

卫星用推进剂贮箱和高压气瓶封头制造技术

石晓强

(兰州物理研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 推进剂贮箱、高压气瓶(简称贮箱、气瓶)是卫星推进分系统的重要核心部件。简要介绍了贮箱、气瓶封头制造的技术概况,并对热冲压工艺方法的选择过程进行了介绍。

关键词: 推进剂贮箱; 高压气瓶; 封头; 制造

中图分类号: V26.2*8

文献标识码: A

文章编号: 1006-7086(2008)03-0184-03

MANUFACTORY TECHNOLOGY OF THE DOME OF THE PROPELLANT TANK AND HIGH PRESSURE VESSEL

SHI Xiao-qiang

(Lanzhou Institute of Physics, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Propellant tank and high pressure vessel are important component of satellite propulsion system. The manufactory methods of the Dome of the Propellant tank and high pressure vessel are summarized and heat-punch method is particular introduced.

Key words: propellant tank; high pressure vessel; dome; manufactory

1 引言

卫星用推进剂贮箱和高压气瓶是卫星推进系统的一个重要部件,对卫星推进系统的性能、可靠性和寿命具有举足轻重的影响。作者根据各种贮箱、气瓶类产品制造技术的研究经验和国内外有关资料,对贮箱、气瓶封头制造技术应用和发展进行介绍,希望能为今后产品制造技术的研究发展提供有益的参考。

2 封头特点

2.1 材料特性

贮箱、气瓶封头的制造材料为钛合金(TC4)。钛合金是一种活性金属,常温下能与氧生成致密的氧化膜而保持高的稳定性和耐腐蚀性,当温度达到 540℃ 以上时生成的氧化膜则不致密。在高温下钛合金中的钛与空气中的氧、氮、氢反应速度较快,在 300℃ 以上快速吸氢,600℃ 以上快速吸氧,700℃ 以上快速吸氮^[1]。

2.2 结构特性

贮箱、气瓶的设计结构为球形或柱形,其封头形状为半球形。目前贮箱、气瓶封头的直径在 100 mm~1 500 mm 之间形成了系列。受后续机械加工余量的限制,要求成型后的封头圆度误差不大于 2 mm,且无压偏、局部减薄、大面积起泡等缺陷。

3 卫星用贮箱、气瓶封头制造技术

3.1 卫星用贮箱、气瓶封头成型技术

从目前的实用情况看,贮箱、气瓶封头的分类主要有以下两类:

收稿日期: 2008-06-19.

作者简介: 石晓强(1977-),男,甘肃省甘谷县人,工程师,从事压力容器工艺研究。

(1) 半球封头; (2) 等张力封头。

国内外对这两类封头的成型技术进行过大量研究, 目前主要有以下几种成型方法:

(1) 热锻压成型; (2) 热冲压成型; (3) 热旋压成型; (4) 超塑成型; (5) 爆炸成型。

国内较常用的封头成型方法主要有 2 种: 热锻压成型和热冲压成型^[2]。其中, 热冲压成型更为成熟和有效。

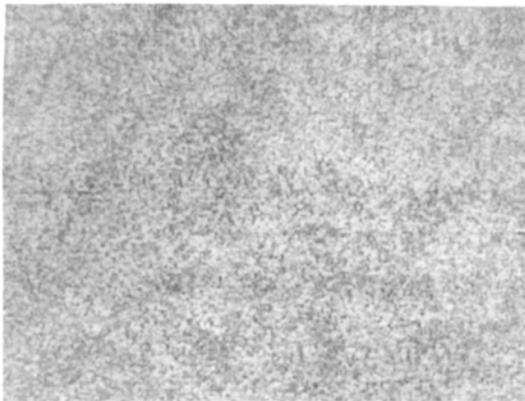
3.2 封头热冲压成型技术主要工艺参数的确定

我所经过几十年的试验和探索, 最终采用夹板热冲压成型方法生产半球毛坯。此方法是用二层碳钢板将钛合金板包在中间, 然后加热冲压成型。这种方法可以有效的防止热冲压过程空气中的氧、氮等有害物质侵入钛合金板材中。同时该成型方法对设备能力要求较低, 冲压可以在通用的压力机上进行, 生产设备容易就近解决; 同时该方法成型的封头毛坯成品率高, 且比用锻压成型节省材料 40% 以上。

热冲压需要确定的工艺参数有加热温度、保温时间、冲压次数和深度、钛合金板料直径等^[3]。这些参数既独立又互相联系, 正确的选择这些参数十分关键。

3.2.1 加热温度

加热温度的高低对 TC4 钛合金材料的金相影响较大。如果加热温度过高, 接近或到达相变温度, 则 TC4 钛合金材料中 α 相晶粒急剧增大, 并向 β 相转变 (如图 1、图 2 所示), 使材料综合机械性能大大降低^[4]; 温度略微偏低, 热塑性就会降低很多, 大大增加变形力, 造成过模具不畅, 甚至会拉裂毛坯, 即使放大模具间隙, 增加模具厚度, 但成形后回弹变形也很严重。



x100

图 1 正常组织



x100

图 2 粗大组织

将坯料加热到 700~1 000 °C 之间进行成型实验, 每个温度等级下成型 5 件产品, 并对成型后的毛坯进行金相组织检查, 具体数据如表 1 所列。

表 1 金相组织、成型

序号	冲压温度 /°C	晶粒度	金相组织	成型
1	700	全部 1	$\alpha + \beta$	不理想
2	800	全部 1	$\alpha + \beta$	不理想
3	900	2~7	$\alpha + \beta$ (富含 β 相)	理想
4	1 000	9~12	β	理想

经过实验和研究, 选择了将加热温度控制在 $\alpha + \beta$ 相变化范围内, 才有效的解决了加热温度问题。

3.2.2 保温时间

保温时间的长短对钛合金的金相也存在一定的影响。如果保温时间过长, 钛合金材料的金相会发生缓慢转变, 进而影响到钛材的各项性能; 保温时间太短, 容易产生冲压毛坯件受热不均匀, 且冲压温度偏低, 造成成型后封头的形状达不到理想要求。

在理想冲压温度下,对坯料厚度、保温时间、毛坯成型以及成型后的金相组织进行了实验,每组试件取 5 件,并绘制了坯料厚度与保温时间关系图,如图 3 所示。

图 3 数据基本成线性分布,对数据进行进一步分析后得出,冲压时的保温时间和基本厚度关系符合下式

$$T = A \cdot D + K$$

式中 T 为保温时间; A 为保温时间系数, $1 \sim 2 \text{ min/mm}$; D 为坯料最大厚度, mm ; K 为经验系数,一般按 $5 \sim 8$ 取值。

3.2.3 冲压次数和深度

由于封头较薄,厚度均小于 18 mm ,出炉后散热很快,所以必须多次进炉加热,多次压板冲压,快速操作,每次冲压量要小。封头直径和冲压次数及冲压深度关系如表 2 所列。

为保证冲压温度,除快速操作外,使用模具冲压前均作了预热处理,从而使冲压温度不至下降过快,确保冲压温度,使终压温度满足要求。

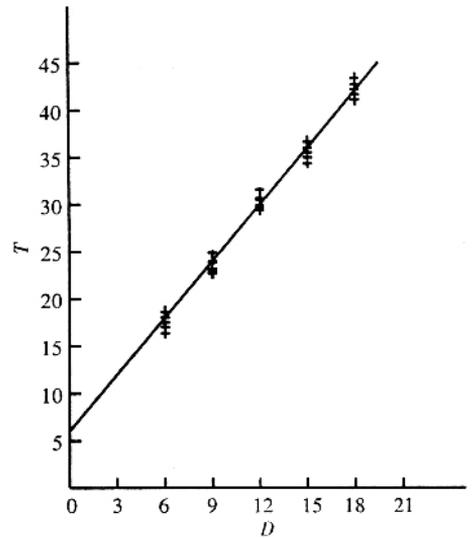


图 3 坯料厚度与保温时间关系图

表 2 封头直径和冲压次数及冲压深度

序号	封头直径 Φ/mm	冲压次数	冲压深度/ mm
1	1 000 ~ 1 500	3	1/2 毛坯深度 1/3 毛坯深度 第三次过模
2	500 ~ 1 000	2	1/2 毛坯深度 第二次过模
3	500 <	1	一次过模

冲压封头要特别注意压边问题^[9],根据经验公式 $D_p - D_n > KS$ 时,封头冲压就需要压边。公式中 D_p 为封头毛坯展开直径, mm ; D_n 为封头内径, mm ; K 为经验系数,一般按 19 取值; S 为封头厚度, mm 。

如封头毛坯展开直径约为 $D_p = 1\ 250 \text{ mm}$; 封头内径 $D_n = 1\ 000 \text{ mm}$; 封头厚度 $S = 10 \text{ mm}$ 。代入经验公式有 $D_p - D_n = 1\ 250 - 1\ 000 = 250 > KS = 190$

故该封头冲压时必须压边。

3.2.4 钛合金板料直径

钛合金板料直径对封头成型的影响较大。板料直径过小,成型后的毛坯达不到理想的形状;板料直径过大,成型后由于直段太长,容易在毛坯直段处引起冲压毛坯件与冲压胎具粘连,同时会由于下料毛坯过大,造成不必要的浪费。经过大量的使用和研究,钛合金板料直径按下式计算

$$\sqrt{2} \cdot D$$

式中 D 为工件最大直径, mm 。

3.3 贮箱、气瓶封头机加技术

封头经热成型后需进行机械加工,通常采用球面车床或数控车床完成。由于星上用产品要求质量轻、可靠性高,封头厚度要求很薄且公差带很小,因此必须采用多种手段保证加工精度。例如,设计生产的大型半球壳体,由于采用了等强度、不等厚度的设计原则,其最小壁厚只有 1.1 mm ,最小公差带仅为 0.15 mm ,因此,控制精度要求很高。在封头加工前,先要进行时效处理,粗加工后,进行去应力真空退火,最后精加工过程要在特殊设计的内外封头面车加工胎具中进行。只有采用了这些加工手段后,才使零件的加工精度达到设计要求。另外,由于钛合金材料导热差,机加工时冷却要充分,尤其用进口刀具进行高速加工时,必须强力冷却。采用这些措施后,贮箱、气瓶封头机加工水平达到了满意的效果。

(下转第 183 页)

(4) 切换时间

切换时间由放气时间决定。计算得出放气时间为 8.7 s, 切换时间要大于 8.7 s, 保证储气罐内气体放干净。按照资料^[4]介绍的实施方法, 设备调试中初值设置为 9.0 s, 以 0.5 s 为变化梯度, 经过多次试验总结出 12.0 s 的切换时间比较理想。

综合各种因素后确定了该切换装置控制程序的时序, 时序详细说明见表 1。表 1 是以 10 min 为一个周期的控制形式为例进行说明的。当切换周期、充气(均压)时间、过渡延迟时间、切换时间这几个重要参数确定后, 完整、理想的切换控制程序就可以设计出来。

4 结 论

储气罐的充放气时间是干燥器供气平稳性设计的关键。在理论计算的基础上初步确定充放气时间, 在设备调试中不断修改这些时间参数, 直至达到优化的目的。依据储气罐的充放气时间, 合理地设计切换程序的时序, 最终可以实现干燥器供气输出平稳的目的。“涡轮机气源再生程控切换装置”的程控时序优化设计, 可以解决通用干燥器工作状态切换这一普遍问题, 提高供气质量, 提高切换装置的可维修性和操作安全性。

参考文献:

- [1] 何存兴, 张铁华. 液压传动与气压传动[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2005.01.
- [2] D.J.克鲁姆, B.M.罗伯茨. 建筑物空气调节与通风[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1986.03.
- [3] 赵雁纪. 涡轮机气源再生程控切换装置[R]. 北京: 中国国防科学技术报告, 2004.02.
- [4] 王海桥, 李锐. 空气洁净技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.05.

(上接第 186 页)

4 贮箱、气瓶封头制造的发展方向

采用热冲压成型技术加工的封头, 通过配套的机加工措施, 形成一套完整、实用的贮箱、气瓶封头制造技术, 为卫星用贮箱、气瓶的研制提供了重要的技术保证。

随着国内相关技术和设备能力的提高, 未来的封头成型技术将向着旋压成型技术发展。因为: 旋压过程中可控制封头各处壁厚, 适应现代普遍采用的等强度、变厚度设计理念^[6]; 旋压完成后加工量小, 一般只有 1~2 mm 的加工量, 甚至可以不加工; 生产适应范围宽, 一台设备可以进行多种型号产品的生产。

参考文献:

- [1] 谭树松. 有色金属材料学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1993.
- [2] 马丽欣, 徐哲, 王练, 等. TC4 钛合金异性壳体成型工艺研究[J]. 金属学报, 2002, (9): 427~428.
- [3] 包士梅. SA662 Gr.B 钢板热冲压温度选择工艺试验[J]. 锅炉制造, 2003, (8): 42~43.
- [4] 王清. TC4 钛合金的热变形行为及其影响因素[J]. 材料热处理学报, 2005, (8): 56~60.
- [5] 卢立波. 冲压封头的质量分析与控制[J]. 塑性加工技术, 2004, (4): 62~64.
- [6] 池秀芬, 蔡平安. 空间站用复合材料压力容器设计分析[J]. 真空与低温, 2007, 13(3): 128~133.