

新型端面弹簧的制造工艺

Manufacturing Process of Spring of a New End Face

中航工业贵州黎阳航空动力有限公司 李明 刘兴红

[摘要] 分析了新型端面弹簧的结构特点及工艺难点,提出了拉伸翻孔成形(双面拉伸成形)加工端面弹簧的工艺方法,使零件材料在热处理前充分冷作硬化,避免了高温合金端面弹簧原有成形工艺方法中形状不稳定、负荷不足的难题,满足了新型端面弹簧的形状精度和负荷指标要求。

关键词: 端面弹簧 冷作硬化 拉伸成形

[ABSTRACT] The article analyses the structural characteristics and technological difficulties of the spring of a new end face, then puts forward the process of stretch flanging forming (double stretch forming) used to processing the spring of the end face. The process which make the parts material fully cold work hardening before the heat treatment can avoid the problem of the Unstable shape and underload in the original forming process method of the spring of the end face of the high temperature alloy, and can meet the shape precision and load index requirements of the spring of a new end face.

Keywords: Spring of the end face Cold work hardening Stretch forming

新型端面弹簧是用于新型飞机发动机进气机匣部位石墨密封组件的关键元件,其中石墨一侧与轴肩接触,另一侧靠端面弹簧向其施加一个均匀、恒定的负荷,使石墨与轴肩紧密接触,将发动机转子系统的轴承腔与发动机的气流环境有效隔离,保护轴承与润滑油免受气流流路环境损害,防止滑油泄漏。端面弹簧的装配见图1,要求该零件在较高的环境温度(300~450℃)下,必须具有稳定的工作特性,因此,端面弹簧在设计上采用了新材料、新结构,给制造过程带来了很大难度。

1 零件结构特点与工艺难点

端面弹簧是有8个波峰波谷的圆环(见图2),直径为 $\phi 169.5\text{mm}$ 、宽度为2.2mm、厚度为0.35mm。零件结构特点为大、窄、薄,并且对形状精度要求很高,平面度、跳动度不大于0.5mm;材料为3J68,是时效强化型高温合金,具有较高的强度,在制造过程中成形困难,形状精度难以保证。零件自由状态高度为 $(8 \pm 1)\text{mm}$,要求在

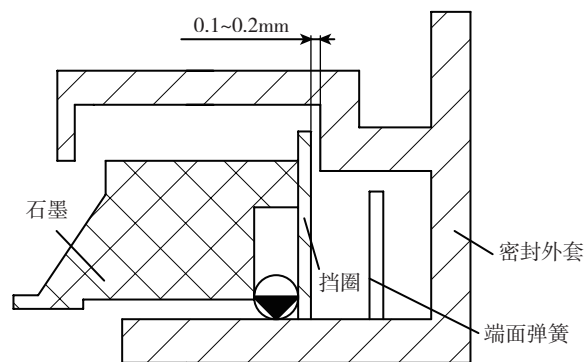


图1 端面弹簧的装配图

Fig.1 Assembling drawing of the spring of the end face

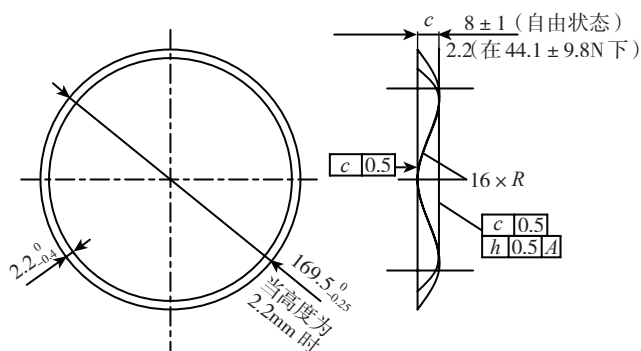


图2 零件结构图

Fig.2 Parts structure chart

工作高度2.2mm时的负荷为34.3~53.9N,压缩至工作高度10次后,永久变形不大于0.5mm,这对该零件的刚度和柔度提出了综合性要求,使得零件加工难度增大。

普通端面弹簧材料一般为0Cr17Ni7Al半奥氏体沉淀硬化不锈钢或60Si2MnA优质弹簧钢,均采用加压成形与时效热处理同时进行的加工工艺(以下简称热成形工艺)。新型端面弹簧初期试制时也采用了热成形工艺,但无法满足端面弹簧的工作要求,主要存在以下问题:(1)柔度大,压缩到工作高度时负荷过低,不满足设计要求。通过调整端面弹簧波纹的自由状态高度提高零件负载能力,直至将零件自由状态高度调整至13.8mm,零件负荷才满足要求;(2)刚度低,按照设计图纸规定的零件允许负荷进行压缩试验,经过3次压缩,零件变形已超过2mm。

2 成形工艺方法研究

新型端面弹簧材料为时效强化型高温合金 3J68, 该材料物理 - 力学特性见表 1。

表1 材料性能表

| 试样热处理 | | | 机械性能 | | | | 冶炼方法 | 拉伸性能 | |
|---------|--------|----|-----------|---|------------------|-----|-------------|-----------------------|------------------|
| 温度 / °C | 时间 / h | 介质 | 试验温度 / °C | 抗拉强度 σ_b / (N·mm ⁻²) | 伸长率 δ / % | HV | 真空感应 + 真空自耗 | $\sigma_{p0.2}$ / MPa | σ_p / MPa |
| 800 | 1 | 空冷 | 20 | 1490 | 11.5 | 477 | | ≤ 550 | ≤ 965 |
| 700 | 2 | 空冷 | 20 | 1490 | 12.0 | 475 | | | |

根据普通柱状弹簧加工经验, 提出了基本的成形工艺方案: 通过冷成形获得所需硬度, 再进行时效热处理稳定弹性, 与普通柱状弹簧加工工艺原理一致。

热成形加工时由于零件为时效强化型材料, 在常温下加压成形主要为弹性变形, 塑性变形很小, 没有达到相应的硬度, 这就是零件负荷难以满足要求的关键所在。为提高材料硬度以使零件负荷满足要求, 我们进行了满足零件负荷及周向负荷均匀性、稳定性要求的试验研究, 发现改善零件热处理前性能、改变成形方式可以提高材料硬度, 使零件负荷提高并满足要求。

2.1 拉伸成形, 满足零件负荷

金属材料在常温下加工, 改变晶粒大小或重新排列(冷作硬化)可以改善材料的性能, 提高材料的强度和硬度, 而常温下的塑性变形则是实现冷作硬化的有效手段。拉伸成形工艺通过材料的塑性变形使平板毛坯变成开口的零件, 可以使材料充分冷作硬化, 提高材料硬度。拉伸工艺可以使零件圆周各方向受力均匀, 图 3 为拉伸件受力分析图, A 区为拉伸底部受力状态分析, 此处变形较小; E 区为拉伸件法兰边的受力状态, 此处是变形主要区域; B、D 区为拉伸转接圆角受力状态, 此处变形最大; C 区为拉伸件直壁区状态, 此区是传力区, 使其内部产生足以引起法兰部分拉伸变形的径向拉应力^[1]。由于材料较薄, 若采用单向拉伸则为深拉伸, 在 A 处(见图 4)及底部波谷处极易产生裂纹, 影响成形质量, 对后续外形加工造成极大困扰。而双向拉伸结构可以有效降低拉伸高度, 避免裂纹的产生, 虽然波峰波谷在拉伸件底部, 但由于其波纹结构在成形时产生拉应力, 实际零件波峰波谷的应力应变状态为图 2 所示的 C 区(图 2), 使材料获得充分变形(工艺图见图 5)。由于零件材料回弹量较大, 拉伸时会产生一定的弹性变形, 该回弹量没有公式可以计算, 无法确定, 只能通过试验进行摸索, 通过零件波纹高度、自由状态高度及工作负荷 3 个参数关系

的多次试验, 确定了拉伸模具的回弹, 试验数据见表 2。

经过多次试验, 最终确定模具回弹, 零件负荷合格, 但是零件内外圆同轴度难以满足设计要求, 周向负荷不均匀。

2.2 共同基准, 保证零件周向负荷均匀

零件外形加工以型面定位, 而波峰波谷的圆弧较大, 造成定位过程中径向和周向的窜动量很大(大于 1.5mm), 外形加工后, 各波纹弧长一致性差, 同轴度超差, 以致零件周向弹力不均匀。解决这个问题的方法是: 通过一次装夹加工内外圆, 并准

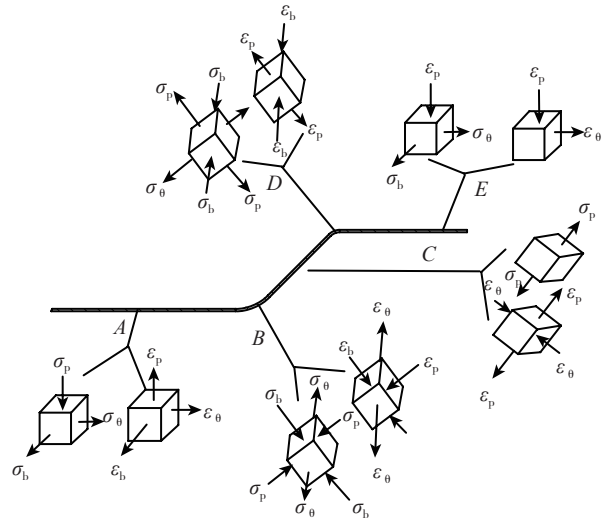


图3 拉伸受力分析图

Fig.3 Analysis diagram of tensile stress

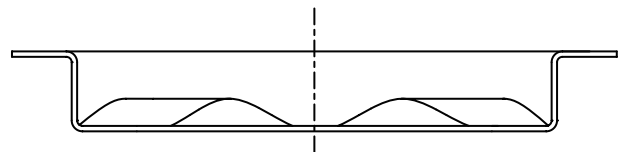


图4 单项拉伸工艺图

Fig.4 Process diagram of single drawing

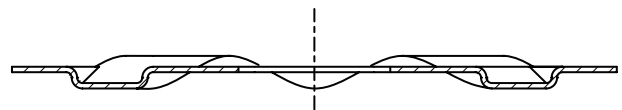


图5 零件工艺图

Fig.5 Process diagram of parts

表2 拉伸成形试验记录表

| 波纹高度 / mm | 自由状态高度 / mm | 平面度 / mm | 负荷 / N (工作高度为 2.2mm 时) | 压缩 10 次后的永久变形 / mm | 结论 |
|-----------|-------------|----------|------------------------|--------------------|-----|
| 12.5 | 12.3 | 0.3 | 78 | 0.3 | 不合格 |
| 10.5 | 10.0 | | 62 | | 不合格 |
| 9.5 | 9.3 | | 56 | | 不合格 |
| 9 | 8.6 | | 46.5 | | 合格 |

