

生产应用

铜合金密封环冷体 TIG 堆焊工艺及接头力学性能

哈尔滨工业大学现代焊接技术国家重点实验室(150001)

吕世雄 杨士勤

黑龙江省华安工业集团有限公司(齐齐哈尔市 161046)

王海涛 薛承博

郑永刚

摘要 针对冷体 TIG 堆焊工艺应用于钢基体上铜密封环生产上的问题开展研究工作,并以 HS201 为环体材料,堆焊的环体进行了拉伸、剪切和硬度测试。结果表明,采用恰当的堆焊工艺参数可得到高质量的铜合金密封环,冷体 TIG 堆焊方法满足实际的钢基体上铜密封环的焊接生产要求。

关键词: 冷体 TIG 堆焊 拉伸强度 剪切强度 硬度

COLD BODY TIG SURFACING TECHNOLOGY AND MECHANICAL PROPERTY OF COPPER ALLOY GLAND RING

Harbin Institute of Technology

Lü Shixiong, Yang Shiqin, Wang Haitao, Xue Chengbo

Hua'an Industry group Co. Ltd

Zheng Yonggang

Abstract The problems generated during the cold body tungsten inert gas (TIG) surfacing of gland ring were investigated. Tensile strength, shear strength and hardness of the HS201 gland ring were tested. The results showed that high quality of the copper alloy gland ring can be achieved when the optimized welding parameters were used. The test showed that TIG surfacing can meet the production requirement of the actual gland ring.

Key words: cold body tungsten inert-gas surfacing, tensile strength, shear strength, hardness

0 前言

传统的铜钢复合结构密封环多为在钢基体上开燕尾槽,然后将铜合金环压入钢基体内。这种工艺需要钢基体较厚,并且,开燕尾槽要造成较大的应力集中,使铜密封环易于被剥离。目前,这种结构正被焊接结构取代。然而,国内所提出的焊接工艺还均处于实验室阶段,应用于实际生产尚有一定困难,特别是在大直径、薄壁钢筒基体上焊接铜密封环还存在诸多问题。

文中提出的冷体 TIG 堆焊工艺,能成功地解决铜密封环焊接生产中存在的问题。在实验室阶段对铜密封环的各种性能进行了测试,并通过实际应用检验,验证了这种方法应用于生产的可行性^[1-3]。

1 试验材料和方法

试验材料所用基体材质为 35CrMnSiA 钢,密封环体材质为 HS201 焊丝,其主要化学成分分别见表 1 和表 2。

表 1 35CrMnSiA 钢的化学成分(%)

C	Mn	Si	Cr	Ni	O 杂质	Fe
0.32~0.39	0.80~1.10	1.30~1.60	1.10~1.40	0.05	≤0.060	余量

表2 HS201 焊丝的化学成分(%)

Cu	Si	Mn	Sn
98.9	0.4	0.4	1.1

试验设备采用日本 OTC 产的 Compap-500 型 TIG 焊机,焊枪采用水冷焊枪(最大电流为 350 A)。为了使焊枪能在大电流下长时间进行焊接,对焊枪的水循环系统进行了改进,扩大了焊枪的进水管径,提高了进水量,并更换了直柄焊枪的钨极,以提高枪体的冷却速度。焊接原理如图 1 所示。

利用牌号为 HS201 的铜质焊丝进行堆焊试验,焊

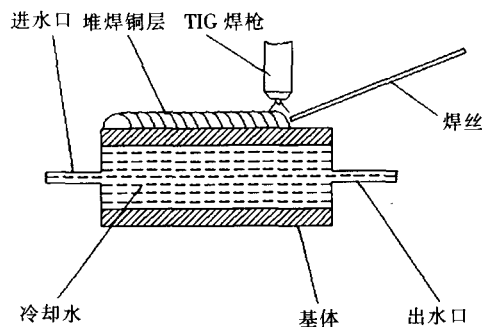


图1 冷体 TIG 堆焊原理图

接工艺参数及焊接效果见表 3。

表3 堆焊工艺参数

焊接电流 I/A	冷却方式	辅助措施	焊接效果
170	水冷	—	堆焊的铜层铺展效果差、成形差、界面处熔合不良
240	水冷	—	铜层的铺展效果好、成形好、无未熔合现象
300	水冷	—	铺展效果好、成形差、局部出现沿焊缝方向裂纹
240	空冷	—	铺展好、成形差(铜带宽度逐渐变大)、有裂纹
240	水冷	焊后锤击	铺展效果好、成形好、无未熔合,铜层致密
240	水冷	随焊超声	铺展效果好、成形好、无未熔合

2 力学性能试验与结果

2.1 拉伸试验

对于基体材料,焊接后的热影响区性能会发生改变。堆焊后,将密封环体车掉,选取合适位置加工 4 个拉伸试件,保证拉伸区为焊接热影响区。取出两个试件进行调质热处理,其工艺为:900 ℃保温 10 min,20# 机油淬火,420 ℃回火 1 h。

对于密封环体,其工艺方法为:将密封环体上的基体去除,然后缓慢矫直(尽量减小加工硬化影响),制成拉伸试件。

拉伸试件的形状如图 2 所示。测量各试件,确定其各部位尺寸,见表 4。

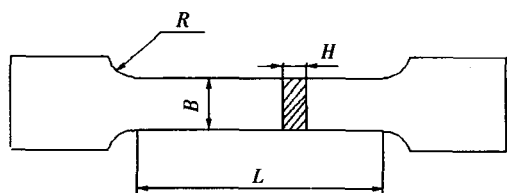


图2 拉伸试件形状及标注尺寸

表4 拉伸试件参数

部位	试件编号	L/mm	B/mm	H/mm	备注
基体	1	40	9.985	3.719	调质
	2	40	9.612	3.602	调质
	3	40	9.641	3.266	
	4	40	9.844	3.386	
密封环体	1	30	9.980	2.594	
	2	30	9.910	2.559	
	3	30	9.903	2.499	

试验结果显示,焊后基体抗拉强度为 1 400 MPa,调质处理后强度基本不变,而断后伸长率提高到焊前的 2~3 倍。从图 3 可以看出,非调质试件断口有大量解理面,属明显的脆性断裂;调质态断口并非纯脆性断裂,断口既有部分韧窝组织,又可以看到撕裂棱和解理面,表现出一定程度的韧性断裂^[4]。

HS201 形成的密封环体平均抗拉强度为 285 MPa,其断裂形式表现为韧性断裂,如图 4,图 5 所示。

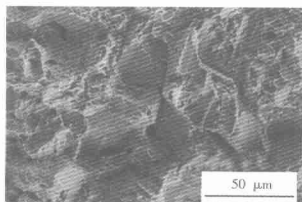
2.2 剪切试验

为了验证铜密封环与钢基体界面结合强度,保证

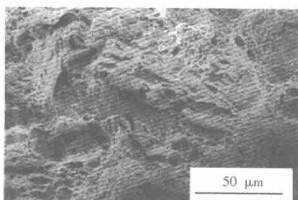
应用过程中铜密封环体不从基体上剥离,设计了剪切试验。

在 35CrMnSiA 钢环上焊接剪切试验带,剪切试验带焊接参数为:电流 235 A,送丝速度 2 190 mm/min,背面水冷,焊接速度 71 mm/min,密封环体宽 14 mm,高 5 mm,机加至合适尺寸。

试验时将钢套筒压在试验带上,在套筒上加压,如图 6 所示。套筒与基体钢环之间间隙为 1 mm。当压力达到 639.94 kN 时,铜密封环体出现屈服破坏,计算出剪切强度为 120 MPa。观察断口可发现,环体在铜上发生破坏,断口上端呈光亮平滑态,下端呈粗糙的韧窝态。试验结果表明,铜密封环与钢基体的结合强度大



(a) 非调质态断口



(b) 调质态断口

图 3 基体的拉伸断口 SEM 照片

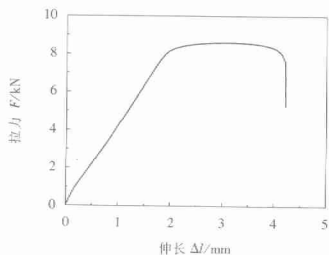


图 4 密封环体的拉伸曲线

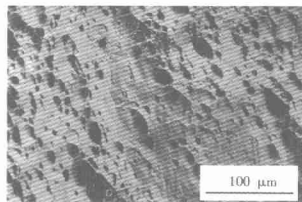


图 5 密封环体的断口(SEM)照片

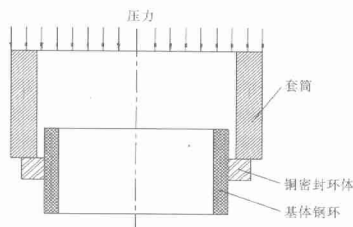


图 6 剪切试验原理图

于铜本身的强度,由此可见,不会在界面发生剥离现象。

2.3 硬度试验

硬度是密封环体的重要性能指标,在试验过程中,密封环体与外壁啮合线始终保持紧密啮合,而且同时会产生高速摩擦,如果密封环体硬度过高,将对外壁啮合线产生过度磨损,影响其使用寿命。

以下对不同参数下(根据电流大小区分)、不同焊接工艺下得到的焊接试件进行硬度试验,以此比较焊接前后的硬度变化,同时对比燕尾槽结构下铜密封环在经过收带机加工硬化后的硬度。原始铜环体材料(HS201)的硬度为 45HB。传统燕尾槽结构铜环体经过收带机压入燕尾槽中,有很强的加工硬化效果,铜环体平均硬度为 80HB。

硬度试件及环体上硬度试验测量位置如图 7 所示,试验结果分别见表 5 和 6。

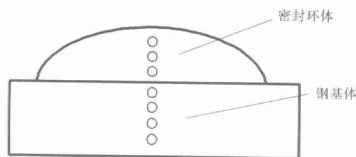


图 7 硬度取值点位置

表5 不同电流下密封环体的硬度值

焊接电流 I/A	280	240	170
硬度值(HB)	58.7	44.4	43.7

表6 不同工艺下密封环的硬度值

工艺措施	超声	焊后锤击	非冷体焊	热丝
硬度值(HB)	49.0	66.2	59.7	47.3

从以上数据可以看出,电流越大,密封环体硬度越高。这是因为:电流大(即热输入大)使密封环熔化量增多,铜密封环中固溶的基体钢多,使硬度上升。对于不同的工艺而言,焊后锤击使铜密封环体加工硬化,硬度升高,接近燕尾槽结构密封环硬度,而其余远低于此硬度。

基体硬度分布如图8所示,焊接热影响区硬度较高,这主要是由于经过焊接热循环,热影响区组织转变为硬度较高的马氏体组织,而远离热影响区的部分依然保持着原始的退火态组织,因此硬度较低。由图8还可以看出不同工艺条件下的热影响区大小。其中曲线A表示非冷体焊接,热影响区最大;曲线B是正常的冷体焊接;而曲线C表示焊后加锤击的试件,热影响区经锤击变形,变得最小。

同时,自表6可以看到,非冷体焊接时,密封环体的硬度高于冷体焊接时的硬度,这主要是因为在水冷作用时,存在严重的焊接热量积累,造成基体钢向环体中扩散、溶解量增加,铜环体中钢的固溶量提高,因此,环体硬度较高。

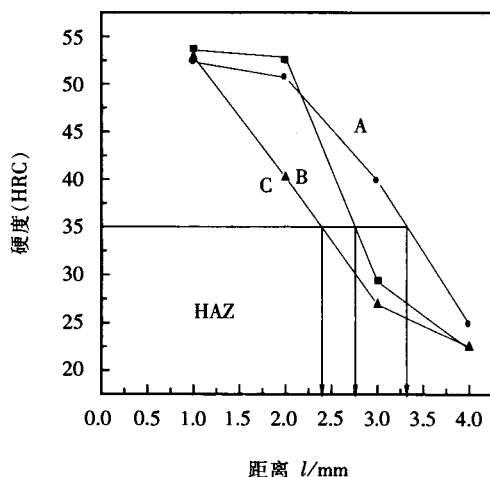


图8 基体硬度分布

3 密封环应用检验

焊接选用 HS201 作为密封环体材料,应用上述条件的适当参数($I=240$ A),焊缝成形美观,焊接质量好。经机械加工后,得到满足厂家规格的铜带,加工表面无气孔。

经密封性检验,效果良好,堆焊密封环体与燕尾槽结构密封环体发射效果相同。但由于在生产效率、密封环体性能、生产成本以及整体结构性能方面的巨大优势,堆焊生产工艺显现出良好的应用前景,将给密封环体生产带来新的飞跃。

4 结 论

(1) 利用冷体 TIG 堆焊工艺,采用的 HS201 材料形成的密封环体抗拉强度为 285 MPa,35CrMnSiA 基体 HAZ 抗拉强度为 1 400 MPa,调质处理后基体的抗拉强度无改变,而断后伸长率得到提高。

(2) 利用冷体 TIG 堆焊工艺,采用 HS201 焊丝形成的密封环体与钢基体的结合强度高于密封环体本身的剪切强度。

(3) 硬度试验表明,在合适的堆焊工艺条件下,焊接密封环体硬度小于传统工艺形成的密封环体硬度,并且密封环体的硬度随着焊接电流的增加而增加,当焊接采用内壁水冷工艺时,焊接热量积累小,基体钢在铜环体中固溶量少,环体的硬度较低,环体低硬度有利于延长外壁啮合线的使用寿命。

(4) 经密封性检验,冷体 TIG 堆焊工艺,可完全应用于密封环体的实际生产,使焊接结构密封环取代传统的燕尾槽结构,并能降低生产成本,提高生产效率。

参 考 文 献

- [1] 王克鸿,徐越兰,余进,等.无熔深堆焊铜技术研究[J].机械设计与制造工程,2002,31(1):57-58.
- [2] 朱军,王东,陈东高,等.浅谈铜与钢异种材料的氩弧钎焊[J].兵器材料科学与工程.2000,23(4):43-47.
- [3] 肖宏滨,李谦,祝要民,等.爆炸焊接铜/钢复合板结合界面的组织结构分析[J].洛阳工学院学报.2000,21(4):27-30.
- [4] 周振丰,张文钺.焊接冶金与金属焊接性[M].北京:机械工业出版社,1988.427-434.

(收稿日期 2006 03 20)

作者简介:吕世雄,1957年出生,高级工程师,博士研究生。研究方向为有色金属焊接、特种连接及精密焊接。