

TC2 钛合金异型件热成形工艺研究

Research on Hot Forming of Abnormity Part of Titanium Alloy TC2

北京航空制造工程研究所 张 涛
 海军驻闫良地区航空军事代表室 李 琦
 四川成发航空科技股份有限公司 何 露 陈 静

[摘要] 针对 TC2 钛合金异型零件的成形难题,设计了沿型面压边结构和中心顶出结构的 2 种成形工装,采用在不同温度下热成形的工艺方法。最后得出此种异型零件的适宜成形温度及成形工装结构。

关键词: TC2 异型件 成形工装 成形温度

[ABSTRACT] On account of the promble of forming the abnormity part, two forming moulds are designed, one is blank-holder structure along the surface, and the other is central push-out structure, then the problem by hot-forming process on different temperature is solved. Finally the suitable temperature and forming moulds structure of the abnormity part are achieved.

Keywords: TC2 Abnormity part Forming mould Hot-forming temperature

钛合金结构零部件因重量轻、强度高、耐腐蚀等诸多特点在航空航天领域的应用越来越广泛。目前,飞机的机身承力件、机翼蒙皮、航空发动机的风扇叶片、压气机叶片、反推装置零部件、航天器以及导弹零部件均大量采用钛合金材料。

在常温下钛合金屈强比高、塑性差、变形回弹大。在高温下钛合金的塑性增强,回弹小。因此一般采用热成形工艺制造钛合金零件。但对于形状不规则的复杂钛合金零件,简单的热成形工艺不能实现。例如某型发动机反推装置中的一种材料为 TC2 的异型件,翻边较高,弯曲半径小于板材允许的最小弯曲半径。常规的直接凸凹模热压成形后会开裂。俄罗斯制造此种零件采用的是在开裂处补焊的方法。目前,国内未见不采用补焊方法制造此种零件的报道。本课题针对此种异型件成形开裂难题展开分析,确定成形工装及成形温度是研制此异型件的关键因素。对此本课题设计制造了 2 种专用工装,采用不同的成形方式,在不同的温度下成形,最终解决了此种异型件翻边开裂的问题。

1 零件特点及工艺难点

异型零件参照俄罗斯某型零件设计,材料是 TC2 钛合金,TC2 是一种具有中等强度和较好塑性的钛合金,

它含有 4% 的 Al 和 1.5% 的 Mn。一般在退火状态下使用,工作温度不超过 350℃^[1]。异型零件的材料厚度 2.0mm,外形是一侧开敞、一侧封闭、中间有折弯的零件,见图 1。

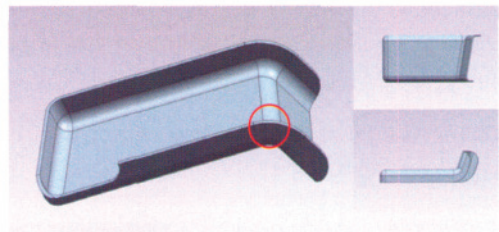


图1 异型零件外形

Fig.1 Abnormity part shape

零件的局部(图 1 中标识的部分)弯曲半径很小,外型面弯曲半径为 6mm;零件弯曲后的侧壁高度是 17.5mm,这种薄板折弯再翻边的的成形机理大致相当于厚板的弯曲。不同厚度的板材都有不同的最小弯曲半径,大于这些极限值,板材弯曲后就会开裂。国外与 TC2 成分相近的钛合金 OT4 (Ti3Al1.5Mn) 在高温的最小弯曲半径是 $1.5\delta\sim 2.0\delta$ ^[2]。那么 TC2 高温时最小的弯曲半径在 26~35mm 之间,零件弯曲半径的设计值远远小于允许值。采用常规的直接凸凹模成形会在图 2 所示位置开裂。采用补焊的零件机械性能和型面精度都不能很好地满足设计要求。

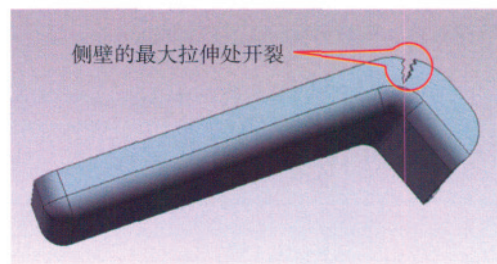


图2 异型件开裂示意图

Fig.2 Abnormity part drawing cracking

2 试验方法

基于对零件外形及零件实物的开裂现象的分析,认为有 2 个主要因素导致零件成形开裂:成形温度和成形模具结构。

一般来说, TC2 材料在 600℃ 以上成形性能较好, 但实际的成形温度与零件的复杂程度有关。因此, 应根据成形零件的具体结构选用合适的成形温度。

另外, 从某种程度上说, 成形模具直接决定了成形的结果。对此种异型零件, 设计了 2 种成形模具, 在不同的温度下采取了不同的成形方式来解决该异型件的成形开裂的难题。

2.1 热成形工艺方案一: 沿型面压边的成形工艺

热成形模具具有压边结构, 这种模具结构的特点是凸凹模之间带有压边圈, 目的是在成形过程中对材料施加压边力, 防止材料失稳起皱, 同时材料在成形力的作用下形成“流动”。这样成形后的零件侧壁弯曲处的材料不会大量减薄。考虑到侧壁弯曲处的转折圆角较小, 成形时材料所受的变形抗力大, 容易断裂。因此, 应合理加大凹模型面的拉伸圆角 $R1$ 以及压边圈与凹模的“V”形转角 $R2$ (见图 3)。

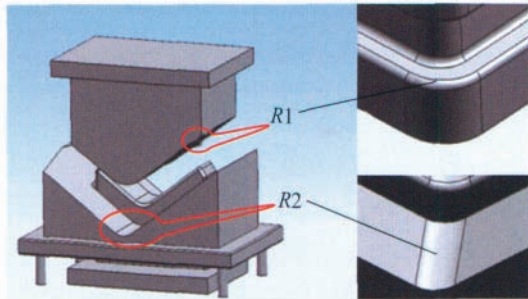


图3 沿型面压边的模具结构

Fig.3 Mould structure of blank-holder along surface

2.2 热成形工艺方案二: 中心顶出的成形工艺

成形模具具有中心顶出结构, 这种结构的设计目的是在凸模和顶出模芯的约束下, 零件的“V”型面预先成形, 底面弯曲圆角首先达到设计要求。然后再缓慢合模,

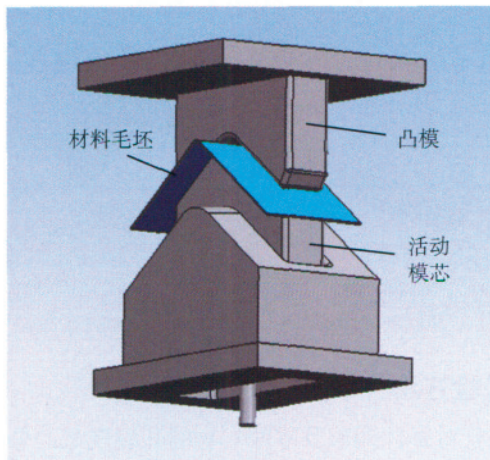


图4 中心顶出的模具结构

Fig.4 Mould structure with central push-out

成形出侧面翻边及端面的盒形翻边。由于材料边缘没有压边力, 零件周围的翻边成形出一定高度后, 零件转角处边缘会起皱。同时, 成形过程中弯曲侧壁处边缘的材料不易向内流动, 弯曲侧壁的最大拉伸处易减薄和开裂。模具结构见图 4。

3 试验结果与分析

3.1 沿型面压边的成形工艺

沿型面压边的成形工艺试验结果见表 1。

表1 试验的工艺参数及结果

序号	试验温度/℃	$R1/mm$	$R2/mm$	零件状态
1	650~700	6	16	零件开裂
2	710~750	8	16	零件开裂
3	710~750	8	30	零件无开裂, 底面有皱
4	710~750	10	30	零件无开裂, 底面有皱

通过试验, 在 650~700℃ 温度区间, 当图 3 中注释的圆角 $R1$ 为 6mm, $R2$ 为 16mm, 成形的零件在弯曲侧壁的外边缘有明显的划伤, 并且在最大拉伸处断裂。

调高温度至 650~700℃ 区间, 成形出的零件仍开裂。同样温度下将 $R1$ 和 $R2$ 分别加大, 划伤和细颈有减弱的趋势, 当把 $R1$ 加到 8mm, $R2$ 加到 30mm 时, 零件的侧壁外形尺寸满足设计要求。在 $R1$ 和 $R2$ 两个因素中, 仅增大 $R1$ 的情况下, 零件的划伤和细颈改善不明显; 仅增大 $R2$ 的情况下, 零件的划伤和细颈改善较明显, 可见 $R2$ 是成形中重要的制约因素。

沿型面压边的热成形工艺方案成形出零件在弯曲侧壁处没有开裂和明显减薄, 成形的侧壁高度满足技术要求。但在成形的零件弯曲的底面一侧有皱 (见图 5)。

经分析, 毛坯在拉伸过程中, 两侧翻边逐渐形成, 翻边的 A 区域材料在外载荷的情况下受较大的拉应力, 这种力是材料内部的诱发应力^[3]。B1、B2 产生与 A 方向相反的压力, 由于 B1 处存在模具施加的约束力, 这个约束力在成形过程中会防止材料失稳, 所以 B1 区域不会



图5 沿型面压边成形后的零件

Fig.5 Part after forming of blank-holder along surface

起皱。在接近折弯的 B_2 部位,由于压边圈的 $R_2 >$ 凸模 R 实际,所以开始处于没有约束状态,在成形过程中,材料会在压应力的作用下起皱,在翻边处的压应力最大,向底边逐渐减小,因此会产生图 6 中所示的皱曲。

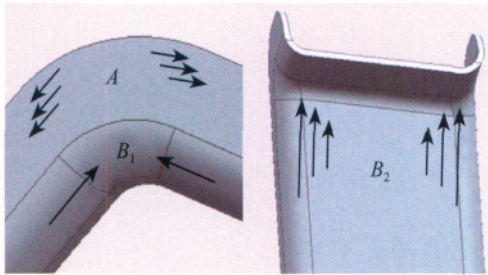


图6 材料内部受力示意图
Fig.6 Internal force diagram of material

3.2 中心顶出的热成形工艺

中心顶出的热成形工艺试验结果见表 2。

表2 试验的工艺参数及结果

序号	试验温度/°C	零件状态	最小厚度/mm
1	650~700	开裂	—
2	710~750	无开裂,底面平整,弯曲侧壁减薄不明显	1.75
3	750~800	无开裂,底面平整,弯曲侧壁减薄不明显,但表面氧化较严重	1.80

这种成形工艺方案能够弥补沿型面压边成形方案的不足,成形出的零件底面平整,见图 7。

采用中心顶出方案成形的零件,最大拉伸处未出现开裂,零件底面和侧面的有效部位没有起皱。各项尺寸和表面质量符合设计要求。总体上说,采用中心顶出的设计方案优于沿型面压边的设计方案。

但采用中心顶出的设计方案也存在不足。首先,因为没有压边力,材料在凸凹模逐渐的合模过程中,由于对材料拉伸,材料内部产生拉应力。同时在拉伸的边缘产生压应力,材料易失稳起皱。另外,由于底面折弯处



图7 中心顶出成形方案成形后的零件
Fig.7 Part after forming by using central push-out method

圆角很小,在翻边过程中折弯的翻边边缘的材料减薄的趋势最大,如果材料毛坯不合适(翻边处余量大)或是在较高的合模速度下,在零件弯曲侧壁边缘会出现断裂。同时,由于没有压边力,在成形出一定高度后,材料盒形的转角边缘处(图 7 标识 1、2 的位置),会起皱。因此,此方案适合翻边高度较小的情况下采用(对于 1.0~2.0mm 的 TC2 钛板,翻边高度应小于 20mm)。

4 结论

通过采用不同的温度以及不同的成形方式对 TC2 钛合金异形件进行工艺试验。通过试验结果可以得出以下 2 点结论:

(1) TC2 钛合金异形零件的成形温度在 710~750°C 之间;

(2) 中心顶出的成形方案能够保证翻边不开裂,型面尺寸精度符合设计要求。

参考文献

- [1] 中国材料工程大典编委会. 中国材料工程大典第七篇·钛及钛合金. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [2] 理有亲, 林兆荣, 陈春奎, 等. 钛板冲压成形技术. 北京: 国防工业出版社, 1986.
- [3] 于连仲, 王志恒. 锻压手册第二卷·冲压. 北京: 机械工业出版社, 2001. 17-21, 243-251.

(责编 小城)

(上接第 56 页)

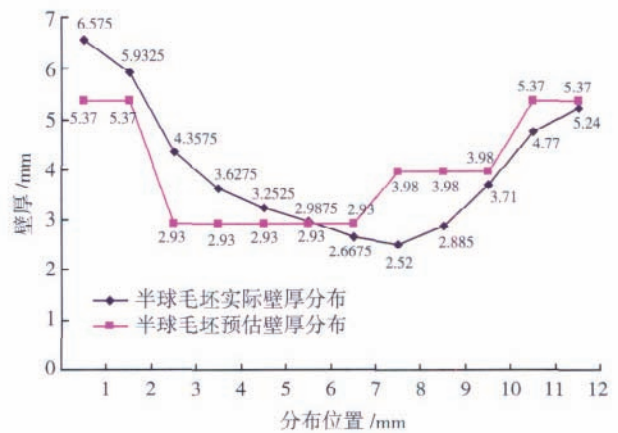


图9 半球预估与实际壁厚分布折线图
Fig.9 Line graph of estimated and actual wall thickness

参考文献

- [1] 林兆荣. 金属超塑性成形原理及应用. 北京: 航空工业出版社, 1990.
- [2] 吴诗焯. 金属超塑性变形理论. 北京: 国防工业出版社, 1997.
- [3] 理有亲, 林兆荣, 陈春奎, 等. 钛板冲压成形技术. 北京: 国防工业出版社, 1986.

(责编 小城)