

## 特薄壁奥氏体不锈钢管的生产工艺及缺陷分析

柳学胜 朱瑞金 冼 进

(435001 大冶特殊钢股份有限公司)

**摘 要** 介绍了特薄壁 1Cr18Ni9Ti 奥氏体不锈钢管的试制工艺及设备, 分析了钢管表面主要缺陷形成的原因, 提出了相应的预防措施。实践证明, 预防措施可行, 表面缺陷大大减少。

**关键词** 特薄壁奥氏体不锈钢管 生产工艺 表面缺陷 预防措施

### MANUFACTURE PROCESS AND DEFECT ANALYSIS OF AUSTENITIC STAINLESS STEEL EXTRA-LIGHT WALL TUBES

Liu Xuesheng Zhu Ruijin Xian Jin

(Daye Specialty Steel Co., Ltd.)

**Abstract** The process and equipment for the trial production of the 1Cr18Ni9Ti austenitic stainless steel extra-light wall tubes are introduced; the main causes for surface defects of the tube investigated; countermeasures made. Relevant operation has proven the said measures to be effective in reducing surface defects tremendously.

**Key words** Austenitic stainless steel extra-light wall tube Manufacture process Surface defect Countermeasure

#### 1 前言

用于特殊环境的  $\Phi 69 \sim 107 \text{mm} \times 0.2 \sim 0.25 \text{mm}$  特薄壁 1Cr18Ni9Ti 奥氏体不锈钢管, 因其工作条件恶劣和使用要求较高, 故对成品管须逐支进行电解抛光检查, 不允许存在任何缺陷。

这种管材在试制初期, 其表面的飞刺、灰带、麻点、旋压纹等缺陷较多, 致使废品率高达 95% 以上。通过改进冶炼方法、优化冷热加工及脱脂工艺后, 钢管的缺陷大大减少, 电解抛光后的钢管合格率提高到 95% 以上。经用户使用, 其各项性能达到使用要求。

本文将介绍该钢管的生产设备及工艺,

简析主要缺陷形成的原因, 并提出相应的预防措施。

#### 2 生产设备及工艺

##### 2.1 设备

(1) 冶炼设备。430kg 碱性中频非真空感应炉, 可控硅水冷式静止变频控制系统; 1.5t 电渣炉, 变压器容量 1 000kVA。

(2) 热加工设备。2t 双动拱式蒸、空自由锻锤, 锤头最大工作行程 1 380mm; 5t 桥式双动蒸、空自由锻锤, 锤头最大工作行程 1 700mm;  $\Phi 100 \text{mm}$  二辊斜轧穿孔机 (主电机功率 1 050kW, DC), 轧辊直径 550~590mm, 穿孔锥角  $3^\circ$ , 辗轧锥角  $3.5^\circ$ , 转速 60~150r/min, 毛管出口速度 0.5m/s, 最大

生产率 3 根/min。

(3)冷加工设备。 $\Phi 75\text{mm}$  四柱单缸立式钢球旋压机, 车头转速 485r/min, 油泵工作压力 13.7MPa;  $\Phi 140\text{mm}$  辊轮/钢球和  $\Phi 190\text{mm}$  四柱三缸立式钢球旋压机, 油泵工作压力 16.7MPa, 车头转速: 32, 61, 116, 208r/min (顺时针), 25r/min (逆时针)。

## 2.2 工艺

感应炉+电渣重熔冶炼 (1.5t 圆锭) → 锻造管坯 → 定心剥皮 → 热穿孔 → 毛管内外剥皮 → 冷扩径 → 旋压开坯 → 酸洗、退火、酸洗 → 旋压成品 → 酸洗、退火 → 检验 → 酸洗 → 检查 → 白化 → 包装 → 电解抛光检查。主要工序的管材尺寸见表 1。

表 1 主要工序的管材尺寸

管坯/mm	穿孔毛管/mm	冷扩径管/mm	旋压坯/mm	成品管/mm
$\Phi 80 \times 800 \sim 900$	$\Phi 84 \times 10$	$\Phi 81.6 \times 5.80$	$\Phi 73.4 \times 1.8$	$\Phi 69.6 \times 0.20$
		$\Phi 82.4 \times 5.80$	$\Phi 74.1 \times 1.8$	$\Phi 70.4 \times 0.20$
		$\Phi 83.2 \times 5.80$	$\Phi 75.0 \times 1.8$	$\Phi 71.2 \times 0.20$
$\Phi 100 \times 800 \sim 900$	$\Phi 105 \times 15$	$\Phi 118.0 \times 5.75^{\text{①}}$	$\Phi 110.0 \times 2.0$	$\Phi 106.1 \times 0.20$
		$\Phi 114 \times 10^{\text{②}}$	$\Phi 111.0 \times 2.0$	$\Phi 107.0 \times 0.25$

注: ①二次穿孔; ②二次扩径。

## 3 各类缺陷成因及预防措施

### 3.1 飞刺、点状缺陷

飞刺缺陷出现在电解抛光后的钢管内外壁上, 呈点状或点链状分布。这种缺陷发生率高达 95%。飞刺产生的原因与冶炼方法关系很大。最初, 管坯用钢采用电炉冶炼。电炉钢的硫含量较高, 在浇铸和随后的冷却过程中形成大量分布不均匀的  $\text{Ti}_2\text{SC}$  夹杂物<sup>[1]</sup>。制管后, 在电解抛光过程中,  $\text{Ti}_2\text{SC}$  夹杂物容易被腐蚀剥落<sup>[2]</sup>, 形成飞刺缺陷<sup>[3]</sup>。

预防飞刺缺陷的主要措施是: 采用感应炉+电渣重熔的炼钢工艺, 控制钢中钛含量 ( $\text{Ti}=5 \times \text{C}\% \sim 0.45\%$ )、铬镍比, 降低硫含量 ( $\text{S} \leq 0.010\%$ )<sup>[4]</sup>, 利用电渣重熔的特点<sup>[5]</sup>, 改善夹杂物的形态和分布。实践证明, 采取上述措施后, 飞刺缺陷基本消除, 废品率降低到 5% 以下。

点状缺陷是一种出现在钢管内壁上的缺陷, 是由钢管酸洗去油不净引起的, 一般酸洗后才容易显露。对酸洗后的钢管, 应做到内外表面无残酸、残油、沉淀物和水印。采

用碱洗+水洗+酸洗去油工艺预防点状缺陷的效果最好。

### 3.2 灰带缺陷

灰带缺陷的形貌如图 1 所示。这种缺陷出现在酸洗晾干后的钢管内表面上。严重的灰带缺陷可贯穿整支钢管 ( $> 6\text{m}$ )。统计表明, 灰带缺陷占废品率的 55%。用 Philip SEM505 扫描电镜观察, 灰带实际为细晶粒条 (图 2), 渗入深度约为  $10 \sim 15\mu\text{m}$ 。

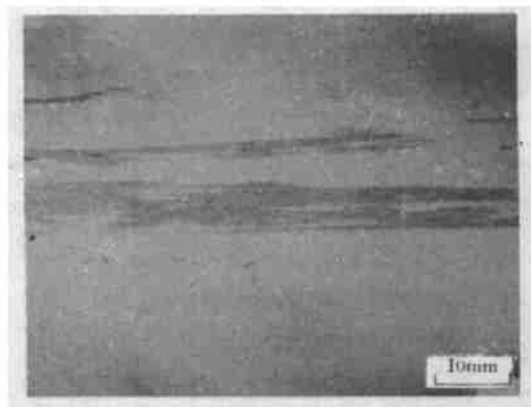


图 1 灰带缺陷形貌

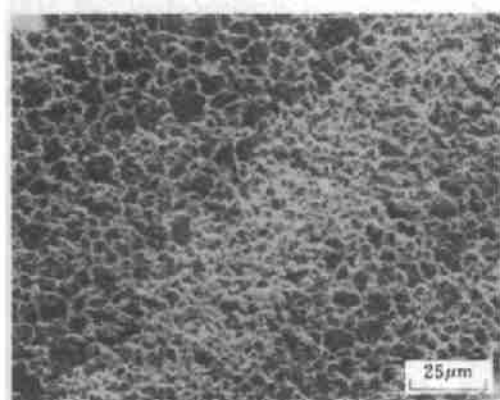


图2 灰带微观特征

Philip CM12 电子显微镜和 SEM505 扫描电镜 X 射线图观察灰带萃取碳复型表明,灰带表层存在近似连续分布的大尺寸块状富铬相(图 3a)。经电子衍射鉴定,块状富铬相是复杂面心立方结构(点阵常数  $a = 0.832\text{nm}$ )的  $M_7C_3$  型碳化物(图 3b)。图 3c 是两个取向比较接近的  $M_7C_3$  的  $[112]$  和  $[558]$  晶带衍射。

旋压前,须对钢管内壁涂高温润滑材料氯化石蜡<sup>[6]</sup>。经过大变形冷加工后的旋压钢管表面存在一些对产品质量影响不大的螺旋

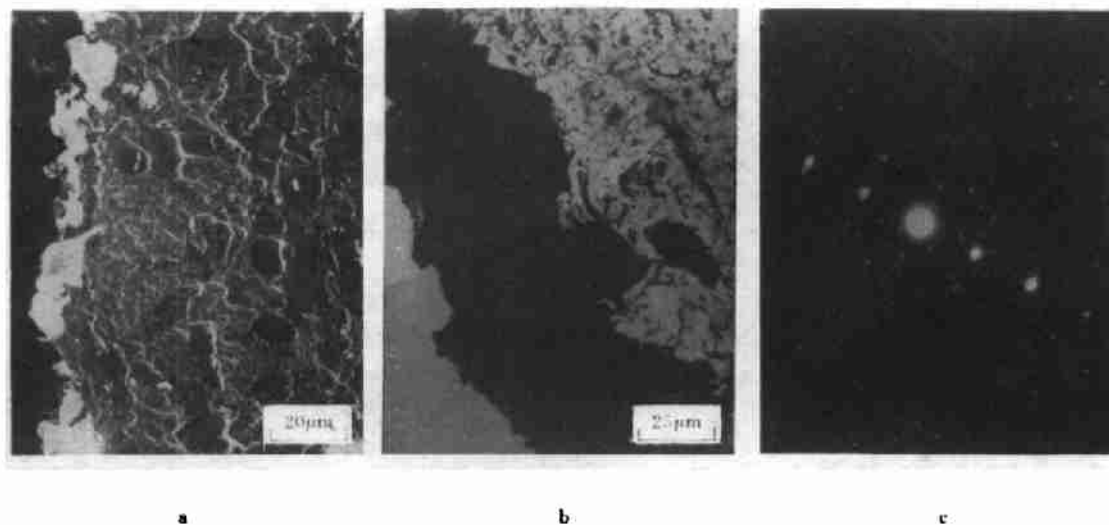


图3 灰带断口萃取碳复型上表层大尺寸块状富铬相的二次电子像(a),  
表层块状  $M_7C_3$  (b),  $[112]$  和  $[558]$  晶带衍射(c)

纹及轻微探伤缺陷,传统的酸洗工艺很难将附着于这些轻微缺陷上(尤其是钢管内壁上)的氯化石蜡清除干净。退火时,残余氯化石蜡将为  $M_7C_3$  富铬相提供碳源<sup>[6-7]</sup>,导致晶界贫铬,降低钢管的耐腐蚀性能。

采用碱煮+水煮+酸洗的工艺,能有效地清除附着于钢管表面上的氯化石蜡<sup>[6]</sup>。试验证明,废品率可由 55% 下降到 8% 以下。

### 3.3 旋压纹、波纹缺陷

旋压纹、波纹产生于冷加工过程中。旋压纹呈环形螺旋状。严重的旋压纹有轻微手感。旋压纹形成的原因是轧制成品钢管时的压下速度太快或快慢不均。在主轴转速不变的情况下,轧制压下速度太快或钢管表面比较粗糙等都容易形成旋压纹,轧制压下速度太慢时,辗轧变形区内钢管金属的冷加工硬

化面将导致钢球磨损,此时,最容易形成旋压纹、轧折或轧破等缺陷。由此可见,主轴转速与压下速度存在一定的比例关系。试验证明,采用 10~15mm/min 的压下速度能有效地防止旋压纹的产生。

波纹缺陷的形成原因比较复杂。模套、芯棒的硬度不够或不均匀,半成品管的内径与芯棒之间的间隙太大或壁厚不均匀,成品轧制过程中轧斜等都会导致波纹缺陷的形成。防止波纹缺陷的措施是:模套、芯棒的硬度  $HRC \geq 60$ ; 半成品管的内径与芯棒之间的间隙不超过 0.30mm,壁厚公差在 0.10~0.15mm 之间;每轧完一根钢管后应校正模套与芯棒的中心线。

### 3.4 竹节、鼓环缺陷

旋压成品管时,在压下速度不稳定(忽快忽慢)的情况下,容易形成竹节缺陷;突然停止压下或调整后压下速度瞬时加快等都容易形成鼓环缺陷。

旋压成品管前在控制压下速度的同时,检查液压阀或调压阀的压力(正常为 2.94~4.50kPa),过滤或定期更换旋压机冷却润滑油,采用流动性好及杂质含量少的冷却润滑油等,是减少旋压缺陷的有效措施。

### 3.5 其他缺陷

若旋压冷却润滑油含有金属硬物,芯棒粘有金属硬物和尖硬砂粒,翻皮反旋时因模套、钢球的损坏而造成的钢屑末等都有可能压入钢管表面,由此造成表面麻点、压坑等缺陷。

芯棒硬度不足或有软点,端头不圆滑,表面被拉毛等,均容易使钢管内壁划伤或擦伤。旋压成品时,若内壁润滑剂涂刷不均匀或润滑性能与抗温性能较差,使轧制变形后钢管与芯棒包得太紧,抽棒时便容易将钢管内壁划伤或擦伤。成品检查时,钢管间相互搓动

或碰撞等都可能造成表面擦伤或划伤。

钢管表面去油不净,用油污的手套或赤手接触钢管,用污水冲洗钢管等都是导致成品钢管存在水印、油污等的主要原因。

成品钢管在包装或搬运过程中应做到单支搬运,独支放置,轻拿轻放,清洁干燥等。这些措施基本上能杜绝钢管表面的水印、油污及碰擦伤等。采用箱式电阻炉和立式电接触装置退火,能预防钢管表面增碳,确保晶间腐蚀和机械性能符合标准要求。

## 4 结语

通过改进冶炼方法,优化冷加工及脱脂工艺,提高管理水平,能有效地预防或杜绝钢管表面缺陷,提高钢管的成材率和电解抛光合格率,确保其表面质量、尺寸精度达到设计要求。经用户使用证明,该产品满足使用要求,与同类进口产品质量相当,填补了国内空白。

## 5 参考文献

- 1 张菊水,陈家光. 合金钢与高温合金中的硫碳化钛. 金属学报, 1980: 16
- 2 张德奎. 钢中非金属夹杂物鉴别. 北京:国防工业出版社, 1991
- 3 柳学胜,李玉清,朱瑞金等. 1Cr18Ni9Ti 极薄壁钢管点状缺陷分析. 钢管, 1994 (6)
- 4 张承甫. 液态金属的净化与变质. 上海:上海科学技术出版社, 1989
- 5 柳学胜等. 航天用特种钢管的研制. 导弹与航天运载技术, 1995 (6)
- 6 张景河. 现代润滑油与燃料添加剂. 北京:中国石油出版社, 1991
- 7 化工商品检验方法编写组. 化工商品检验方法. 北京:化学工业出版社
- 8 柳学胜等. 航天用 1Cr18Ni9Ti 极薄壁管内壁的灰带分析. 物理测试, 1994 (6)

(收稿日期: 1995-12-05)