

Ti1300 合金带台阶筒形件旋压工艺研究

杨延涛 任长洁 曹学文 张立武 牟少正

(西安航天动力机械厂,西安 710025)

文 摘 为了解决 Ti1300 合金筒形件成形难题和提高铸造管坯的机械性能,开展 Ti1300 合金筒形件旋压成形工艺研究,分析了旋压工艺参数对旋压成形的影响规律。研究表明:Ti1300 合金热旋压温度为 800 ~ 900℃ 时可以避免旋压缺陷的产生;进给比在不同道次间有所不同,开坯旋压时采用小进给,为 0.5 ~ 0.8 mm/r,终旋道次采用大进给比,为 1.2 ~ 2.0 mm/r;Ti1300 合金的极限减薄率可以达到 85% 左右,单道次减薄率可以实现 45%,在开坯旋压时不易采用超过 30% 的道次减薄率,随着材料旋压加工硬化,能够实现大减薄率。

关键词 钛合金,热旋压,筒形件,铸造

中图分类号: TG306

DOI:10.3969/j.issn.1007-2330.2014.03.024

Research on Tube Spinning of Casting Ti1300 Titanium Alloy

YANG Yantao REN Changjie CAO Xuewen ZHANG Liwu MOU Shaozheng

(Xi'an Aerospace Power Machinery Factory, Xi'an 710025)

Abstract The process of spinning tube of Ti1300 titanium alloy was investigated. The temperature on hot spinning was 800 to 900℃. The roller feedin ratio was varied, and it is 0.5 to 0.8mm/r in first spinning and it is 1.2 to 2.0 mm/r in end spinning. The limit thinning ratio was about 85%, and each thinning ratio was 45%. It could be realized large thinning ratio with spinning process, but the cumulative thinning ratio was not too large.

Key words Titanium alloy, Hot spinning, Tube, Casting

0 引言

Ti1300 合金是一种亚稳 β 型结构钛合金,具有优良的冷热成型性、高强度、抗疲劳性能和较好的焊接性能^[1-2]。在 1 300 MPa 强度级别下具有良好的塑性和韧性匹配,铸造坯料经过热挤压变形和退火处理后可获得后续冷加工的组织性能,也曾应用于船舶和航空航天复杂结构件上^[3]。目前 Ti1300 钛合金已生产和应用的有板材和棒材,而对于有广阔应用前景的管材,其加工技术尚处于探索阶段。

薄壁钛合金圆筒采用 Ti1300 合金在满足壳体机械性能的前提下,可以最大限度的降低质量,提高了飞行器的飞行速度和飞行距离。目前钛合金管材的制坯主要采用铸造工艺,但铸造管坯筒形件的机械性能往往达不到设计指标要求,必须采用大塑性变形以强化铸造管坯的性能。锻造和热挤压由于受到工艺和设备限制,无法满足大长径比薄壁筒形件的制造,而旋压成形可以解决上述问题。因此,本文开展铸造 Ti1300 合金带台阶薄壁筒形件的旋压成形工艺研

究,探索旋压工艺参数,优化旋压工艺路线,实现筒形件整体旋压成形,满足产品设计指标要求。

1 产品及工艺方案

某 Ti1300 合金筒形件为高强度高精度薄壁零件,零件一端为翻边厚壁锥形件,一端为带内台阶筒形件。

产品采用铸锭经过斜轧穿孔成管坯,再经热反挤压成形为带法兰的预制旋压毛坯,试验状态为 850℃ 感应加热固溶态。铸锭采用二次真空电弧炉熔炼。

2 工艺参数对旋压成形的影响

2.1 旋压加热温度

Ti1300 合金的相变点为 830℃ 左右,具有良好的热成型性,该材料在相变点之上固溶处理后为单一的等轴 β 组织,且在相变点以上进行旋压加工有利于合金的回复与再结晶,同时可以使加工产生的硬化得以部分消除,具有最佳的塑性变形条件,因此选择合适的加热温度是保证该材料获得良好的工艺塑性及性能的关键。Ti1300 合金并且随着变形温度的升

高,该合金的强度大幅度降低,在900℃达到最大延伸率279%。

在选择热旋温度参数的时候,温度偏低,金属的变形抗力大,塑性流动较差,在旋压的时候容易产生裂纹、断裂等缺陷;温度过高又容易使塑性变形后的金属晶粒长大,氧化污染加剧,降低旋压后零件的综合性能。由此,根据Ti1300合金高温性能试验结果,在试验时采用了500、600、700、750、800和900℃几种旋压加热温度进行试旋压加工,结果见表1。

表1 不同加热温度对旋压成形的影响

Tab.1 Spinning influence of different hot temperature

旋压温度/℃	表面质量	产生的缺陷
500	良好	开坯旋压时断裂
600	良好	局部严重裂纹
700	良好	局部裂纹
750	较好	局部轻微裂纹
800	较好	无
900	较好	无

由表1分析可知,开坯旋压时采用的旋压加热温度在800℃以下时,此时变形温度在Ti1300合金的相变点以下,材料强度仍较高而塑性较低,使得旋压件产生开裂和裂纹缺陷问题。在Ti1300合金相变点以上温度旋压时,成形质量较好。因此,该材料旋压加热温度应在800~900℃。

2.2 进给比

进给比是影响旋压成形和生产效率的重要参数。随着进给比的增大,旋压接触区域的三向接触面积也随之增加。接触面积的增加使得旋压力和材料隆起增大,以及旋压过程中产生热量和缺陷的增加。

毛坯材料在旋轮前形成局部隆起可用隆起系数 ζ 表示:

$$\zeta = \frac{t'_0 - t_0}{t_0}$$

式中, t'_0 表示工件变形处的实际壁厚, t_0 表示工件变形处的名义壁厚。隆起系数随进给比、壁厚减薄率和旋轮工作角的增大而增大。

图1所示为旋压件质量情况,可以看出:随着进给比的增大,旋压件扩径情况逐渐得到改善,大的进给比有利于旋压件质量控制。在试验中还得到开坯旋压时高进给比易出现堆积隆起,且工件局部出现了拉薄。经过多次试验得知:进给比确定时要在不同道次间有所不同,开坯旋压时毛坯壁厚相对较厚,应采用小进给比如0.5~0.8 mm/r,而终旋道次由于毛坯经过多次旋压材料存在一定加工硬化,可以采用大进给比以实现高质量旋压件,如1.2~2.0 mm/r。

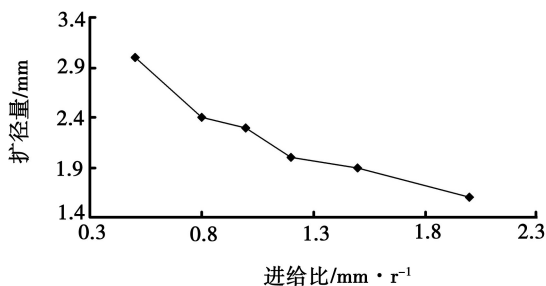


图1 进给比与扩径量的关系

Fig.1 Relations of feedin ratio and diameter increments

2.3 减薄率

旋压减薄率一方面是影响旋压成形的关键参数,另一方面是影响材料旋压后性能的关键参数,因此合理确定减薄率是决定旋压成形过程是否成功和获得优良性能的关键。

2.3.1 极限减薄率

极限减薄率研究采用累计最大减薄率的方法,即:

$$\psi_i = \frac{t_0 - t}{t_0} \times 100\%$$

试验时采用壁厚为10 mm的旋压毛坯,经过多次热旋压成形,直到旋压开裂(此时壁厚为1.5 mm),试验证明Ti1300合金在800℃以上高温,进行多次旋压成形极限减薄率可以达到85%左右。

2.3.2 道次减薄率

由于Ti1300合金在高温加热条件下塑性大幅提高,可以满足单道次较大减薄率。试验证明,Ti1300合金在开坯旋压时由于材料为铸造组织塑性较差,不易采用超过30%的道次减薄率,否则易出现堆积和起皮等问题;而随着材料旋压加工硬化,能够实现大减薄率,所以在后续旋压道次时,采用较大的道次减薄率,可以实现单道次减薄率为45%左右。

2.3.3 累计减薄率

在极限减薄率研究中知道Ti1300合金在高温热旋压成形时极限减薄率为85%,因此本次研究了累计道次减薄率分别为50%、60%、70%和80%四种累计减薄率,并分别测试了旋压后采用790℃/30 min, AC+500℃/10 h, AC热处理后的力学性能和组织。随变形量的增加,强度先降低,超过60%变形,有上升趋势;在变形量达到80%时,延伸率达到8%。

从图2(a)中可见,晶粒沿变形方向有拉长现象,晶内有少量 α 相析出,在晶界上有少量再结晶晶粒;随着变形程度的加大,晶粒拉长现象愈加明显,再结晶晶粒也逐渐增多,并逐渐长大[图2(b)(c)]。这是由于合金在热加工过程中,变形温度已超过再结晶温度,塑性变形开始后,不同变形量的变形晶粒之间存在着较大的应变能差,动态再结晶也开始通过弓出形核或亚晶形核后长大。当变形量达到80%后,晶粒粗大且沿变形方向被明显拉长,这是由于二次再结晶造成的。

晶粒的长大会造成残余应力的增加与性能的降低。

因此, Ti1300 合金的累计减薄率不易过大, 否则

由于热加工造成的晶粒长大现象需靠热处理进行消除, 增加了后续热处理工序。

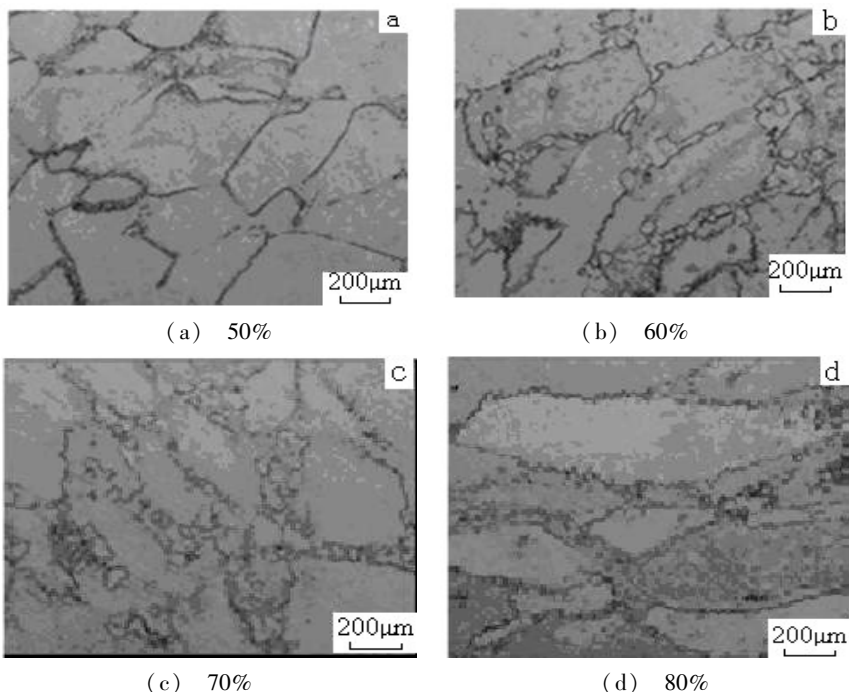


图2 不同减薄率下 Ti1300 合金的微观组织

Fig. 2 Microstructure of Ti1300 titanium alloy in different thinning ratio

3 筒形件旋压工艺确定

Ti1300 合金旋压成形需要高温加热, 因此, 在芯模材料选用上要求材料在高温条件下具有较高强度和硬度, 热处理硬度为 HRC 50 ~ 60。钛合金热旋成形时材料具有较大的回弹, 由试验结果来看, 回弹量约为 0.2 ~ 0.5 mm。采用反旋成形筒段和口部缩径旋压, 其旋压成形过程为三道次成形: 第一、二道次为减薄旋压, 使坯料厚度变薄, 长度增加, 并在端口预留 100 mm 长厚壁段; 第三道次采用“普通旋压+流动旋压”的复合缩径旋压方式实现端口缩径。

该产品旋压加工的技术路线如下: 铸锭→斜轧穿孔→热挤压翻边成预制坯→机加旋压毛坯→第一道次流动旋压→第二道次流动旋压→第三道次普通(缩径)旋压+流动旋压→机加成产品。

4 Ti1300 合金筒形件旋压成形质量情况

按照制定的旋压工艺路线和工艺参数, 解决了旋压成形中的旋压开裂和堆积起皮等问题, 实现了 Ti1300 合金筒形件旋压成形, 该旋压产品的尺寸精度与性能要求均满足了设计指标的要求, 见图 3。

5 结论

经过探索得到的 Ti1300 合金筒形件整体旋压成形方案是可行的。得到了旋压温度、进给比、道次减薄率等工艺参数的合理选择范围, 主要结论如下。

(1) Ti1300 合金的热旋压加热温度应保持在 800 ~ 900℃。这既有利于 Ti1300 合金的回复与再结晶, 同时可以使加工产生的硬化得以部分消除。

(2) 在不同道次间采用不同的进给比。开坯旋压时毛坯壁厚相对较厚, 应采用小进给比, 如 0.5 ~ 0.8 mm/r, 避免出现较大堆积与工件局部的拉薄和隆起; 在终旋道次采用大进给比, 如 1.2 ~ 2.0 mm/r, 以实现高质量旋压件。

(3) 采用合适的道次减薄率与极限减薄率。避免在变形量较大时, 晶粒粗大且沿变形方向被明显拉长, 进行二次再结晶造成残余应力的增加与性能的降低, 并且增加了后续热处理工序。

(4) 该旋压方案可实现高质量 Ti1300 钛合金筒形件的旋压成形, 达到了设计指标要求。

参考文献

[1] 杨英丽, 等. 钛旋压技术研究进展[J]. 稀有金属材料与工艺, 2008(10): 625-628
[2] 赵彬, 等. 加工方法对高强钛合金管坯组织性能的影响[J]. 材料热处理技术, 2008(2): 23-28
[3] 毛柏平, 等. 钛合金旋压性能的试验研究[J]. 稀有金属, 2004(2): 271-273



图3 旋压产品图

Fig. 3 Spinning tubes of Ti1300 titanium alloy

(编辑 任涛)