

真空电弧炉水冷导电法兰焊接工艺研究

温斌

【摘要】 针对大规格水冷铜制品密集焊缝的焊接技术难点和易出现的焊接缺陷，分析在焊接过程中焊缝出现裂纹的机理。通过合理的选择材料、焊接方法、加工方案等措施保证焊缝的质量，并提出对焊缝表面缺陷点不预热冷补焊的工艺措施。

关键词： 焊接；裂纹

1. 概述

集团公司是以有色金属钛的熔炼以及更深层次冷热加工的大型企业，本次我单位承担了对10t真空熔炼炉上炉帽导电法兰进行改造加工，来改善其冷却效果和冷却效率，保障了导电性能，保护了坩埚法兰导电面，防止因导电面之间放电而出现麻点，影响其导电性能；同时也

防止了因导电法兰受热变形而导致的密封失效，有效延长了坩埚密封圈的使用寿命，降低生产成本。

2. 改造加工问题的提出

原真空熔炼炉上炉帽导电法兰冷却方式如图1所示。采用在导电法兰外圆围绕一圈冷却水管的形式冷却导电法兰，其冷却接触面积小，冷却效果不理想，

使用过程中导电法兰易于受热变形，造成真空密封失效，致使在生产过程中存在安全隐患。

经使用单位提出、设计导电法兰心部水冷形式，最终经过我们多次优化冷却水道，加工出如图2所示的心部水冷导电法兰，经过近一年的使用，得到用户的高度认可，取得良好的使用效果。改造后的水冷导电法兰，不

堆焊最小；从单个焊道的厚度尺寸来看，双热丝等离子弧自动堆焊最大；从换热管与管板焊缝的焊接质量考虑，焊丝堆焊层的纯净度高于焊带堆焊层的纯净度。

通过选取合适的堆焊参数，采用四种不同自动堆焊技术进行INCONEL690镍基合金堆焊，堆焊层的无损检测 results 和理化试验结果，均能满足管板堆焊的技术要求，且均能获得性能良好的焊缝。四种自动堆焊技术综合对比

后，从生产效率、堆焊层质量、堆焊层纯净度、减少管子与管板焊缝返修率等方面综合考虑，在管板镍基合金自动堆焊技术的选择上，双热丝等离子弧自动堆焊技术比其他三种更具有优势。

7. 结语

从生产效率、堆焊层质量、堆焊层纯净度、减少管子与管板焊缝返修率等方面综合考虑，在管板大面积INCONEL 690镍基合金自动堆焊技术的选择上，双热

丝等离子弧自动堆焊技术更具有优势。选择合适的工艺规范，双热丝等离子弧自动堆焊技术可得稀释率低、熔深浅、成形良好的堆焊层。双热丝等离子弧自动堆焊技术可以进行开发、应用于核电设备的产品堆焊。

作者简介：李双燕，上海电气核电设备有限公司。

MW 20171115

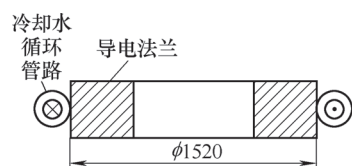


图 1

仅延长了密封圈的使用寿命，简化了生产工作，而且消除了因密封失效产生的不安全隐患。

3. 焊接结构确定

按照要求，根据加工的工艺性，确定为如图3形式的的焊接结构。

4. 焊接工艺过程

(1) 焊接材料选择 根据纯铜的焊接性、膨胀系数、焊接温度、焊接方法，确定T107、T227两种焊条进行进行手工电弧焊接。T107和T227焊条的化学成分及力学性能如表1所示。经化学成分分析，目前我单位使用的T107和T227焊条的化学成分如表2所示。

(2) 焊接参数 选用奥太500逆变式WSME系列的多用途焊机，焊接参数如表3所示。

(3) 焊接过程 制作相应的工装胎具，预热到400~700℃左右用T107焊材拼焊盖环。焊后校平，车削加工盖环内外圆焊接坡口，准备与加工好的导电法兰基体组焊，焊前导电法兰基体进出水嘴之间组装隔水装置。

焊接盖环与导电法兰基体时，我们采用双人逆时针方向同时旋转、两道焊缝交替施焊（见图4）的方式焊接，焊材选用T227焊条，既提高了焊缝的强度，又对焊接局部缺陷点便于不预热，常温状态下，用氩弧焊冷

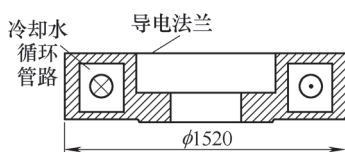


图 2

补焊修复。

5. 焊接过程裂纹控制

在导电法兰基体与盖环组焊（见图3）的焊接中，组焊部位的两条环形焊缝极易产生裂纹。

裂纹产生分析：

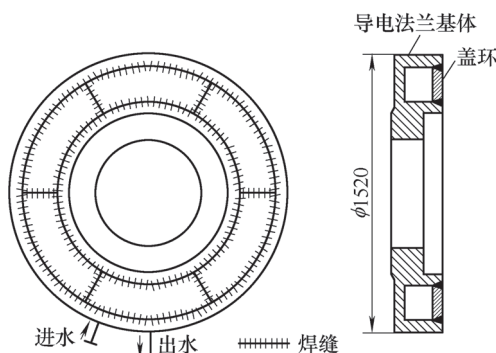


图 3

表1 T107、T227焊条化学成分及其焊缝金属主要力学性能

焊条	化学成分（质量分数，%）					抗拉强度/MPa	伸长率（%）
	Cu	P	Sn	Pb	Mn		
T107	>95.0	0.30	—	0.02	3.0	≥170	20
T227	余量	0.30	7.0~7.9	0.02	—	≥270	12

表2 T107、T227焊条化学成分（质量分数）（%）

焊条	Cu	P	Sn	Pb	Mn	S
T107	99	<0.001	—	<0.005	0.005	<0.005
T227	余量	<0.001	7.97	<0.005	—	<0.005

表3 焊接参数

焊条	焊接电流/A	电弧电压/V	预热温度/℃
T107	260~340	28~35	400~700
T227	240~320	27~34	400~700

表4 力学性能

材料	材料状态	抗拉强度/MPa	伸长率（%）
纯铜	软态	196~235	50
	硬态	392~490	6

(1) 母材与裂纹关系 导电法兰母材为锻造纯铜，前期经过超声检测合格；盖环为轧制板水切割而成的纯铜弧段拼焊而成。纯铜的力学性能如表4所示。

资料显示，铜及铜合金的力学性能随温度的变化而变化，铜在450~600℃温度区间时，其强度较低，塑性较差，这一温度称之为脆性区。在加热过程中尽可能的缩短工件在该温度区的停留时间，否则容易产生裂纹。

(2) 焊接过程控制与裂纹

产生的原因分析 焊接纯铜时遇到的主要问题是焊接过程中产生的热裂纹,该裂纹主要是由纯铜的物理性能(热膨胀系数大、导热率高、凝固收缩率大等)引起。

铜的导热率大,从焊缝中心向母材周围散热强烈,使得晶粒向着散热相反的方向生长创造有利条件,铜中的杂质(如:氧、铋、铈、硫、铅等)易与铜形成低熔点共晶体,如熔点为 326°C 的 $(\text{Cu}+\text{Pb})$ 共晶、熔点为 1046°C 的 $(\text{Cu}_2\text{O}+\text{Cu})$ 共晶和熔点为 10676°C 的 $(\text{Cu}+\text{Cu}_2\text{S})$ 共晶等。

在焊缝金属凝固结晶的后期,低熔点共晶被排挤在柱状晶体相遇的边界部位,形成一种所谓的“液态薄膜”,使得焊缝的强度降低,塑性显著下降,此时因收缩而受到了拉伸应力,这时焊缝中的液态薄膜就成了薄弱地带,极易形成微观下潜在的裂纹源。在拉应力作用下就有可能在这个薄弱地带开裂,并且进行延伸扩展,形成了宏观裂纹。

(3) 焊接残余应力与产生裂纹的控制分析 盖环与导电法兰组装好之后,用履带式加热线阻丝的方式对该工件均匀预热。开始预热时导电法兰基体与盖环受热同时膨胀,但由于材料的结构不同,以及预热时的部位,该产品受到的应力如图5所示。在预热过程中,履带式电阻丝在工件的下端面铺设,使工件下端面受热膨胀,从而该结构的上端面环形槽两侧面向槽内产生挤压力 F 。预热温度的逐渐升高,盖环也受热膨胀,产生向两侧的推力

f ,焊接过程中,焊缝受到盖环向两侧的推力和环形槽两侧面的挤压力。

随着焊接过程的结束,工件温度逐渐降低,盖环逐渐收缩,产生向内的拉力,而导电法兰基体两侧面逐渐向外产生拉应力。此时在焊缝组织晶界的薄弱地带就极易出现裂纹。因此在组焊前,首先对导电法兰其内孔壁尽量减薄至后续可加工起即可,尽可能的降低焊接过程中产生的焊接应力。

为了控制焊缝中出现裂纹,焊接选用小电流、短弧、不摆动的操作方式,焊接电流为 $200\sim 300\text{A}$,预热温度为 $400\sim 700^{\circ}\text{C}$ 。施焊前,清理干净焊缝部位及周围的氧化物等杂质,焊条严格按照标准进行烘焙。焊后及时用小锤敲击焊缝,以消除焊接应力,防止因焊接应力过大,而造成的焊缝开裂。

6. 结语

通过以上的分析论证和生产实践,采用T227焊条焊接两条环

形焊缝,既保证了焊缝的质量,提高了焊缝的强度,又对焊接缺陷点便于不预热氩弧焊冷补修复;并且结合锤击焊缝及热影响区,减小了焊缝焊接过程中的焊接残余应力,从而防止了焊接裂纹的产生。实践证明,该工艺方法是可行有效的。

参考文献:

- [1]刘世胄.焊接手册[M].北京:机械工业出版社,1992.
- [2]王嘉玲.焊接接头缺陷的形成和控制[M].北京:国防工业出版社,1994.
- [3]李亚江.焊接冶金学[M].北京:机械工业出版社,2007.

作者简介:温斌,西安建筑科技大学冶金工程学院。

MW 20171115

Hypertherm海宝发布全面升级版钣金切割软件Design2Fab 6

Hypertherm海宝公司发布全新升级版钣金切割软件——Design2Fab6。这款新版本的软件是Design2Fab软件自2004年面市以来最全面的一次更新。它拥有全新的界面和强大的工具,可制作3D几何透视图,就像一个先进的建模引擎。更佳的图像效果、更流畅的运行且能够实时更新只是其展现在最终用户面前的部分优势,其他改进还包括:更简单条目、无限区域、拖拽功能更易于排布、可与ProNest®软件集成等。

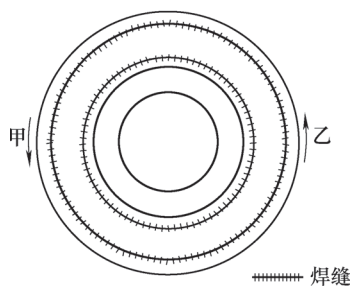


图 4

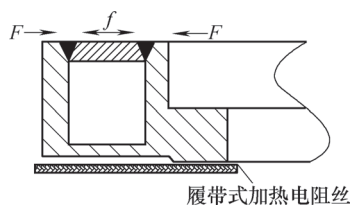


图 5