

# Ti-0.3Mo-0.8Ni 钛合金焊轧管的性能和精度<sup>①</sup>

杨文甲

(沈阳有色金属加工厂, 沈阳 110102)

**摘要** 研究了成型、焊接、冷轧、退火等工序的工艺参数对 Ti-0.3Mo-0.8Ni 管材精度及焊缝质量的影响, 发现该合金成型性好、可焊性好, 焊缝质量可通过两次冷轧加退火得到改善, 焊轧管的性能和精度达到同规格无缝合金管材质量水平。

**关键词** 焊轧管 Ti-0.3Mo-0.8Ni 钛合金 冷轧 退火

目前, 国内在高浓度氯化物介质中使用的 Ti-0.3Mo-0.8Ni 合金多为薄壁管材, 如  $d25\text{ mm} \times 0.6\text{ mm}$ ,  $d36\text{ mm} \times 0.8\text{ mm}$ 、 $d45\text{ mm} \times 1.2\text{ mm}$  等规格, 生产周期长, 成品率低, 价格较高。为了寻求新的生产方法, 借鉴国内外经验, 采取焊轧方法来生产薄壁耐蚀钛合金管材, 可充分利用钛材加工厂的焊管机组、板带轧机形成焊轧管生产能力, 适应耐蚀钛合金管材供不应求的形势。

## 1 工艺流程

Ti-0.3Mo-0.8Ni 合金焊轧管与工业纯钛 TA2 焊轧管生产工艺相近, 仅略有区别(如卷曲成型加工量、金属流动性等不同), 参照 TA2 焊轧管工艺, 制定试验合金工艺, 流程如下: 纵剪 → 清理毛刺 → 接带 → 九辊成型 → TIG 焊 → 退火矫直 → 冷轧 → 退火矫直 → 冷轧除油 → 矫直真空退火 → 检测 → 切定尺 → 入库 ( $d40\text{ mm} \times 2\text{ mm}$  →  $d38\text{ mm} \times 1.5\text{ mm}$ (退火) →  $d37\text{ mm} \times 1.1\text{ mm}$  →  $d36\text{ mm} \times 0.8\text{ mm}$ (退火))。

## 2 试验设备和试样

### 2.1 试验设备

主要设备有九机架卷管机和五机架定径机组组成的焊管机列, LG-30、60, LD-30、60 轧管机,  $d750\text{ mm} \times 9000\text{ mm}$  台式真空退火炉, 马弗炉, SAM 脉冲加热气相谱仪, KW-10B 型万能试验机等。

### 2.2 试料

试料是用本厂生产的  $1.5\text{ mm} \times 850\text{ mm} \times 3000\text{ mm}$  及  $2.0\text{ mm} \times 850\text{ mm} \times 3000\text{ mm}$  的 Ti-0.3Mo-0.8Ni 合金板材, 其化学成分、力学性能见表1、表2。

## 3 工艺性试验

### 3.1 卷曲成型

先按工业纯钛 TA2 焊管卷曲成型工艺成型, 发现回弹口不能满足焊接要求。从表2知板材性能  $\sigma_{0.2}$  高达 404~424 MPa, 比 TA2 高

表1 Ti-0.3Mo-0.8Ni 板材化学成分(%)

炉批号	Mo	Ni	Fe	N	C
944D2	0.338	0.827	0.041	0.016	0.030
944D3	0.355	0.817	0.065	0.019	0.029
944D4	0.345	0.873	0.059	0.012	0.021
炉批号	O	H	Si	Ti	
944D2	0.081	0.002	0.038	余量	
944D3	0.095	0.002	0.035	余量	
944D4	0.021	0.100	0.003	余量	

① 收稿日期: 1995-03-08; 修回日期: 1995-06-12 杨文甲, 男, 59岁, 高级工程师

表2 Ti-0.3Mo-0.8Ni 板材力学性能

炉批号	板厚 /mm	$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	$\delta_5$ /%	HV <sub>10</sub>	弯曲角 /( $^\circ$ )
944D2	2.0	497	404	48	196.0	> 120
944D3	2.0	498	410	43	195.7	> 120
944D4	1.5	515	424	44	197.0	> 130

30~ 100 MPa。针对该合金的特点,对第三架成型辊、焊前夹紧辊、上压辊进行调整,使成型管径的回弹口符合焊接要求。

### 3.2 焊接规范

借鉴工业纯钛焊接规范,对Ti-0.3Mo-0.8Ni合金采用表3中的规范进行焊接。

表3 焊接规范

序号	焊管规格 /mm	氩气流 量/L· min <sup>-1</sup>	钨极 直径 /mm	焊接 倾角 /( $^\circ$ )	焊接 电流 /A	焊接速 度/m ·min <sup>-1</sup>
1- 1	$d$ 50 mm× 2 mm	15~ 20	3.0	10	140	0.5
1- 2	$d$ 40 mm× 2 mm	15~ 20	3.0	10	150	0.6
1- 3	$d$ 40 mm× 2 mm	15~ 20	3.0	10	160	0.7
2- 1	$d$ 33 mm× 1.5 mm	12~ 18	2.5	15	120	0.6
2- 2	$d$ 33 mm× 1.5 mm	12~ 18	2.5	15	130	0.7
2- 3	$d$ 33 mm× 1.5 mm	12~ 18	2.5	15	140	0.8

注:焊接极性:直流正接;钨极尖端形状:30°锥角;焊咀直径:20mm;电弧电压:10V

### 3.3 冷轧和退火

选择五个冷轧加工率:15%、25%、35%、45%、55%。对焊接和冷轧的管材选择650、700、750、800、850℃,保温90min的真空退火处理。

## 4 试验结果

通过几种规格的焊轧管试验,观察了卷曲成型、焊接、冷轧、退火等工序中管材性能和精度的变化情况,结果发现:成分、硬度、气体变化很小,而焊道厚度百分比、组织、拉力变化较大。变化情况受冷轧和退火的直接影响,金相组织见图1;加工率、退火温度对拉伸性能的影响见图2、图3。成分、精度、性能分别见表4、表5。

## 5 讨论

### 5.1 两个轧程可改变焊道的组织形貌

图1 焊管和焊轧管金相照片

- (a) —  $d$  33 mm× 1.5 mm 焊道组织, × 100;
- (b) —  $d$  30 mm× 0.6 mm 焊轧管组织, × 100

图2 焊管冷轧硬化曲线

- 1— $\sigma_b$ ; 2— $\sigma_{0.2}$ ; 3— $\delta_{10\%}$

表4 焊缝化学成分(%)

炉批号	焊接规范	Mo	Ni	Fe	N	C	O	H	Ti
944D2	1- 1	0.370	0.795	0.047	0.019	0.037	0.105	0.004	余量
	1- 2	0.331	0.820	0.040	0.017	0.034	0.098	0.004	余量
	1- 3	0.334	0.821	0.042	0.018	0.035	0.095	0.003	余量
944D4	2- 1	0.324	0.869	0.050	0.013	0.014	0.134	0.004	余量
	2- 2	0.331	0.858	0.0045	0.012	0.012	0.130	0.003	余量
	2- 3	0.340	0.870	0.051	0.012	0.012	0.125	0.004	余量

表5 不同轧制方法生产的管材的精度和性能

轧制方法	尺寸公差	退火工艺	状态	$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	$\delta_{10}$ /%	HV <sub>10</sub>	扩口率 /%	压扁 /mm
焊接	$d 33(\pm 0.25) \text{ mm} \times$ $1.5(\begin{smallmatrix} +0.20 \\ -0.07 \end{smallmatrix}) \text{ mm}$	700℃, 1.5h, 真空	M	517	431	16.5	223	1.15	24
	520			442	17.0				
常规工艺	$d 30(\pm 0.12) \text{ mm} \times$ $0.6(\pm 0.08) \text{ mm}$	800℃, 1.5h, 真空	M	478 482	371 383	23.0 22.0	193	1.20	6.0
小加工率	$d30(\pm 0.11) \text{ mm} \times$ $1.2(\pm 0.10) \text{ mm}$	800℃, 1.5h, 真空	Y	730 735	665 675	11.0 9.5	298	1.10	-
	$d25(\pm 0.10) \text{ mm} \times$ $0.6(\pm 0.05) \text{ mm}$		M	490 495	380 380	25.0 22.0	196	1.20	4.0
	$d36(\pm 0.15) \text{ mm} \times$ $0.8(\pm 0.10) \text{ mm}$	750℃, 1.5h, 真空	M	485 510	430 445	21.0 20.0	199	1.17	8.0
	$d45(\pm 0.20) \text{ mm} \times$ $1.2(\pm 0.12) \text{ mm}$	850℃, 1.5h, 真空	M	470 475	362 367	35.0 29.0	187	1.40	12

注: 表中小加工率指道次变形量在30%以下; 大加工率指道次变形量大于40%; 常规工艺指在两者之间。

形量, 可将针状组织破碎, 经退火处理后焊道的组织见图1(b), 与基体相近。这时焊轧管与无缝管性能达到同一水平, 其性能见表5中的  $d25 \text{ mm} \times 0.6 \text{ mm}$ 、 $d36 \text{ mm} \times 0.8 \text{ mm}$  成品管材。

## 5.2 焊接规范能影响焊道成分波动

从表4可见, 焊道成分发生微小波动, 主要元素有: Mo、Ni、C、O、H, 其中H含量可在真空退火过程中去除一部分, 而Mo、Ni、C、O在后继的冷轧和退火工序基本稳定不变。这四个元素对合金管材性能产生不同的影响, 且其影响随着含量的增加而增强。但只要波动不超出合金成分标准要求, 对性能影响不大。从表4知道, 六个焊接规范造成成分波动程度不同, 焊接规范1-3、2-3的Mo、Ni波动只有0.05%, 焊接电流和焊速匹配合适, 元素烧损甚微。至于O、H含量的增加, 可采取加长氩气保护托罩, 延长保护时间来减少。而C含量的增加程度取决于脱脂的程度。为了控制焊道成分波动, 要严格按焊接工艺规范施焊, 则

图3 退火温度对焊管拉伸性能的影响

1— $\sigma_b$ ; 2— $\delta_{10}\%$ ; 3— $\sigma_{0.2}$

从图1(a)可见, 焊道由针状 $\alpha$ 组织和少量Ti<sub>2</sub>Ni相所组成。它与基体组织截然不同, 钛合金的性能不但受成分约束, 而且在一定程度上受组织形态和相的数量直接影响。为此研究了焊道针状组织, 从试验观察得知: 对焊管第一个轧程施予35%、第二个轧程施予50%的变

焊道成分可控制在标准允许范围内, 焊轧管的性能可与无缝管材性能相比。

### 5.3 小变形量轧制有利于提高焊道精度

从表5知道, 焊道壁厚比基体厚15~25  $\mu\text{m}$ , 即约厚10%, 不同轧制方法生产的管材壁厚变化也是不同的。尤其经 LD 三辊轧机施以15%的小变形量轧制的管材, 焊道壁厚公差为5%~8%, 消差效果显著。其原因有两个: (1) LD 三辊轧机辊径较小, 金属变形区小, 变形时保证有高的轧制力; (2) 小变形量多道次有利于焊道金属优先产生流动。故建议轧制成品时选用 LD 型轧机, 以小变形量多道次进行成品管材冷轧, 使管材的精度高于国家标准 (GB3624-83)。

### 5.4 良好的成型是获得平直焊道的基础

钛合金焊管不同于铜合金、不锈钢、纯钛的卷曲成型。由于钛合金的  $\sigma_{0.2}$  高于一般金属材料, 给成型、焊接均带来困难, 对不良成型, 虽然经调整夹紧辊、上压辊予以施焊, 但焊后剖管检查仍发现焊道不直、咬肉、宽度不均匀、厚度不均、裂纹等缺陷。其主要原因是成型不良, 焊接过程中应力太大。所以, 对于 Ti-0.3Mo-0.8Ni 合金焊前必须调整各成型辊至

最佳位置和间隙, 保证其良好成型, 是焊接顺利进行的基础。

## 6 结论

- (1) 小变形量多道次轧制可提高精度。
- (2) 采用 TA2 焊管规范中上限焊接参数对 Ti-0.3Mo-0.8Ni 合金进行焊接, 焊道成分波动微小, 在标准允许范围内。
- (3) 焊道金属可承受35%~50%的冷轧变形量。
- (4) 经两个轧程和退火可将焊道针状组织转变为等轴组织, 使焊轧管性能达到同规格无缝合金管材水平。
- (5) 最佳热处理工艺为800℃保温90 min 真空退火。

### 参考文献

- 1 李佐臣等. 稀有金属材料与工程, 1992, (1): 37.
- 2 吴玉兰. 钛科学与工程, 1993, 6.
- 3 杨文甲. 焊管, 1994, (2): 17.

## PROPERTIES AND PRECISION OF WELDED ROLLED Ti-0.3Mo-0.8Ni ALLOY PIPES

Yang Wenjia

*Shenyang Non-ferrous Metals Processing Factory, Shenyang 110102*

**ABSTRACT** The effects of the technological parameters of forming, welding, cold rolling and annealing on the precision and quality of welding seam of rolled Ti-0.3Mo-0.8Ni alloy were studied. It was found that this alloy possesses good formability and weldability, and that the quality of the welding seam can be improved by twice cold rolling plus annealing. The properties and the precision of the welded rolled pipes reach those of the seamless pipes of same specifications.

**Key words** welded rolled pipes Ti-0.3Mo-0.8Ni titanium alloy cold rolling annealing

(编辑 彭超群)