

大直径钛合金薄壁筒形件制造工艺研究

Study on Manufacturing Technology of Large-Diameter Thin-Walled Cylindrical Workpiece of Titanium Alloy

中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司 陈荣平 黄锐 王勇超 姚刚 杨坪川

[摘要] 采用氩弧焊工艺焊接的钛合金筒形焊接件,存在壁厚薄、直径大、制造精度要求高等特点。长期的经验积累以及分析认为,零件的制造过程中存在着两个关键点:筒形件热成形回弹的解决以及焊接变形的控制。在生产过程中,运用了使用有限元软件计算回弹补偿后的模具型面的方法以及多种焊接变形控制措施,使得零件最终生产后满足各项制造技术要求,取得了良好的效果。

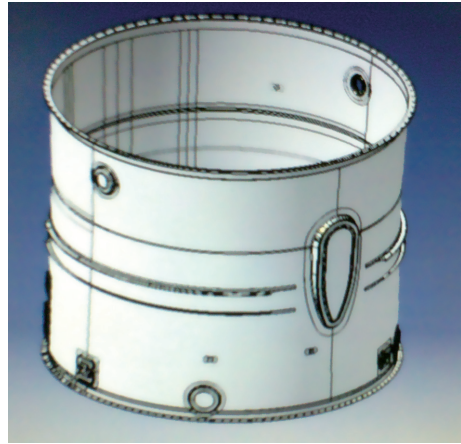
关键词: 筒形件 回弹 焊接变形控制

[ABSTRACT] The characters of cylindrical workpiece of titanium alloy welded by argon arc welding include thin-walled, large-diameter and high accuracy requirement. Based on long-term accumulation of experience and analysis, there are two key points for the parts manufacturing technology analyzed and proposed: the solution of springback of cylindrical workpiece' hot forming and the method of controlling welding distortion. In the production process, a calculation using the FEM software after springback compensation method mold surface and a variety of welding deformation control measures are applied. The parts produced finally satisfy all the requirements of manufacturing technology.

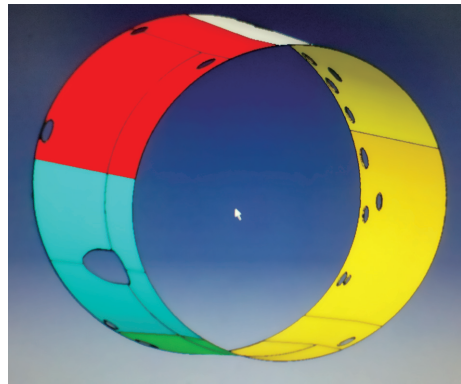
Keywords: Cylindrical part Springback Welding deformation control

钛合金由于弹性模量小,薄板件在热成形后的加工过程中会发生回弹现象^[1];同时,在同样焊接应力的条件下,钛合金焊接变形大,是不锈钢的1倍。因此,对于某型零件这类钛合金筒形件制造过程中变形的控制就成为零件制造的关键。

本文就生产过程中某型零件的制造工艺展开研究。零件如图1(a)所示,该零件筒体材料为钛合金 TC1- $\delta 1.5\text{mm}$,采用氩弧焊焊接,整体尺寸近似为: $\phi 1300\text{mm} \times 1100\text{mm}$ 。零件制造技术要求:(1)焊接间隙和错位(边)量 0.4mm 以下;(2)筒体型面公差 0.3mm 以内;(3)焊缝的X光检测满足行业II级标准。



(a) 零件示意图



(b) 筒体分5瓣示意图

图1 零件及筒体分瓣示意图

Fig.1 Part and 5-block cylinder schematic diagram

该零件关键加工流程(如图2所示):

根据长期的制造经验分析,并结合本零件壁厚薄、直径大、焊缝多等特点,认为零件制造过程中的主要解决的关键点在于:

(1)热成形回弹的控制。

筒体分瓣零件热成形回弹问题的解决是控制零件焊接变形的首要条件。由于零件热压成形时存在回弹,不仅会影响筒体型面的尺寸精度,而且由于有回弹的存在,导致后续焊接过程中只能在夹具上进行带应力焊

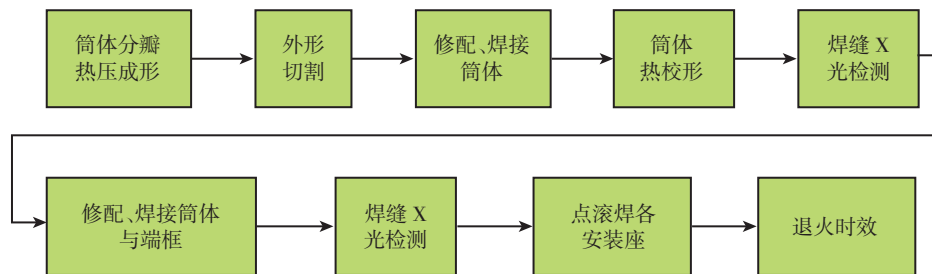


图2 零件加工流程
Fig.2 Part process flow

接,巨大的焊接应力会造成筒体的应变变形,变形的筒体就难以和端框对焊。因此解决热成形回弹是控制零件焊接变形的先决条件。

(2) 焊接过程中的变形以及焊缝质量的控制。

在保证筒体每一瓣零件的成形精度后,如何控制焊接过程中筒体的5条纵焊缝和筒体与端框的2条环焊缝的焊接变形以及焊缝质量,成为零件加工的直接关键点。

1 热成形回弹的控制

对筒体5个分瓣零件热压成形回弹的控制,是通过采用有限元仿真软件 Pam-stamp2011 来模拟成形及回弹过程,得出回弹补偿后的模具型面,来消除热成形回弹。具体步骤如下:

(1) 首先在三维 CAD 软件中按零件数模生产热成形凸、凹模的型面,然后将凸模、凹模、板料的数模信息导入 Pam-stamp2011,进行网格划分,最小网格 0.2×0.2 。

(2) 在 Pam-stamp2011 定义材料属性、热成形参数、接触运动、载荷工况等条件,提交热成形运算,得出直接按零件数模型面设计出的热成形工装成形后的零件形状,此时成形结果与零件之间存在回弹。

(3) 对热成形运算结果进行回弹 (springback 模块) 运算,输出回弹补偿后的模具型面。图3为回弹补偿运算前、后模具型面截面线,通过测量回弹补偿运算前后模具的型面最大相差 3.73mm; 同时,通过有限元软件计算结果还发现,回弹比较严重的位置主要发生在零件的边缘部分以及型面相交过渡的区域,这也与实际生产中所得到的结论相吻合。

(4) 参照回弹计算后的模具型面,设计出筒体分瓣零件的热成形工装,并进行零件

的热成形加工。零件成形后,并采用激光切割余量,5件分瓣零件在夹具上自由状态下组合成的筒体,对接处间隙及阶差与不采用回弹补偿前比较,均有了较明显的改善,最大间隙由 8mm 减小到 2.7mm,可以看出采用回弹补偿成形后的零件,对后续零件的修配焊接奠定了很好的基础。

2 筒体、筒体与端框焊接的变形及焊缝质量控制

焊接过程中变形主要依靠以下4点来进行控制:

(1) 使用焊接夹具。

由于钛合金的焊接变形大,以及本零件壁厚薄、直径大,筒体刚度差的特点,因此在焊接过程中必须依靠夹具焊接。同时,为防止钛合金焊接过程中焊缝受到空气中气体的污染所导致的脆化、裂纹、气孔等缺陷出现,除了必要的焊缝清理以外,在夹具上焊缝的背面还要有专门的通道通气保护,焊缝应为银白色。图4为焊接

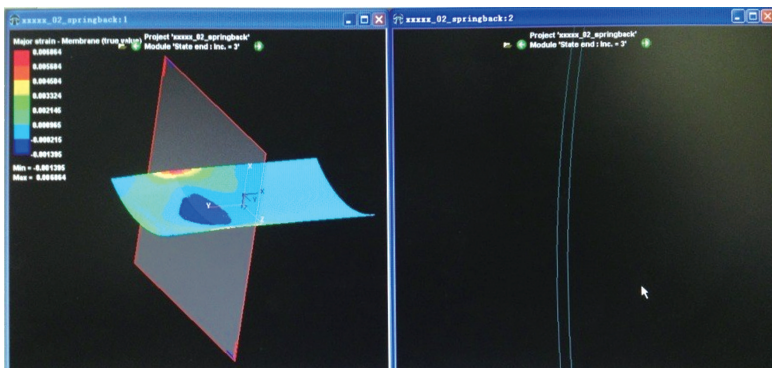
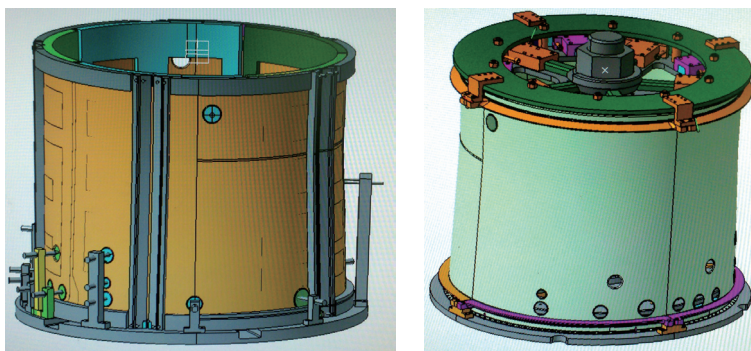


图3 回弹补偿前后,模具型面截面线

Fig.3 Springback compensation before and after mold surface section line



(a) 筒体焊接夹具

(b) 筒体与端框焊接夹具

图4 零件焊接夹具

Fig.4 Welding fixture

夹具图:(a)为筒体焊接夹具;(b)为筒体与端框焊接夹具。

(2)适合的焊接工艺参数。

焊接过程的热源输入对工件的热作用具有局部性和时变性,其作用结果是:在被焊工件上形成了不均匀的温度场,温度分布的不均匀性是引起焊接残余应力和焊接变形的根源^[2-3]。因此,为减小焊接变形,减小焊接过程的热源输入,在行标所规定的范围内,尽量选择小电流,同时减少焊接时间,控制焊缝宽度不宜过宽等,都是有利于控制焊接变形的。针对 TC1 材料的氩弧焊接,选择表 1 所示焊接参数。

表1 焊接参数

焊丝 / mm	焊接电流 / A	电弧长度 / mm	氩气流量(正面) / (L·min)	氩气流量(背面) / (L·min)
TC1 (φ 1.5~2)	60~80	1.5~2.0	10~12	3~6

(3)合理的焊接顺序和预变形方法。

在焊接零件筒体 5 条纵焊缝时,采用了间隔焊缝焊接的焊接顺序;同时,在焊接前修配并倒 1×45° 坡口时,保证焊缝后焊处的间隙值略大于先焊处的间隙值。这些在焊接过程中,所采用合理的焊接顺序以及预变形的的方法,也可以有效地起到减小焊接变形的作用。

(4)焊后整体热校形。

焊接完成后,零件喷涂保护剂并在一定温度下进行热校形,相当于对零件整体进行二次成形,有利于校正焊接变形,释放焊接应力、改善焊缝的力学组织性能。

3 结论

零件加工完成后,经过测量机的测量,筒体型面与零件数模对比误差在 0.3mm 以下;零件的焊接间隙以及错位(边)量在 0.4mm 以下,满足零件各项制造技术要求;同时,对焊缝进行 X 光检测,未发现裂纹、气孔、夹杂、未熔合和未焊透等现象存在,满足零件所要求的 II 级焊缝标准。

因此,对于大直径钛合金薄壁筒形焊接零件,按照以上工艺方案,采用对筒体热成形进行回弹补偿与焊接变形控制措施相结合的方法,可以有效地控制最终零件焊接变形,提高零件的制造精度。

参考文献

[1] 李其民. 钛合金双曲薄板焊接结构件的焊接变形. 焊接质量控制与管理, 2009, 38(1):55-57.
 [2] 拉达依 D. 焊接热效应. 北京: 机械工业出版社, 1997.
 [3] 田锡唐. 焊接结构. 北京: 机械工业出版社, 1982.

(责编 亿霖)

(上接第 99 页)

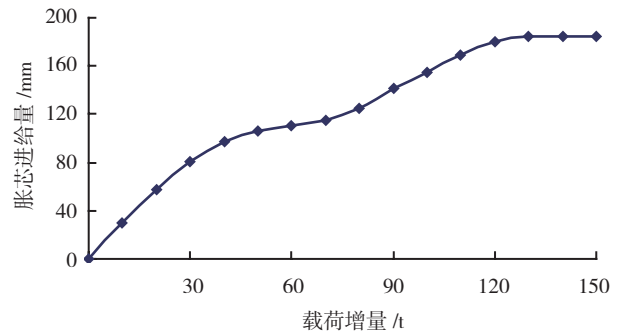


图7 载荷增量与胀芯进给量曲线

Fig.7 Load increment and vertebral displacement curve



图8 成品零件及剖面

Fig.8 Finished part and section of part

厚分布影响较大,载荷增量越大零件圆角处的壁厚的减薄量越大、零件壁厚越不均匀。同时,载荷增量的增加也导致成形后的零件圆角呈增大的趋势。

(3)通过试验得出:初始成形时,载荷增量以 10t/(10min·次⁻¹)递增,当胀芯进给量达到 100mm 时,应将加载参数调整为 10t/(20min·次⁻¹),胀芯进给量到 125~130mm 后,载荷增量以 10t/(10~15min·次⁻¹)为宜,当载荷增量累计至 130t 时,胀形过程结束。此工艺参数下成形的零件壁厚分布较均匀,圆角较小。

参考文献

[1] 鹿靖,王玉会,张旺峰. 组织形态对近 α 型 TA15 钛合金拉伸性能的影响. 金属热处理, 2011, 36(6):25-26.
 [2] 王金友,葛志明,周彦邦. 航空用钛合金. 稀有金属, 2004, 28(1):239-240.
 [3] 李兴无,沙爱学,张旺峰,等. TA15 钛合金及其在飞机结构中的应用前景. 钛工业进展, 2003, 20(4/5):90-95.
 [4] 中国航空材料手册编委会. 中国航空材料手册·钛合金 铜合金. 北京: 中国标准出版社, 2002:568-574.
 [5] 张涛,李琦,何露,等. TC2 钛合金异型件热成形工艺研究. 航空制造技术, 2011(16):57-58.
 [6] 李雄,庞克昌,计波,等. BT20 钛合金热变形流变应力的模型预测. 机械工程材料, 2007, 31(7):54-55.
 [7] 王占山. 塑性加工金属学. 北京: 冶金工业出版社, 1991: 129-130.

(责编 良辰)