

两端缩径发动机壳体整体旋压成形工艺研究

朱小兵 肖晓青 万 华 王 俊 李念耀

(上海航天动力技术研究所, 上海 201109)



摘要: 通过分析某型号发动机壳体成形难点, 结合我所生产实际情况, 制定出新的两端缩径旋压成形工艺, 即分段分模旋压成形方式, 最后通过小批量生产试验验证了该工艺具有可行性和可靠性, 为将来制定生产性工艺奠定了基础, 也为其它类似结构发动机壳体旋压工艺的制定提供了借鉴。

关键词: 旋压工艺; 缩径; 发动机壳体

Study on Process of Whole Spinning Forming of Ports Necking for Engine Shell

Zhu Xiaobing Xiao Xiaoqing Wan Hua Wang Jun Li Nian Yao

(Shanghai Space Propulsion Technology Research Institute, Shanghai 201109)

Abstract: By analyzing the figuration difficulty and the actual complexion, the new process of the ports necking is established, namely subsection and multi-moulds forming mode for spinning. Furthermore, a small batch of practice experimentation demonstrates the feasibility and reliability of the process, which establishes the basic for the constitution of the production process in the future and also provides reference for constitution of spinning process of the similar structure of other engine shells.

Keywords: spinning process; necking; engine shell

1 引言

旋压是先进制造技术的重要组成部分, 也是航空、航天、造船、汽车、工程机械等行业中应用广泛的制造工艺方法, 它可以生产更接近最终形状的金属零件^[1]。发动机壳体是导弹的重要组成部分, 其结构直接影响到导弹的整体性能。目前, 发动机壳体一般采用旋压成形技术, 其成形效率高, 同时还可以改善壳体组织性能, 所以旋压成形技术已经得到人们的重视, 国内外学者也对此作了大量研究。本文将对我所某型号两端缩径发动机壳体的旋压成形工艺进行研究, 通过对其成形难点进行分析, 制定出相应的旋压工艺方案, 并通过小批量生产验证其可行性和可靠性。

2.1 技术要求

该壳体的旋压产品结构示意图如图 1 所示, 属于薄壁壳体, 材料为 T250 马氏体时效钢。该壳体关键几何尺寸要求为: 锥形段壁厚 $0.8^{+0.1}_0$ mm, 中间直线段内径 $\phi 69.9^{+0.25}_{+0.05}$ mm, 中间直线段壁厚 (0.58 ± 0.04) mm, 全长跳动 0.6 mm, 直线度 0.25 mm。机械性能技术要求为: 抗拉强度 $\sigma_b \geq 1760$ MPa, 断裂伸长率 $A \geq 6\%$ 。

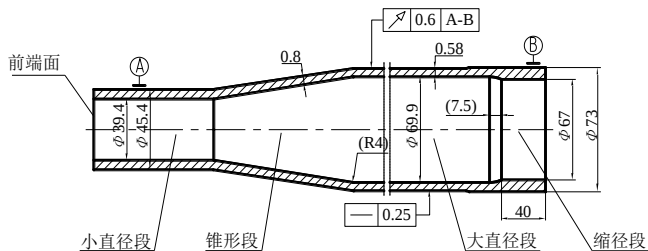


图 1 旋压产品结构示意图

2 发动机壳体技术要求及成形难点分析

2.2 成形难点分析

作者简介: 朱小兵 (1984-), 硕士, 材料加工工程专业; 研究方向: 旋压成形工艺。
收稿日期: 2010-09-03

从图1可以看出,该壳体两端是筒形体,属于强力变薄成形方式,且两端内径较中间筒形段内径小,给工件脱模带来了很大困难,如何使工件顺利脱模是成形的一个难点;另外,中间一段锥形体是剪切旋压成形,而两端筒形体是强力变薄成形,根据实际情况,两种成形方式在一道次进行,导致金属的流动情况比较复杂,需要控制好旋压毛坯各段尺寸和旋轮压下量,使金属与芯模合理匹配,保证尺寸精度满足技术要求,这是该壳体成形的另一个难点。

3 旋压成形工艺分析

根据以上分析得知,如果采取一次旋压成形,会导致产品难以脱模。经研究,改变以往的缩径成形思路,采取分段分模成形法,即先成形小直径直线段、锥形段和中间大直径直线段,定为壳体成形段,然后再用缩径芯模成形缩径直线段,定为缩径成形段,成形道次都是一次,最后进行机加工。故整体成形工艺方案为:旋压毛坯→壳体成形段→缩径成形段→机加工。

4 工装及毛坯设计

4.1 芯模设计

该旋压壳体成形关键之一就是芯模结构设计是否合理,尤其是缩径成形芯模结构设计的优劣,直接影响到缩径成功与否。

4.1.1 壳体成形芯模

成形芯模设计不是研究重点,根据旋压件尺寸,按照正常思路即可设计出合理的成形芯模。

4.1.2 缩径成形芯模

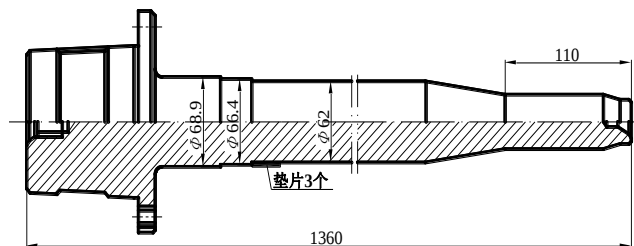


图2 缩径芯模

图2为缩径芯模,该芯模设计的重点是解决工件脱模问题。为了便于脱模,设计三个活动垫片,在缩径旋压时,把三个活动垫片包在 $\Phi 62\text{mm}$ 的直线段上

面,如图2所示,起旋位置在垫片上面。缩径成形示意图见图3。待成形结束脱模时,垫片和旋压件一并卸下,脱模问题便得到解决,此处为第一个创新点。

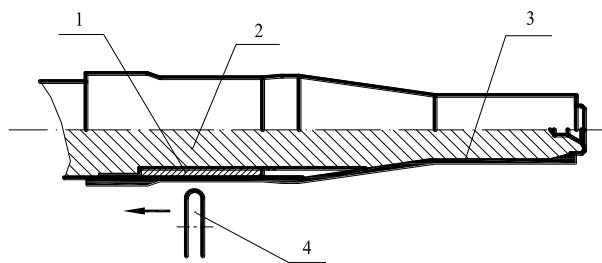


图3 缩径成形示意图

1—垫片；2—芯模；3—壳体；4—旋轮

4.2 旋压毛坯设计

旋压毛坯设计的关键之处是保证毛坯各段的壁厚和长度与旋压件各段的壁厚和内径精确匹配。因为锥形段是剪切成形,材料不参与筒形段的流动成形,所以必须控制好锥形段毛坯金属的体积。

强力旋压锥形件时,工件减薄量严格遵守正弦定律,即按下式计算^[2]:

$$\sin \beta = \frac{t_1 \sin \alpha}{t_2}$$

式中: t_1 ——旋压毛坯壁厚; t_2 ——旋压件壁厚;
 α ——旋压件半锥角; β ——旋压毛坯半锥角。

根据材料合理变薄率,确定 $t_1=2.76\text{mm}$, 带入公式计算得旋压毛坯半锥角 $\beta=30^\circ$ 。对于筒形段,根据体积不变原理即可计算出毛坯壁厚和长度,再确定加工余量和技术条件,旋压毛坯设计图见图4。

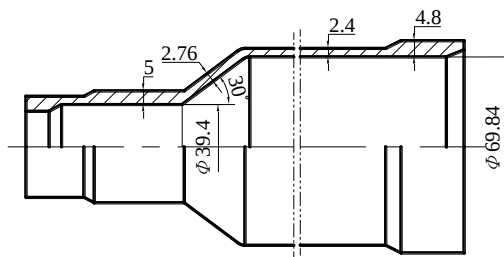


图4 旋压毛坯图

4.3 旋轮设计

旋轮是旋压加工的主要工具之一,在工作时,旋轮承受巨大的接触压力、剧烈的摩擦和一定的工作温度。因此,对于旋轮的要求是具有足够的强度、刚度、耐热性、合理的结构形状和尺寸精度以及良好的工作

表面^[3]。

本文旋压件成形方式既是剪切成形, 又是强力变薄成形, 需要设计两套旋轮, 但由于与实际情况不符, 所以尝试采用强力变薄成形旋轮完成剪切成形, 这是另一个创新点。本文采用三旋轮错距旋压成形方式, 旋轮的结构尺寸直接影响工件成形效果, 其中, 旋轮圆角半径和旋轮成形角是两个最重要的因素。

4.3.1 旋轮圆角半径

旋轮圆角半径是对旋压过程影响最大的因素之一。当 R_p 增大时, 旋轮运动轨迹重叠部分增加, 从而提高工件外表面的光洁度和旋压速度, 但是旋压力增大。反之, 当 R_p 减小, 变形区的单位接触压力增大, 但它与毛坯的接触面积减少的比例更大, 所以总的结果是旋压力减小, 使工件更好地贴模。但 R_p 过小, 会造成切削现象, 工件表面光洁度变差, 甚至出现裂纹。

根据上述原则, 再结合设计经验, 将毛坯圆角半径定为: $R_x = R_y = R_z = 5\text{mm}$ 。

4.3.2 旋轮成形角

该壳体有一段是锥形体, 旋轮成形角 α 必须大于该锥形容体的半锥角 β , 即大于 30° , 但是成形角 α 越大, 旋轮前端金属隆起就越高, 易造成金属的非稳定流动, 所以 α 需确定一个上限。但当 α 取得太小时, 就会使旋轮与毛坯的接触面积增大, 进而使旋轮压力增大, 根据实际情况, 将旋轮成形角定为 $\alpha_x = 43^\circ$, $\alpha_y = 35^\circ$, $\alpha_z = 32^\circ$, 图5为旋轮结构示意图。

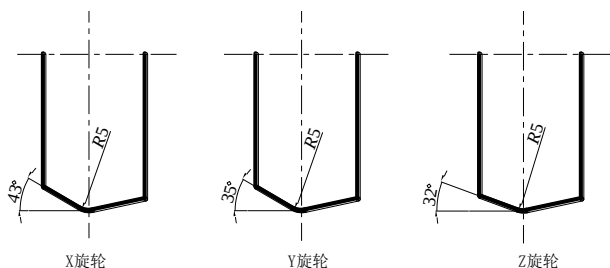


图5 旋轮结构示意图

5 工艺试验

为检验该工艺是否具有可行性和可靠性, 对其进行小批量生产验证。通过后续不断调试数控加工程序参数, 尤其是调整旋轮压下量, 先后进行了数百件该

壳体旋压加工, 抽检结果统计如表1所示。

由表1可以看出, 该壳体中间直线段内径部分超过上差, 但其平均值均在公差范围内, 满足设计要求。其它各项关键尺寸精度均达到了设计要求, 而且壳体表面没有拉伤、起皱等缺陷, 机械性能也符合设计要求。

由此可见, 该型号旋压壳体已经实现了两端缩径整体旋压成形, 壳体各项关键尺寸和机械性能均满足设计要求, 质量稳定可靠, 工装结构简单, 证明该工艺方案是切实可行的, 也为后续制定生产工艺奠定了良好的基础。

6 结束语

通过开展某型号两端缩径发动机壳体整体旋压成形工艺研究, 得出如下结论:

a. 该发动机壳体整体旋压成形工艺方案为: 旋压毛坯→壳体成形段→缩径成形段→机加工, 并进行了小批量生产, 抽检结果表明该壳体质量稳定可靠, 而且该工装结构简单, 易于操作, 该工艺具有很好的可行性和可靠性。

b. 该发动机壳体顺利成形的关键在于: 设计合理的缩径芯模结构使工件顺利脱模; 剪切成形和强力变薄成形在同一道次进行, 且壁厚薄, 需要控制旋压毛坯各段金属与旋轮压下量, 使其有机配合, 实现金属合理的分布。

c. 本文的创新点有两处: 一是通过分段分模成形法成功将壳体两端缩径, 此思路突破了传统的缩径成形理念, 对于类似结构工件的成形具有很好的借鉴作用; 二是大胆尝试将强力变薄旋轮用于剪切成形, 突破书本理论约束, 并取得良好的成形效果。

d. 该整套工艺已申报了国家专利, 并获得批准。

参考文献

- 1 张利鹏, 刘智冲, 周宏宇. 筒形件强力旋压发展过程及其现状分析[J]. 塑性工程学报, 2006, 13(1): 43~46
- 2 王成和, 刘克璋, 等. 旋压技术应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1986
- 3 张涛. 旋压成形工艺[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009