

低温制冷机冷头焊接工艺研究

席有民,平丽浩,钱吉裕

(南京电子技术研究所,南京 210039)

摘要:冷头是低温制冷机的关键零部件,是制冷机的重要结构件,同时也是制冷机与热载荷的接口部位。文中对冷头的焊接工艺进行研究,提出一种爆炸焊复合材料与激光焊结合的冷头焊接工艺。

关键词:低温制冷机;冷头;爆炸焊复合材料;焊接工艺

Welding process of cryocooler cold - head

Xi Youmin, Ping Lihao, Qian Jiyu

(Nanjing Electric Technology Research Institute, Nanjing 210039, China)

Abstract: Cold - head is a key part in cryocooler. It is not only an important structure part, but also the interface between cryocooler and heat load. In this paper, we studied on the welding process of cold - head, and then put forward a welding process which integrated composite - welding composite material and laser welding.

Keywords: Cryocooler, Cold - head, Explosive - welding composite material, Welding process

1 引言

低温制冷机冷头是斯特林制冷机、G - M 制冷机、脉冲管制冷机等低温制冷机与热载荷的接口部位,通常冷头由冷缸和冷缸堵头组成。制冷机所制取的冷量通过冷缸堵头传递给热载荷。为了将花费较大代价制得的冷量有效传递给热载荷,冷缸堵头通常由无氧铜等热导率较高的金属材料加工而成。同时,由于低温制冷机冷缸两端温差较大,为了减小制冷机冷端与热端的导热损失,低温制冷机的冷缸通常为薄壁不锈钢筒状结构(壁厚小于 1mm,有的制冷机冷缸壁厚小于 0.2mm)。

由于冷缸为薄壁件,冷头内一般是氦气工质,为了保证密封、减小漏热,冷缸与冷头之间一般采用焊接连接。铜与不锈钢的焊接属于异种金属焊接,由于两种金属之间的化学成分不同,物理性质相差较大(线膨胀系数、导热系数、熔点和力学性能等),加之铜与不锈钢之间互溶性差等特点,使得冷头的焊接难度较大^[1]。同时,制冷机对焊后漏率有严格要求(通常要求 3MPa,漏率低于 $1 \times 10^{-9} \text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$),对薄壁冷缸焊后变形也有严格

要求(同轴度 6 级以上),使得冷缸和冷缸堵头的焊接难度较大,成为制冷机工程化的一个工艺瓶颈。

文献[2]中冷缸堵头采用紫铜材料,与冷缸的焊接采用银焊。由于不锈钢的熔点与银焊条相差大,火候不好掌握,焊接强度可能也达不到。电子束焊也是一种经常采用的焊接工艺,文献[3]所介绍的制冷机即采用了该工艺。由于冷头焊接为异种金属,且对焊接要求高,采用电子束焊也存在焊接合格率低的问题,同时焊接成本较高。

如何提高冷头焊接合格率,降低焊接成本,对低温制冷机的工程化具有重要意义。针对该问题,本文提出一种爆炸焊复合材料与激光焊结合的冷头焊接工艺。

2 爆炸焊复合材料冷缸堵头

2.1 爆炸焊复合材料

爆炸焊复合材料是两块或多块被复合的金属板材在炸药爆轰作用下高速碰撞,在极短时间内在碰撞点附近产生极高的应变率和压力(大大超过金属的动态屈服极限),从而在板间形成一股高速金属射流,射流的形成从相互接触的金属表

收稿日期:2011 - 12 - 06

作者简介:席有民(1978 -),男,博士,主要研究方向:小型低温制冷机、特殊及复杂环境流动与换热、高效换热等。

面上剥离一层表面层,使金属暴露出有活性的清洁新表面,在高压下产生的原子间内聚能把相邻板材牢固结合在一起^[4]。

采用爆炸焊接可使熔点、强度、热膨胀系数等性能差异极为悬殊的金属组合形成复合材料。由于爆炸焊两种金属的结合为冶金结合,所以焊接质量高。文献[5,6]采用爆炸焊分别得到了铜-不锈钢复合材料和铜-低碳钢复合材料,得到的复合材料结合性能良好,界面没有明显的元素扩散。因此,可以选用爆炸焊复合材料来制作低温制冷机冷缸堵头。

2.2 冷缸堵头

冷缸堵头是制冷机与热载荷的连接部位,采用爆炸焊复合材料制作冷缸堵头,可以在与热载荷连接的部位采用高热导率铜,而在另一侧采用不锈钢以便与薄壁不锈钢冷缸焊接。图1为单级制冷机冷缸堵头结构,该结构也可用于多级制冷机的末级。

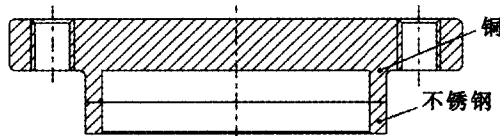


图1 单级制冷机冷缸堵头

Fig. 1 Cold cylinder plug for single-stage cooler

采用三层爆炸焊复合材料,即上下为不锈钢,中间为高热导率铜的三明治结构则可制作多级低温制冷机级间冷缸堵头,高热导率铜可接热载荷减小热载荷与冷缸堵头的热阻。图2为采用三层爆炸焊制作的多级低温制冷机级间冷缸堵头。

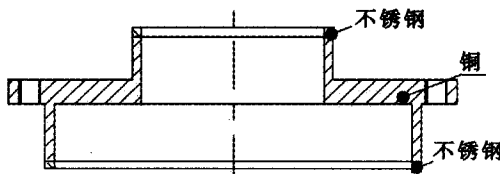


图2 多级制冷机冷缸堵头

Fig. 2 Cold cylinder plug for multi-stage cooler

3 冷头焊接工艺

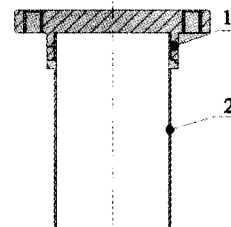
如前所述,低温制冷机冷头通常是由薄壁不锈钢冷缸和冷缸堵头组成。冷缸堵头采用爆炸焊复合材料后,冷头的焊接为不锈钢与不锈钢之间的焊接,降低了焊接难度。下面分别介绍单级低

温制冷机和多级低温制冷机冷头的焊接工艺。

3.1 单级低温制冷机冷头焊接工艺

由于低温制冷机冷缸对尺寸精度、表面精度和几何精度要求高,为了减少导热损失还将其设计成薄壁件,因而加工难度大^[7]。冷缸堵头采用爆炸焊复合材料后,冷头的焊接为不锈钢与不锈钢之间的焊接,考虑对焊接变形和泄漏率有严格要求,采用激光焊接工艺。

激光焊具有焊接速度快、能量密度高、热输入小,热影响区窄、焊接变形小等优点,在工业上广泛用于不锈钢材料之间的焊接^[8]。考虑冷头的焊接工艺要求,在冷缸上加工焊接过渡环,焊接时将冷缸插入冷缸堵头,保证冷缸堵头的不锈钢部分与冷缸焊接过渡接头接触良好。单级低温制冷机冷头结构如图3所示,该结构也可用于多级制冷机的末级。

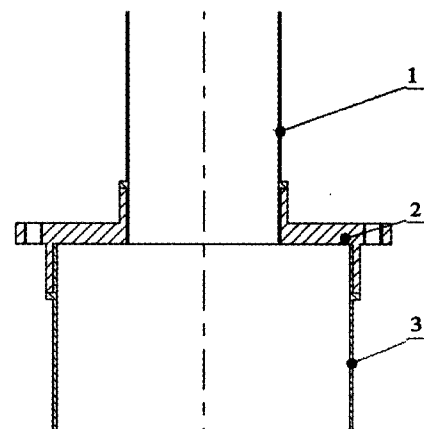


1. 爆炸焊复合材料冷缸堵头;2. 冷缸

图3 单级制冷机冷头

Fig. 3 Cold head for single-stage cooler

3.2 多级低温制冷机冷头焊接工艺



1. 二级冷缸;2. 爆炸焊复合材料冷缸堵头;3. 一级冷缸

图4 多级制冷机冷头

Fig. 4 Cold head for multi-stage cooler

多级低温制冷机,如果中间级的冷量也连接热载荷,为了减小导热损失,同样存在焊接问题。采用三层爆炸焊复合材料制作的多级制冷机级间

冷缸堵头,在冷缸上同样加工出焊接过渡环后,冷头的焊接为不锈钢与不锈钢之间的焊接。将冷缸插入冷缸堵头,在冷缸堵头不锈钢与相应冷缸焊接过渡环接触部位采用激光焊。以多级制冷机中一级冷缸堵头为例,其结构如图 4 所示。

4 结论

本文提出一种爆炸焊复合材料与激光焊结合的焊接工艺,用于解决低温制冷机冷头的焊接工艺难题。该工艺方案已用于课题组相关制冷机设计加工,经焊后检漏、充压检测该工艺方案切实可行,满足了制冷机的相关要求。该工艺方案降低了焊接成本,提高了焊接合格率,对低温制冷机的工程化具有重要意义。

参考文献

[1] 黄仁果,张国栋,任仕宏,等. 紫铜换热管与不锈钢管

板接头的 TIG 焊[J]. 电焊机, 2009,39(7):56-58.

[2] 张隆满,巨永林,吴亦农. 一种用于同轴型脉管制冷机的整体式冷头[P]. 中国专利:200710041611.0, 2008.

[3] 席有民,李青,李强,等. 线性滑轨支撑微型斯特林制冷机的开发及性能调试[J]. 低温与超导, 2005,33(3):17-19,33.

[4] 杨扬,张新明,李正华,等. 爆炸复合的研究现状和发展趋势[J]. 材料导报, 1995(1):72-76.

[5] Ahmet Durgutlu, Behcet Gulenc, Fehim Findik. Examination of copper/stainless steel joints formed by explosive welding[J]. Materials & Design, 2005,26(6):497-507.

[6] Raghukandan K. Analysis of the explosive cladding of Cu - low carbon steel plates[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2003,139(1):573-577.

[7] 范仙红,杨萍. 斯特林制冷机薄壁气缸加工工艺研究[J]. 低温与超导, 2010,38(7):33-34.

[8] 陈彦宾. 现代激光焊接技术[M]. 北京:科学出版社, 2005.

(上接 27 页)

5 结论

本文对极低温下微波单刀八掷开关进行了探索研究,选取了合适的管子,设计了低温微波单刀八掷开关,在极低温下微波开关可以工作,其插损、隔离度与常温时基本相当,开关速度有所提高。该开关在 77K 工作温度下,开关的插损 ≤ 1.6 dB,隔离度 ≥ 70 dB,开关速度:9ns。将其与超导滤波器的优势结合起来,制作的开关滤波器组件具有插损小,选择性高等特点,可以极大提高整机

的性能。

参考文献

[1] 王蕴仪,苗敬峰. 微波器件与电路[M]. 南京:江苏科学技术出版社, 1981.

[2] WHITE J F. 微波半导体控制电路[M]. 北京:科学出版社, 1983.

[3] Su H T, Llamas I, Lancaster M J. Performance of RF MEMS switches at low temperature[J]. Electronics Letters, 2006,42(21):1219-1220.