

钛合金筒形件的成形工艺

曾向东

中国航天科技集团公司第六研究院七一〇三厂

摘 要: 通过工艺实践摸索出实用、经济、合理的钛合金筒形件的成形工艺, 将其运用于其它钛合金零件的加工中并取得成功。

关键词: 钛合金; 筒形件; 成形工艺

中图分类号: V46

文献标识码: A

文章编号: (2004) 03-0028-05

1 引言

钛合金具有很高的比强度、良好的中温性、较好的耐蚀性等, 在室温下, 其比拉伸强度为高强度结构钢的 1.26 倍, 高强度铝合金的 1.38 倍。400℃~500℃温度范围内, 它的比持久强度、比蠕变强度和比疲劳强度都明显优于耐热不锈钢。自上个世纪 50 年代兴起以来广泛应用于航空、航天、导弹、舰船和化工等领域。其中导弹壳体、发动机喷管、贮箱等许多零件都涉及到钛合金筒形件的加工。常采用工艺方案有: 棒料机加(或棒料锻环后机加)、卷筒拼焊、旋压等。结合现有设备及加工特点, 本文优先选用旋压加工方案, 集科学性、合理性为一体, 且经实践证明产品质量、生产效率显著提高。

2 工艺比较

2.1 方案一: 卷筒拼焊

钛合金的卷筒拼焊因钛板回弹量大都采用热卷。工艺路线 1: 下料→去毛刺→校平→热成形(加热、弯曲、校形)→焊接→校形→机加。使用设备: 三轴滚床。适用于小直径长度、数量较小的零件

且操作困难。

工艺路线 2: UOE 成形法(下料→涂润滑剂→加热→U 成形→涂润滑剂→加热→O 成形→蠕变校形→焊接→清理)将钢板通过刨边打坡口边部预弯后, 依次先在 U 型压力机上弯曲成 U 形, 然后在 O 型压力机上弯曲成 O 形管筒, 最终焊接成钢管。这是批量生产大直径直缝焊管的重要方法, 但生产周期较长。

上述两种拼焊工艺方法各有优劣, 但都存在易发生扭曲变形、成形效率低、尺寸精度不高、工艺繁锁、焊缝质量控制难度大、制件整体质量不高、耐打压性差、强度低等缺陷。

2.2 方案二: 旋压成形

将板料或预制坯在旋压机上加工成所需筒形零件。该方案加工范围广, 工人劳动强度相对较低, 生产效率好、产品质量稳定、零件强度容易满足使用要求。

3 工艺实例

3.1 卷筒拼焊—UOE 成形技术实例

(1) BT20 钛合金筒形件的 UOE 热成形

• 将毛坯: BT20— δ 3.5×314×150mm 成形

收稿日期: 2004-01-25; 修回日期: 2004-03-29。

作者简介: 曾向东(1972—), 男, 中级技工, 主要从事旋压机械加工。

为 $\phi 100 \times 150\text{mm}$ 的筒形件，工艺流程：下料→开坡口 $45^\circ \times 1.2 \rightarrow \text{U 成形} \rightarrow \text{O 成形} \rightarrow \text{蠕变校形} \rightarrow \text{焊接} \rightarrow \text{校形} \rightarrow \text{清洗}$ 。

两次成形前都要在钛板表面涂抹玻璃润滑剂后在空气中干燥 $20 \sim 30 \text{ min}$ ，以防止变形过程中产生粘结、焊合。模具需预热，预热温度为 $200^\circ\text{C} \sim$

300°C 。零件成形温度： $700^\circ\text{C} \sim 900^\circ\text{C}$ ，采用箱式电阻炉加热；

U 成形模具一般有：凯泽型、曼内斯曼型、维尔逊型。宜采用维尔逊型，操作起来方便快捷。把加热好的板料放在模具上定好位后在竖直冲模的作用下被压成 U 形，见图 1 中 A—B 部分；

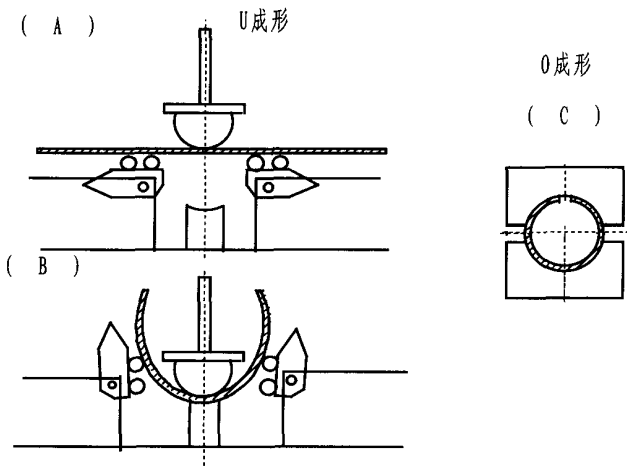


图1 UOE 成形

同样 O 成形时，加热的 U 形半成品在预热的上下模具及芯轴的挤压下成 O 形，见图 1 中 C 部分（由于零件的直径和高度较小，材料成形时反弹量很大，所以还需要在成形模具中增加一根芯轴来保证成形精度）。蠕变校形是为了消除钛合金的高屈服强度和弹性系数所造成的扭曲变形，需把零件锁定在成形模具中放入烧结炉中加热到 700°C ，保温 3 小时来消除应力。

零件采用手工氩弧焊进行焊接，焊接完后需打磨焊缝增加校形工序。产品存在焊接质量稳定性差、牵涉工序多、生产周期长等弱点。

3.2 旋压加工实例

3.2.1 TC₃筒形件的旋压加工

将毛坯 TC₃— $\delta 9 \times \phi 300\text{mm}$ 加工为 $\phi 162.5 \times 330 \times \delta 2\text{mm}$ 的直筒。为便于成形，材料选用退火状态：屈服强度 $\sigma_{0.2} = 865\text{MPa}$ ，伸长率 $\delta_5 = 10.8\%$ 。

工序（1）—普旋 将毛坯加热至 600°C 时，普旋为杯形件，见图 2。

工艺参数：

加热时主轴转速： $n = 15\text{r/min}$ ；

旋轮纵向进给速度： $f = 45\text{mm/min}$ ；

主轴转速旋压时： $n = 60\text{r/min}$ ；

碟形旋轮工作圆角半径： $r_o = 15\text{mm}$ ，见图 3；

成形温度： $600^\circ\text{C} \sim 650^\circ\text{C}$ ；

芯模径向跳动： $\pm 0.04\text{mm}$ ；

加热方式：用尾顶夹持在芯模，头部低速旋转焊枪加热；

设备：P111b/2 旋压机；

旋压方式：单轮正旋，反旋交替进行；

加热装置：氧乙炔焊炬润滑剂（机油+石墨）。

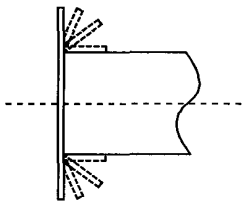


图2 杯形普旋

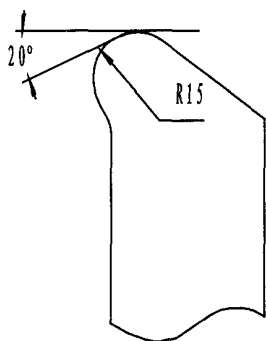


图 3 碟形工作旋轮

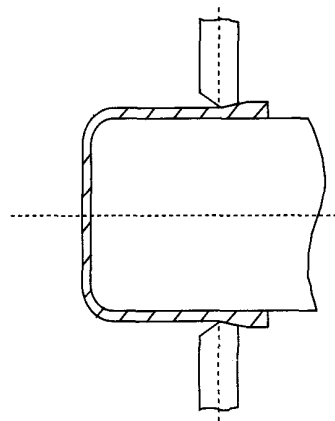


图 4 双轮正旋

旋压过程中,焊枪始终在加热,焊枪走在前,滚轮紧随其后二者等速前进,保持变形部分材料温度 $600^{\circ}\text{C}\sim 750^{\circ}\text{C}$ 。

工序(2) — 强旋 将预成型的杯型件套在预热的芯模上,经三次变薄旋压至要求尺寸 $\phi 162.5 \times 330\text{mm}$ 壁厚 2mm (全部采用正旋法,每次下压减薄率 30% ,同样要保持变形部位的材料温度为 $600^{\circ}\text{C}\sim 700^{\circ}\text{C}$),见图 4。

工艺参数:

主轴转速: $n=100\text{r/min}$;

芯模预热温度: $200^{\circ}\text{C}\sim 250^{\circ}\text{C}$;

成形温度: $600^{\circ}\text{C}\sim 700^{\circ}\text{C}$;

旋轮纵向进给速度: $f=70\text{mm/min}$;

双锥形旋轮工作圆角半径: $r_0=2.25\text{mm}$;

旋轮工作角: $\alpha=30^{\circ}$, 见图 5;

芯模跳动量: $\pm 0.04\text{mm}$;

加热装置: 氧乙炔焊炬;

工作间隙: $z=(6\sim 4\sim 2)\text{mm}$;

润滑剂: 机油+石墨;

旋压方式: 双轮正旋法三次旋压。

零件校形时在不完全的应力退火方式 ($550^{\circ}\text{C}/2$ 小时) 下,采用锥形圆台钢锭校正;旋压后零件的强度塑性均有提高,可满足使用要求 ($\sigma_{0.2}=926\text{MPa}$,伸长率 $\delta_5=15.5\%$)。由于零件热旋时,采用焊枪加热,保护困难易氧化,温度较难掌握影响零件的尺寸精度,钛合金零件对

缺口又比较敏感,所以作为高空使用的钛合金容器贮箱等零件,如果是由旋压成形的都必须经过机加工,去除表面缺陷,而得到较高的尺寸精度及表面光洁度。

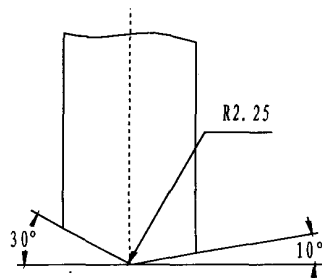


图 5 双锥形旋轮

3.2.2 Ti-451 筒形件的旋压

将毛坯 Ti-451— $\delta 4 \times \phi 190\text{mm}$ 成形为 $\phi 100 \times 165 \times \delta 1.1\text{mm}$ 的筒形件。

该材料系西北某有色金属研究院研制的一种高强韧性钛合金,其各项室温力学性能指标与 TC₄ 的相比较而言, Ti-451 材料的强度韧性都较高,塑性尤其好 ($\sigma_{0.2}=930\text{MPa}$,伸长率 $\delta_5=12\%$) 同样为便于成形,材料选用退火状态。

加工工序如下:

(1) 拉深预成形

将坯料加热到 $700^{\circ}\text{C}\sim 800^{\circ}\text{C}$ 后在冲床上拉伸为直径 105mm 、高 80mm 的圆弧底杯形件,见图 6。

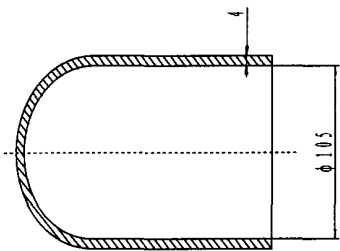


图 6 拉深毛坯

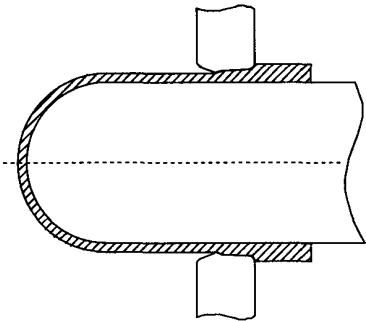


图 7 强旋

(2) 强旋成形

将预制坯料套在预热的芯模上后加温 800℃~850℃，分三次旋压至要求尺寸，见图 7。

工艺参数：

主轴转速： $n=160\text{r/min}$ ；

旋轮纵向进给速度： $f=70\text{mm/min}$ ；

芯模跳动量： $\pm 0.05\text{mm}$ ；

芯模预热温度： 200°C ；

旋轮工作间隙： $z=3.0\sim 1.6\sim 0.95\text{mm}$ ；

台阶式旋轮工作圆角半径： $r_s=4\text{mm}$ ；

旋轮工作角： $\alpha=25^\circ$ ，见图 8；

加热装置：氧乙炔焊炬两把；

润滑剂：机油+ MoS_2 ；

旋压方式：台阶式旋轮双轮工作正旋法；

零件变形区温度：首次为 $800^\circ\text{C}\sim 850^\circ\text{C}$ ，二

次为 $700^\circ\text{C}\sim 750^\circ\text{C}$ ，第三次为 $600^\circ\text{C}\sim 650^\circ\text{C}$ 。

所得零件（ $\phi 100\times 165\times \delta 1.1$ 贴模度 $\pm 0.1\text{mm}$ ），零件表面光滑，不存在卷筒拼焊时担心的焊接质量问题。各取 4 件合格品与优良品，在任意位置壁厚测量对比数据见表 1。

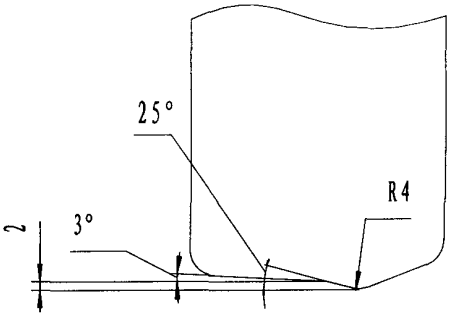


图 8 台阶式旋轮

表 1 零件壁厚测量对比

合格品壁厚 (mm)				优良品壁厚 (mm)			
I	II	III	IV	I	II	III	IV
1.05	1.06	1.08	1.08	1.11	1.12	1.10	1.13
1.10	1.07	1.09	1.10	1.12	1.13	1.11	1.10
1.13	1.09	1.09	1.08	1.14	1.12	1.12	1.12
1.13	1.09	1.09	1.08	1.14	1.12	1.12	1.12
1.12	1.10	1.14	1.13	1.13	1.14	1.12	1.10
1.11	1.12	1.12	1.10	1.12	1.13	1.13	1.11

从以上表中数据可以看出产品壁厚均匀。另外,经打压检验,可满足贮箱压力 16MPa 的考验,符合设计要求。

4 旋压时易出现的问题及解决措施

4.1 易出现的问题

- (1) 金属堆积或局部隆起;
- (2) 扭转现象严重时可能造成失稳;
- (3) 贴胎性较锥形件旋压差。

4.2 解决措施

- (1) 选择合理的旋轮工作角 α 及旋压工作方式、旋轮工作形状

旋轮工作角 α 影响材料塑性流动, α 的大小选择与材料及其状态有关。对较硬的合金钢材料 α 可取 $25^\circ \sim 30^\circ$, 较软的材料铝碳钢 α 可取 $15^\circ \sim 20^\circ$ 左右。可利用错距旋压产生附加拉应力限制隆起缺陷的形成。筒形件旋压时常用的旋轮形状有双锥形旋轮(R 旋轮)、台阶式旋轮。

- (2) 选择合理的变薄量

大量实验表明:每次减薄率不宜超过料厚的 20%~30%, 即小于材料的极限变薄率 $\psi_{\max} = \psi / (0.17 + \psi)$, ψ 为断面收缩率, 同时进给量不宜过大。多道次小压力加工对筒形件旋压有利, 而采用立式旋压方式其精度又优于卧式。有条件时可采用多轮旋压以避免扭转缺陷出现。

- (3) 选用较小旋轮工作圆角半径及工作间隙

选用较小的旋轮工作圆角半径及工作间隙, 并适当调整旋压温度是保证零件贴胎的主要手段。由于钛合金回弹性较大, 所以工艺设计芯模时要掌握好扩径量。有时为了确保零件的尺寸, 可将芯模尺寸设计的较小些, 将旋出的零件再经机加后得到与图纸相符的尺寸。

5 结束语

经过上述工艺案例比较可得出以下结论:

- (1) 钛合金筒形件的加工需要采用热成形;
- (2) 钛合金筒形件旋压工艺是可行的, 该方法比卷筒拼焊要好;
- (3) 钛合金筒形件旋压加工程序简便快捷, 工艺选择性强;
- (4) 钛合金筒形件旋压产品强度韧性都有提高, 且质量可靠。

该结论可在其他零件加工时予以借鉴, 在科研生产中有着积极的意义。例: 某钛合金气瓶零件旋压加工即采用了先将毛坯普旋加工为变壁厚的碟形件后再强旋为等壁厚的半球件旋压工艺, 工艺参数与上述两例大致。普旋时芯模不预热, 毛坯的成形温度 $700^\circ\text{C} \sim 750^\circ\text{C}$, 强旋时芯模预热温度 $150^\circ\text{C} \sim 200^\circ\text{C}$; 坯料成形温度 $700^\circ\text{C} \sim 750^\circ\text{C}$ 。零件贴胎性好, 有一定的变薄但不影响使用。