

T91 小口径钢管的焊接工艺及操作技术

舒旭春, 俞 苗

(杭州富春锅炉容器有限公司工艺处, 浙江 杭州 310004)

摘 要: 针对 T91 钢管的性能, 为满足本公司在超临界锅炉产品制造中的需要, 对大批量生产中应用的 T91 小口径钢管的焊接工艺及操作技术进行了大量的试验, 形成了一套严格及详细的焊接工艺及操作技术规范. 对焊工提高焊接 T91 小口径钢管的操作技术亦有很大的参考价值.

关键词: T91; 小口径钢管; 焊接工艺; 操作技术

中图分类号: TG441 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-7680(2002)02-0013-04

改进型的 9Cr-1Mo 钢即 SA213 T91(以下简称 T91)钢, 现在国外各种 300MW ~ 1000MW 亚临界及超临界电力机组中正得到越来越多的应用. T91 钢是一种改进型马氏体耐热钢, 该材料具有良好的高温热强性和抗氧化性能, 与其他合金耐热钢(如 2.25Cr-1Mo、钢 102 等)相比, 在同样的温度、压力条件下, 钢管壁厚可大大降低, 材料可大大节省. T91 小口径钢管主要应用于各种大型电站锅炉及燃气轮机锅炉的再热器、过热器等承受高温高压(蒸汽温度 580 ~ 650 °C, 蒸汽压力 10 MPa 以上)的电力机组部件, 由于 T91 合金元素含量很高, 导致该材料可焊性很差, 为满足我国不断增加的对提高电站效率和环境保护的需求, 为适应我国电力工业向大电站、大机组发展的趋势, 我们对 T91 小口径钢管的焊接进行了先期的探索和试验, 并形成了一套完整的焊接工艺及操作技术规范.

1 焊接性分析

1.1 T91 钢的特点

T91 钢属于 9Cr-1Mo-V-Cb 钢种. 是在 9Cr-1Mo 的基础上添加 V、Cb 等碳化物元素, 并采用真空脱氧, 炉外精炼, 在 1040 ~ 1060 °C 正火空冷 + 760 ~ 780 °C 回火后得到单相马氏体组织. 该钢材具有良好的高温热强性和抗氧化性能, 其化学成份见表 1.

表 1 T91 钢材化学成分表

母材 牌号	C	Mn	Si	P ≤	S ≤	Cr	Mo	Ni ≤	V	Cb	N	Al ≤
T91	0.08 ~	0.30 ~	0.20 ~	0.020	0.010	8.00 ~	0.85 ~	0.40	0.18 ~	0.06 ~	0.030 ~	0.04
	0.12	0.60	0.50			9.50	1.05		0.25	0.10	0.070	

T91 钢的机械性能如下: $\sigma_s \geq 415 \text{ MPa}$, $\sigma_b \geq 585 \text{ MPa}$, $\delta_5 \geq 20\%$.

收稿日期: 2001-03-21

作者简介: 舒旭春(1965-), 男, 浙江兰溪人, 高级工程师, 主要从事焊接工艺及管理工作.

1.2 T91 钢的焊接特点分析

T91 钢合金元素含量很高,折算成碳的相当含量高,其金相组织为典型的马氏体组织,可焊性差,具体表现为:

(1) T91 含有 Cr、Mo、V、Cb 等强碳化物元素,焊接时焊缝从高温冷却时易产生淬硬性的马氏体组织,焊缝有很大冷、热裂倾向;

(2) T91 含有很多的合金元素,其熔融金属的流动性差,焊接时还产生较多的熔渣;

(3) 由于马氏体钢导热性差,焊接应力不能得到充分释放,焊后焊缝的残余应力很大。

因此,T91 钢焊接时,如焊接工艺选择不当,焊工操作不当,很容易产生焊接冷、热裂纹、夹渣等缺陷.为了得到优质的焊接接头,有必要从焊接工艺及参数、焊工操作技术等方面进行严格控制。

1.3 T91 小口径钢焊接的特点

T91 小口径钢管(即管子外径 ≤ 76 mm)焊接时,由于其外径很小,曲率很大,须采用单面焊双面成形技术(焊工在正面焊接时,焊成的焊缝需同时在正、反两面形成良好的形状).同时,由于一般小口径钢管焊接时,其焊接位置为全位置,即在一个圆周范围内涵盖仰、立、平焊三个位置,对焊工的操作技术要求很高。

由于 T91 熔融金属的流动性差,给 T91 小口径钢管焊接带来较大的难度。

2 试验用母材及焊材

2.1 母材

根据国外合作商的最新投标电力机组的情报,我们对下述多种管子规格 T91 钢管进行试验,见表 2。

2.2 焊接材料

为了保证焊缝具有与母材相匹配的抗氧化性和热强性,T91 小口径钢管对接用焊丝,从焊丝的可焊性及成熟性,并考虑焊丝和母材化学成份相似性这一原则^[1],选用了 ER90S-B9 焊丝,见表 3。

表 2 T91 钢管规格

序号	部件名称	钢管规格(mm)
1	过热器	$\Phi 38.1 \times 2.6$ 、 $\Phi 42.2 \times 4$
2	再热器	$\Phi 50.8 \times 2.6$

表 3 焊丝化学成份(%)

焊材牌号	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	V	Nb	N	Al
ER90S-B9	0.11	0.49	0.41	0.005	0.002	8.69	0.99	0.75	0.22	0.057	0.040	0.02

3 焊接工艺

3.1 焊接方法

该批小口径钢管由于管子口径小、壁厚薄,对接采用手工氩弧焊工艺(以下简称:TIG),焊 2 层,打底层采用单面焊双面成形技术。

3.2 焊接坡口

焊接坡口采用 V 型坡口,尺寸见图 1。

焊前坡口及周围 20 mm 范围内清除水、油、锈等污物,并露出金属光泽,以严格控制扩散氢的含量。

3.3 焊机的选择

为了保证焊缝的质量,我们选择了焊枪上带有手控开关的、可控

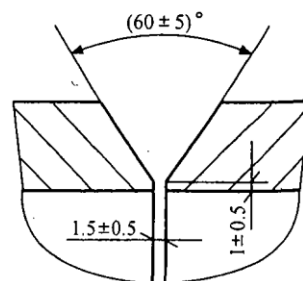


图 1 焊接坡口图

制焊接电流大小的手工钨极氩弧焊机,以便焊工焊接时,可根据焊接熔池的情况随时调节焊接电流大小。

3.4 充氩保护

为防止 T91 焊接时焊缝根部的氧化, TIG 打底及盖面焊时管子内部都采用充氩保护. 氩气纯度为 99.99%, 充氩保护流量控制在 7~12 L/min 范围内。

3.5 预热温度和层间温度的控制

T91 钢材的淬硬性大大高于常用的铬钼钢, 因此, 该钢材焊接时, 一方面必须严格控制扩散氢的含量, 另一方面, 需减缓焊接时焊缝的冷却速度, 而焊前预热是控制扩散氢含量及减缓焊接时焊缝的冷却速度的最有效的措施, 对 T91 小口径钢管焊接, 焊前预热控制在 150℃ 以上。

为了充分保证下一道焊接前, 上一道焊缝已转变为马氏体组织, 以利下一道焊接时, 能对上一道焊缝进行部分回火, 达到改善马氏体组织的焊缝的性能, 因此, 我们严格限制层间温度在 260℃ 以下。

我们采用接触式测温计测量预热温度和层间温度, 以达到严格控制温度的目的。

3.6 焊接工艺顺序及参数

- (1) 装配点焊, 位置在时钟 12 点, 长度约 10~15 mm;
- (2) 焊接时焊机采用直流正接及小的焊接线能量(单位长度上输入的焊接热量), 焊接电流为 100~115 A, 电压为 10~12 V, 焊接速度为 8~12 cm/min;
- (3) 焊接位置为全位置, 从时钟 6 点仰位位置起弧, 并从两侧向上爬坡施焊, 焊工操作顺序见图 2。
- (4) 焊接接头作 100% X 射线探伤;
- (5) 焊后焊缝按右侧曲线进行热处理, 见图 3。

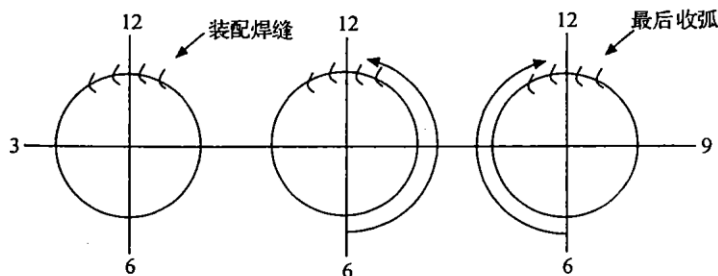


图2 焊工操作顺序图

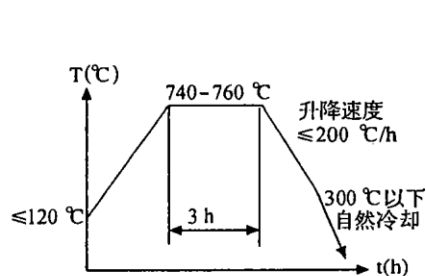


图3 热处理曲线图

3.7 操作技术

T91 小口径钢管焊接时, 由于其外径很小, 曲率大, 焊缝须单面焊双面成形, 同时, 由于 T91 熔融金属的流动性差, 而焊接位置为全位置, 导致成形更难. 因此, 焊工操作时, 需严格控制各种因素, 并特别注意运用好单面焊双面成形操作技术。

(1) 焊工施焊前, 必须严格按上述 3.2 节的要求控制焊接坡口间隙. 过大或过小间隙对焊缝成形都不利。

(2) 由于 T91 含有很多的合金元素, 焊接时产生较多的熔渣, 每次熄弧后, 必须打磨熄弧处, 以减少杂质聚集。

(3) 由于 T91 熔融金属的流动性差, 且焊接位置为全位置(位置图见图 2), 因此, 焊工需严格按下述要求操作, 通过调整焊接参数, 运用好单面焊双面成形操作技术, 使焊缝得到良好成形: ①在时钟 6 点位置, 焊缝处于仰位, 熔滴下挂, 操作不当时, 内侧焊缝极易产生内凹. 因此焊工操作时, 应采

用电流上限,利用电弧的吹力托住熔滴进行焊缝成形,避免焊缝产生内凹;②从时钟 6 点向时钟 9 点过渡区位置,处于仰位向立位过渡区,熔滴下挂,操作不当时,内侧焊缝易产生内凹.因此焊工操作时,应采用电流上限,施焊中充分利用维弧电流调节焊接熔池形状,利用电弧的吹力托住熔滴进行焊缝成形,避免焊缝产生内凹;③在时钟 12 点及附近位置,焊缝处于平位,熔滴下挂,内侧焊缝极易下挂并产生焊瘤;因此焊工操作时,应采用电流下限,施焊中充分利用维弧电流调节焊接熔池形状,利用熔滴重力进行焊缝成形,避免焊缝内侧产生焊瘤.

4 试验结果

所有焊缝成形良好,焊缝呈亮黄色;所有焊缝经 100% X 射线探伤,按美国 ASME 标准全部合格;焊接接头机械性能,如表 3;焊缝组织为回火马氏体,未发现微裂纹及过烧.

表 3 T91 钢焊接接头机械性能

母材牌号	规格	σ_b (MPa)	背弯 $4\delta-180^\circ$	面弯 $4\delta-180^\circ$
T91	$\Phi 38.1 \times 2.6$	689 672	合格	合格
T91	$\Phi 42.2 \times 4$	675 678	合格	合格
T91	$\Phi 50.8 \times 2.6$	662 679	合格	合格

5 结 论

- (1) 焊接 T91 小口径钢管,选用 ER90S-B9 焊丝是匹配的.
- (2) 采用合适的焊接工艺(包括充氩保护、预热温度、层间温度的控制、焊接工艺参数的选择等)是 T91 小口径钢管获得优质焊接接头的关键.
- (3) 严格控制焊前预热在 150 ℃ 以上,层间温度在 260 ℃ 以下是避免焊缝从高温冷却时产生淬硬性的马氏体组织和防止焊接裂纹的重要一环.
- (4) 掌握 T91 小口径钢管操作技术(如控制坡口间隙、焊接电流合理调节等)是焊工焊制优质焊接接头的重要前提.

参考文献:

- [1] 张金昌. 锅炉、压力容器的焊接裂纹与质量控制[M]. 天津:天津科学技术出版社,1985.

Welding procedure and operating technical for T91

SHU Xu-chun, YU Miao

(Hangzhou Fuchun Boiler Vessel Co. Ltd., Hangzhou 310004, China)

Abstract: In according with the property of T91 and to satisfy manufacture of super-critical boiler, tests have be carried out for welding procedure and operating technical of batch small caliber tubes using T91. A set of detailed strict welding procedure and operating technical have be reached. It is valuable for welders to improve their technical to welding T91 also.

Key words: T91; small caliber tube; welding procedure; operating technical