

模拟控轧控冷过程含 Nb 超低碳钢的组织演变

郭爱民 贺信莱

(北京科技大学材料物理系, 北京 100083) (武汉钢铁(集团)公司技术中心, 武汉 430080)

陈颜堂

付俊岩 侯豁然

(中信特钢集团公司, 北京 100012)

摘要 用 Thermecmaster-Z 型热模拟机模拟试验了成分(%)为: 0.03C-1.05Mn-0.6Cr-0.08Nb 的 Nb 超低碳钢加热 1 200 °C 后冷至 850 °C 压缩变形 50%, 并在 850 °C 下保温 20 ~ 1 000 s 后快冷至 450 °C, 再空冷的过程中的组织演变。试验结果表明, 随 50% 变形后保温时间的延长, 钢中针状铁素体及贝氏体数量减少, 多边铁素体数量增加, 马氏体-奥氏体(M-A)岛尺寸增大, 组织中位错密度降低; 当 50% 变形后, 保温时间 > 50 s 时, 显微硬度(Hv10)值快速下降, 保温时间 ≥ 500 s 时, Hv10 值下降较慢。

关键词 超低碳 Nb 微合金化 控轧控冷 热模拟 组织演变

Structure Evolution of a Nb-Microalloyed Extra-Low Carbon Steel during Simulated Thermomechanical Control Process

Guo Aimin and He Xinlai

(Science and Technology University, Beijing 100083)

Chen Yantang

(Technology Center, Wuhan Iron and Steel (Group) Co, Wuhan 430080)

Fu Junyan and Hou Huoran

(Zhongxin Nigang (Group) Co, Beijing 100012)

Abstract The structure evolution of a Nb-microalloyed extra-low carbon steel 0.03C-1.05Mn-0.6Cr-0.08Nb during 1 200 °C heating, then cooling to 850 °C and reducing 50%, holding at 850 °C for 20 ~ 1 000 s fast cooling to 450 °C, air cooling has been simulated and tested by Thermecmaster-Z thermal simulator. The test results showed that with increasing holding time after reduction 50%, the amount of acicular ferrite and bainite in steel and the dislocation density in structure decreased, where the size of martensite-austenite (M-A) island increased; As the holding time after reduction 50% was more than 50 s, the micro hardness (Hv10) value quick decreased but that more than 500 s the Hv10 hardness value decreased slowly.

Material Index Extra-Low Carbon, Nb Micro-Alloying, Thermomechanical Control Process, Thermal Simulation, Structure Evolution

研究表明低合金高强度钢中加入微量合金元素 Nb, 可有效地抑制高温奥氏体晶粒长大, 提高奥氏体再结晶温度。利用这一特性, 可以在高温区对钢进行充分变形, 获得良好的原始组织。在轧后冷却过程中利用 Nb 的碳化物、氮化物及碳氮化物的析出强化作用, 获得综合性能良好的低合金高强钢^[1-4]。

与 Nb 微合金化钢密切相关而发展起来的热机械处理工艺过程(TMCP)比常规轧制的低合金高强度钢具有更为细小的铁素体/贝氏体组织, 表现出优良的强度和断裂韧性^[2,3]。在控轧控冷过程中, 合金元素 Nb 可有效地抑制奥氏体再结晶和晶粒长大, 经常选用作为合金化元素加入 TM-

CP 钢中改善强度和低温韧性^[5,6], 对轧态钢可提供 100 MPa 左右的屈服强度^[6]。但涉及轧后不同冷却过程中组织演变的研究还不多, 为此, 研究了 Nb 微合金化钢轧后冷却过程中组织的变化。

1 实验过程

在实验室用 50 kg 真空感应炉冶炼试验钢并真空浇铸成钢锭, 化学成分(%)为: 0.03C, 0.30Si, 1.05Mn, 0.60Cr, 0.08Nb。

用 500 mm 轧机轧成 20 mm 的钢板, 从轧成的钢板上取样加工成 Φ8 mm × 12 mm 的圆棒, 用 Thermecmaster-Z 型热模拟试验机模拟控轧及控冷过程, 将试样快速加热至 1 200 °C, 冷至 850 °C 压

缩变形 50% 后分别保温 20 s、500 s 和 1 000 s, 保温温度为 850 °C, 然后快速冷却至 450 °C, 变形速率为 1 s^{-1} 。最后空冷至室温, 用 Olympus PME3-323 μm 金相显微镜观察分析微观组织形貌。从变形试样上切割 0.5 mm 的薄片制作透射电镜薄膜试样, 机械磨至 50 μm , 最后用 5% 的高氯酸酒精溶液在 -20 °C 进行电化学双喷腐蚀减薄, 电压为 20 V, 用 JEM-2000FX II 透射电镜观察其精细结构。

2 实验结果与分析

图 1 为试验钢在 850 °C 经 50% 变形后保温 20 s、500 s 和 1 000 s 的金相组织, 可见, 变形后保

温时间对微观组织具有显著的影响。保温 20 s 的试样组织中含有较多的针状铁素体、贝氏体及沿原奥氏体晶界分布的细小形变诱导铁素体(图 1(a))。在保温 500 s 的试样中, 针状铁素体及贝氏体数量明显减少, 多边形铁素体量增多, 沿原奥氏体晶界分布的细小形变诱导铁素体形态及数量变化不明显, 在光学显微镜下可能难于分辨其中的变化(图 1(b))。与前两个试样中的组织明显不同, 保温 1 000 s 的试样中组织以多边形铁素体为主, 尺寸较大, 同时含有少量的贝氏体, 针状铁素体几乎消失(图 1(c))。

由图 1 可以看出, 随着变形后保温时间的延

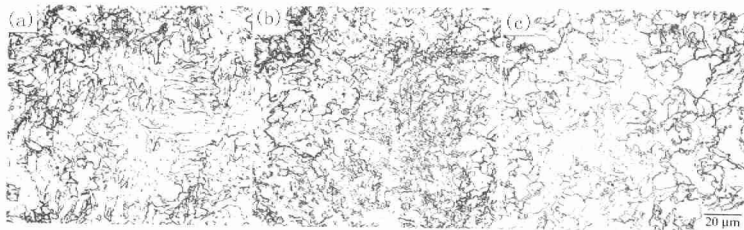


图 1 0.03C-0.08Nb 试验钢 50% 变形后 850 °C 保温 (a) 20 s, (b) 500 s 及 (c) 1 000 s 组织变化

Fig. 1 Structure evolution of 0.03C-0.08Nb test steel holding at 850 °C for 20 s (a), 500 s (b) and 1 000 s (c) after 50% reduction

长, 组织逐渐粗化, 针状铁素体数量逐步减少直至消失, 这是由于形变铁素体在保温过程中发生了再结晶。另一方面形成的铁素体可能发生了 $\alpha \rightarrow \gamma$ 逆转变, 随后冷却过程中发生 $\gamma \rightarrow \alpha$ 转变, 形成粗大的多边形铁素体。

金相显微镜下难于观察微观组织的精细结构, 用透射电镜进一步研究了试样在变形过程中组织的变化。保温 20 s 的试样中, 铁素体板条的宽度较小, 针状铁素体形态特征明显, 未发现铁素体再结晶。在保温 500 s 的试样中, 铁素体板条已开始变宽, 较粗大的板条铁素体靠吞并较小的铁素体而长大, 即铁素体已发生再结晶。保温 1 000 s 的试样中, 形变铁素体再结晶接近结束, 观察到大量多边形铁素体, 而板条铁素体(针状铁素体)数量很少。另外, 随着保温时间的延长, 组织中位错密度逐渐降低。

图 2 为保温 20 s、500 s 和 1 000 s 试样中 M-A 岛形态特征及其随保温时间的延长而发生的变

化。在 3 个试样中均发现有孪晶马氏体颗粒, 且随着保温时间的增加, M-A 岛尺寸逐渐增大。这种变化趋势可能与 C 的扩散有关, 随着保温时间的延长, C 就会发生长程扩散, 使富 C 的奥氏体尺寸增加, 在随后的冷却过程中转变成孪晶马氏体。

图 3 为显微硬度与变形后保温时间的变化关系。由图 3 可见, 50% 变形后在 850 °C 的保温时间小于 50 s 时, 显微硬度不变, 硬度值接近 203 Hv10, 保温时间高于 50 s 时, 显微硬度呈快速下降趋势, 而保温时间大于 500 s 时, 下降速率趋缓。这是由于性能的变化与组织的变化相对应所致, 保温时间较短时, 铁素体未发生再结晶, 另外组织中存在大量贝氏体及针状铁素体等非平衡组织, 致使硬度较高, 随着保温时间的延长, 铁素体发生再结晶, 贝氏体数量减少, 位错密度降低导致硬度迅速降低。

当保温时间过长时(如超过 500 s)非平衡组织向平衡组织转变及铁素体的再结晶过程接近完

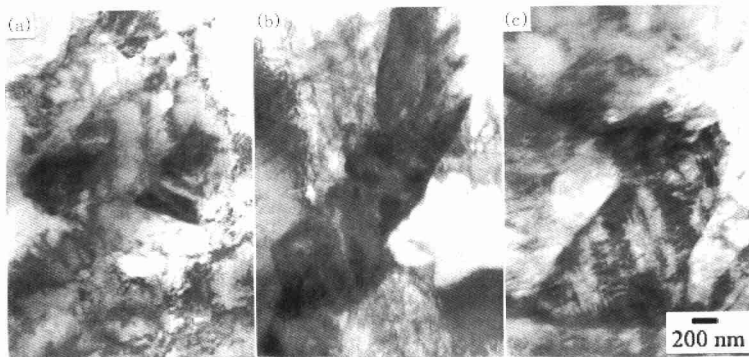


图 2 0.03C-0.08Nb 试验钢中马氏体-奥氏体岛状组织随着 50% 变形后 850 °C 保温时间的变化: (a) 20 s; (b) 500 s; (c) 1 000 s

Fig.2 Structure evolution of martensteite-austenite island in 0.03C-0.08Nb test steel with holding time at 850 °C after 50% reduction: (a) 20 s; (b) 500 s; (c) 1 000 s

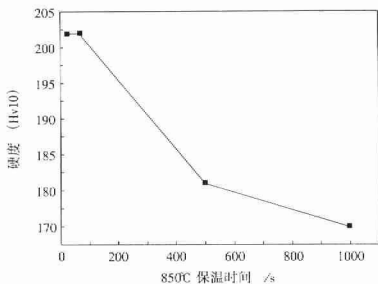


图 3 50% 变形后在 850 °C 保温时间对 0.03C-0.08Nb 试验钢 Hv10 硬度值的影响

Fig.3 Effect of holding time at 850 °C after 50% reduction on Hv10 hardness value of 0.03C-0.08Nb test steel

成,位错密度下降到稳定状态,强度(硬度)的下降速率就会变缓。

3 结论

(1) 在 850 °C 经 50% 压缩变形后,随着保温时间的延长,多边形铁素体数量增加,贝氏体及针状铁素体数量减少,直至消失,M-A 岛尺寸逐步增大。铁素体中的位错密度逐渐降低。

(2) 保温时间小于 50 s 时,显微硬度不变,保温时间在 50 ~ 500 s 范围,显微硬度呈快速下降趋

势,当保温时间超过 500 s 时,显微硬度下降速率减小。

致谢 感谢中国中信金属公司和巴西矿业公司(CBMM)提供研究经费。

参考文献

- Ouchi C, Tanaka J, Kosusu I, et al. Control of Microstructure by the Processing Parameters and Chemistry in the Arctic Line Pipe Steels, *Micron 78: Optimization of Processing, Properties and Service Performance Through Microstructural Control*, ASTM STP 672, pp105
- Banerjee M K, Banerjee P S and Datta S. Effect of Thermo-mechanical Processing on the Microstructure and Properties of a Low Carbon Copper Bearing Steel, *ISIJ International*, 2001, 41(3): 257
- Senuma T, Kameda M and Suehiro M. Influence of Hot Rolling and Cooling Conditions on the Grain Refinement of Hot Rolled Extralow-carbon Steel Bands, *ISIJ International*, 1998, 38(6): 587
- 东海, 孟繁茂, 王祖滨, 等. 神奇的 Ni——镍在钢铁中的应用. 北京: 中信美国钢铁公司, 1999, 6
- Lee S H, Kwon D G, Lee Y K. Transformation Strengthening by Thermo-mechanical Treatments in C-Mn-Ni-Nb Steels, *Metallurgical and Materials Transaction A*, 1995, 26A: 1093
- Itman A, Cardoso K R, Kestenbach H J. Quantitative Study of Carbonitride Precipitation in Niobium and Titanium Microalloyed Hot Strip Steel, *Metallurgical Materials Science and Technology*, 1997, 13: 49

郭爱民(1965-),男,教授,副主任,金属材料研究与开发。武汉钢铁(集团)公司技术中心,武汉 430080