

# 消除 20 钢无缝管冷弯成型角裂的预处理工艺试验

朱伏先<sup>1</sup>, 赵乾<sup>1</sup>, 王纯亮<sup>2</sup>, 张鸿绪<sup>2</sup>, 金镛<sup>2</sup>

(1. 东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室, 辽宁 沈阳 110004;

2. 沈阳东洋异型管有限公司, 辽宁 沈阳 110042)

**摘要:** 对两批 20 钢无缝矩形管冷弯成型时角部出现裂纹的现象进行了组织观察分析, 认为原料管热轧工艺不当而形成的魏氏组织是裂纹形成的主要原因。提出了冷弯成型前对原料管进行预处理的工艺方案; 研究分析了正火温度、保温时间和冷却方式对原料管组织和力学性能的影响规律; 确定了 20 钢原料管的常规正火工艺: 加热温度  $(890 \pm 10)$ , 保温 6 min 后散置空冷。本常规正火工艺可完全消除 20 钢原料管的魏氏组织, 使其屈服强度和抗拉强度的匹配更加合理, 屈服比  $\sigma_s/\sigma_b$  0.78, 延伸率  $\delta_5$  30%, 冷成型性能大幅度提高并避免出现冷弯开裂现象。

**关键词:** 20 钢无缝矩形管; 原料管; 冷弯成型; 角部裂纹; 预处理; 工艺试验

中图分类号: TG142.1; TG15 文献标识码: B 文章编号: 1001-2311(2007)01-0021-05

## Experiment of Process for Pre-Treatment of 20 Steel Seamless Tube to Eliminate of Corner Crack during Cold-Bending Formation

Zhu Fuxian<sup>1</sup>, Zhao Qian<sup>1</sup>, Wang Chunliang<sup>2</sup>, Zhang Hongxu<sup>2</sup>, Jin Yong<sup>2</sup>

(1. National Key Laboratory for Rolling Technology and Automation of Continuous Rolling Process Affiliated to Dongbei University, Shenyang 110004, China;

2. Shenyang Dongyang Shaped Tube Co., Ltd., Shenyang 110042, China)

**Abstract:** Addressing corner cracking as occurred in cold-bending formation process of the 20 steel seamless rectangular tubes, the metallographic structures of two lots of such tubes are observed and analyzed. As a result it is identified that the main cause of the said corner cracking is the Widmannstatten structure of the mother tube as developed due to improper hot rolling process therefor. Accordingly a process solution of pre-treatment of the mother tube before cold-bending formation is proposed. Laws of influences by the major elements concerned on the structure and mechanical properties of the mother tube are analyzed, including the normalization temperature, soaking time and the cooling method, etc. The regular normalization process is set up, i.e., to heat the tube up to temperature of  $(890 \pm 10)$  and then get it soaked for 6 min prior to air-cooling. With this process the Widmannstatten structure of the 20 steel mother tube is totally eliminated, the tube's yield strength and tensile strength are more appropriate to each other, and a yield strength ratio  $\sigma_s/\sigma_b$  0.78 and an elongation rate  $\delta_5$  30% are obtained respectively. As a result the cold-bending performance of the 20 steel mother tube is significantly improved without any occurrence of the foresaid corner cracking during cold-bending process.

**Key words:** 20 steel seamless rectangular tube; Mother tube; Cold-bending formation; Corner cracking; Pre-treatment; Process experiment

## 0 前言

近年来, 从市场上购回不同品种规格的圆管并

采用独立冷弯成型机组生产异型管, 这种方式因其具有设备投资少, 改变品种规格灵活, 产品精度高且交货期短等优点而得到广泛采用。特别是辊挤压冷弯成型方式的引进, 使我国已具备生产大口径、厚壁、特殊用途无缝异型钢的能力。新的生产方

朱伏先(1946-), 男, 教授, 博士生导师, 长期从事钢材组织性能控制及钢铁新材料研究工作。

式给无缝钢管生产企业带来新的市场机遇，反过来新的客户群也对传统的无缝管生产方式提出了新的挑战。如何提高无缝钢管的二次加工性能以满足新的市场需求，已引起业界人士的广泛关注<sup>[2]</sup>。

本文针对沈阳东洋异型管有限公司为国内某厂生产的两批 20 钢无缝矩形管角部出现严重纵向裂纹而引发质量异议的问题，采样角部裂纹比较严重的 160 mm×60 mm×6.5 mm 规格无缝矩形管(以下简称 65 号钢管)的原料管，分析了辊挤压过程中矩形角部产生裂纹的原因，并通过成型前的预处理工艺试验，探讨了提高含有魏氏组织的原料管成型性能的途径。

## 1 矩形管角部开裂的原因分析

本批 65 号钢管冷弯成型后角部出现开裂的实物照片示于图 1，对应的原料管化学成分见表 1，常规力学性能见表 2。从表 1 和表 2 可以看出，原料管的化学成分满足 GB/T 699-2000 的要求，但力学性能中的延伸率仅为 16%，这说明本批原料管的塑性指标很低，因此其冷成型性能较差。在辊挤压的过程中，由于冷弯型钢的角部变形较大，若原料管的塑性变形极限不能满足较高的变形要求，便会在矩形管的角部出现裂纹<sup>[3]</sup>。

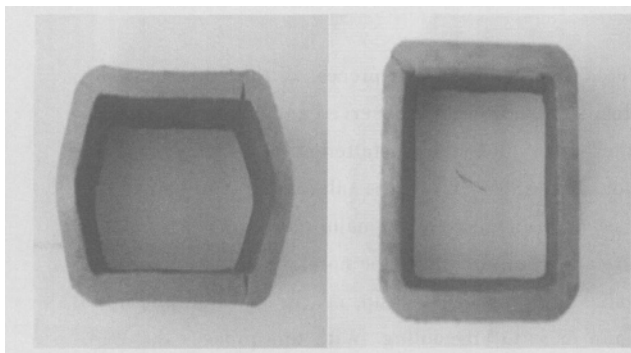


图 1 65 号钢管冷弯成型后出现的角部开裂实物照片

表 1 原料管的化学成分(质量分数) %

C	Si	Mn	P	S
0.200	0.284	0.446	0.023	0.012

表 2 原料管的常规力学性能

屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	屈强比( $\sigma_s/\sigma_b$ )	延伸率/%
403.5	510	0.79	16

图 2 所示为原料管的金相组织。从图 2 可以看出，原料管的铁素体晶粒粗大，平均晶粒尺寸为 24.3  $\mu\text{m}$ ，而且晶粒大小不均，表现为典型的魏氏组织特征。这可能是在无缝钢管生产过程中变形条件控制不当或终轧温度过高，导致再结晶后形成粗大的奥氏体晶粒，使其有效晶界面积减小，奥氏体/铁素体相变过程中铁素体的形核位置相应减小，相变后形成粗大的铁素体/珠光体组织即魏氏组织。魏氏组织的出现，使钢管的塑性明显降低并导致冷成型性能恶化，是角部裂纹形成的主要原因。

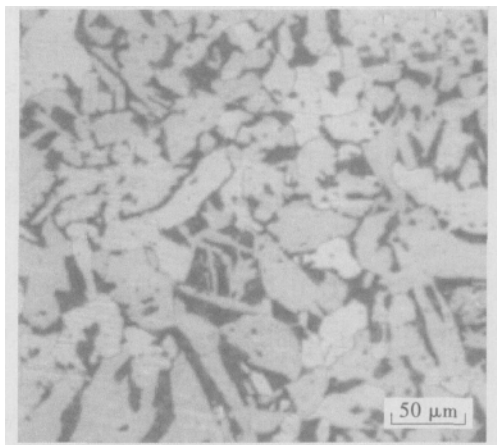


图 2 65 号钢管原料管的显微组织(4%硝酸酒精溶液腐蚀)

## 2 实验方法

利用液压式万能试验机检测原料管和其热处理试样的力学性能；利用 Leica 图像分析仪观察微观组织。热处理试验方案如下：在从原料管上切取标准的拉伸试样后，采用箱式电阻炉，将试样分别加热到 790，840，890，940，990 和 1 040 等 6 个温度点，保温 10 min 后取出空冷，然后对试样进行力学性能检验和金相分析，确定出最佳正火温度。此后在最佳正火温度下分别对加热试样保温 3，6，10 和 14 min，比较分析不同保温时间对材料组织及力学性能的影响规律，确定出最佳正火保温时间。此外，通过试验比较不同冷却方式下铁素体晶粒的细化效果。

## 3 实验结果及分析

### 3.1 正火温度对原料管力学性能及组织的影响

图 3 和图 4 所示为 65 号钢管的原料管经 790~1 040 正火加热、保温 10 min 后空冷试样的常规力学性能。

从图 3 和图 4 可以看出，正火后原料管的屈服

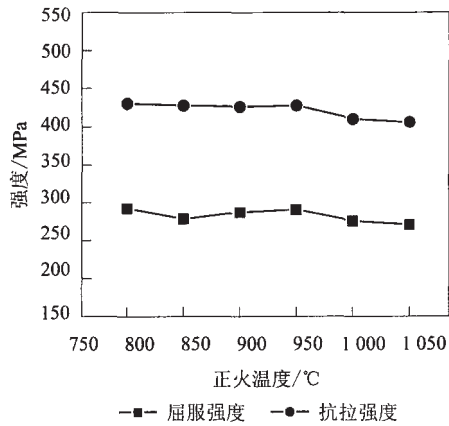


图3 正火温度与屈服强度和抗拉强度的关系

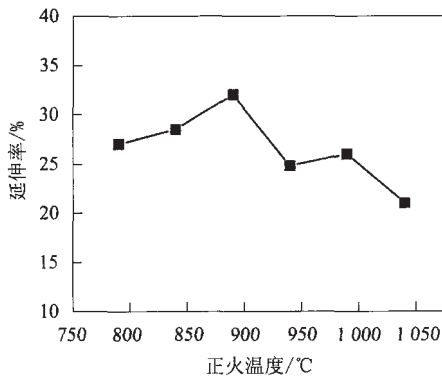


图4 正火温度与延伸率的关系

强度和抗拉强度总的变化趋势是随正火温度的升高而逐渐降低。当正火温度高于 950 后, 屈服强度和抗拉强度降低的幅度增大, 但在试验的正火温度范围内仍能满足技术条件要求, 且屈服强度和抗拉强度的匹配均比原料管合理。由此可见, 采用适宜的正火工艺, 对改善 65 号钢管原料管的综合力学性能是行之有效的。从图中还可以看出, 延伸率随正火温度的变化规律是: 在 890 正火时获得最大值, 延伸率高达 31%, 比原料管的延伸率提高近 1 倍, 而且屈强比值仅为 0.76 左右, 处于较低的水平。屈强比低、延伸率大表明钢材在塑性变形过程中抗细颈变薄能力强, 具有更高的冷成型性能。因此, 从避免冷弯成型时出现角部开裂的角度考虑, 推荐 65 号钢管原料管的最佳正火温度为  $(890 \pm 10)$ 。

图 5 所示为不同正火温度时的室温显微组织及其相对应的原始奥氏体组织。

由图 5 可见, 在 790 和 840 正火时, 由于温度比较低, 故还没有完全奥氏体化; 当正火温度达到 890 时, 奥氏体化基本完成, 且奥氏体晶粒比较细小; 随着正火温度的提高, 奥氏体晶粒逐渐长大, 正火温度越高, 奥氏体晶粒长大越显著; 当正火温度超过 990 后, 奥氏体晶粒急剧长大, 相变后形成与图 2 相类似的魏氏组织。

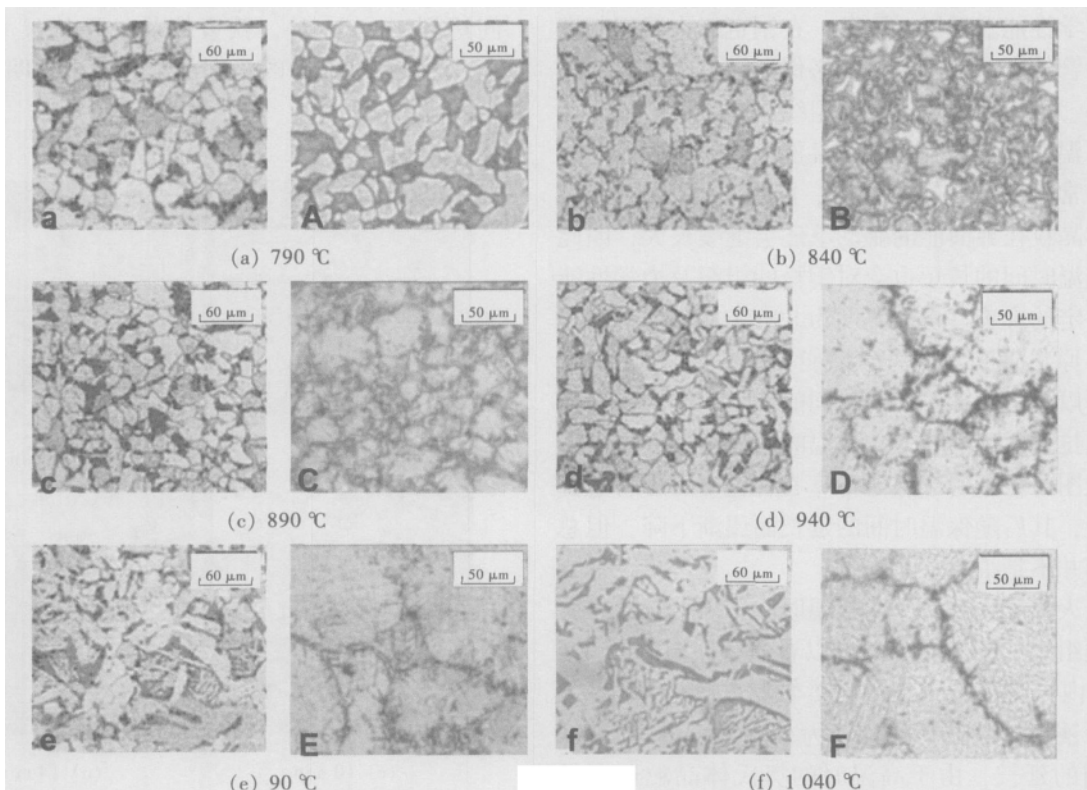


图5 不同正火温度下的室温显微组织 (a-f) 和相对应的原始奥氏体组织 (A-F)



在不同正火温度时 65 号钢管原料管的原始奥氏体晶粒及其相变后的铁素体晶粒尺寸见表 3。由表 3 可见, 正火温度为 890 时原始奥氏体晶粒最小 (平均尺寸为 30.6  $\mu\text{m}$ ), 其相变后所形成的铁素体晶粒也最小 (平均尺寸为 16.7  $\mu\text{m}$ ) 且呈等轴状均匀分布, 这种组织将具有最佳的屈服强度和抗拉强度匹配以及良好的塑、韧性指标。因此, 将正火温度确定为 (890  $\pm$ 10) 是比较合理的。

表 3 不同正火温度 65 号钢管原料管的原始奥氏体晶粒及其相变后的铁素体晶粒尺寸

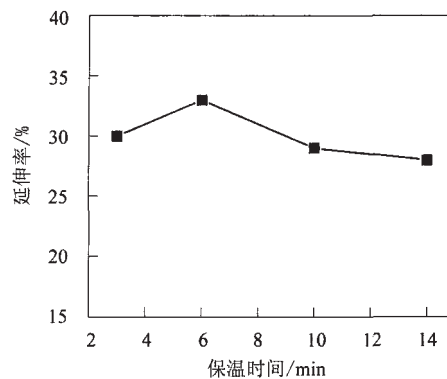
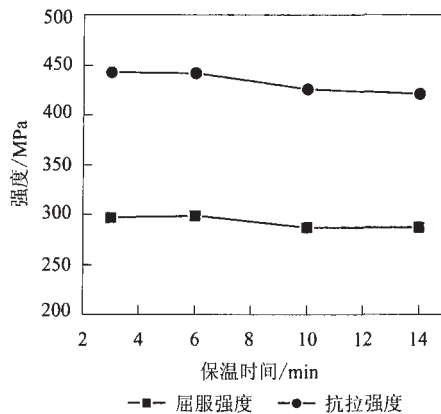
正火温度/	奥氏体晶粒尺寸/ $\mu\text{m}$	铁素体晶粒尺寸/ $\mu\text{m}$
890	30.6	16.7
940	50.2	17.4
990	83.1	25.2
1 040	96.9	33.8

通常奥氏体向铁素体相变过程中, 铁素体晶粒优先在原奥氏体晶界上形核, 因此, 原奥氏体晶界在整个晶体体积中所占的比例大小将直接影响到铁素体形核点的多少。相同体积下, 奥氏体晶粒越细, 晶界所占的比例越大, 相变时铁素体的形核点越多, 相变后所获得的铁素体晶粒就越细, 钢材的综合力学性能就越好。因此, 在制定正火温度制度或原料管的生产工艺时, 务必保证钢材在相变前获得细小、均匀的稳定奥氏体组织。

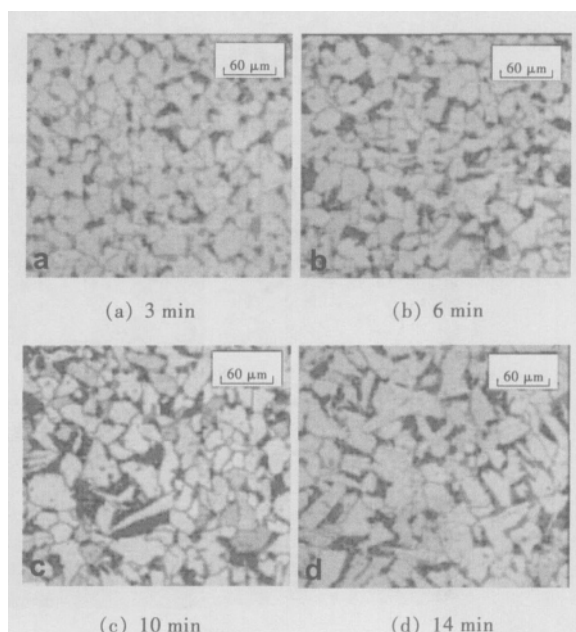
### 3.2 保温时间对原料管力学性能及组织的影响

通常在奥氏体化完成后, 随保温时间的延长, 奥氏体晶粒在界面能的驱动下还会继续长大, 因此正火保温时间的长短也会对钢材的组织及力学性能带来一定的影响。正火温度为 890 而保温时间不同时, 原料管的常规力学性能如图 6, 7 所示。从图 6 可以看出, 随着保温时间的增加, 钢的屈服强度和抗拉强度逐渐降低, 保温时间越长, 变化越明显; 从图 7 可以看出, 延伸率在保温 6 min 时达到最高值, 其后随保温时间的延长而逐渐下降, 但总体降幅并不是很大。

正火温度为 890 而保温时间不同时, 原料管的显微组织如图 8 所示。可以看出, 保温时间在 6 min 以内可获得较为细小的等轴状铁素体+珠光体组织, 铁素体晶粒平均尺寸为 15~16  $\mu\text{m}$ ; 随着保温时间的延长, 由于高温时的奥氏体晶粒逐渐长大, 也使得相变后铁素体晶粒逐渐变大; 在保温时



间达到 14 min 时, 铁素体晶粒平均尺寸达到 20  $\mu\text{m}$  左右, 基体中的个别部位甚至出现明显的魏氏组织。



通过以上试验结果不难发现, 钢管原料管在相同的正火温度下保温时间不宜太长, 如果太长, 也会使奥氏体晶粒显著长大, 从而导致相变后的铁素体晶粒粗大, 甚至出现魏氏组织等不良组织。因此, 综合考虑冷成型性能的改善程度和热处理过程的连续、便捷和低成本等诸因素后, 推荐 65 号钢管原料管的正火保温时间为 6 min 左右。

#### 4 结 语

针对两批 20 钢无缝矩形管冷弯成型时角部出现开裂的技术问题, 提出了在冷弯成型前对原料管进行预处理的解决办法, 在研究分析了正火温度、保温时间和冷却方式对 20 钢组织及力学性能的影响规律后, 得出以下结论:

(1) 合适的正火预处理可显著改善 20 钢无缝管的组织状态, 避免冷弯成型过程中的角部开裂。

(2) 试验确定出 20 钢无缝管的较好预处理工艺是加热温度  $(890 \pm 10)$ , 保温 6 min 左右后散置空冷。本工艺简单易行, 操作方便。

(3) 无缝钢管生产企业应结合无缝管的生产特点, 充分发挥热加工过程的优势, 设法提高无缝钢管的二次加工性能以满足新的市场需求。

#### 5 参考文献

- [1] 赵 乾, 朱伏先, 石俊红, 等. 低温去应力对方管角部力学性能的影响 [J] 钢管, 2005, 34 (4): 12-16.
- [2] 李国忠, 王长春, 郑冬蜜. 冷弯型钢变形特性分析与实验测定 [J] 江苏冶金, 1990 (6): 2-6.
- [3] 刘向东, 高丽华. 影响冷弯型钢弯曲应力因素综合分析 [J] 江南学院学报, 1999, 14 (3): 37-39.

(修定日期: 2006-09-15)

#### 信 息

### 俄罗斯计划新建 2 台 5 m 宽厚板轧机

5 m 宽厚板轧机是技术含量极高和机械结构最为复杂的大型轧机之一, 其所生产的 5 m 宽厚板不仅可用于生产大口径油气输送管, 也是造船、军工和原子能工业不可或缺的重要材料。俄罗斯北方钢 (集团) 公司目前有 1 台在前苏联时代建造但已陈旧老化的 5 m 宽厚板轧机, 虽然北方钢 (集团) 公司对这台 5 m 宽厚板轧机进行了大规模的技术改造, 但其生产的 5 m 宽厚板已远远不能满足俄罗斯钢管企业生产大口径油气输送管对管坯的需求。自 2005 年 4 月以来, 俄罗斯已先后建成 2 套现代化的 1 420 mm 直缝埋弧焊管机组, 这为俄罗斯建设规模庞大的石油天然气管道干线提供了最有力的支持。为适应大口径油气输送管对宽厚板的巨大需求, 近日俄罗斯联合冶金公司和马格尼托哥尔斯克钢铁公司先后宣布将投巨资建设现代化的 2 台 5 m 宽厚板轧机, 以便为俄罗斯建设规模庞大的石油天然气管道干线所需的大口径油气输送管 (1 220-1 420 mm) 提供 12 m×5 m 的优质板材。

信

2006 年随着俄罗斯开始, 2006 年 11 月份俄罗斯的石油产量达到 34.8 万 t, 比上年同期增长了 25.1%; 1~11 月份, 钻杆



访问我们的官方网站了解更多内容

扫描二维码关注

增长

石油油管和钻杆的需求量也猛增。石油套管的总产量已达到 89.66 万 t, 比上年同期增长了 11.4%; 1~11 月份, 产量为 0.32 万 t, 比上年同期增长

为提高俄罗斯钢管冶金公司塔干罗格钢厂生产石油用无缝钢管的质量和产量, 俄罗斯钢管冶金公司近日同德国 SMS Meer 公司签订了为塔干罗格钢厂引进 1 套新型连轧管机组的合同。由此, 德国 SMS Meer 公司研制的新型连轧管机组将首次进入俄罗斯市场。

俄罗斯钢管冶金公司从德国 SMS Meer 公司引进的这套连轧管机组, 设计年产量为 60 万 t, 主要用于生产石油套管、石油油管、钻杆以及机械工业用管, 所生产钢管的直径为 73~273 mm, 壁厚为 5~25 mm, 设备总重 7 000 t。该合同的总金额为 7 860 万欧元, 将于 2008 年上半年建成投产。

(攀钢集团成都钢铁有限责任公司 杜厚益)