

# 调质工艺对 API-5CT-C110 钢管组织性能的影响

张 洪 李宇 刘 超 龙双艳

(湖南工学院, 湖南 衡阳 421002)

**摘要:** 在不同热处理制度下对 API-5CT-C110 管线钢热轧管进行调质处理, 采用金相显微镜、扫描电子显微镜观察不同温度固溶后合金的显微组织, 研究了调质热处理工艺对热轧 C110 管线钢组织的影响。结果表明: 当淬火温度、时间和回火时间一定时, 随着回火温度的升高, 组织先呈带状而后变形方向逐渐不明显, 而基体晶粒尺寸则基本不受回火温度变化的影响, 另一方面, 调质 C110 钢碳化物在晶粒内部和晶界处均有析出, 尺寸随回火温度升高而增大。

**关键词:** 调质工艺; API-5CT-C110 钢管

随着石油工业的发展与现有油气资源的日益减少, 分布广泛、潜力巨大的深部油气成为世界各国油气工业开发的重要领域, 开发高强度耐腐蚀的新型管线钢具有重要意义。C110 级抗硫化物应力开裂油井管于 2012 年被正式纳入 API-5CT 标准, 因其具有高强度、耐腐蚀的优越特性在深层油气开采中得到了快速的推广应用, 对 C110 管线钢的研究也在国内外业内得到了广泛的关注。本文以 C110 热轧管为研究对象, 经过不同的调质处理工艺后对其组织和力学性能进行了研究, 分析不同调质处理工艺下 API-5CT-C110 钢组织演变的情况。

## 一、实验方法

实验所用材料为某公司生产的 API-5CT-C110 热轧钢管。将 C110 钢在 SX-8-14 箱式电阻炉中进行调质处理, 固溶温度为 930℃, 保温时间 30min, 采用水淬冷却, 回火温度分别为 710、690、670、650℃, 保温时间为 90min, 并空冷到室温。将调质后

的 C110 管线钢用线切割取试样后, 将试样逐级打磨并进行抛光, 采用 4% 硝酸酒精溶液进行腐蚀后, 用 AxioVertA1 金相显微镜观察调质处理后的组织, 并用 ZISS-EVO18 型扫描电子显微镜对其微观组织进行观察。

## 二、结果与讨论

C110 管线钢采用不同回火温度调质后低倍显微组织金相照片如图 1 所示, 放大倍数为 50 倍, 图 1 (a) ~ (d) 所对应的 C110 钢试样回火温度分别为 710、690、670 和 650℃。由图可见, 经过不同回火温度的调质处理后, C110 钢均可以获得细小而均匀的微观组织, 晶粒尺寸约为 5~10 μm, 主要由索氏体 + 少量白色的残余奥氏体组成, 回火温度对晶粒尺寸没有显著影响。当回火温度较低 (≤ 670℃) 时, 如图 1 (c) 和 (d) 中所示, 组织呈带状分布, 显示出明显的变形方向, 有轧线存在; 而当回火温度较高 (≥ 690℃) 时, 带状组织基本消失, 变形组织轧线不明显, 没有明显的方向性。

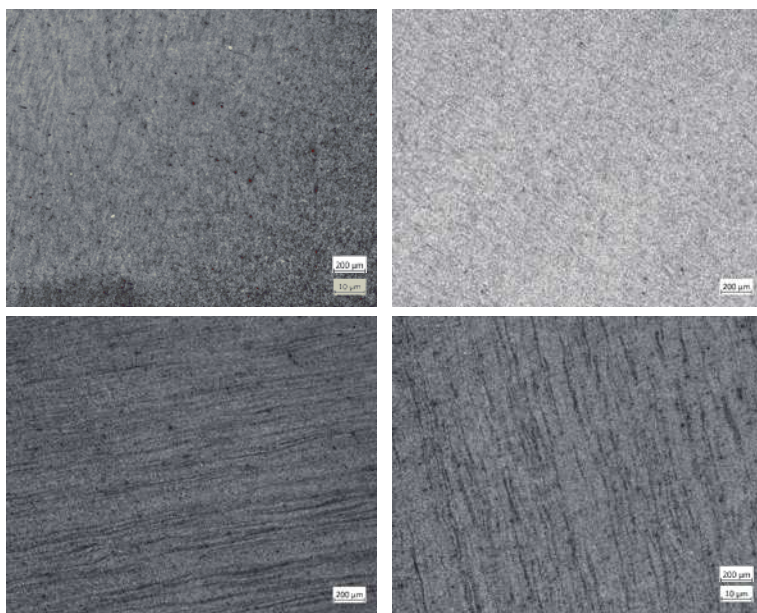


图 1 不同调质工艺 C110 管线钢显微组织低倍金相照片

调质试样高倍显微组织金相照片如图 2 所示, 放大倍数为 1000 倍, 图 2 (a) ~ (d) 所对应的 C110 钢试样回火温度分别为 710、690、670 和 650℃, 图中黑色圆点状组织为析出的第二相。由图可见, 经过调质处理后 C110 管线钢析出了大量的第二相, 主要分布在晶粒内部, 随着回火温度的升高, 第二相析出量减少, 同时部分第二相开始聚集长大。

调质处理后的 C110 管线钢 SEM 组织如图 3 所示, 图 3 (a) ~ (d) 所对应的 C110 钢试样回火温度分别为 710、690、670 和 650℃,

图中深色部分为基体  $\alpha$ -Fe 相, 浅色组织为第二相, 根据相关文献结合材料本身成分, 该相为球粒状渗碳体 Fe<sub>3</sub>C。由图可见, 经过调质处理后, C110 管线钢中不存在大尺寸第二相夹杂, 而是在基体中分布着一系列小而弥散的第二相。第二相分布较为均匀, 在晶内和晶界处均有分布。当回火温度较低时, 如图 3 (c)、(d) 所示, 析出相数量较多, 尺寸较小; 随着温度的升高, 第二相析出量变化不明显, 但是部分第二相发生粗化长大, 整体尺寸增大。

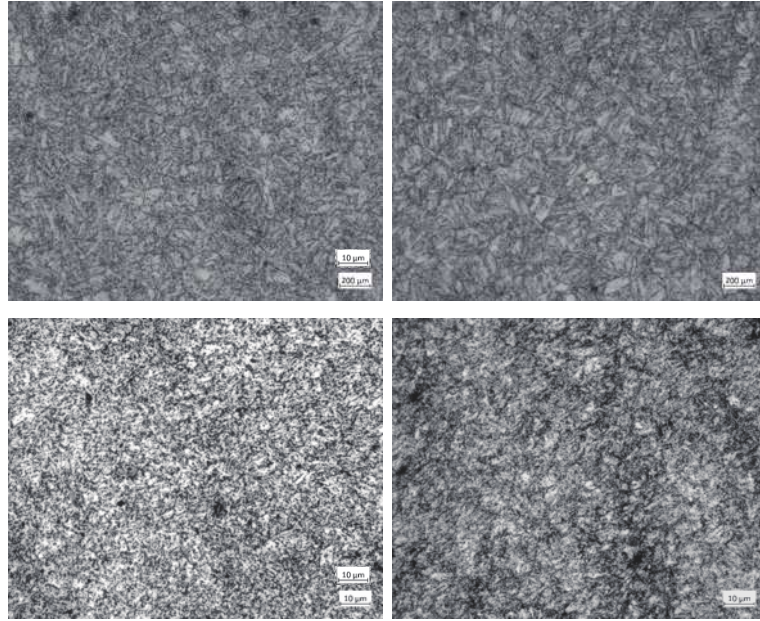


图2 不同调质工艺 C110 管线钢显微组织高倍金相照片

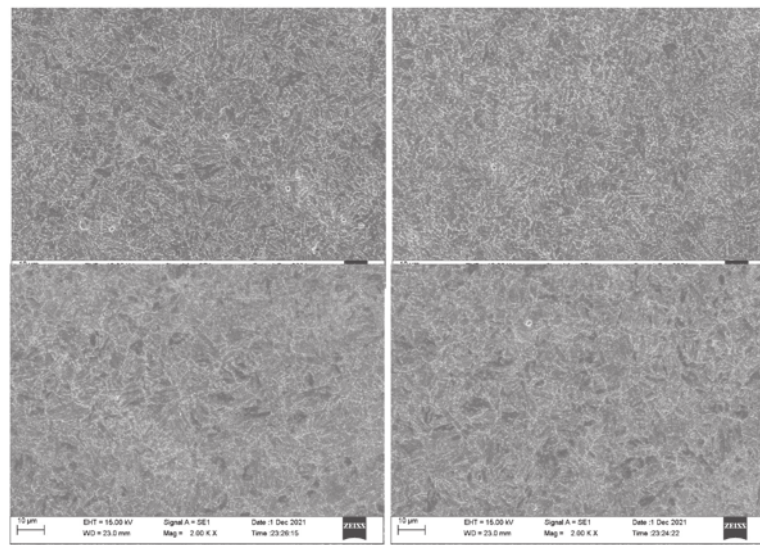


图3 不同调质工艺 C110 管线钢显微组织扫描照片

综上所述, C110 钢经过高温回火后, 过饱和马氏体基体中析出渗碳体, 细版条状的渗碳体发生聚集呈球粒状, 弥散分布在晶内和晶界处, 与  $\alpha$ -Fe 固溶体形成回火索氏体。随着温度的上升, 球粒状的渗碳体发生粗化。回火时渗碳体的球化或粗化, 都是通过不稳定、曲率半径较小的渗碳体重熔于  $\alpha$ -Fe 固溶体, 而较稳定、曲率半径较大的渗碳体进一步长大来完成的, 即 Ostwald 过程。

### 三、结论

(一) 热轧态 API-5CT-C110 管线钢经 930 °C、30min 淬火 +650~710 °C、90min 回火的调质处理后, 均可获得细小而均匀的组织, 其晶粒尺寸约为 5~10  $\mu$ m, 回火温度较低时组织呈带状, 较高时则没有明显的方向性;

(二) 经过调质处理的 C110 管线钢的微观组织由  $\alpha$ -Fe 基体和渗碳体 Fe<sub>3</sub>C 共同组成, 为回火索氏体, 第二相渗碳体 Fe<sub>3</sub>C 呈球粒状, 分布在晶内和晶界处;

(三) 随着回火温度的升高, 渗碳体 Fe<sub>3</sub>C 通过 Ostwald 过程粗化长大, 第二相尺寸增大。

### 参考文献:

- [1] 潘丽娟, 龙武, 霍锦华. P110 与 P110S 钢在套管环空液中的腐蚀行为研究 [J]. 材料保护, 2021, 54 (7): 7.
- [2] 郭玉洁, 杨志文, 孙海礁, 等. 某注水注气井 C110 油管腐蚀穿孔原因分析 [J]. 腐蚀与防护, 2020, 41 (4): 4.
- [3] 潘东, 林元华, 罗德福, 等. 盐浴渗氮对 C110 钢耐冲刷腐蚀性能的影响 [J]. 材料热处理学报, 2013 (S2): 5.
- [4] 李渭亮, 张慧娟, 杜春朝, 等. CO<sub>2</sub> 渗入对 C110 管柱在甲酸盐完井液中腐蚀行为的影响 [J]. 材料保护, 2018, 51 (10): 47.
- [5] 李松瑞, 周善初. 金属热处理 [M]. 湖南: 中南大学出版社, 2003: 362.

作者简介: 张洪 (1982—) 男, 湖南衡阳人, 研究生, 实验师, 研究方向: 机械制造、材料成型、金属材料工程。