

钛合金舱体的焊接工艺

Welding Process of Titanium Alloy Cabin

中国空空导弹研究院 樊兆宝 王秀萍

[摘要] 通过对焊接毛坯的设计, 焊接和加工工艺流程的确定, 焊接方法和焊接参数的选择, 电阻滚焊下滚轮的设计等几个方面对某型号产品钛合金舱体的焊接工艺进行了讨论。结合焊接试验过程, 制订出了合理的工艺方案。试验验证该工艺方案完全适合钛合金舱体的焊接加工。

关键词: 钛合金舱体 工艺方案 自动氩弧焊 电阻滚焊

[ABSTRACT] Welding process of titanium alloy cabin of certain product is discussed from the following aspects: design of welding blank, definition of technological process of welding and machining, selection of welding method and parameters, and design of roller of resistance seam welding, and so on. A rational technology project is laid down in combination with welding test process. The test result shows that the technology project is suitable for the welding of the titanium alloy cabin.

Keywords: Titanium alloy cabin Process project Automatic argon arc welding Resistance seam welding

为了减轻重量, 增加射程, 某型号产品的某些舱体采用了具有较高比强度的 TC4 钛合金。由于钛合金舱体是产品壳体的组成部分, 在其飞行过程中将承受很大的过载, 因此对舱体的焊缝质量、焊接接头的力学性能和舱体的尺寸精度等都有很高的要求。本文着重阐述了某型号产品钛合金舱体的焊接工艺设计。

1 工艺性能分析

1.1 舱体的结构特点

钛合金舱体由前接头、壳

体圆筒和后接头 3 部分组成, 通过 2 条环焊缝连接为一个整体, 如图 1 所示。它是一个筒型焊接结构件, 具有筒壁薄、刚性差、易变形、焊缝质量和尺寸精度要求较高等特点, 焊接和加工难度大。

组成钛合金舱体的所有零件均由 TC4 钛合金板材或锻环制成, 其中: 前、后接头用锻环经车削加工, 焊前留有余量, 焊后精加工到最终尺寸。

壳体圆筒用厚 1.0mm 的板材经展开料加工以及滚筒机滚圆、母线对接纵向焊缝焊接, 热校形等工序加工而成, 其结构见图 2。

1.2 材料的工艺性能分析

TC4 钛合金的化学成分见表 1, 机械性能见表 2。

TC4 钛合金属于 α 型钛合金, 可用氩弧焊、点焊、电子束焊、激光焊等多种方法进行焊接, 焊接接头强度可达基体金属强度的 90%, 但塑性指标对比母材却下降 50% 左右。焊后在 550~650 °C 下进行退火, 可消除 70%~80% 的残余应力, 板材零件焊后的消除应力退火最好在真空炉中进行。

由于钛合金的重量轻, 导热性能差, 化学活性高, 焊接时会出现一系列的问题, 如氩弧焊时的焊缝熔合线气孔、焊接过程中的保护及电阻焊时的焊透率过高等问题一直没有很好的解决办法。

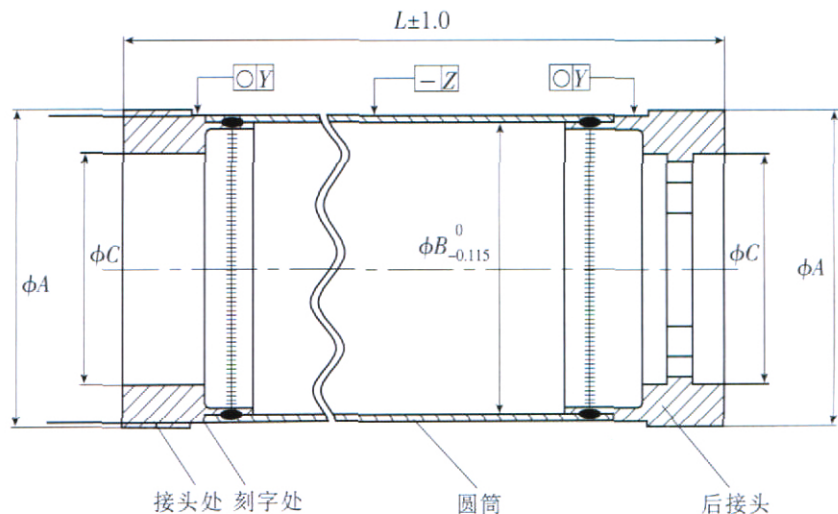


图 1 钛合金舱体零件

Fig.1 Structure of titanium alloy cabin

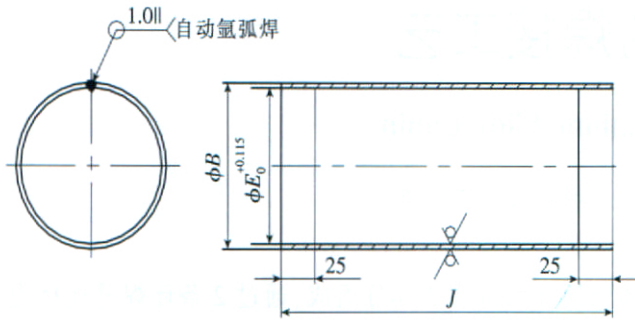


图2 壳体圆筒零件

Fig.2 Structure of casing cylinder

表1 TC4 钛合金的化学成分 %

牌号	成分	主要化学成分			杂质(不大于)					
		Ti	Al	V	Fe	Si	C	N	H	O
TC4	Ti-6Al-4V	基	5.5~6.8	3.5~4.5	0.3	0.15	0.10	0.05	0.15	0.20

表2 TC4 钛合金的力学性能

牌号	成分	热处理状态	抗拉强度/MPa	延伸率/%	冷弯角度/(°)
TC4	Ti-6Al-4V	退火	900	10	30

1.3 舱体的焊接工艺分析

(1) 焊接变形问题。

焊接是一种局部快速加热和局部快速冷却的过程,伴随焊接过程出现的变形是不可避免的。由舱体的结构特点可知,其壁厚仅为 1.0mm,刚性差,易变形,工艺性能不好,焊接与热处理变形难以控制,尺寸精度难以达到要求。

(2) 氩弧焊时的保护问题。

钛合金的化学性质在高温下极为活泼。试验表明,钛在 300 快速吸收氢,在 600 快速吸收氧,在 700 快速吸收氮,而空气的主要成分就是氧和氮,故焊接时钛的氧化过程最容易出现。氮、氢、氧的增加不但会引起焊缝气孔的增加,而且使焊缝塑性下降、变脆,故焊接时超过 250 的区域都必需加以保护。

(3) 氩弧焊时的焊缝气孔问题。

钛合金重量较轻,密度为 4.5g/cm³,仅为钢材的 57%,故焊接时对熔池中相同体积气泡的浮力仅为钢熔池的一半,气泡上浮速度慢,来不及逸出而形成气孔,这是钛合金焊缝中气孔时常超标而又难以消除的主要原因。

(4) 电阻滚焊焊缝的焊透率过高问题。

钛合金电阻滚焊时的主要问题是焊透率过高和外表面发蓝变色,这是钛合金导热性能差的特性造成的。电阻滚焊时,滚轮的散热作用对熔核温度梯度的影响太小,致使焊缝表面过热,焊透率增加。

2 焊接试验过程与讨论

通过对舱体的工艺性能分析,确定防止焊接变形、保证尺寸精度和保证焊缝质量是需要解决的主要问题。

2.1 焊接方法与设备

2.1.1 焊接方法

对于壳体圆筒的母线对接纵向焊缝,我们选择了自动脉冲钨极氩弧焊。脉冲焊接一方面可以降低焊接线能量,减小热影响区,防止晶粒长大和金属变脆;另一方面,焊接脉冲的电磁搅拌作用有利于熔池气泡的逸出,从而减少焊缝气孔的产生。对于焊接时所产生的变形,可以在随后的热处理校形时加以解决。

对于前、后接头与壳体圆筒之间的 2 条环形圆周焊缝,由于氩弧焊时所引起的焊接变形较大,圆度和轴向尺寸始终达不到精度要求,设计复杂的焊接夹具又要增加成本,所以我们选择了焊接变形相对较小的电阻滚焊方法。为了防止焊缝疏松,在金属冷却收缩时能继续施加滚轮压力,采用了步进式电阻滚焊技术。

2.1.2 焊接设备

本次试验的氩弧焊设备为进口的某型号纵向自动钨极氩弧焊机,配以北京航空制造工程研究所(625 所)研制的琴键式焊接夹具,电阻滚焊设备为进口的 SM-AS-2/200/1000 型直流纵横两用滚焊机。

2.2 焊接毛坯的设计及其尺寸的确定

实践表明,焊接毛坯对焊接件的焊缝质量和最终尺寸精度影响很大。毛坯设计不当,可能导致零件焊接质量下降,甚至报废,因此,应对毛坯的设计给予足够的重视。

(1) 前、后端环的焊接毛坯单边都留有 1.5mm 的余量。

(2) 壳体圆筒的展开料尺寸、轴向单边留有 3.0mm 的余量。周向尺寸最为重要,稍有偏差在焊后就有报废的危险,我们采用理论计算和统计规律相结合的方法,经多次反复验证后才最终确定,以保证热处理后壳体圆筒的直径尺寸。

(3) 圆周焊缝处前、后端环与壳体圆筒的插接长度按有关标准确定为 18mm, 插接处壳体圆筒的内径为 $\phi X^{+0.2}$, 前、后端环的外径为 $\phi X_{-0.10}^{-0.05}$, 两者之间有 0.05~0.30mm 的间隙。这样做既考虑到电阻滚焊的要求, 又考虑到了焊前装配的方便, 同时也顾及到了加工和热校圆时可能达到的精度。

2.3 工艺方案的制定

根据钛合金的性能特点和舱体及壳体圆筒的技术要求, 合理配置焊接、热处理的先后顺序, 结合所用设备, 我们制定了工艺流程。

(1) 壳体圆筒的工艺流程: 展开料加工 滚圆 酸洗 自动氩弧焊 检验 探伤 真空退火及热校形 检验 拉伸强度试验;

(2) 舱体的工艺流程是: 零件加工 酸洗 选配 定位焊 检验 电阻滚焊 检验 探伤 真空退火及热校形 检验 拉伸强度试验。

2.4 焊接工艺参数

2.4.1 钨极氩弧焊

自动脉冲钨极氩弧焊的工艺参数见表 3。焊接参数的调试主要以提高保护效果、减少气孔、保证单面焊双面成形为目的。

表 3 自动脉冲钨极氩弧焊工艺参数

规范	焊接电流/A	焊接速度/mm·min ⁻¹	电弧电压/V	送丝速度/mm·min ⁻¹	焊接脉冲(刻度)			保护气流量/L·min ⁻¹		
					脉宽	脉幅	频率	正面	背面	拖后
参数	60	132	9	270	50%	50%	1.75	15	5	3

(1) 焊接电压: 为了提高保护效果和增大熔深, 保证背面焊透, 电弧应尽量缩短, 电压应尽量降低。

(2) 焊接电流和焊接速度: 这是 2 个比较重要的工艺规范参数, 焊缝的外观成形、内部质量及背面成形需要它们之间的良好匹配。

· 脉冲焊可明显减少焊缝气孔, 焊接电流采用了通断比为 1:1 的脉冲电流。

· 焊接电流采用直流正接。

· 焊接电流与焊接速度的联合作用, 决定了焊接熔池存在时间的长短。当熔池存在时间很短时, 因氢的扩散不充分, 即使有气泡核存在, 也来不及长大成气泡, 这时焊缝中没有气孔存在。当熔池存在时间逐渐延长后, 氢得以向气泡核扩散而长大成宏观气泡, 于是焊缝气孔逐渐增多, 气孔多到一定程度后再进一步延长熔池存在时间, 则气泡有充分的时间溢出熔池, 故进一步增长熔池存在时间, 气孔逐渐减少。

(3) 为了提高保护效果和减少焊缝气孔, 采用 99.99% 的高纯氩作保护气体。

2.4.2 电阻滚焊

采用步进式电阻滚焊方法来焊接舱体圆周焊缝, 参数的调试以保证熔核宽度、防止焊透率过高和焊件表面发蓝为目的。

2.5 其他事项

(1) 焊丝的选定。

填充材料一般采用同质焊丝, 但为了改善接头塑性, 可以用比母材合金化程度稍低的焊丝。本课题的

焊接材料为 TC4, 故选用 $\phi 1.2\text{mm}$ 的 TC3 焊丝。

(2) 为限制焊缝气孔所采取的措施。

为限制和消除焊缝中的气孔, 除调试出合适的工艺参数和加强焊接保护外, 自动氩弧焊时采用了如图 3 所示的工艺流程。

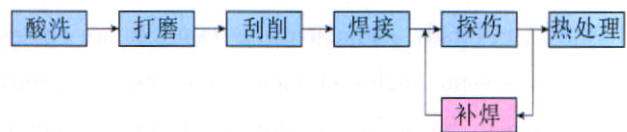


图 3 自动氩弧焊工艺流程
Fig.3 Process flow of automatic argon arc welding

(3) 电阻滚焊下滚轮的设计。

为了使滚轮能够深入到舱体内部进行焊接, 专门设计制作了下滚轮, 针对舱体结构的特殊性, 在滚轮的 2 侧增加了绝缘装置, 滚轮的工作面设计成球面, 尺寸为 R80mm。

3 结论

(1) 检验、探伤、拉伸和金相试验结果表明, 所焊钛合金舱体的自动钨极氩弧焊焊缝和电阻滚焊焊缝完全符合有关标准 I 级焊缝的技术要求。

(2) 尺寸检验结果表明, 钛合金舱体焊接毛坯的尺寸精度符合工序图要求, 焊接方法和工艺方案合理。
(责编 依然)