

# 固体火箭发动机用 D6AC 钢喷管壳体的加工工艺研究

张 鹏 刘 涛 李亚红 盛春翔  
(西安长峰机电研究所, 西安 710065)



**摘要:** 介绍了固体火箭发动机用D6AC钢喷管壳体的结构及组成。对其加工过程中存在的问题进行了分析, 提出了相应的工艺措施, 得到了合理的喷管壳体加工工艺方法, 顺利实现了工件的批量生产。

**关键词:** D6AC钢; 喷管壳体; 工艺研究

## Study of Machining Technology of Nozzle Shell Made from D6AC Steel Applied in Solid Rocket Motor

Zhang Peng Liu Tao Li Yahong Sheng Chunxiang  
(Xi'an Changfeng Research Institute of Mechanism and Electricity, Xi'an 710065)

**Abstract:** In this paper, structure and form of nozzle shell made from D6AC steel applied in solid rocket motor is presented. The existent problem in machining processing is also analyzed. The corresponding technology measures and the suitable methods of machining processing of nozzle shell is obtained, batch production of which is successfully fulfilled.

**Key words:** D6AC steel; nozzle shell; processing study

### 1 引言

某型号固体火箭发动机, 其喷管壳体采用超高强度超高强度钢 45CrNiMo1VA (以下简称 D6AC), 喷管壳体采用长尾结构, 由收敛段、尾管、测压嘴、安装座 1、安装座 2 组成, 其中收敛段和尾管采用真空电子束焊焊接成一体; 测压嘴、安装座 1、安装座 2

采用手工氩弧焊焊接在收敛段上, 要求焊后热处理达到 HRC=45~49。收敛段为椭球曲面, 且经过与尾管、安装座 1、测压嘴、安装座 2 焊接、热处理、组合机加等工序加工, 过程控制点多, 加工难度大。

### 2 零件工艺参数

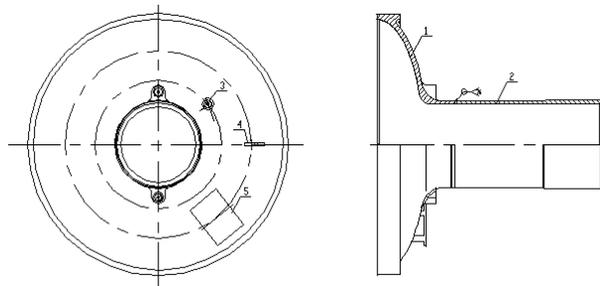


图 1 喷管壳体示意图

1—收敛段 2—尾管 3—测压嘴 4—安装座 1 5—安装座

作者简介: 张鹏 (1976-), 高级工程师, 机械制造工艺及设备专业; 研究方向: 发动机加工成型。

收稿日期: 2013-08-14

喷管壳体材料:45CrNiMo1VA 辽新 5-0026-2003;最大外径  $\Phi 500\text{mm}$  左右、小端外径  $\Phi 100\text{mm}$  左右、长度超过 350mm、型面为椭球曲面、热处理硬度  $\text{HRC}=45\sim 49$ 、安全座 2 上表面距离大端面尺寸公差  $\pm 0.10\text{mm}$ 。喷管壳体结构示意图见图 1。

### 3 主要零件加工工艺流程

a. 喷管壳体工艺流程, 见图 2。

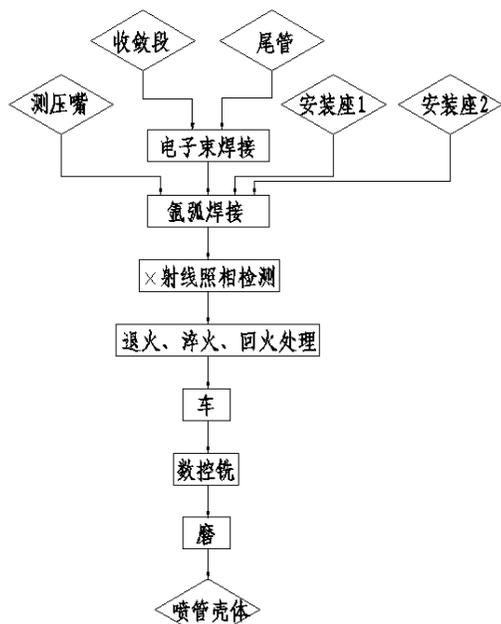


图 2 喷管壳体工艺流程图

b. 收敛段工艺流程

收敛段锻造毛坯  $\rightarrow$  数控车  $\rightarrow$  数控铣  $\rightarrow$  钳  $\rightarrow$  数控车  $\rightarrow$  收敛段。

c. 尾管工艺流程

尾管下料  $\rightarrow$  车  $\rightarrow$  数控车  $\rightarrow$  尾管。

### 4 存在问题

喷管壳体尺寸大、型面复杂、焊接件较多。喷管壳体加工时, 主要的问题如下:

a. 收敛段外型面上对称分布两测压孔, 测压孔与外型面圆滑过渡, 实际加工后工件过渡处有一条明显的接棱, 易造成应力集中, 影响喷管壳体安全可靠;

b. 喷管壳体由收敛段、尾管、安装座 1、测压嘴、安装座 2 组焊成型, 并经过热处理、车、数控铣及磨工序完成零件加工, 工序冗长, 过程控制点多, 壳体

变形大;

c. 焊接过程: 测压嘴、安装座 1、安装座 2 均焊接在收敛段外型面上, 属于局部焊接, 易造成型面变形, 收敛段型面在形成喷管壳体后为非加工面, 型面变形将影响后续喷管壳体与喷管内衬的间隙均匀性, 影响粘接质量;

d. 热处理过程: 喷管壳体经退火、淬火、回火处理, 可满足硬度  $\text{HRC}=45\sim 49$  要求。退火处理可消除焊接过程中产生的内应力, 避免焊缝产生裂纹, 消除内应力的过程, 也是一个工件变形的过程, 具体表现在型面的不规则变形, 用内型面样板检验, 焊接测压嘴、安装座 1、安装座 2 处型面塌陷, 样板局部出现不均匀间隙; 淬火处理, 保温温度高, 冷却速度快, 存在组织转换现象, 会产生大量的内应力, 造成喷管壳体变形, 主要表现在: 收敛段外圆及内孔椭圆度变大, 最大椭圆度达 2.5mm、收敛段大端面变形大, 最大变形达 2mm、收敛段内孔、内型面与尾管内孔的同轴度变差, 最大达 1.0mm; 回火处理, 可消除淬火时产生的内应力, 固化工件外形, 此过程也会产生变形;

e. 安装座 2 位置尺寸: 安装座 2 在焊接到收敛段外型面上时, 其加工余量已经确定, 若热处理时此处型面发生塌陷, 便会减少安装座 2 加工余量, 塌陷量超过加工余量时, 安装座 2 上平面将无法加工出来, 工件报废。若增加安装座 2 加工余量, 将会加大后期加工成本, 因安装座 2 所处位置特殊, 加之热处理后强度高, 数控铣加工为断续切削, 吃刀量大时对焊缝冲击较大, 影响焊缝质量; 刀具悬臂长, 加工时出现让刀现象, 影响加工质量, 在数控铣加工后需安排磨加工成型, 加工成本大, 所以应合理安排安装座 2 加工余量, 并防止塌陷。

### 5 原因分析

根据试验件加工情况, 分析问题原因。

a. 收敛段外型面上对称分布两测压孔, 测压孔与外型面圆滑过渡, 测压孔处需数控铣加工成型, 其余外型面数控车保证, 因两种不同的加工方法, 加之型面壁厚有一定公差, 导致加工后工件过渡处有一条明显的接棱;

b. 焊接过程中, 收敛段、尾管焊接工装装配时产生的装配误差, 会导致焊接后尾管与收敛段同轴度偏差缺陷; 测压嘴、安装座 1、安装座 2 均焊接在收敛

段外型面上,属于局部焊接,氩弧焊焊接过程中热影响区较大,易造成型面变形;

c. 热处理过程中,喷管壳体放置于真空炉中,在700℃左右下进行退火处理,炉冷至150℃以下出炉空冷。真空热处理的加热方式属于缓慢加热,冷却速度慢,退火处理可消除焊接应力,此过程喷管壳体变形主要表现为焊接应力消除时产生的局部变形;淬火处理温度为900℃左右,在真空炉中进行,这个过程中由于保温温度高,冷却速度快,存在组织转换,会产生大量的内应力,喷管壳体变形比较大,主要表现在:收敛段内孔、外圆、端面变形大、收敛段内孔、内型面与尾管内孔的同轴度差;回火处理属高温回火,在550℃左右进行,它可消除淬火时产生的内应力,稳定材料内部组织。此过程由于温度高,内部组织稳定,可配备整形工装对工件变形进行优化,回火后测量:收敛段内孔椭圆度基本没有改善,大端端面变形有巨大改观,收敛段内孔、内型面与尾管内孔的同轴度差有改善。经过比对分析,喷管壳体淬火过程变形最大,对淬火工具进行检查发现,淬火虽然在真空炉中进行,理论上变形不会很大,但喷管壳体淬火过程应用网状底板支撑,网状底板用 $\Phi 10\text{mm}$ 圆钢每间隔60mm焊接而成,焊点较多,焊接不平整,经过反复使用已发生严重变形,变形量大于5mm,喷管壳体放置于上,会发生倾斜,导致端面不平,收敛段内孔、内型面与尾管内孔的同轴度变差。

## 6 采取的措施

### 6.1 收敛段外型面接棱的控制

针对测压孔与外型面过渡处有一条明显的接棱缺陷,通过工艺摸索,分析数控车与数控铣的加工特点,提出新的加工思路:先数控车外型面区域,单边留1mm余量,再数控铣测压孔区域,保证设计要求尺寸及壁厚,后数控车外型面区域,在保证壁厚公差要求的前提下,与测压孔圆滑过渡,过渡处接棱缺陷消除。

### 6.2 喷管壳体焊接的控制

a. 收敛段、尾管焊接工装装配后,增加测量尾管与收敛段同轴度要求,控制焊接前装配精度。

b. 测压嘴、安装座1、安装座2焊接时,增加预热及后热处理,调整优化焊接工艺参数,减小型面变形。

c. 增加安装座2焊接工装,控制焊接前安装座2

与收敛段外型面间隙,用工装固定安装座2到收敛段端面距离,补偿型面塌陷变形。焊接工装结构图见图3。

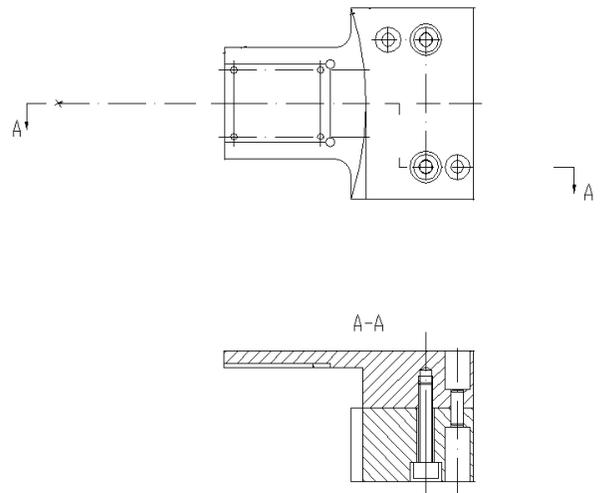


图3 安装座2焊接工装图

### 6.3 喷管壳体热处理的控制

a. 改进热处理淬火工装,采用耐热钢蜂窝状平底板,保证平底板平面度不大于0.5mm,厚度50~70mm,平底板上分布的蜂窝状孔可保证工件淬火的均匀性,平底板良好的平面度可保证工件放置的垂直度,进而有效控制收敛段内孔、外圆、端面变形量。淬火工装结构图见图4。

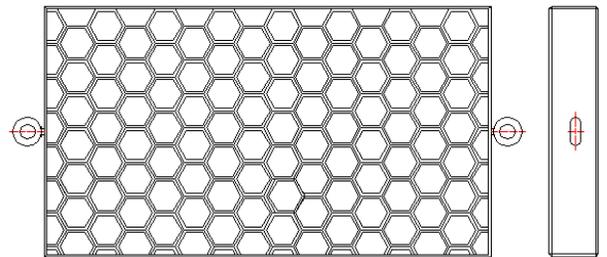


图4 淬火工装结构图

b. 增加热处理回火工装,D6AC材料回火处理属高温回火,在550℃左右时使用整形工装,可使软化状态的工件在整形工装的束缚下形变,收敛段型面与整形工装型面紧密配合,改变由于焊接引起的型面的局部变形,并有效控制收敛段内孔、外圆、端面的变形,优化收敛段内孔、内型面与尾管内孔的同轴度差的缺陷,回火工装结构图见图5。

(下转第29页)

