

# T250 钢筒形件错距正旋工艺研究

何芳 贾江宏 王静薇 张崇耿 王领 陈力

(西安长峰机电研究所, 西安 710065)



**摘要:** 采用旋压成型 T250 马氏体时效钢双台阶筒形件, 分析了材料特殊性和产品结构特点, 确定采用错距正向旋压加工。通过合理设计旋压工装和旋压毛坯, 经过旋压工艺试验, 生产出满足要求的产品, 得出 T250 马氏体时效钢多旋程旋压筒体最终道次缩径量比一次旋压成型筒体的缩径量小, 为使用相同材料的同类件的旋压提供参考。

**关键词:** T250 马氏体时效钢; 正向旋压; 筒形件

## Study on Stagger Forward Spinning Technology of T250 Steel Tube

He Fang Jia Jianghong Wang Jingwei Zhang Chongeng Wang Ling Chen Li

(Xi'an Changfeng Research Institute of Mechanism and Electricity, Xi'an 710065)

**Abstract:** Stagger forward spinning technology is adopted for the double-step tube of T250 maraging steel by analyzing the material characteristic and the corresponding product structure particularity. Through the reasonable design of spinning tooling and spinning roughcast as well as spinning technology experiment, the requirements of final production are met. It is concluded that reduction of the final pass of T250 maraging steel tube during multi-rotary spinning is smaller than that of one-step spinning forming tube. All these works provide a reference for spinning technology study of the same part with the same material.

**Key words:** T250 maraging steel; forward spinning; tube

### 1 引言

随着航空航天技术的发展, 新材料的应用也日益广泛, 先进的飞行器、发动机依靠材料性能的提高而得以实现。T250 马氏体时效钢是我国近几年研制定型的一种超高强度钢, 时效状态下基体抗拉强度超过 1800MPa, 焊缝抗拉强度可达基体强度的 90%以上。固溶处理后具有良好的塑性, 室温旋压性能好, 冷作硬化率较低, 多道次累计减薄率超过 90%。

错距旋压通常是在均布三旋轮旋压时, 旋轮相互间沿轴向和径向各错开一定的距离而成形零件的方法。错距旋压可以在一道次中完成通常几道次才能完成的工作, 道次变形率大, 工序少, 效率高, 工艺流程短<sup>[1]</sup>。对于外表面带双台阶的筒形件采用错距正向

旋压成型, 工艺流程、工艺方法和旋压工艺参数的合理选择, 可以提高旋压件的合格率, 降低生产成本。

### 2 产品的结构特点、材料及旋压方法

#### 2.1 产品结构特点

某发动机筒体材料为 T250 马氏体时效钢, 结构筒图见图 1, 为外表面双台阶筒形结构, 台阶宽度、台阶距精度要求较高, 热处理后圆度、直线度尺寸要求比较严格。长径比 8.5, 薄壁段壁厚(1.5±0.05)mm, 台阶段壁厚(3.5±0.10)mm, 台阶宽度分别为(57±1)mm、(90±1)mm, 台阶距(604±1)mm, 圆度不大于 0.5 mm, 直线度不大于 0.7mm。

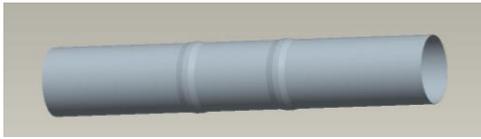


图1 筒体结构简图

## 2.2 产品材料特性

T250 马氏体时效钢的主要合金元素为 Ni、Mo、Ti，其化学成分见表 1，其力学性能见表 2<sup>[2]</sup>。在固溶状态下，T250 马氏体时效钢旋压时材料反弹较大，不易紧贴旋压芯模，容易产生扩径，旋压后产品直径差较大，同时 T250 马氏体时效钢产品固溶、时效后直径会收缩，且收缩的程度不一致，在旋压工艺中需要根据试验数据，适当调整产品的直径尺寸，保证时效处理后最终产品尺寸满足设计要求。

表 1 T250 马氏体时效钢的化学成分 %

C	Mo	Si	S	Ni
≤0.01	2.75~3.25	≤0.1	≤0.005	18~20
Co	Al	Mn	P	Ti
≤0.5	0.05~0.15	≤0.1	≤0.006	1.2~1.6

表 2 T250 马氏体时效钢的力学性能

抗拉强度 $R_m$ /MPa	≥1760
规定残余伸长应力 $R_{p0.2}$ /MPa	≥1655
断后伸长率 $A$ %	≥6
断面收缩率 $Z$ %	≥45
冲击吸收功 $A_k$ /J	实测
断裂韧性 $K_{Ic}$ /MPa m	≥88

## 2.3 加工难点

双台阶筒形件结构要保证壁厚的过渡段角度，各台阶的长度、台阶距符合设计图纸要求，需要依据试验情况确定具体的补偿量。旋压芯模和毛坯的设计，工艺参数的选择是技术难点。

## 2.4 旋压方式、方法

### 2.4.1 旋压方式

错距旋压过程中，X、X2、X3 三个旋轮轴向和径向错开一定距离后，相当于一道工序完成了三道工序的压下量，同时三个旋轮错距旋压不但可以保持径向力的平衡，而且可利用三个旋轮错距量的互相搭配创造一个良好的变形区，从而提高变形量和工件的尺寸精度<sup>[3]</sup>。由于错距旋压加工效率高、产品精度好，在设备能力满足要求的前提下，优先采用错距旋压的旋压加工方式，错距旋压过程见图 2。

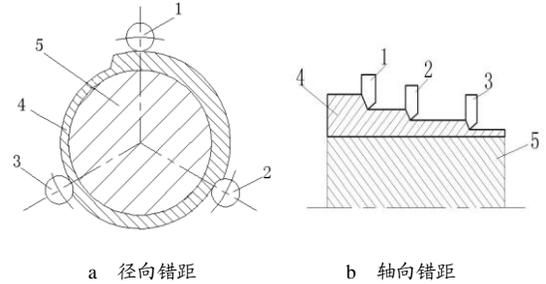


图 2 错距旋压示意图<sup>[1]</sup>

1、2、3—按顺序排列的旋轮 4—工件 5—旋压芯模

### 2.4.2 旋压方法

正向旋压（简称正旋）与反向旋压相比，旋压时旋轮需走完成品件的全长，工件长度受芯模长度和旋轮纵向行程的限制，但由于正向旋压金属材料的受力状态，开口自由端金属材料在旋轮的作用下，发生自由延伸的缘故，工件的贴膜性好，制造精度高，且可以通过在程序中设置参数和工艺补偿，精确控制两个台阶之间的距离。依据产品的特点，在满足旋压芯模长度以及旋轮纵向行程的前提下，采用正向旋压加工的方法，正向旋压过程见图 3。

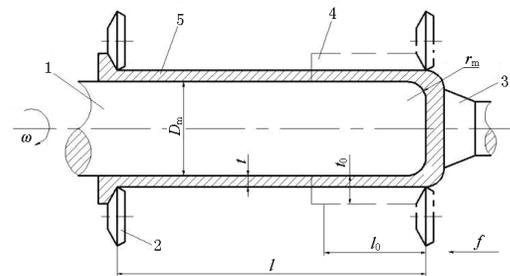


图 3 正向旋压过程示意图<sup>[1]</sup>

1—芯模 2—旋轮 3—尾顶 4—坯料 5—旋压件

## 3 工艺准备

### 3.1 旋压设备

西班牙数控强力旋压机，型号：DENN RL-600 CNC，三旋轮 120°均布。

### 3.2 旋压工装

#### 3.2.1 旋压芯模

筒形件流动旋压时，芯模与旋压毛坯内表面接触产生轴向滑动摩擦，芯模承受旋压力、尾顶力以及它们相互作用产生的弯矩和扭矩<sup>[4]</sup>。因此芯模应具有足够的强度、刚度、硬度、精度和良好的耐磨性；同时，芯模表面应具有良好的光洁度，不得有裂纹、划痕、

擦伤和局部凹凸缺陷<sup>[5]</sup>。芯模材料选择 9Cr3Mo, 采用表面淬火热处理方法, 硬度 HRC58~62, 淬硬层深度大于 10mm, 工作表面粗糙度 0.8 $\mu$ m。

### 3.2.2 旋轮

旋轮在工作过程中承受巨大的接触压力、剧烈的摩擦和一定的工作温度。必须具有高的强度、刚度、硬度和耐热耐磨性, 合理的结构形状、尺寸精度以及良好的工作表面<sup>[5]</sup>。材质选择 CrWMn, 整体淬火, 硬度大于 HRC55。X、X2 旋轮座装配双锥旋轮, X3 旋轮座装配台阶旋轮, 具体旋轮参数见表 3。

表 3 旋轮参数

名称	工作角	退出角	工作圆角	修光角
R8 双锥旋轮	20°	46°	R8	无
R6 台阶旋轮	20°	46°	R6	3°
R4 双锥旋轮	20°	46°	R4	无
R2 台阶旋轮	20°	46°	R2	3°

### 3.3 旋压毛坯

旋压毛坯的热处理状态以及加工精度直接影响工件的尺寸精度, 坯料内径与工件内径大体相同, 坯料壁厚与工件壁厚可简化为纵截面积不变的关系, 即旋压前后体积相等。使用热扩管坯料, 旋压毛坯壁厚 8mm, 一旋程经过两道次旋压到 3.5mm, 固溶处理消除应力, 校圆整形便于坯料装配到旋压芯模上, 二旋程将薄壁段旋压到 1.5mm, 总减薄率 81.25%。根据减薄率的合理分配确定相应的旋压道次, 参考理论减薄率预先设定三个旋轮的压下量, 旋压过程中按照材料的回弹量做适当调整。

## 4 工艺试验以及生产过程

### 4.1 工艺流程

采用的工艺流程: 热扩管坯料→热处理(固溶处理)→车削(粗车、半精车、精车)→一旋程旋压→热处理(固溶处理)→校圆整形→二旋程旋压→热处理(时效处理)→车削两端→筒体。

### 4.2 工艺试验

由于产品较长, 且外表面有两个台阶, 导致热处理不易整形, 产品圆度、直线度容易超差。且旋压毛坯用热扩管, 采用多旋程旋压技术, 在一、二旋程间增加真空固溶处理工序和校圆工序, 最终旋后直接时效处理, 给热处理整形减小难度, 整个试验和生产过程分三个阶段完成。

一旋程 X、X2 旋轮座装配 R8 双锥旋轮, X3 旋轮座装配 R6 台阶旋轮, 将旋后的工件进行道次间真空固溶处理, 校圆整形后, 二旋程 X、X2 旋轮座装配 R4 双锥旋轮, X3 旋轮座装配 R2 台阶旋轮。第一阶段旋压 2 发短毛坯和 5 发长毛坯, 由于对旋压毛坯的加工方法和工艺流程不同带来的影响认识不到位, 考虑到筒体热处理的缩量, 根据以往无缝钢管毛坯且不加中间热处理工序设计的芯模直径偏大, 导致旋压完热处理后筒体直径大于设计要求尺寸, 将旋压芯模直径磨小。第二阶段用 1 发短毛坯和 2 发长毛坯试旋, 通过适当调整工艺参数, 时效后直径尺寸满足要求。第三阶段按照已经确定的工艺方法旋压 12 发产品, 时效后产品尺寸满足设计要求。

### 4.3 遇到的问题及解决措施

热扩管毛坯和无缝钢管毛坯的扩径量有很大差异, 在道次间真空固溶处理后直径有一定的收缩, 二旋程结束、时效后筒体直径尺寸收缩量减小, 导致筒体最终直径大于设计要求尺寸。经过数据分析、讨论和总结, 将旋压芯模直径磨小 0.4mm, 旋压后热处理完的筒体尺寸满足设计要求。

## 5 结束语

- 采用错距正向旋压, 设计旋压工装和旋压毛坯, 经过工艺试验摸索, 合理选择工艺参数, 旋压出满足设计要求的筒体;
- 由于 T250 马氏体时效钢的特殊性, 毛坯旋压道次间热处理对缩量有一定的影响, 最终成型的筒体缩量比一次直接旋压成型的筒体缩量小。设计旋压芯模时, 需根据具体的工艺流程调整芯模尺寸。

### 参考文献

- 赵云豪, 李彦利. 旋压技术与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007(11): 60~78
- 张鹏, 史延龄. 固体火箭发动机 T250 钢壳体热校形工艺技术研究[J]. 航天制造技术, 2014, 187(5): 11~14
- 张锐, 徐恒秋, 常敬彦, 等. 35CrMnSiA 薄壁筒形件错距旋压成形工艺研究[C]. 第十一届全国旋压技术交流会论文集, 2008
- 张涛. 旋压成形工艺[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009
- 王成和, 刘克璋. 旋压技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1986, 438~510