1990, 6(2): 78-83.
- 余宗森. 稀土在钢铁中应用研究的新进展[J]. 中国稀土学报, 1990, 8(3): 269-276.
- 林勤, 宋波. 钢中稀土微合金化作用与应用前景[J]. 稀土, 2001, 22(4): 31-36.

王晓丽(1973-), 女, 副教授, 材料与冶金研究。

收稿日期: 2012-03-23