

薄壁焊接钛管工艺及性能^①

杨文甲

(沈阳有色金属加工厂, 沈阳 110102)

摘要

研究了电站凝汽器用薄壁焊接钛管的成形、焊接、定径等工艺,发现钛焊接管与不锈钢、铜合金焊管有着截然不同的特点:钛带不易卷曲成形、回弹口大、成形时边缘易起波浪、焊接易被气体污染等。故采取了相应的工艺措施,使成形、焊接、定径等工序质量得到良好控制,使制造的薄壁焊接钛管的尺寸精度、性能达到美、日国家技术标准要求。

关键词: 成形 薄壁焊接钛管 综合弯曲法 小线能量

采用薄壁焊接钛管制造的滨海电站和核电站的凝汽器比用传统的铜合金管有更强的抗海水腐蚀能力,无论是在静态或高速流动态的海水中都具有特殊的耐蚀稳定性。

水电部“八五”期间计划在滨海建立几个新电站,并对老电站进行技术改造,逐步采用薄壁焊接钛管,如果一台30万kW机组需薄壁焊接钛管34~39t,则我国每年要从国外进口约300t薄壁焊接钛管。

在“七五”期间国内有三个生产厂家先后进行了薄壁焊接钛管技术攻关,并都向秦山核电站提供了不同壁厚的钛焊管装机试用。在1991年开机鉴定,国产薄壁焊接钛管未发现异常,与进口薄壁焊接钛管一样经受了运行的考核。

本文研究了电站凝汽器用薄壁焊接钛管的成形、焊接、定径等工艺及性能。

1 薄壁焊接钛管工艺

薄壁焊接钛管生产方式有两种^[1]:一种是美国方式,用连续在线成形、焊接、退火、精正、探伤等工艺来生产;另一种是日本方式,它与前者不同点就在于无退火工序。我厂采用

日本焊接钛管生产方式进行试生产,其工艺流程如下:钛带→分条→上卷接带→清理带边→矫平→九机架卷曲成形→钨电极氩弧焊→水冷却→定径校形→在线探伤→切断→矫直→平端头→水压试验→性能测试→外观检查→切定尺→包装入库。

1.1 焊管机组

卷管机为国产九段成形机组,与焊接装置、定径机组组成焊管机列,可生产规格为 d 25 mm×0.5~0.9 mm的焊接管。九机架成形机组,有六架是边缘弯曲法成形、三架为周围弯曲法成形,该机组为综合弯曲法成形机组,焊接电源为国产NSA4-30,并配有美国产AVC-3弧压控制器和GDA/4613电弧磁力控制系统。

1.2 钛成形特点

TA1是工业纯钛,弹性模量为108.5 GPa、屈服强度为340 MPa。这与钢、铜截然不同,故卷管成形时比钢、铜管坯成形时回弹口大,不易产生塑性变形。针对钛成形特点,在辊型设计上增加变形量来补偿回弹量。

1.3 孔型设计

根据试验中发现的钛卷管成形特点,我们采用串联连续弯曲成形。成形辊设计采取底线

① 收稿日期:1993年9月27日;修回日期:1993年11月16日

水平法，尽量降低钛带边缘在成形过程中升起的高度；又为了减少“海带边”缺陷的出现而采取紧凑串联增加刚性；在轧辊材质方面也做了调整，大部分轧辊选用 9Cr2 合金钢，部分轧辊选用铝青铜，对减小摩擦和擦伤有一定效果。

管坯综合弯曲法成形见图 1 所示，管坯边缘上一点的运动轨迹的投影，开始为摆线而后转变为螺旋线。

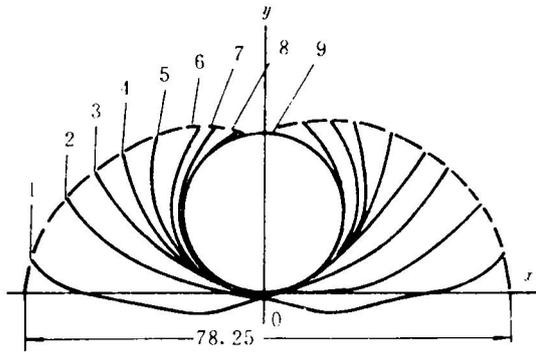


图 1 管坯在九辊综合弯曲曲线形

1.4 焊接机构

焊接机构的组成部件有：焊接夹紧辊、上压轮、焊枪、焊枪移动机构、氩气保护装置、电弧稳定控制系统、水冷装置等。该焊接机构能实现良好的焊接，能保证焊接质量和管材形状等。

1.5 焊接参数选择

钛的导热系数为 $17.2 \text{ J/m} \cdot \text{s} \cdot \text{C}$ ，比铜、钢都低，故在高温下极易被气体污染。为了防

止污染和在热影响区产生粗晶，应采用氩气保护，并在焊接时采取小线能量，这样才能保证钛焊管有良好的机械性能，其焊接规范见表 1。

1.6 焊管定径机构

四架平辊、五架立辊和八辊矫直辊组成焊接管定径机构。用这一机构使焊管管径利用多次拉拔和挤压来减径以达到成品管材尺寸精度和平直的要求。

2 焊管性能测试

对 TA1 薄壁焊接钛管按美国 ASTM B338 标准要求进行了各项目性能测试，其中 TA1 $d 25 \text{ mm} \times 0.6 \text{ mm}$ 焊接管的性能测试结果详见表 2。

在整个课题攻关中对焊接管性能影响诸因素进行了试验研究，主要有：海绵钛等级、管坯的显微组织、成形、焊接、定径等五个主要影响因素，其结果见图 2、3、4 示。

3 试验结果分析

3.1 焊接管有较大的内应力

从薄壁焊接钛管的整个生产工艺过程中知道，管坯卷曲成形、焊接、定径等工序均在夹紧状态下运行，而各机架的辊线速度是逐渐增加的，故在成形管坯中存在拉应力^[2]；因为管坯是在弹塑性变形下进行焊接，所以焊管中存

表 1 焊 接 规 范

钛焊管规格 / mm	氩气流量 / $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$			焊接极性	钨极直径 / mm	钨极尖端形状	焊接倾角	焊咀直径 / mm	钨极伸示长度 / mm	电弧长度 / mm	焊接电流 / A	电弧电压 / V	焊接速度 / $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	管坯对口张开角度	磁控电弧的形状
	焊咀	拖罩	内保护												
$d 25 \times 0.5 \sim 0.6$	8	15	6	直流正接	2.0	30° 锥角	10° ~20°	20	5	2	95	8	1.5	1° ~3°	圆形
	~20	~20	~9												
$d 25 \times 0.7 \sim 0.9$	8	15	6	直流正接	2.0	30° 锥角	10° ~20°	20	5	2	98	8	2	1° ~4°	圆形
	~20	~20	~9												

表2 TA1 薄壁焊接钛管 $d 25 \text{ mm} \times 0.6 \text{ mm} \times 9200 \text{ mm}$ 的性能

批号	σ_b /MPa	δ_{10} (%)	HV ₁₀	压扁	扩口	展开	内应力 /MPa	焊缝氧含量 (%)	焊缝氮含量 (%)
84-6D11	392 410	34 35	146	合格	合格	合格	56	0.1000	0.0011
85-8D9	431 470	24 23	156	合格	合格	合格	60	0.1860	0.0073
86-4D17	402 421	24 30	148	合格	合格	合格	66	0.0980	0.0010
87-8D13	470 480	28 29	179	合格	合格	合格	133	0.1000	0.0015

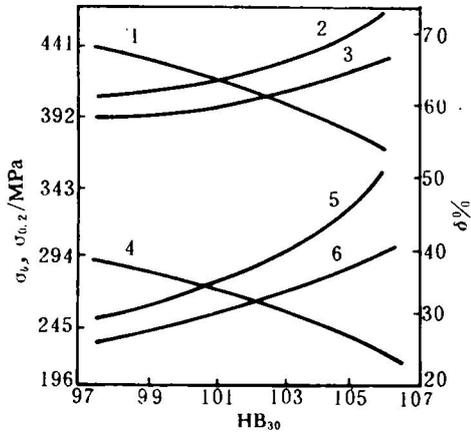


图2 海绵钛硬度对钛带、焊管性能的影响

1—带的 δ_s ; 2—焊管 σ_b ; 3—带的 σ_b ;
4—焊管 δ_{10} ; 5—焊管 $\sigma_{0.2}$; 6—带的 $\sigma_{0.2}$

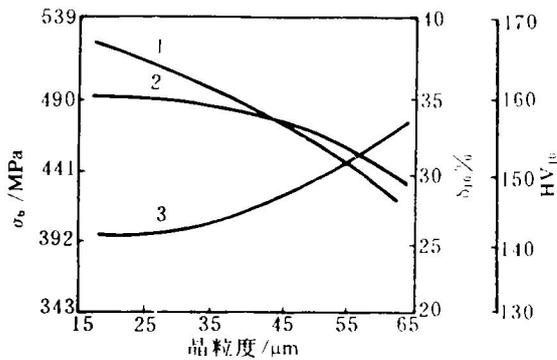


图3 晶粒度对焊管性能影响关系

1—HV₁₀; 2— σ_b ; 3— δ_{10}

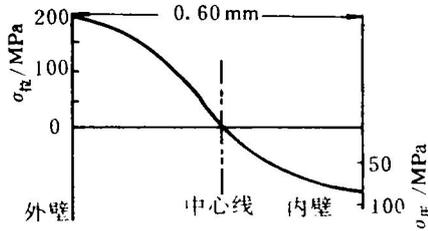


图4 焊管周向残余应力分布

力增大超过弯曲弹性极限，管坯开始塑性变形，并沿着管坯卷制方向成形；然而在卷制的最后焊接阶段，由于卷边是在夹紧辊和上压辊的强制作用进行对接的，其强塑性变形无法消除，弹塑性应力不能释放；焊后的管材经冷却、定径、矫直等工序积累了弹塑性变形量，致使焊管存在着残余应力，其分布情况见图4。

从图4可见外管壁的拉应力值高于内管壁的压应力值。由于对使用造成害危的是周向拉应力^[3]，为了运行的安全可靠，对于周向残余拉应力大于12MPa的管材应进行消除应力退火来降低焊管应力。

3.2 薄壁焊接钛管有优异的耐蚀性

对 $d 25 \text{ mm} \times 0.6 \text{ mm} \times 9200 \text{ mm}$ 管材做了静、动态挂管腐蚀试验，其结果见表3、4。上述两个表的数据证实薄壁焊接钛管耐海水腐蚀性能是良好的，而铜合金管B30在同样试验条件下均发生不同程度的腐蚀。

表3 TA1 焊管、B30 管在厦门海水中的腐蚀情况

材料厂家	海生物	颜色
本厂钛管	海生物管面积约40~60%	未腐蚀、有黄绿斑
日本钛管	海生物管面积约40~70%	未腐蚀、少量锈斑
本厂B30铜管	海生物少量	墨绿明斑

在着正负应力。

卷制过程中，管坯出现两种变化：开始时，卷制力低于管坯的弹性极限，弯曲中的弹性力低抵抗卷制的作用，两者始终保持平衡，此时去掉外力，管坯将恢复原位；但随着卷制

表4 TA1 d 25mm \times 0.6mm 管动态腐蚀数据

材料厂家	外 观	腐蚀时间 (天)	腐蚀速度 $\mu\text{m}/\text{年}$	
			失重法	电化学法
本厂钛管	无腐蚀、稍有水垢	180	0	0
日本钛管	无腐蚀、稍有水垢	180	0	0
本厂 B30 钢管	明显点腐蚀、 灰绿腐蚀物	41	15	24

3.3 按钛的特性设计成形孔型

钛的弹性极限比钢低，而屈服强度、摩擦系数均比钢高。

为了使管坯能卷曲成形和焊接，以及防止钛管坯成形时边缘出现“海带边”、跑偏等问题，我们采取了使成形边缘高度尽量降低的孔型设计方法。

为了成形更利于焊接我们又运用了综合弯曲法，并把第一架水平辊做成 W 型，克服了管坯跑偏现象。

上述孔型在试制中，基本满足 TA1 钛焊管的成形、焊接要求，能生产出符合美国 ASTM B338 标准要求的薄壁焊接钛管。

4 结 论

(1) TA1 薄壁焊接钛管的质量达到了美国的 ASTM B338 标准的要求。

(2) 运用底线水平法及综合弯曲法进行卷管辊型设计，能满足成形、焊接要求，此辊型设计对工业纯钛焊接管是适用的。

(3) 要生产高质量 TA1 薄壁焊接钛管，必须选好原料、以高质量的钛带为基础，否则很难保证焊管质量。

(4) 对内应力高的焊接管应进行消除内应力退火处理。

参考文献

- 1 亚力山大 BK 等(著), 宁兴龙等(译). 见: 钛合金半成品. 宝鸡: 西北有色金属研究院, 1984, 134-137.
- 2 五弓勇雄(著), 陈天忠等(译). 见: 金属塑性加工技术. 北京: 冶金工业出版社, 1987, 639.
- 3 神户制钢报チクニ特集, 通卷 129 号, 1982, 32(1): 16-17.