

高精度喷嘴环斜锥孔 加工专用铰刀的研究与应用

周 琴

(西安航天发动机厂, 陕西 西安 710100)

摘 要: 通过对某型号发动机喷嘴环斜锥孔加工铰刀的工艺研究与试验, 确定了该刀具的基体材料、涂层材料 (TiN)、涂层工艺 (PVD) 及设计参数, 实现了该零件的批次性加工的实际状态与设计要求相一致的目标。进一步探寻了不锈钢斜锥孔高精度加工的特殊规律。

关键词: 斜锥孔; 喷嘴环; 专用铰刀

中图分类号: V434

文献标识码: B

文章编号: (2006) 05-0043-04

Study and application of the reamer used in cutting leaning conical holes

Zhou Qin

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

Abstract: The main material, coating material, coating process and designing parameters of reamers used in cutting lean conical holes in nozzle ring are determined based on experiments. The batch production quality of the parts meet the requirements of the drawing. Furthermore, the reaming of stainless steel lean conical holes is studied, which is very useful for the design and application of special cutting tools in the future.

Key words: leaning conical hole; nozzle ring; special reamer

1 引言

喷嘴环是某型号液体火箭发动机涡轮泵的关

键零件, 材料为 1Cr18Ni9Ti, 其端面圆周方向均布 14 个斜锥孔即喷嘴 (斜锥孔结构见图 1), 其主要作用是将燃气发生器产生的高温高压燃气经 14 个喷嘴后降至低温低压, 从而获得高速燃气来

收稿日期: 2006-02-21; 修回日期: 2006-05-15。

作者简介: 周琴 (1964—), 女, 工程师, 研究领域为液体火箭发动机专用工装设计。

万方数据

驱动转子旋转。这 14 个斜锥孔喷嘴的加工质量，特别是其圆度和表面粗糙度质量状态，对于涡轮泵乃至整个发动机的工作状态都有着重要影响。

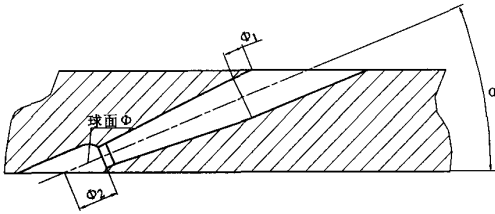


图 1 喷嘴环结构示意图

Fig.1 Schematic of the nozzle ring

从图 1 可以看出，该喷嘴环斜锥孔喷嘴的结构较复杂，加工精度特别是表面粗糙度要求高，刀具的设计制作难度大。在该喷嘴加工工艺过程中，采取了 16 把不同的刀具分工序加工完成。在这 14 个斜锥孔加工过程中，用于斜锥孔铰削的铰刀报废量最大，加工产品质量问题多。

在以往加工中，主要使用两种铰刀：一是汉江工具厂制造；二是工厂自行制造。这两种铰刀所选用的材料都是 W18Cr4V，但使用的效果都不十分理想。主要表现为：

- (1) 大角度斜孔孔口有很长一段为断续切削，对刀具的损伤很大。
- (2) 断续切削的震刀现象严重，加工的表面粗糙度达不到图纸要求。
- (3) 我厂自制刀具的圆锥沟槽是人工磨制，

保证不了一致性，通常为前锥部有前角，到了后锥部前角几乎没有，且刃带不均匀，表面粗糙度达不到 Ra0.4。

(4) 两种铰刀磨损较快，使用寿命短，成本加大、生产率低。

针对上述问题，研究将重点放在应用新型刀具材料及刀具涂层工艺上，旨在通过刀具的改进或新型刀具的应用，解决这一发动机生产中的工艺瓶颈，进而提高产品质量和生产率。

2 刀具设计

2.1 难点分析

(1) 斜孔角度大，孔口部断续切削行程长 (50mm)，刀具损伤很大。

(2) 锥孔铰刀在工作中基本上是全刃切削，喷嘴环锥孔的深度达 197.93 mm，切削扭矩大，铰刀磨损较快。

(3) 断续切削的震刀现象严重，锥孔的纵向及径向振纹较为明显。

(4) 喷嘴环材质为 1Cr18Ni9Ti，韧性较大，易产生振纹现象。

2.2 设计要点

(1) 针对振纹明显问题，调整原设计方案中的几何参数，尽量避免震刀或振动的影响。

(2) 根据切削扭矩大，铰刀磨损较快的现象，拟采取两种方案：

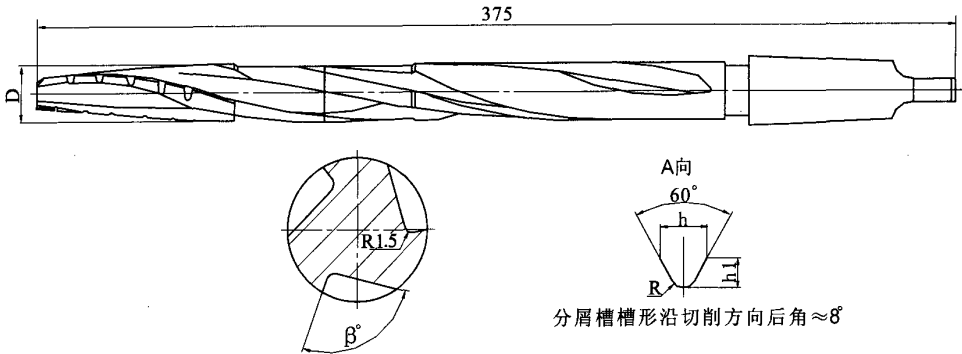


图 2 圆锥孔粗绞刀结构示意图

Fig.2 Schematic of the roughing reamer

a. 采用新型刀具材料, 以增强刀具的抗磨损性, 同时提高刀具强度, 以期避免因震刀造成的崩刃现象;

b. 采用涂层工艺, 提高刀具的耐磨系数和加工效率。

(3) 改进铰孔的进刀量和转数, 减少刀具损耗。

(4) 刀具结构示意图见图2、图3。

2.3 刀具设计方案的改进

原设计方案中的几何参数对于材料韧性及断续切削的震刀现象考虑不足, 相关的设计参数要求相对宽松, 为此对刀具设计方案进行了改进:

(1) 为了减少跳动量, 将切削刃圆周跳动量控制在0.01mm以内, 避免“让刀”现象造成的振纹;

(2) 圆柱刃后角原设计为 $10^{\circ} \pm 1^{\circ}$ 。为避免震刀及崩刃现象, 设计减少至 $5^{\circ} \sim 6^{\circ}$, 试验证明, 这项更改使震刀现象大为减轻, 基本避免了崩刃现象;

(3) 避免出现振纹现象, 在更改设计时, 采取了尽量减小径向切削力的设计思路, 从限制过渡刃长度入手, 将原设计方案中要求的0.2~0.3mm, 更改为不超过0.1mm, 从试验结果上看, 成效比较显著。

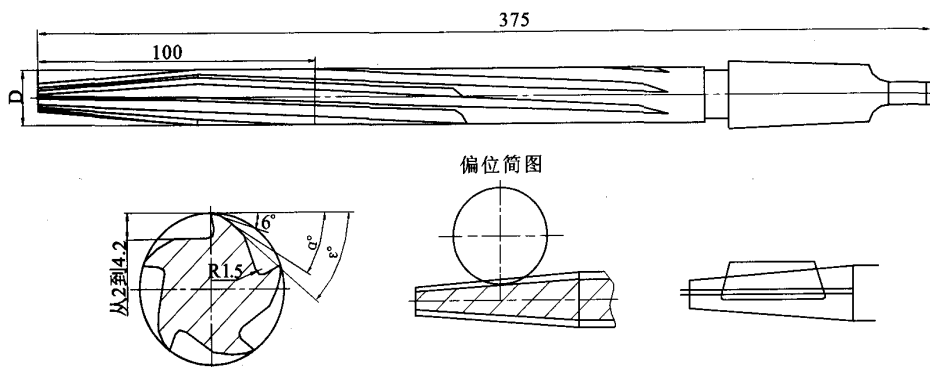


图3 圆锥孔精绞刀结构示意图

Fig.3 Schematic of the finishing reamer

3 工艺试验及分析

3.1 采用新型刀具材料

从这一基本设计思路出发, 在汉江工具厂及自制的铰刀中, 各定制了10把锥铰刀, 将铰刀切削部分的材质由过去的W18Cr4V改为M42 (W2Mo9Cr4VCo8); 刀杆材质40Cr不变。从试验结果来看, 非常不理想。原因在于更改设计时, 对这种新材料的硬度及脆性估计不足, 在试验中出现了比较严重的崩刃现象 (包括后来采取TiN涂层工艺后, 仍然改观不大)。因此, 更改刀具材料的设计方案被放弃。

3.2 采取TiN涂层

目前国内的涂层工艺主要有CVD (化学气相

沉积) 和PVD (物理气相沉积) 两种。CVD工艺附着性好且易控制, 主要缺点在于沉积温度较高, 在对高速钢刀具进行涂层时, 会使刀具退火及变形, 所以沉积后的刀具还要进行淬火处理, 刀尖容易脱落和崩刃 (特别是在断续切削中尤为严重), 故在方案选择时被放弃。PVD涂层工艺, 具有优异的切削性能, 涂层温度低于高速钢回火温度, 不会损害高速钢刀具的硬度和尺寸精度, 涂层后不再需要热处理, 涂层的纯度高, 致密性好, 涂层和基体的结合牢固, 涂层性能不受基体材质影响, 涂层均匀, 刀刃和圆弧处无增厚或倒圆现象, 涂层刀片强度较高, 能明显降低切削时的轴向力和扭矩, 降低切削温度, 提高加工质量和生产效率。经过反复比较, 最终将方案选择在PVD涂层工艺上, 涂层材料选为TiN。

表 1 涂层工艺试验性能状态
Tab.1 Performance of the coating test

涂层厚度	加工孔数	单支涂层成本/元	磨损情况
1~3	10 左右	60.00	正常磨损
3~5	30 左右	120.0	正常磨损
5~7	30~40	200.0	正常磨损
>7		300.0 以上	涂层容易脱落

未涂层刀具每把仅加工斜孔 5~8 个

从表中可直接看出涂层厚度为 3~5 μm 的涂层铰刀在使用寿命和综合成本上占综合优势，故被选为最终设计方案。

4 结论

选用 PVD 涂层工艺，涂层材料为 TiN，涂层厚度为 3~5μm 的涂层工艺处理锥孔铰刀，通过

设计方案改进，可以使该专用锥孔铰刀的使用寿命提高 5~10 倍以上，并且可以有效提高加工锥孔的表面粗糙度，使其全面达到技术要求。

这项工艺研究方案的实施和应用，有效减少了频繁更换刀具的过程与环节，提高了工效，减少了成本，确保了产品质量。

参考文献：

[1] 朱祖良, 编著. 孔加工刀具 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1990 年 1 月第一版.
[2] 袁哲俊, 刘华明, 主编. 刀具设计手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1996 年 6 月第一版.
[3] 王世清, 主编. 深孔加工技术 [M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2003 年 10 月第一版.

(编辑：王建喜)

(上接第 42 页)

对太阳帆的研究还可以促进我国新材料、新工艺的发展，加强我国基础学科的建设。

在国外，太阳帆推进技术已研究了多年，已作过大量的理论分析和论证，工程化正在迅速实施。从我国未来深空探测和国防现代化建设的角度考虑，太阳帆原理简单，易于实现，通过系统方案的确定，对关键技术进行研究突破，就可实现其工程化，研究太阳帆推进技术是完全必要的，其工程化实施应该走循序渐进的道路：

- (1) 考虑到先进性和实用性，我国太阳帆的研究最好参照国际最流行的四方型基本布局。
- (2) 太阳帆选型方案的论证应该紧密配合可能的航天任务进行，首先应该在原理上解决太阳帆飞行器的轨道控制和姿态控制方案。
- (3) 结合我国实际，选择合适的帆体、支撑架材料和制造技术，以降低生产成本。
- (4) 对最关键的展开方案及对应的支撑架结

构和展开机构设计，应该有充分的论证和试验，展开的可靠性是最关键的。

参考文献：

[1] 张敏贵等. 太阳帆推进 [J]. 火箭推进, 2005,31 (3) .
[2] Charles Garner, et al. Developments and Activities in Solar Sail Propulsion [R]. AIAA -2000 -3858, 36th AIAA/ ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit.
[3] David M Murphy, et al. Demonstration of a 10-m Solar Sail System [R]. AIAA -2004 -1576, 40th AIAA/ASME/ SAE/ ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit.
[4] Charles Garner, et al. Developments and Activities in Solar Sail Propulsion [R]. AIAA -2001 -3234, 37th AIAA/ ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit.

(编辑：王建喜)