

大尺寸薄壁钛合金筒体旋压成形质量影响因素

李启军¹ 范开春² 王琪¹ 黄思原¹ 赵世强¹

(1 航天材料及工艺研究所,北京 100076)

(2 中国航天三江集团设计所,武汉 430040)

文 摘 针对大尺寸薄壁 TC4 钛合金筒体旋压成形,分析了工件质量影响因素,并研究了旋压成形典型缺陷成形机理和控制方法。结果表明旋压道次和变形量对工件质量影响显著,旋压道次增多,变形量过大,工件精度降低;采用微扩径反旋、坯料分区温度控制等措施,可以有效解决旋压过程中易出现的壁厚和直径超差、反挤、鼓包等缺陷。

关键词 钛合金,大尺寸,薄壁,无焊缝,旋压,缺陷

Factors Influencing Spinning of Large-Diameter, Thin-Walled TC4 Alloy Tube

Li Qijun¹ Fan Kaichun² Wang Qi¹ Huang Siyuan¹ Zhao Shiqiang¹

(1 Aerospace Research Institute of Materials & Processing Technology, Beijing 100076)

(2 Designing Institute of China Sanjiang Group, Wuhan 430040)

Abstract Factors influencing the spinning of large-diameter and thin-walled TC4 alloy tube were analyzed. Formation mechanism of spinning defects and corresponding control methods during spinning were studied, based on which large thin-walled tubular workpieces of TC4 alloy with high precision were well formed. The results show that spinning pass and deformation ratio can obviously affect quality of workpieces, increasing spinning pass and excessive deformation ratio tend to decrease precision. Spinning defects, such as diameter and wall thickness error, backward extrusion, bulge, can be effectively solved.

Key words Titanium alloy, Large-diameter, Thin-walled tube, Weldless, Spin, Defects

0 引言

随着航空、航天等工业的发展,钛合金材料的应用日益广泛^[1-3],以满足构件质量轻、强度高且耐热、耐蚀等需求,尤其大尺寸薄壁 TC4 钛合金筒体在航空航天等领域有着重要应用。然而,由于 TC4 钛合金在常温下强度高、塑性差、回弹大、易加工硬化,使得钛合金构件成形和制造难度大。对大尺寸薄壁 TC4 钛合金筒体,传统锻造机械加工容易变形、材料利用率低、加工成本较高;钛合金板材滚弯焊接成形,由于纵向焊缝的存在使得构件的切向性能显著降低,为了保证构件的强度需要增加板材的厚度,导致构件质量增加。因此锻造机械加工和滚弯焊接已不能满足新型号薄壁、高精度、高性能需求,需要采用新的工艺制造 TC4 钛合金筒体。

强力旋压是制造大型薄壁筒形件最有效的加工工艺,旋压件的精度不低于机械加工,机械性能好,并且材料利用率高,加工成本低,因此,得到了广泛的应用^[4-7]。但 TC4 钛合金冷旋极易开裂,需采用热旋方式成形,而热旋压成形影响因素很多,尤其是大尺寸薄壁 TC4 钛合金筒体,坯料变形流动、加热温度、坯料和芯模热胀冷缩、贴胎度等,这些因素都显著影响旋压成形及旋压产品精度控制。尽管已有许多学者开展了钛合金热旋压成形技术研究,但目前还没有很好的掌握此类构件的热旋成形技术^[8-11]。鉴于此,本文开展了大尺寸薄壁 TC4 钛合金筒体成形质量影响因素和缺陷成形机理及控制方法研究,为采用旋压技术制备大尺寸薄壁 TC4 钛合金筒体奠定技术基础。

1 实验

收稿日期:2011-11-21

作者简介:李启军,1976 年出生,硕士,主要从事有色金属材料及工艺的研究。E-mail:sichuanli@yahoo.com.cn

1.1 材料

采用厚 10 ~ 12 mm、 $\Phi 150 \sim 1200$ mm TC4 钛合金板材,并经冲压拉伸成筒形坯,以旋制 TC4 钛合金筒体,尺寸为 $\Phi 670^{+0.50} \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \times 2^{+0.20} \text{ mm}$ 。

1.2 方法

由于 TC4 钛合金筒体直径大、壁薄、高度长,旋压成形工艺方案和参数较难确定。因此试验采用一道次及多道次强旋成形工艺,以不同的工艺参数进行试验(变形量 20% ~ 65%,进给比 0.6 ~ 1.2 mm/r),研究了旋压成形质量影响因素。热旋压过程中,坯料加热温度越高,坯料温度均匀一致性越难控制,因此在可旋压成形条件下尽量控制坯料在较低温度范围内。TC4 钛合金在 600 ~ 700℃ 时,已具有较好的塑性,可以有效进行强旋成形。因而,TC4 钛合金筒体热强旋过程中坯料加热至该温度范围内即旋压成形。

试验在一台双旋轮 XC-700 液压旋压机上进行,采用喷枪对坯料进行加热,通过红外测温仪进行控温。

2 结果及分析

2.1 壁厚和直径精度影响

在热旋过程中,芯轴与旋轮的间隙及坯料和芯模热收缩是影响工件壁厚和直径的重要因素。加热时芯轴和旋轮的膨胀导致旋压时芯轴与旋轮的实际间隙减小,容易致使筒形件实际壁厚小于预设壁厚值,而坯料旋压变形后的热收缩导致工件最终壁厚进一步减小。

为满足零件壁厚的要求,需要考虑芯轴、旋轮热膨胀,以补偿芯轴热膨胀带来的厚度变化,可按下式计算最终壁厚:

$$t = t_0 - (A_m D_m + A_r D_r) / 2 - (0.1 \sim 0.15) \quad (1)$$

式中, $A_m = \beta_m (T_m - T_s)$, $A_r = \beta_r (T_r - T_s)$, D_m 和 D_r 分别是室温下芯轴和旋轮直径, β_m 和 β_r 分别是芯轴和旋轮的线胀系数, T_m 和 T_r 是工件和芯轴的温度, T_s 为室温。

为了满足旋压件的直径要求,必须考虑温度补偿,即芯轴和工件的热胀冷缩效应,控制旋压终了时工件直径,使之冷却后达到精度,可据下式确定内径:

$$(1 + A_w) D_w = (1 + A_m) D_m + 0.2 \sim 0.3 \quad (2)$$

式中, $A_w = \beta_w (T_w - T_s)$, $A_m = \beta_m (T_m - T_s)$, D_w 和 D_m 分别是室温下工件内径和芯轴直径, β_w 和 β_m 分别是工件和芯轴的线胀系数, T_w 和 T_m 是工件和芯轴的温度; T_s 为室温。

2.2 旋压道次(工艺)对成形质量的影响

在旋压试验过程中,旋压道次对 TC4 钛合金筒体强旋成形质量(内径、壁厚、直线度)影响显著。在相同变形量条件下,随着强旋道次的增多,成形 TC4 宇航材料工艺 <http://www.yhclgy.com> 2012 年 第 1 期

钛合金筒体质量精度降低。分析其原因,主要有两方面因素,一方面是因为在旋压过程中,随着旋压道次的增加,会造成各道次旋压壁厚精度、内径精度和直线度偏差的累积效应,从而导致精度降低;另一方面,随着旋压道次的增大,旋压时间越长,旋压芯模温度逐渐升高,芯模膨胀量增大,导致实际旋压间隙与理论间隙不相符,从而影响旋压成形质量。

此外,旋压道次 > 2 时,反挤和鼓包也是钛合金筒体热旋成形过程中易出现的典型质量问题,尤其是旋压成形大尺寸薄壁 TC4 钛合金筒体。这是因为前一道次旋压工件扩径量较小,旋压后工件温度下降较快,工件收缩而抱住芯模,如果抱模过紧,当再次旋压时,未成形区和变形区金属轴向流动受到阻碍,导致变形区金属反挤,从而在旋轮后方已形成区形成鼓包(图 1)。试验过程中采用微扩径反旋措施,即在强旋减薄后,不变间隙或微调间隙,坯料不加热,采用小进给比,从口部方向旋压,从而使坯料微脱模,在下道次强旋时,坯料能顺利沿旋压轴向流动,从而解决了反挤、鼓包问题,并且对旋压件精度影响较小。

旋压试验结果表明旋压道次越少,旋压件精度越容易控制,旋压件精度越高。因此,为了保证旋压件精度,在条件允许情况下尽量减少旋压道次。试验最终采用 2 道次强旋结合微扩径反旋的优化工艺。



图 1 鼓包

Fig. 1 Plump up

2.3 不同变形量对成形质量的影响

(1) 不同变形量时,旋压件壁厚与理论设计壁厚有偏差,并且变形量增大,壁厚偏差增大。这主要是因为旋压变形量影响旋压力的大小和机床稳定性,从而影响旋压机床旋压实际退让量,导致旋压件壁厚与理论设计壁厚有偏差;当变形量较大时,径向工作压力大,影响旋压过程中机床的稳定性,从而导致壁厚偏差较大。因此,选择变形量时需充分考虑机床稳定性和退让量。

(2) 当变形量较小时,变形量对旋压件壁厚精度影响较小,这是因为变形量小,旋压过程中机床稳定好,壁厚精度易控制。当变形量较大时,变形量对旋压件壁厚精度影响较大。这主要时因为一方面变形

量过大,坯料易在旋轮前方形成较高隆起(图2)。通常来说,在变形过程中若隆起适度且形态保持相对稳定时,不会影响旋压过程的进行和旋压质量,但若隆起过高,将造成旋压时实际减薄率的增大,从而使得旋压力急剧增大,容易引起旋轮前方未变形区坯料的轴向失稳和坯料的不平稳流动,从而影响旋压件壁厚精度。此外当变形量较大时,还容易出现局部失稳。因此在旋压变量设计时,即要充分考虑到坯料的流动性,还要充分考虑到机床旋压稳定性;试验变形量设置在30%~40%比较合理。

(3) 试验变形量在20%~65%,随着旋压变形量增大,旋压件内径有增大趋势。这是因为当变形量增大,旋压坯料接触角增大,周向旋压力增大,坯料周向流动趋势增大,旋压件胀径量增大,从而导致旋压件内径增大。

(4) 变形量对旋压件椭圆度影响较小,并且变形量在20%~40%时,对直线度影响也较小。仅在变形量较大时,旋压件直线度较差。主要是因为变形量增大,坯料易在旋轮前方隆起,导致最终旋压件直线度较差。

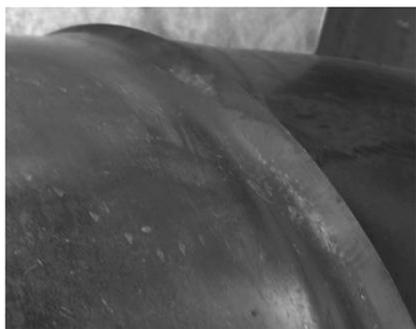


图2 隆起

Fig. 2 Bulge

2.4 不同进给比对成形质量的影响

当主轴转速固定时,旋轮的进给比不同会对零件的成形质量产生一定的影响。理论分析表明,较小的进给比,坯料易减薄和扩径,增大进给比,有利于提高直径精度,但进给比过大,坯料易堆积、隆起和变形失稳。

试验结果表明,当进给比为0.8~1.2 mm/r时,进给比对旋压件壁厚精度影响较小,并且旋压过程中未产生明显扩径和缩径,也未产生显著隆起、畸变等,各试验件内径偏差较小。在0.8~1.2 mm/r进给比对内径精度、旋压件直线度和椭圆度的影响较小。

2.5 温度对旋压质量影响

变形坯料温度和芯模温度不均匀也是导致壁厚和直径超差的影响因素之一。根据公式(1)和公式

(2),当坯料和芯模温度不均匀时,不同部位坯料和芯模膨胀量不一致,导致旋压实际间隙不一致,从而导致旋压冷却后壁厚和直径超差。因此,旋压过程中需保持芯模和坯料温度的均匀性。试验过程中,一方面旋压前预热芯模,另一方面对坯料进行分区温度控制,未成形区、旋轮附近“变形带”区坯料,分别加热不同温度,以实现变形坯料温度均匀性控制。

3 结论

(1) 大尺寸薄壁TC4钛合金筒体旋压成形,为保证壁厚直径精度,需要考虑温度补偿;

(2) 强旋道次和变形量对大尺寸薄壁TC4钛合金筒体旋压成形质量影响显著,强旋道次增多,工件精度降低;变形量过大,工件精度降低。试验采用2道次强旋、变形量30%~40%较佳。

(3) 采用微扩径反旋、坯料分区温度控制措施,可以解决大尺寸薄壁TC4钛合金筒体旋压过程中出现的反挤、鼓包、脱模难,以及因温度均匀性造成壁厚和直径超差的问题,提高旋压件质量。

参考文献

- [1] Boyer R R. An overview on the use of titanium in the aerospace industry [J]. Mater. Sci. Eng. A, 1996, 213: 103-114
- [2] Gorynin I V. Titanium alloys for marine application [J]. Mater. Sci. Eng. A, 1999, 263: 112-116
- [3] Gurappa I. Protection of titanium alloy components against high temperature corrosion [J]. Mater. Sci. Eng. A, 2003, 356(1/2): 372-380
- [4] 陈适先, 贾文铎, 等. 强力旋压工艺与设备[M]. 北京: 国防工业出版社, 1986
- [5] 徐洪烈. 强力旋压技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1984
- [6] 曹运红. 钛合金成型工艺在飞航导弹上的应用研究[J]. 飞航导弹, 2002(7): 50-60
- [7] Wong C C, Dean T A, Lin J. A review of spinning, shear forming and flow forming processes [J]. Inter. J. Mach. Tool. Manu., 2003, 43: 1419-1435
- [8] 徐文臣, 单德彬, 陈宇, 等. 钛合金薄壁筒形件热旋成形技术研究[J]. 锻压技术, 2008, 33(3): 56-59
- [9] 徐文臣, 张恒大, 单德彬, 等. TC4钛合金轮圈热旋成形技术研究[J]. 材料科学与工艺, 2008, 16(1): 14-18
- [10] Shan Debin, Lu Yan, Li Ping, et al. Experiment study on process of cold powder spinning of Ti-15-3 alloy [J]. J. of Mater. Process Technol., 2001, 115(3): 380-383
- [11] 王振生, 张顺福. 大直径钛质筒体旋压工艺研究[J]. 锻压技术, 1999(1): 24-26

(编辑 吴坚)