

不锈钢弯管上用预制椭圆孔翻边成形圆孔

雒亚涛

(西安航天发动机厂, 陕西 西安 710100)

摘 要: 通过对液体火箭发动机所用不锈钢弯管上椭圆预制孔翻边成形圆孔的分析、计算及试验, 确定了合理的椭圆孔长轴和短轴尺寸计算公式, 给出了翻边力的计算公式, 翻边凸模为球形。考虑到回弹的影响, 实际长、短轴尺寸要比根据公式计算出的值小一些, 球形凸模的直径要比翻边直径大一些。

关键词: 不锈钢; 弯管; 椭圆孔; 翻边成形

中图分类号: V46

文献标识码: A

文章编号: (2009) 01-0050-04

Circle flange forming by prefabricated elliptical hole in stainless steel elbow

Luo Yatao

(Xi'an Space Engine Factory, Xi'an 710100, China)

Abstract: Based on the analysis, calculation and testing of circle flanging forming by prefabricated elliptical hole in stainless steel elbow for rocket engines, calculation formulas of major and minor axes of the elliptical hole and flanging force were determined. The effective length of elliptical axes was less than that of calculations, whereas the diameter of ball mould was bigger than the hole by taking rebound effect into account. Reasonable design of the die and simple operation ensured high yield of the product.

Key words: stainless steel; manifold; elliptical hole; flanging

0 引言

钣金件生产成本低、生产效率高, 可以成形

出空间结构复杂的零件, 在各行各业都有广泛的使用。液体火箭发动机中也有很多钣金件, 随着液体火箭发动机向高可靠性、无毒无污染方向的发展, 对工艺也提出了更高的要求。液体火箭发

收稿日期: 2008-10-26; 修回日期: 2009-01-10。

作者简介: 雒亚涛 (1969—), 女, 工程师, 研究领域为钣金冲压。

动机采用的弯管形状为三通形式。采用钣金翻边的方法, 从弯管上开预制孔后翻边成为圆孔。这种结构改善了焊接条件; 当有液体流过时, 翻边处流阻比较小, 改善了使用性能。

翻边成形, 是在成形毛坯的平面部分或曲面上使板料沿一定的曲线翻成竖立边缘的冲压方法。用这种方法可以加工形状较为复杂, 而且具有良好刚度和合理空间形状的立体零件。

弯管上圆孔的翻边成形, 属于伸长类翻边成形, 是一种大塑性的复杂变形, 实际中应用较多, 但文献上很少见到, 文献上常见的是平板料上的圆孔翻边成形^[1-3]。通过研究试验, 确定了弯管上圆孔翻边时预制孔的形状是椭圆孔; 给出了椭圆孔长、短轴尺寸的计算公式, 球形凸模在弯管上的翻边力计算公式; 设计、制造了合理的翻边模具, 生产出了符合使用要求的零件。

1 产品形状特点

零件材料为冷拔钢管 1Cr18Ni9Ti $\Phi 38 \times 2.5$ 。翻边处壁厚允许减薄至 2.0mm。翻边孔相对中心线位置偏移允差 1mm。(如图 1 所示)

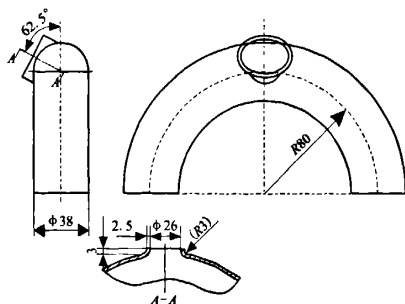


图 1 集液器上翻边成圆孔形示意图

Fig.1 Schematic diagram of hole flanging in a manifold

2 预制孔的确定及计算翻边力

2.1 预制孔形状分析

要将弯管上的预制孔翻边成为高度一致的圆孔, 根据面积相等原理, 预制孔沿圆环周向的尺寸和沿管子周向的尺寸是不一样的, 沿圆环周向

尺寸大而沿管子周向尺寸小, 这样保证了翻边后翻边高度一致, 是圆环面上的翻圆孔边, 所以预制孔的形状是椭圆孔。长轴位于圆环周向, 短轴位于管子周向。

2.2 预制孔-椭圆孔尺寸计算

(1) 椭圆孔的长轴尺寸计算^[4]

长轴端点的变形情况, 与在平板上圆孔的翻边相类似, 故可用平面翻边的经验公式计算其长轴尺寸, 如图 2 所示。

$$A = D - 2(H - 0.43r - 0.72t)$$

式中, A 为预制孔长轴长度; D 为翻边孔中性层直径; H 为翻边高度; r 为翻边圆角半径; t 为材料厚度。当 D 为 28.5mm、 H 为 6.5mm、 r 为 3mm、 t 为 2.5mm 时

$$A = 28.5 - 2 \times (6.5 - 0.43 \times 3 - 0.72 \times 2.5) \approx 21.6 \text{ mm}$$

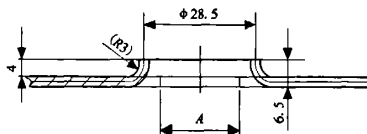


图 2 平板毛坯翻边

Fig.2 Flanging of the plate

因为在翻边时毛坯变形区内切向拉应力引起的变形使翻边高度减小, 而径向拉应力的作用又使翻边的高度加大。一般情况下, 切向拉应力的作用比较显著, 实际所得的翻边高度都略微小于计算所得的翻边高度值。所以预制孔的直径可以取得比计算的稍微小一些, 取 $A=20\text{mm}$ 。核算翻边系数

$$m = \frac{A}{D} = \frac{20}{28.5} = 0.7$$

不锈钢首次的翻边系数 $m_0=0.69\sim0.65^{[3]}$, 如果首次翻边系数小于 m_0 , 则零件翻边处变形程度太大, 超过了材料的塑性变形, 翻边处就会出现裂纹。翻边系数越大, 翻边处变形程度越小, 越容易成形。 $m>m_0$, 说明弯管材料的翻边系数大于规定的首次翻边系数, 可以翻边成形, 计算出的长轴尺寸是可行的。

(2) 椭圆孔的短轴尺寸计算

短轴位于圆环的径向方向, 也就是管子的周

向方向,如图3所示。圆管上预制孔周围的变形区域,不是平板状态,所以不能用平板毛坯料上预制孔的计算公式,确定预制孔孔径。翻边变形过程中主要是切向拉伸变形,厚度变薄,而径向变形不大,因此,在工艺计算时,可以根据弯曲中性层长度不变的原则,进行预制孔孔径的计算。长轴位于圆环的周向方向如图1、图3所示,预制孔形状及尺寸如图4所示。长轴所在的翻边后圆上中性层半径

$$R=80+(19-2.5/2)\cos 62.5^\circ=88.2\text{mm}$$

在88.2mm的圆上,翻边孔长轴距管子顶端的距离

$$h_1=R-(R^2-D^2/4)^{0.5}$$

式中, h_1 为长轴端头距管子顶端的距离; R 为长轴所在的圆半径; D 为翻边孔中性层直径。当 R 为88.2mm、 D 为28.5mm时,

$$h_1=88.2-(88.2^2-14.25^2)^{0.5}=1.16\text{mm}$$

管子中心距翻边处高度

$$H_1=r-h_1+h_2$$

式中, H_1 为管子中心距翻边处高度; r 为管子中性层所在的圆半径; h_1 为长轴端头距管子顶端的距离; h_2 为不算料厚的翻边高度。当 r 为17.75mm、 h_1 为1.16mm、 h_2 为4mm时

$$H_1=17.75-1.16+4=20.59\text{mm}$$

短轴弯曲线长度

$$h=H_1-(r^2-D^2/4)^{0.5}$$

式中, h 为短轴弯曲线长度; H_1 为管子中心距翻边处高度; r 为管子中性层所在的圆半径; D 为翻边孔中性层直径。当 H_1 为20.59mm、 r 为17.75mm、 D 为28.5mm时

$$h=20.59-(17.75^2-14.25^2)^{0.5}\approx 10\text{mm}$$

翻边处半径在管子上对应的角度

$$\alpha=\arcsin\left(\frac{D}{2r}\right)$$

式中, α 为翻边处半径在管子上对应的角度; D 为翻边孔中性层直径; r 为管子中性层所在的圆半径。当 D 为28.5mm、 r 为17.75mm时

$$\alpha=\arcsin\left(\frac{28.5}{2\times 17.75}\right)=53.4^\circ$$

短轴长度

$$B=2(\pi\alpha r/180-h)$$

式中, B 为短轴长度; α 为翻边孔中性层半径所对应的圆心角; r 为管子中性层所在的圆半径; h 为短轴弯曲线长度。当 α 为 53.4° 、 r 为17.75mm、 h 为10mm时

$$B=2\times(53.4\times 3.14\times 17.75/180-10)\approx 13.1\text{mm}$$

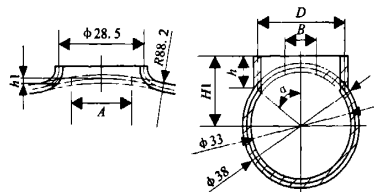


图3 长、短轴方向的翻边图

Fig.3 Flanging in macroaxis and brachyaxis

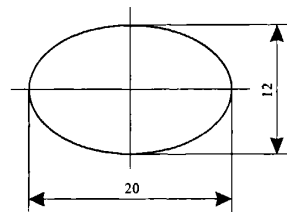


图4 椭圆孔

Fig.4 Elliptical hole

2.3 翻边力的确定

用球形凸模进行翻边时,所需翻边力^[4]:

$$P=1.2\pi D\delta k\sigma_b$$

式中, P 为翻边力; δ 为材料厚度; σ_b 为材料的抗拉强度; D 为翻边孔中性层直径; k 为系数。当 δ 为2.5mm、 σ_b 为652MPa、 D 为28.5mm时, k 取0.25,考虑到在环形管子上翻边时,翻边受力情况复杂,模具表面粗糙度不够高等原因,式中1.2改取为1.5。因此

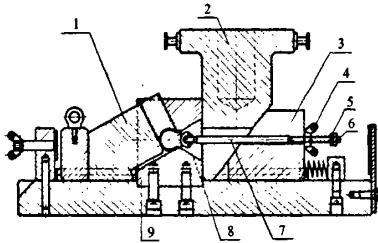
$$P=1.5\times 3.14\times 28.5\times 2.5\times 0.25\times 652=54729\text{N}$$

3 翻边模具的结构及工作原理

因为管子直径小,而且弯成圆环形状,所以采用优越的拉模成形结构,加压简单,定心准确,凸模采用对翻边成形最有利的球形。球形半径 $R=D/2$ +回弹量; D 为翻边孔内径 $\Phi 26\text{mm}$ 。回

弹量取 0.25, 所以球形半径为 13.25mm。

翻边模具如图 5 所示。工作原理如下: 将椭圆孔周边打磨圆滑, 用猪油润滑, 序号 8 球头从管子端头放进去, 使球头上的螺纹孔对正管子上的预制孔, 将序号 7 拉杆上的螺纹拧进球头中的螺纹孔中, 放进序号 9 阴模里; 用序号 1 滑动顶块紧固, 将拉杆放进序号 3 滑块里, 上紧序号 4 翼形螺母、序号 5 螺母、序号 6 开口销; 放上序号 2 契块, 在契块上加压下行, 将契块的垂直运动转化成拉杆的水平运动, 拉出球头, 翻边成形完毕。



1-滑动顶块; 2-契块; 3-滑块; 4-翼形螺母; 5-螺母;
6-开口销; 7-拉杆; 8-球头; 9-阴模

图 5 模具图

Fig.5 Die structure

4 试验结果

用 63 吨液压机进行翻边, 翻边后沿长轴方向测量翻边高度, 为 4.1~4.2mm, 与预计的 4mm 翻边高度相同, 铣切至图纸要求的 3mm。图纸要求翻边内径 $\Phi 26\text{mm}$, 实测翻边内径为 $\Phi 26.2\text{mm}$, 在公差范围之内; 铣切后翻边处材料壁厚从原来的 2.2~2.36mm 变为 2.0~2.15mm; 翻边孔相对中心线偏移在允差 1mm 范围之内。均符合技术要求。

5 结论

(1) 圆环状的管子上有凸出的圆孔时, 可以进行翻边成形, 翻边的预制孔形状为椭圆形。确定了翻边预制孔的计算公式, 考虑到翻边时毛坯变形区内切向拉应力引起的变形使翻边高度减小, 实际长、短轴尺寸比计算出的值要小一些。

(2) 翻边凸模为球形, 其半径 R 要考虑回弹, $R=D/2+\text{回弹量}$ 。

(3) 给出了球形凸模在管子上翻边时, 翻边力的计算公式。

(4) 模具的设计合理, 制造准确, 使用简单。

(5) 进一步完善了在回转面表面进行翻边的理论。

参考文献:

- [1] 梁炳文. 钣金冲压工艺手册[M]. 北京: 国防工业出版社, 1989.
- [2] 张鼎承. 冲模设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1988.
- [3] 关诗淳. 冲压工艺学 [M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1987.
- [4] 巩水利, 陈振藩, 于琴. 三通翻边模具的研制[J]. 机械制造, 2001, 39(3): 10-13.
- [5] 李硕本. 冲压工艺学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1982.
- [6] 杨兵, 陈新平, 魏晓萍, 等. 材料与工艺参数对侧围外板冲压成形的影响[J]. 锻压技术, 2008, 33(6): 57-59.
- [7] 蒋浩民, 程远明, 陈新平, 等. 侧围外板整体成形有限元仿真及试验研究[J]. 材料科学与工艺, 2003, 11(3): 58-60.
- [8] 李钰, 马继山. 钣金件快速精确加工中的激光切割工艺分析[J]. 火箭推进, 2008, 34(4): 43-47.
- [9] 雒亚涛. Ti-15-3 环板的翻孔成型研究 [J]. 火箭推进, 2005, 31(3): 39-41.

(编辑: 马 杰)