

结晶器中铜与碳钢的焊接修复工艺

天津赛瑞机器设备有限公司 (300301) 王天德 韩立华 吴长胜

我公司冶金厂电渣车间设备检修时发现其核心设备结晶器有漏水现象。需要对此设备（见图1）进行焊接维修，首次焊后对设备探伤检验时发现焊缝有裂纹及未熔合缺陷。通过正确分析出现问题的原因，制定合理的焊接工艺，最终得到理想的焊接效果。

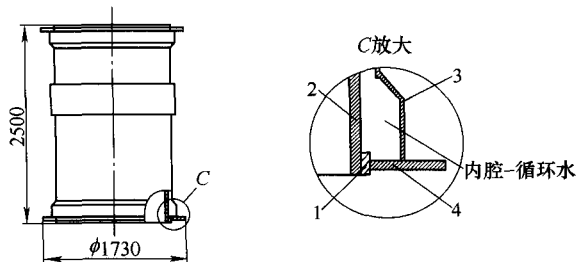


图1 设备

1. 内筒 (TP2) 2. 外筒 (Q235B)
3. 环圈 (Q235B) 4. 下法兰 (Q235B)

从图1中可看出，内腔是由内筒与外筒和下法兰形成的密封结构，内筒材质为磷脱氧铜（TP2），外筒和下法兰为碳钢（Q235B）。焊接时，由于铜与碳钢的物理、化学性能差异大，设备工作时焊缝长期处于热水的冲刷、腐蚀，所以对焊接接头提出更严格的要求。

1. 物理性能的差异

通过表1可以看出，铜与钢的物理性能有较大差异，焊接时有以下困难。

表1 铜与铁物理性能的比较

	熔点 /℃	沸点 /℃	线膨胀系数 (10^{-6}K^{-1})	热导率 / $\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$
Cu	1083	2310	16.8	395.8
Fe	1535	2450	12	66.7
	比热容/ $\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$	电阻率 / $(10^{-8} \Omega \cdot \text{m})$	密度 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	
Cu	376.8	1.72	8930	
Fe	481.5	12	7850	

(1) 熔合困难。铜20℃时的热导率比铁大7倍多，1000℃时大11倍多。焊接时热量迅速从加热区传导出，使母材与填充金属难以熔合，为此焊接时需要大功率的热源。

(2) 变形和应力铜的热导率是铁的5.4倍，而收缩率比铁大1倍以上。又由于铜的导热率强，冷却凝固时变形大，当收缩应力大时，易产生裂纹。

(3) 由于铜与碳钢在焊接时需要较高预热温度来补偿铜对热量的消耗，这时电弧对碳钢坡口熔深加大，搅拌加强，随着焊缝铁金属含量增加，接头性能下降，裂纹产生倾向增大。

(4) 易产生气孔。如图2所示，焊接铜时，铜的结晶过程进行很快，氢在铜溶液中溶解度很高。而在凝固时释放出大量氢气，液态铜中的氢来不及逸出和上浮而滞留在焊缝中，形成气孔。

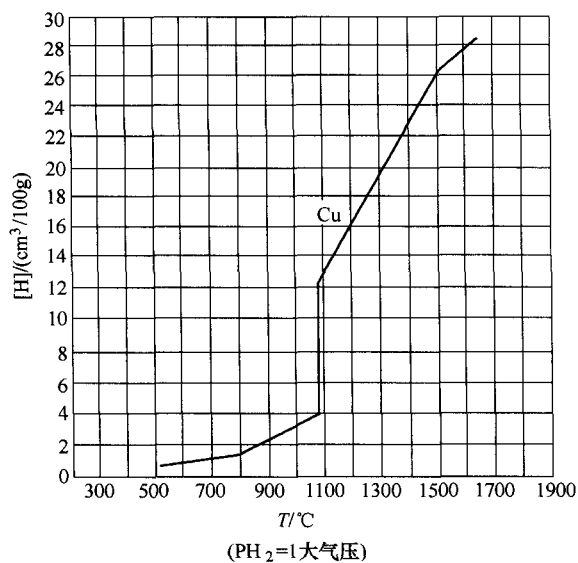


图2 氢在铜中的溶解度与温度的关系

2. 焊接工艺的制定

(1) 焊接方法选择 铜与碳钢的焊接方法有：焊条电弧焊、气焊、埋弧焊、MIG、TIG及摩擦焊

等。我公司现有可焊接此工件的方法有：焊条电弧焊、气焊、埋弧焊、MIG 及 TIG。

根据公司实际情况，最后选定 MIG 焊接方法。利用我公司现有 Panasonic MIG 焊机，型号 YD—500KA。

(2) 焊丝的选择 通过表 2 与表 3 中化学成分分析，选择了力学性能良好，抗裂纹性能强的紫磷铜焊丝 S201，化学成分如表 4 所示。

表 2 磷脱氧铜 (TP2) 化学成分 (质量分数) (%)

Cu	Sn	S	P	O
≥99.85	≤0.01	0.005	0.013 ~ 0.050	≤0.01

表 3 Q235B 化学成分 (质量分数) (%)

C	Mn	Si	S	P
≤0.18	0.35 ~ 0.80	≤0.30	≤0.04	≤0.04

表 4 S201 的化学成分 (质量分数) (%)

Sn	Si	Mn	Cu
1	0.3	0.3	Rem

(3) 预热温度的确定 由于铜的导热率大，内筒的厚度及表面积大，散热速度快，所以需要较大热源来对工件进行预热，以补偿热量消耗。

内筒厚度为 28mm，根据参考资料中铜预热温度图表，确定内筒预热温度为 750℃。

(4) 坡口的制定 根据工件的特点，用火焰气割去除外筒，对有缺陷的焊缝进行机械加工处理，重新加工后的坡口如图 3 所示。

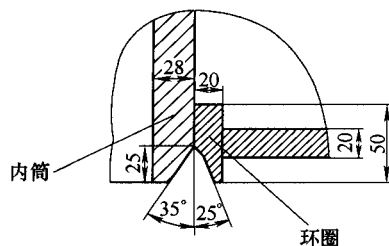


图 3 机械加工坡口

(5) 焊前准备 采用 Panasonic MIG 焊机、S201 焊丝、99.99% 氩气。首先用钢丝刷、角磨机等工具对工件坡口及坡口两侧的焊缝进行处理，去除水、锈、油污等。把工件放在转轮上，尽量让堆焊坡口面放置于水平位置，以便于焊接，如图 4 所示。

(6) 焊接操作过程 第一，碳钢坡口表面焊接：为减少焊接时碳钢金属对接头稀释，先对碳钢环圈坡口的表面用 S201 焊丝进行堆焊。堆焊预热温度 50℃，厚度约 5mm。焊接顺序由里向外多道焊，每

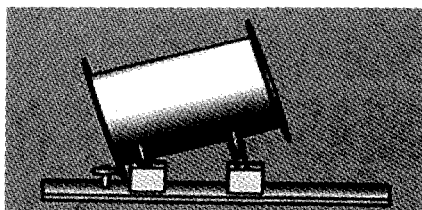


图 4 工件放于转轮

焊完一道用砂轮清理氧化物及飞溅，如图 5 堆焊示意。

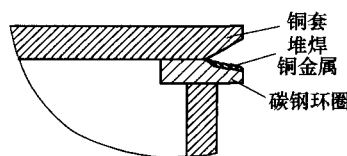


图 5 堆焊示意

第二，坡口的填充：把内筒立起，用石棉把内筒外表皮包好，用焦炭对工件进行预热，预热温度为 750℃ 左右。焊接时层间温度 ≥ 650℃。用测温枪对工件进行测温，待满足条件后开始焊接。焊接时采用多层多道焊，每焊完一道，用砂轮处理表面氧化层及飞溅，直到坡口填满为止，如图 6 所示。为防止工件变形，在坡口的另一端按图 7 所示起焊角形成角焊缝。角焊缝的焊接顺序同前，先碳钢表面堆焊，再进行多层多道焊接。待坡口焊完后再加工掉里侧原来的角焊缝。

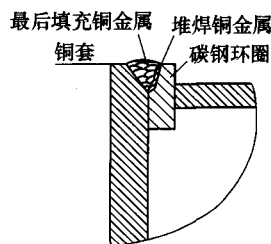


图 6 坡口填充

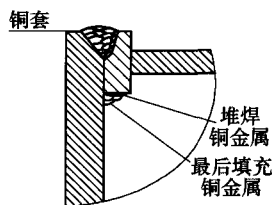


图 7 另一端角焊缝

第三，MIG 焊接参数如表 5 所示。

第四，焊后处理：焊后对工件进行目测检验，对咬边、焊瘤等缺陷进行处理，随后对工件进行保温

