

# 真空空心阴极电弧焊接设备和工艺研究

刘志华 赵青 李德清 厉克勤 董一平

( 航天材料及工艺研究所 北京 100076 )

**文 摘** 介绍了真空空心阴极电弧焊接设备研制和焊接工艺研究情况。这是为解决钛合金容器焊接存在的飞溅问题而发明的一种先进的焊接工艺方法,在真空条件下,采用管状空心阴极,通入少量氩气,从而引燃电弧进行焊接。空心阴极焊接设备由空心阴极焊枪、真空系统、焊接电源、气体流量控制单元、总控制箱组成。文中详述了空心阴极焊枪设计、引弧试验情况及钛合金焊接工艺试验,结果表明焊接接头拉伸强度达到标准的要求,特别是与电子束焊相比,焊缝背面无焊接飞溅。

**关键词** 空心阴极,焊接,设备

## A Study of Hollow Cathode Arc Welding Technology in Vacuum and Equipment

Liu Zhihua Zhao Qing Li Deqing Li Keqin Dong Yiping

( Aerospace Research Institute of Materials and Processing Technology Beijing 100076 )

**Abstract** The study in progress about Hollow Cathode Arc Welding technology in vacuum and its equipment is introduced in this paper. It is an advanced welding technology to solve welding spatters of titanium alloy pressure vessels. Such a welding method is held in vacuum condition and with a little argon gas through a hollow cathode to start a arc. This welding equipment consists of hollow cathode welding torch, vacuum system, welding power source, gas flow control unit and compact control device. The results of arc-starting and welding tests for titanium alloy are also presented in detail in the paper. Tensile strength of welding joints has reached the demands of welding standard, esp. no spatters on back weld are obtained in contrast with EBW.

**Key words** Hollow cathode, Arc welding, Equipment

### 1 前言

真空空心阴极电弧焊接技术是一种先进的焊接工艺方法。它具有电弧能量集中,对弧长不敏感等特点<sup>[1]</sup>,同时又可替代电子束焊接钛合金,解决焊缝背面飞溅的问题,因此前苏联成功地将此技术应用于钛合金产品的焊接生产中<sup>[2]</sup>。

国内航天工业中钛合金容器的焊接主要是采用电子束焊,长期存在着焊缝背面飞溅,即容器内壁存在金属飞溅粘连。由于这些“多余物”的存在,直接

影响到航天产品的可靠性。焊接技术人员在这方面做了许多工作,虽有改善,但却难以完全避免。为此,我们开展空心阴极焊接研究,探求一种既可以在真空中焊接,有效地防止钛合金免于氧化,又可以彻底解决焊接飞溅问题的新方法、新工艺。

### 2 真空空心阴极焊接设备研制

真空空心阴极电弧焊接技术的基本原理是:采用一个管状阴极,在真空条件下,通入少量氩气作为电离介质,当从阴极逸出的电子受到空间电场的作

收稿日期:1999-12-21

刘志华,1958年出生,高级工程师,主要从事焊接设备及其工艺方面的研究工作

用渐渐被加速后,同气体的原子发生碰撞,使这些气体原子激发和电离,从而形成焊接所需的电弧实现焊接。

此项研究的关键是研究设计空心阴极焊枪,同时组成焊接系统并解决在真空条件下的焊接引弧、稳弧问题,而且所形成的焊接电弧具有足够的能量密度,满足焊接工艺的需要,从而实现焊接。

空心阴极焊枪及引弧、稳弧技术是真空空心阴极电弧焊接的主要技术关键。

### 2.1 小孔膜片型空心阴极焊枪的研制

我们首先进行了直管型空心阴极焊枪接触引弧试验。接触引弧试验是通过由钽管做成的阴极与工件短路加热,在提起阴极的瞬间引燃电弧。直管型空心阴极焊枪接触引弧试验的成功从原理上证明空心阴极焊枪引弧是可行的,但是由于直管型阴极电弧不集中,不能满足焊接熔化的需要,且接触引弧方式在焊接生产上也是不适用的,因此我们又研制出小孔膜片型空心阴极焊枪并成功实现小孔膜片型焊枪的非接触引弧试验。

小孔膜片型空心阴极焊枪由阴极、水冷枪体、绝缘体、加热元件等组成,阴极采用 6 mm 钽管,如图 1 所示。

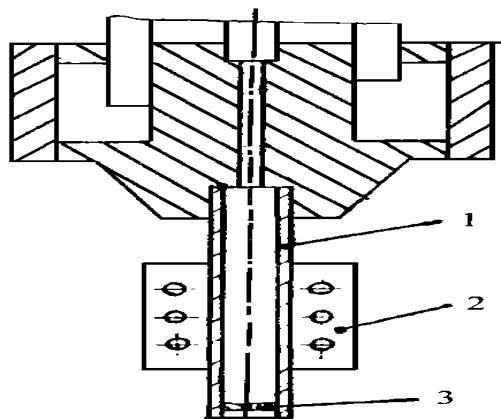


图 1 小孔膜片型空心阴极焊枪结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of hollow cathode welding torch with diaphragm

1—空心阴极;2—加热元件;3—膜片。

### 2.2 小孔膜片型空心阴极焊枪非接触引弧试验

非接触引弧采用两种方式:其一是采用加热阴极方式,即加热阴极直至电弧建立后切断加热电路。其二是先加热阴极,当阴极头部达到白亮色时,切断宇航材料工艺 2000 年 第 2 期

加热,启动高频引弧。引弧试验结果见表 1。

表 1 小孔膜片型空心阴极焊枪引弧试验结果

Tab. 1 Arc starting results of hollow cathode welding torch with diaphragm

试验序号	引弧方式	氩气流量 / mL · min <sup>-1</sup>	加热电流 / A	引弧电流 / A	引弧结果
1	加热	15	25	50	加热 90 s 后引弧电弧,可重复再现
2	加热 + 高频	15	25	50	加热 70 s 后切换高频;电弧引燃,可重复再现

### 2.3 真空空心阴极电弧焊接装置研制

真空空心阴极电弧焊接装置(如图 2 所示)主要由五部分构成:空心阴极焊枪,空心阴极真空系统,焊接电源,控制装置,气体流量控制单元。

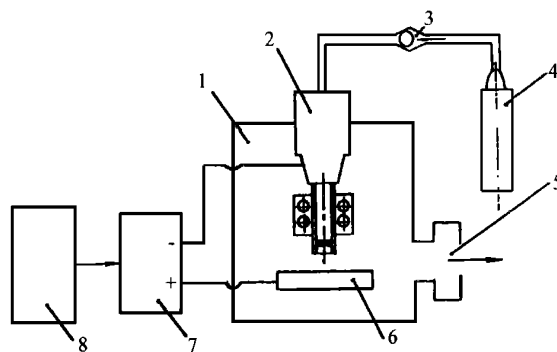


图 2 真空空心阴极电弧焊接系统示意图

Fig. 2 Schematic drawing of HCIG system

1—真空室;2—空心阴极焊枪;3—气体流量控制单元;  
4—氩气瓶;5—真空抽气机组;6—工件;  
7—焊接电源;8—控制箱。

真空系统由两部分组成:真空室及真空抽气机组。真空室尺寸为 850 mm × 700 mm × 600 mm,顶部安装空心阴极焊枪。利用滑动密封技术,焊枪可沿真空室壁上下移动以调整电弧长度。真空抽气机组由机械泵、罗茨泵、扩散泵级联方式组成。焊接电源选用美国生产的 Miller 300 型焊机。真空空心阴极电弧焊接控制装置包括焊接引弧控制、工件移动控制、真空机组及阀门控制和真空测量。

真空空心阴极电弧焊接装置能够满足空心阴极电弧焊接需要,适用于钢、铝合金、钛合金等材料焊

接。

### 3 钛合金试板焊接工艺试验

焊接工艺试验在退火状态的 TC4 板上进行。采用直边坡口,悬空焊接,背面无垫板,不添加焊丝。试板尺寸为 360 mm ×130 mm ×3 mm 两块对接,焊缝长度 350 mm。焊接参数为:真空度  $3.9 \times 10^{-2}$  Pa,焊接电流 150 A,电弧电压 14 V ~ 16 V,焊接速度为 258 mm/min。

目前尚未制定真空空心阴极电弧焊接标准,所以钛合金焊接试板的检验参照“QJ 1666—95 钛及钛合金熔焊技术条件”级对接接头要求进行,X射线检测符合 级对接接头要求,焊缝表面为银白色。焊后经  $(600 \pm 5)$ 、1.5 h 消除应力真空退火(真空压力  $\leq 1 \times 10^{-3}$  Pa)。选取三个拉伸试样,依据 QJ 1666—95 标准,按“CB 2651 焊接接头拉伸试验方法”制取试样和进行拉伸试验。其拉伸强度测试结果见表 2。

表 2 TC4 钛合金试板拉伸强度测试结果  
Tab.2 Mechanical properties of welded TC4 titanium alloy specimens

试样 编号	拉伸强度 $\sigma_b$ / MPa	
	焊接试板	母材(实测值)
1#	1 010	989
2#	1 020	990
3#	1 020	988

试验结果表明,真空空心阴极电弧焊接的焊缝双面成形良好,尤其是焊缝背面无飞溅。焊接工艺稳定,可以用于钛合金产品焊接。

真空空心阴极电弧焊接钛合金既能够有效地避免焊接飞溅的产生,又可以有效地保护钛合金产品免于氧化等。这种新工艺方法能够有效地防止焊接钛合金时飞溅产生的原因是产热机理上的不同,空心阴极电弧焊是通过热传导从而熔化形成焊缝;而电子束焊是通过电子束流的高速撞击,使金属晶格振动发热而熔化金属形成焊缝。前者热量从焊缝正面传向背面,后者是由一串由内向外传热的小熔化区构成,因此容易产生飞溅。

### 4 结论

(1)采用小孔膜片型空心阴极焊枪能够可靠地实现非接触引弧。

(2)真空空心阴极电弧焊方法用于钛合金焊接是完全可行的,焊接接头拉伸强度达到 QJ 1666—95 级接头要求。

### 参考文献

- 1 . . . . . ,1974;(10):1~2
- 2 . . . . . ,1974;(11):13

(上接第 40 页)

- 6 Baker C F, Dunn D R, Mills E R, Low cost low erosion throat material for solid rocket motors. AIAA, -94-3 187
- 7 John D B, Dan D E. Carbon-Carbon materials and composites. Noyos Publications, 1993:71~104
- 8 Fitzer E, Geigl K H, Huttner W. The influence of C-fiber surface treatment on the mechanical properties of C/C-composites. In: 14th Biennial. Conf. on Carbon, 1979

- 9 Peebles L H, Jr., Meyer R A, Jortner J. Interfaces in Carbon-carbon Composites; Interfaces in Polymer, Ceramic, and Metal Matrix Composites. Matsuo Ishide editor, Elsevier Science Publishing Co. Inc., 1988
- 10 Savage G. Carbon-Carbon composites. Chapman & Hall, 1993:285~290

