

TC4 钛合金壳体的人工氩弧焊工艺

樊兆宝

(中国空空导弹研究院,河南 洛阳 471009)

摘要:阐述了某型号 TC4 钛合金壳体的结构特点和对手工氩弧焊焊缝的技术要求。分析了 TC4 钛合金的可焊性以及可能出现的焊接缺陷,提出了防止焊接缺陷的途径和措施,对焊前准备、清理要求、焊透深度试验、焊接过程等各阶段进行质量控制。试验和生产表明,所采用的技术途径和措施完全适合于 TC4 钛合金壳体的批量焊接。

关键词:钛合金壳体;手工氩弧焊;气孔;焊透深度

中图分类号: TG457.19

文献标识码: B

文章编号: 1001-2303(2007)07-0025-03

Manual argon arc welding technology of TC4 titanium alloy shell

FAN Zhao-bao

(China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China)

Abstract: The structural characteristics of X missile's titanium alloy shell and technical demand for manual argon arc welding are emphasized in this paper. Also in this paper, weldability and possible weld defects in TC4 titanium alloy are analyzed, and the path and the steps on preventing weld defects are put forward, as quality is controlled in every phase such as preparing before welding, trimming, processing penetration depth experiments and welding, etc. The results in experiments and manufacture indicate that the path and the steps we take on fit a batch of TC4 titanium alloy shell welding nicely.

Key words: titanium alloy shell; manual argon arc welding; gas cavity; penetration depth

0 前言

由于 TC4 钛合金具有较高的比强度、较好的耐高低温性能和优异的耐腐蚀性能,因而已成为空空导弹弹体最主要的结构材料之一。TC4 钛合金焊接壳体是某型号空空导弹中重要的组合件,其结构复杂,焊缝数量多,而且为不对称分布。

1 TC4 钛合金壳体的结构特点和对手工氩弧焊焊缝的技术要求

1.1 结构特点

TC4 钛合金壳体共由 19 种 60 多个零件通过自动氩弧焊、电阻点焊和手工氩弧焊三种焊接方法组成的一个整体。它为筒型焊接结构件,具有筒壁薄、刚性差、易变型、结构复杂、焊接要求严格的特点。

该焊接件除含有较多的自动氩弧焊焊缝和数百个电阻点焊焊点外,还含有 20 多条手工氩弧焊环型焊缝,用以焊接各种螺母、螺母座和螺纹座,其焊接质量主要靠手工操作来保障。典型结构如图 1 所示。

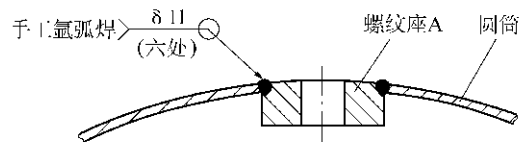


图 1 螺纹座 A 与圆筒的焊接示意图

1.2 手工氩弧焊焊缝技术要求

(1)全部 20 多条焊缝 100% X 光探伤,焊缝质量必须符合行业 I 级标准技术要求。

(2)焊缝的焊透深度不小于圆筒壁厚的 70%,不允许出现凹陷、咬边、裂纹、焊漏等缺陷。

(3)焊接保护要求严格,焊缝表面应为银白色、热影响区为银白色或金黄色。

(4)零件的圆度、直线度必须符合设计图纸的尺寸精度。

2 TC4 钛合金的焊接性能分析及壳体的焊接难点

金属钛质量轻,强度高,比强度大。它有两种晶体结构,885 °C 以上为体心立方结构,称为 β 钛;低于此温度为密排六方结构,称为 α 钛。TC4 钛合金属

收稿日期:2007-01-31

作者简介:樊兆宝(1954—),男,山东鄄城人,研究员,学士,主要从事焊接工艺工作。

于 $\alpha + \beta$ 型钛合金,焊接性能较差,焊接接头的强度一般可达基体金属强度的 90%,但塑性指标对比

母材却下降一半左右。

TC4 钛合金的化学成分见表 1,机械性能见表 2。

表 1 TC4 钛合金的化学成分

牌号	名义化学成分	主要化学成分			杂质					
		ω (Ti)	ω (Al)	ω (V)	ω (Fe)	ω (Si)	ω (C)	ω (N)	ω (H)	ω (O)
TC4	Ti-6Al-4V	基	5.5~6.8	3.5~4.5	≤ 0.30	≤ 0.15	≤ 0.10	≤ 0.05	≤ 0.15	≤ 0.15

表 2 TC4 钛合金的力学性能

牌号	名义化学成分	热处理状态	抗拉强度 σ_b /MPa	延伸率 δ_5 /%	冷弯角度 α /($^\circ$)
TC4	Ti-6Al-4V	退火	900	10	30

由于钛合金的质量轻、热物理性能特殊、冷裂倾向大、化学活性高,焊接时会出现一系列的问题。

(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,伴随而来的焊接变形不可避免。钛的弹性模量仅为钢的一半,焊接残余变形较大,由于钛合金壳体是一个筒型壁薄焊接结构件,刚性差、易变形,工艺性能不好,而在筒壁上又要焊接 21 条手工氩弧焊焊缝,焊缝较多,变形难以控制,尺寸精度不好保证。

(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,它从 250 $^\circ\text{C}$ 开始吸收氢,400 $^\circ\text{C}$ 吸收氧,600 $^\circ\text{C}$ 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进行。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,导致焊接裂纹的产生,故焊接时超过 250 $^\circ\text{C}$ 的区域都必需加以保护。

(3)氩弧焊时的焊缝气孔问题。

钛合金质量较轻,密度 4.5 克/ cm^3 ,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。有资料表明,氢在钛中的溶解度随温度的降低而升高,在凝固温度时有跃变降低后又升高,由于熔池中部比熔池边缘温度高,故熔池中部的氢易向熔池边缘扩散,因为后者比前者对氢有更高的溶解度,故熔池边缘容易为氢过饱和而生成气孔,这就是钛合金焊缝气孔大都存在于熔合线上的原因。

(4)焊透深度达不到要求的问题。

由图 1 可知,螺纹座 A 和圆筒的焊接属于板-管/柱 T 形接垂直插入式焊接结构,因为两者热容相差悬殊,其最大特点就是焊不透,设计要求焊透深度不小于圆筒壁厚的 70%,要想达到这个要求仍然相当困难。容易焊透的设计应该是如图 2 所示的板-板对接结构,但机械加工相当困难,焊接时需要

较为复杂的夹具才能使两者接平,总体结构上也不允许这样做。

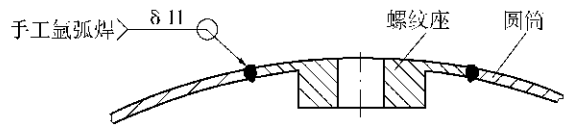


图 2 容易焊透的螺纹座与圆筒的焊接结构示意图

(5)螺母 A 和衬板焊接时烧缺圆筒的问题。

由图 3 可知,螺母 A 和衬板的焊缝紧靠着圆筒,要想既不烧缺圆筒,又要达到焊透深度的要求,这在工艺上确实是一个难题。

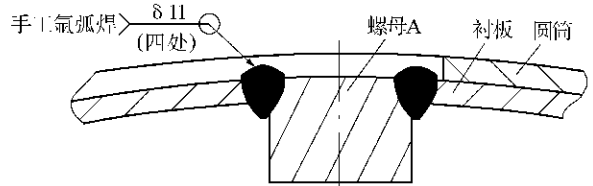


图 3 螺母 A 与衬板的焊接示意图

综上所述,TC4 钛合金的熔焊性能和壳体的焊接工艺性都比较差,焊接是需要采取一系列的工艺措施,才能获得优质的焊接接头。

3 焊接过程的质量控制

(1)防止焊接变形的途径和措施。TC4 钛合金壳体焊接变形的方式主要是椭圆和下塌,解决的途径:一是设计焊接夹具,二是采取合理的焊接顺序和尽量减小焊接线能量的输入。由于壳体内部零件众多,带气体保护的撑架夹具设计困难。首先对零件进行定位焊,以增加刚性,然后焊接变形小的螺母,最后对称焊接变形大的螺纹座。减小焊接线能量虽然可以减小焊接变形,防止晶粒粗大,但不利于焊缝气孔的逸出,经过反复试验,终于在两者之间找到了平衡点。

(2)防止焊缝气孔的途径和措施。途径就是限制氢、氧、氮等有害气体的来源,特别是氢的来源。措施是对所有使用的焊接材料要严格限制含水量,焊前进行酸洗、打磨和清洗,并保持干燥。焊接时掌握好焊接线能量的输入,在不引起过大变形和晶粒长大的前提下,适当延长熔池存在的时间,以有利于气泡浮出熔池。

(3)焊接时的保护。正面保护采用大喷嘴慢速焊

的方法,在背面设计了一个简易的背面气体保护装置,其原理示意于图 4,保护气体采用的是纯度为 99.99% 的高纯氩,较好地解决了焊接时的保护问题。

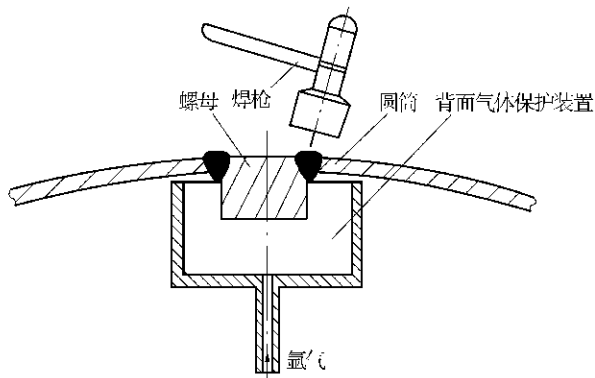


图 4 背面气体保护装置

(4)防止圆筒烧缺和焊透深度达不到要求的途径和措施。焊接螺母和衬板的焊缝时,为了防止圆筒烧缺,在焊接靠近圆筒的弧段焊缝时,进行不加丝焊接,以便在小电流下能够达到要求的焊透深度,然后用焊枪把其他地方的熔化金属带过来填满坡口。对于个别烧缺的零件,可以用堆焊加修锉的办法来解决。为了达到设计的焊透深度要求,采用不对称的焊接方法,即焊接时焊枪偏向螺纹座和螺母,给予它们较多的热量;而对圆筒、衬板和天线座,则给以较小的热量,并配于适当的焊接坡口。

4 焊前准备和焊接过程

4.1 焊前准备

(1)焊丝。填充材料一般都采用同质焊丝,但为了改善接头的塑性,可用比母材合金化程度稍低的焊丝,在此采用 $\varphi 1.2\text{ mm}$ 的 TC3 焊丝。

(2)焊接方法、设备和钨极材料。焊接方法选择手工钨极氩弧焊,焊接设备为 MINI-TIG150 型手工直流钨极氩弧焊机,钨极材料为 $\varphi 1.6$ 的钨钨极。

(3)焊接坡口。在各焊接零件上各开 $1.0\sim 1.2\times 60^\circ$ 的单面坡口,对在一块就是 $1.0\sim 1.2\times 120^\circ$ 的 V 型坡口。

(4)焊接工艺流程如图 5 所示。

4.2 焊接过程

(1)焊前的酸洗、冲洗和吹干。

其步骤为

去油→负离子去油→酸洗 $1\sim 2\text{ min}$ →水洗→吹干→ $80\text{ }^\circ\text{C}\sim 120\text{ }^\circ\text{C}$ 保温。

酸洗到焊接的时间最好不要超过 2 h 。

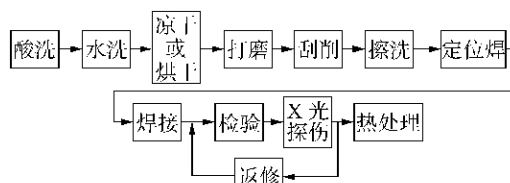


图 5 焊接工艺流程

以上工作由表面处理进行,仅酸洗螺母、螺母座和螺纹座,由于这时的圆筒已有近 40 个零件,酸液会进入搭接零件的夹缝中而无法冲洗干净,故不酸洗圆筒。

(2)打磨。用不锈钢丝刷打磨焊接区,呈光亮状态。注意不允许用清理轮和砂纸等打磨,因为磨料质点会对焊缝气孔的生成有影响。

(3)刮削。用擦洗干净的锯条刮削接缝端面,因为端面处的表面杂质污染对气孔形成的影响更为显著。打磨和刮削时带细纱手套而不能带粗纱手套,因为有机纤维会导致焊缝气孔的产生。

(4)擦洗。焊前用绸布和无水酒精把焊接区和背面气体保护装置擦洗干净,实践证明无水酒精较丙酮防止气孔的效果要好。

(5)装配和定位焊。注意对照图纸和工艺,零件不许装错,定位焊时零件位置尺寸要正确,不许歪扭,要加背面气体保护,定位两点,两定位点间相隔 120° ,以焊牢为准。

(6)焊接。焊前先焊接试件,沿轴线剖开,金相检查焊透深度合格后才能焊接零件。

按图纸和工艺要求,采用单层单道焊。在距定位点 120° 处起弧焊接,注意填满弧坑和气体保护效果。焊接时采用的工艺参数见表 3。

表 3 焊接工艺参数

规范	坡口型式	焊接电流 I/A	焊丝 φ/mm	氩保护气体流量 $Q/L\cdot\text{min}^{-1}$	
				正面	背面
参数	$1.0\sim 1.2\times 60^\circ$	25~40	1.2(TC3)	99.99%	15 5

注:坡口型式是指在圆筒和天线座上开单面坡口。

5 结论

外观和探伤检验表明,钛合金壳体的焊缝质量符合行业标准 I 级的技术要求,焊缝外表面成形良好,内部气孔和背面保护效果都在合格范围之内,正面个别地方略带蓝色。金相检验表明,焊缝的焊透深度超过了圆筒壁厚的 70%,符合设计要求。零件的圆度、直线度基本符合图纸,现已焊接了上百件钛合金壳体,焊接质量稳定。

专题讨论——有色金属焊接工艺及设备