

## 锡青铜古钟的焊接修复

哈尔滨工业大学焊接国家重点实验室(150001) 吕世雄 许志武 闫久春 杨德宝

某教堂的古钟于 19 世纪中叶由俄罗斯制造。由于当时铸造过程中钟体内部含有少量夹杂(经断口观察发现黑色成团夹杂物),经过近一个多世纪长期敲击,夹杂处成为裂纹源。随着裂纹不断扩展,导致大块开裂脱落,开裂情况如图 1 所示。此古钟高 1 500 mm,下口直径为 1 400 mm,钟壁最大厚度为 100 mm,钟体总重量近 2 t。



图 1 钟体开裂位置示意图

### 1 焊接性分析

焊接前对古钟材料进行了化学成分分析,结果见表 1。

表 1 古钟材料成分分析结果(%)

Sn	Zn	Pb	Cu
15.08	4.03	2.27	余量

由表 1 可知,古钟的合金中加入了大量的 Sn,这保证了金属液在浇注时具有较好的流动性,使其更好充型,却带来了塑性的损失,钟体合金即使在较高的温度下其塑性也还很差。这对焊接不利,易产生开裂。为了使古钟焊接后声音改变不大,焊接材料的成分应与钟体接近。由于古钟材料的特殊性,我们自制了特殊的焊丝,其成分如表 2 所示。

在焊丝中加入少量的 Ag 为的是使焊缝金属的塑性得到改善,加入少量的 P 用以脱氧及增强焊缝金属的流动性和熔合性。然而焊丝中仍存在大量的 Sn,Cu

- Sn 相图表明此类合金具有一个较宽的结晶温度区间,偏析严重,高温状态下它的塑性及强度大大下降,焊接过程及焊后冷却过程中焊缝金属都有可能出现热裂纹。采用预热或者后热改善厚壁高含 Sn 量合金的塑性以抑制热裂纹作用不明显,需采取其它工艺控制热裂纹。

表 2 自制焊丝化学成分(%)

Sn	Zn	Pb	Ag	P
余量	4	2	2	0.4

### 2 焊接工艺

由于开裂处钟体壁厚达到 100 mm,考虑到焊后变形不致使钟口圆度变化过大,采用双 U 形坡口,开口尺寸为 35 mm。

考虑到开裂块比较大,并且焊缝金属的抗冲击性不好,为防止在以后的撞击过程中再次出现开裂脱落,对脱落块及钟体均匀分布钻孔、攻丝并用 4 个 M12 的不锈钢螺栓将脱落块和钟体连接起来,并熔焊至钟体中。拧入的不锈钢螺栓起刚性固定的作用不仅可有效控制开裂部分再次脱落,还能承受部分焊接应力,增加强度,抑制变形。

TIG 焊电弧热量集中,焊接熔池体积小,所以熔池高温停留时间短,可提高焊缝金属抗热裂能力。焊接工艺参数见表 3。

表 3 焊接参数

电源极性	喷嘴直径 $d/\text{mm}$	焊接电流 $I/\text{A}$	氩气流量 $Q/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$
直流	12	280	10

### 3 操作要点

为减小焊接变形,双 U 形坡口厚壁焊接应采取双面对称焊的形式。焊接过程如图 2 所示。在焊接过程中焊接能量输入应尽量小,每段焊道要短,不能连续焊接,可分散在多处起焊。焊道要窄,焊丝不要做横向摆动。由于铜合金具有优良的导热性,焊接过程中焊缝

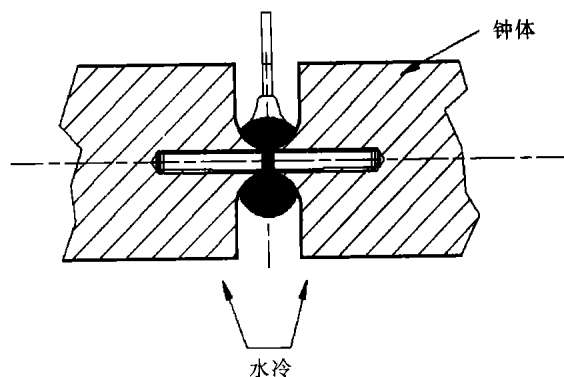


图2 焊接过程示意图

背面金属也将会升到很高的温度,因此需经常用湿布冷却焊缝反面及焊缝周围金属,避免焊接区域温度过高,焊缝反面金属晶间结合力下降,焊缝金属从高温冷

却时产生过大拉应力,导致反面焊缝开裂。焊接过程中采用随焊锤击方法,即用圆尖锤锤击焊道,使焊道金属延展,改变焊道凝固时的应力状态,抵消焊缝结晶时产生的拉应力,避免焊道开裂。焊道冷却后,停止锤击。

#### 4 效 果

采取以上焊接工艺圆满地补焊了厚壁锡青铜古钟。焊接结束并清理后,古钟在敲击时,其声音改变不大,焊接部位完好,焊缝表面无气孔及裂纹。

(收稿日期 2002 05 21)

作者简介: 吕世雄,1957年生,硕士,工程师。研究方向为铝合金焊接、铝基复合材料焊接。

## 不锈钢复合板焊接裂纹的返修

新疆独山子石化炼建公司(833600) 徐德明 张建国 张公金

我厂在焊接复合板材质 20R + 00Cr17Ni14Mo2 (板厚 16 mm + 3 mm) 时,因供货质量原因,在焊接时焊缝区及相邻母材 150 mm × 100 mm 范围内出现了大量裂纹,有些裂纹是贯穿性的,因此针对这一缺陷制定了返修工艺。

### 1 焊接材料

在焊接过渡层时,基层的碳钢与复层奥氏体钢焊接,由于基层成分(20R)对焊缝金属有的稀释作用,使焊缝中奥氏体元素含量降低,若焊缝中出现马氏体组织,会恶化接头性能,甚至产生裂纹,因此过渡层焊材选用至关重要,18 - 8 型焊接材料不能满足要求,25 - 20 型焊接材料焊接后又可能因属于单相奥氏体组织而产生热裂纹,而 25 - 13 型焊材是比较合适的,属于奥氏体 + 铁素体(A + F)双相组织(如 A042、A312、A302 型焊条),能有效防止裂纹的产生。

### 2 坡口形式

一般尽可能选用 X 形坡口,焊接时先焊基层,再焊过渡层,最后焊复层,焊接时尽量使复层中少熔入基层成分,防止裂纹产生。

### 3 确定缺陷位置

根据探伤结果找出裂纹范围,用砂轮磨光机清除裂纹(最好不要用碳弧气刨,以减少坡口边缘的淬硬倾向),同时采用着色探伤检查,以确保裂纹全部清除。最后再用磨光机扩大返修坡口的范围,彻底清除原热影响区的材质,以防止再次焊接时影响焊缝性能或产生新的缺陷。

### 4 焊 接

(1) 先焊接基层。采用碱性焊条(碱性焊条抗裂性能好,焊接时元素烧损少),施焊前焊条严格烘烤,使用时用保温筒盛装,随取随用,焊前采用适当的温度预热基层,消除水分等杂质。

焊接过程中连续施焊,保证层间温度,焊后立即采用氧乙炔焰对焊缝区加热,加热范围不可过大,温度控制在 250℃,保温 30 ~ 40 min,以防基层和复层结合部位开裂。

(2) 待基层温度冷却下来(小于 60℃),开始过渡层及复层的焊接,焊接时采用多道焊,焊条不摆动,控制好线能量,每焊完一层,停留 20 ~ 30 min,确保层间