

稀土对 14MnNb 钢的微合金化作用*

叶文¹⁾ 林勤¹⁾ 郭世宝²⁾ 陈宁¹⁾

1) 北京科技大学理化系, 北京 100083 2) 安阳钢铁公司

摘要 14MnNb 钢在轧制态下, 随着固溶稀土增加, 碳化铌析出增加, 颗粒变小且弥散分布, 珠光体呈球状、数量减少。当固溶稀土含量为 174×10^{-6} 时, 板条状贝氏体变为粒状贝氏体组织。在奥氏体区, 稀土使碳化铌析出的孕育期延长, 有抑制碳化铌析出的作用。固溶稀土推迟了再结晶的动力学过程, 并使马氏体组织变细。

关键词 稀土, 14MnNb 钢, 微合金化

中图分类号 TG142.12, TG142.41

Effects of Rare Earth on Microalloying of 14MnNb Steel*

Ye Wen¹⁾ Lin Qin¹⁾ Gou Shibao²⁾ Chen Ning¹⁾

1) Department of Physical Chemistry, USTB, Beijing 100083, PRC 2) Anyang Steel & Iron Plant

ABSTRACT For 14MnNb steel of rolling state, with increasing the amount of rare earth in solid solution, the amount of NbC precipitation increase, the particles become smaller and uniform distribution. When the content of the rare earth in solid solution is 174×10^{-6} , these plated bainite microstructures turn to the particle ones. For austenite region, rare earth delay the start precipitation time of NbC, and reduce the effect of NbC precipitation. Rare earth in solid solution also delay the dynamics of recrystallization, and fine the martensite structure.

KEY WORDS rare earth, 14MnNb steel, microalloying

目前人们探求通过控轧和微合金化来提高钢的质量。多年来研究发现, 钢中加入稀土后, 除净化钢液、变质夹杂作用外, 稀土在钢中的固溶部分对钢具有微合金化作用, 能有效地改善钢的性能。稀土固溶量的测定及其固溶规律的研究^[1], 对进一步揭示稀土在钢中的微合金化作用和提高钢质量具有重要意义。

本文通过透射电镜、扫描电镜和热模拟等手段, 研究固溶稀土对 14MnNb 钢的微合金化作用。

1 实验方法

14MnNb 钢以工业纯铁为原料, 在真空感应炉中冶炼, 在氩气保护下加入不同稀土

量. 取钢锭 25kg, 在 1 200 °C 下锻成 65 mm × 55 mm 方坯, 锻坯在高温电阻炉加热至 1 180 °C, 保温 30 min, 然后在两辊可逆式轧机上控轧, 最终轧成 16 mm 厚板. 轧后水冷却, 冷速约 12 °C/s, 终冷 550 °C 并降至室温.

14MnNb 钢化学成分: C 为 0.14%, Mn 为 1.30%, Si 为 0.44%, P 为 0.008%, S 为 0.003%, Nb 为 0.044%.

2 结果与讨论

2.1 稀土对碳化铌析出的影响

取轧制态 14MnNb 钢样, 用 ICP 等离子光谱法测定其稀土固溶量. 用电解法测定钢中析出相碳化铌中铌的含量, 结果见表 1.

表 1 钢中固溶稀土和碳化铌析出的关系 (* 微合金化)

| 项目 | 1# | 2# | 3# | 4# | 5# |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 固溶稀土量, $\times 10^{-6}$ | 0 | 125 | 174* | 565* | 655* |
| 析出相中的 Nb 含量 / % | 0.017 7 | 0.021 2 | 0.023 2 | 0.027 6 | 0.027 3 |

随着钢中稀土固溶量增加, 碳化铌析出量增加. 用 JEM-2000FX 扫描透射电镜分析金属薄膜样, 也获得了上述相同的结果. 透镜观察看出: 碳化铌呈球状析出. 未加稀土试样中, 碳化铌多在晶界或晶界附近析出, 数量少, 颗粒较大; 当固溶稀土为 174×10^{-6} 试样中, 析出的碳化铌颗粒变小, 数量多, 弥散分布.

实验结果表明, 稀土对碳的作用, 影响了碳化铌的析出数量、大小和分布.

在对 T8 钢的研究中也发现^[2], 经 790 °C 淬火, 再经 680 °C 回火 3 h 后的金相组织表明, 未加稀土的试样中, 碳化物有大有小; 加稀土后碳化物在晶界聚集减少, 趋于晶内均匀分布, 且球化和细化. 这一结果说明稀土偏聚于晶界^[3], 也可和碳、氮等一些原子溶质相吸引, 使碳在稀土周围偏聚, 均有利于降低体系的能量. 稀土周围形成碳化物形核长大区域, 使碳向稀土原子周围扩散的机会增大, 从而减少对晶界的依赖, 因而伴随钢中固溶稀土量的增加, 钢中碳化物的析出数量、大小和分布发生了变化.

2.2 稀土影响奥氏体区碳化铌析出的动力学

取未加稀土 1# 试样和固溶稀土含量为 174×10^{-6} , 在 850 ~ 950 °C 下, 利用 Gleele-1500 热模拟机测试应力弛豫曲线, 计算机在弛豫曲线上确定碳化铌开始析出时间 (P_s) 和终止析出时间 (P_f) 并绘出碳化铌析出-时间-温度曲线 (PTT 图), 见图 1. 实验结果表明, 碳化铌析出开始和终止时间随变形温度不同而变化, 曲线呈“C”形. 图中存在碳化铌的最快析出温度和碳化铌析出的最短孕育期.

稀土使碳化铌的最快析出温度稍有下降, 但并未能改变“C”形规律. 当固溶稀土为 174×10^{-6} 时, P_s 和 P_f 曲线均右移, 即稀土使碳化铌在奥氏体化温度下析出的开始和

* 微合金化量

终止时间均增长, 延长了碳化铌析出的孕育时间, 并降低其沉淀析出速率. 这表明在奥氏体区稀土有抑制碳化铌析出的作用.

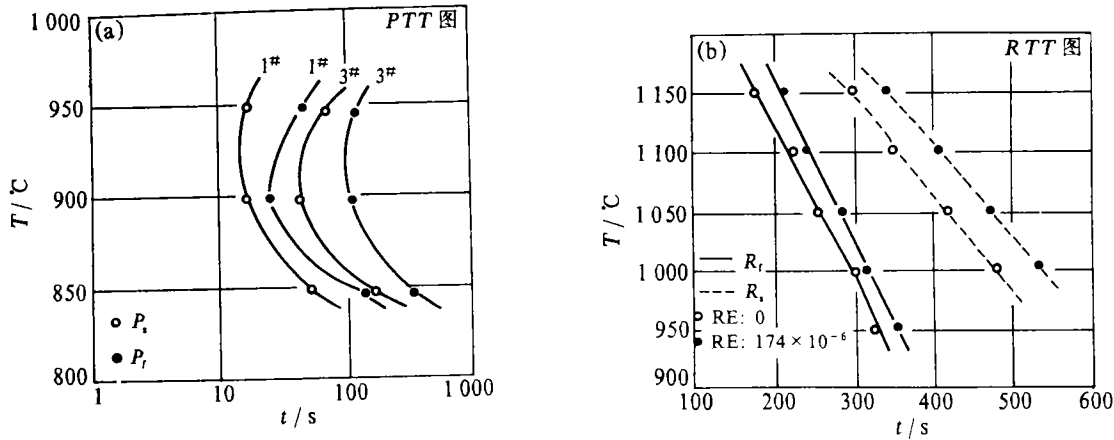


图 1 碳化铌析出的动力学

在 $900 \sim 1000^\circ\text{C}$ 下保温 3 h 时, 电解法分析碳化铌的析出结果证实了上述结论, 见图 2. 在 900°C 时未加稀土及固溶稀土为 174×10^{-6} 和 655×10^{-6} 试样, 碳化铌析出量随稀土增加而减少, 但相差不大; 随着温度的增加, 在 950°C 时碳化铌析出达最高值; 不加稀土样碳化铌析出量高于加稀土样; 在 1000°C 下, 碳化铌析出量急骤下降, 稀土量愈高碳化铌析出量愈低. 因此, 在奥氏体化温度下, 稀土减缓了碳化铌的析出速度, 并随奥氏体化温度的升高其作用更加显著. 稀土和钢中碳和铌的交互作用、稀土与碳和铌的活度相互作用系数均为负数. 稀土降低了钢中碳化铌的活度, 也降低了碳和铌的扩散系数, 在奥氏体化温度下稀土对碳化铌有抑制作用.

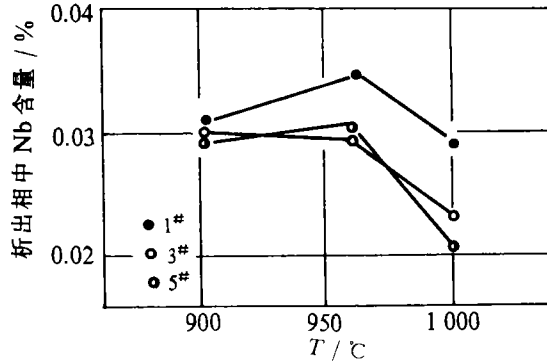
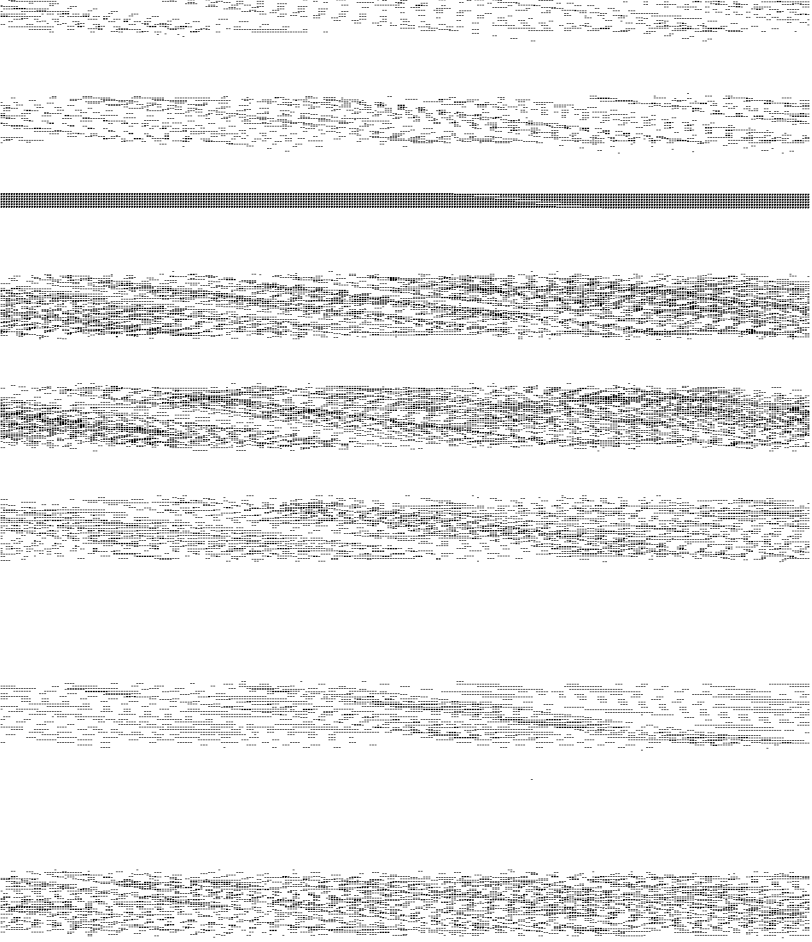


图 2 析出相 Nb 含量与温度关系

利用 Gleele-1500 热模拟机, 在 $950 \sim 1150^\circ\text{C}$ 研究了稀土对 14MnNb 钢动态再结晶过程的作用. 从钢中的真应力和真应变曲线上看出, 在相同的变形条件下, 稀土对曲线的形状变化影响不大, 但在相同的应变速率下, 稀土使动态再结晶的开始和结束的峰应力 ε_p 和 ε_f 均增大. 它表明达到同样变形量, 稀土处理钢比未处理钢的流变应力大.

在一定应变速率 ($\dot{\varepsilon}$) 下, 由下式可求出动态再结晶的开始时间 (R_s) 和结束时间 (R_f): $R_s = \varepsilon_p / \dot{\varepsilon}$, $R_f = \varepsilon_f / \dot{\varepsilon}$ (4). 当 $\dot{\varepsilon} = 1 \times 10^{-3}/\text{s}$ 时, 分别计算出 R_s 和 R_f 绘出再结晶-温度-时间曲线 (RTT 图), 见图 1. 在 $900 \sim 1150^\circ\text{C}$, 稀土使动态再结晶的开始时间和结束时间推迟, 也使 ($R_s - R_f$) 间隔增大, 说明稀土延缓了钢动态再结晶的动力学过程. 当固溶稀土为 174×10^{-6} 时, 再结晶激活能由 375 kJ/mol 增至 422 kJ/mol , 稀土



形 析 可 以 大 步 提 高 的 研 究 体 裁
空 间 流 动 出 现 的 研 究 类 型 缺 乏
未 能 进 行 深 入 研 究 的 研 究 类 型
学 习 过 程 中 的 一 些 结 晶 体 增 加 等
的 研 究 类 型 缺 乏 研 究 类 型 缺 乏
研 究 类 型 缺 乏 研 究 类 型 缺 乏

(下转 198 页)

(2) 疲劳-蠕变交互作用应变速率特征图可以反映材料疲劳-蠕变交互作用的断裂机制。DD3单晶合金有较强的蠕变抗力和相对较弱的疲劳抗力,适用于工作在较稳定状态的高温动力机械部件。

(3) 建立在交互作用断裂特征图基础上的最大应力修正方程可用来计算材料在疲劳-蠕变交互作用下的最小应变速率。

参 考 文 献

- 1 吴仲棠等, 高强度低成本的 DD3 单晶合金. 见: 第七届高温合金年会论文集, 厦门, 1987. 206
- 2 Taria S, Koterazawa R. Investigation on Dynamic Creep and Rupture of a Low Carbon Steel. JSME, 1961, 14: 4
- 3 陈国良. 疲劳蠕变曲线和断裂特征图研究. 航空材料 (专刊), 1983, 3: 474
- 4 陈国良, 何庆复. 在疲劳-蠕变交互作用断裂特征图基础上的最大应力修正法. 见: 1985年国际低周疲劳会议论文集, 1985. 531
- 5 陈国良, 郭宏, 吴仲棠. 一种镍基单晶高温合金的疲劳蠕变行为. 见: 铸造高温合金论文集. 北京: 中国科学技术出版社, 1993. 134

~~~~~  
(上接 163 页)

#### 参 考 文 献

- 1 叶文, 林勤, 李文超. 铈在低硫 16Mn 钢中的物理化学行为. 中国稀土学报, 1985, 3(1): 55
- 2 林勤, 付庭灵, 余宗森等. 高碳钢中稀土元素与碳相互作用. 中国稀土学报, 1994, 12(2): 146
- 3 余宗森等. 稀土在钢铁中的应用. 北京: 冶金工业出版社, 1987. 139
- 4 Weiss I, Jonas J J. Interaction Between Recrystallization and Precipitation During the High Temperature Deformation of HSLA Steels. Met Trans, 1979, 10(7): 831
- 5 吴木林. 稀土加入方法及其在 20MnVB 和 20# 低碳钢中作用机理的研究: [硕士学位论文]. 北京科技大学理化系, 1989