

加工小孔径内孔槽类零件的新工艺

■ 中航工业洪都航空工业集团有限公司 (江西南昌 330024) 李云花 陈贻强

摘要: 小孔径内孔槽加工在机械加工中非常普遍,而传统的加工工艺方法常常会造成加工效率低、槽内径超差、表面粗糙度不达标等问题,进而导致产品的合格率偏低。本文基于数控车床研究了一套加工工艺方法,通过实践验证,该方法所加工产品质量稳定,加工效率大幅提高,所加工产品的合格率达99.7%。

小孔径内孔槽类零件在军民品飞机的运用十分广泛,主要用于密封螺母、套筒及衬套等一系列产品。该类型的零件需求量大,而传统的加工工艺方法使产品的质量稳定性偏差、合格率偏低,产品的质量稳定性不好,为用户带来使用隐患,合格率偏低相应会使产品成本提高,用户难以接受。然而随着数控技术的不断发展,为解决该难题提供了一个很好的基础。本文以数控机床加工某飞机液压管路堵塞螺栓作为加工小孔径内孔槽类零件典型案例,通过分析传统加工工艺的方法和缺点,并基于起亚SKT15z全功能数控机床,给出了加工工序、加工刀具选择及加工切削参数等工艺方法。

1. 传统堵塞螺栓加工工艺流程及分析

某堵塞螺栓主要用于飞机上液压管路,主要作用是对管路密封通流,其密闭性要求较高,故该零件对内孔及内孔槽表面粗糙度质量的要求也较高。其结构如图1所示。

小孔径内孔槽的特征(见图2、表1)为:内孔孔径为 $\phi 6H7$,内孔处含有两个槽腔(槽1及槽2),槽1及槽2的尺寸分别为孔径 $\phi 8.30^{+0.036}_0$ mm、槽宽3 mm和孔径 $\phi 7^{+0.08}_0$ mm、槽宽5 mm,槽1的表面粗糙度值为 $R_a=0.8\mu\text{m}$,槽2的表面粗糙度值 $R_a=1.6\mu\text{m}$ 。

(1) 传统加工工艺流程。传统小孔径内孔槽的加工设备主要使用数控单板机,刀具使用白钢刀成型R刀进行粗、精加工内槽。加工步骤为:①粗车外圆

表1 堵塞螺杆内孔槽特征

	槽1	槽2
孔径精度/mm	$\phi 8.30^{+0.036}_0$	$\phi 7^{+0.08}_0$
槽宽/mm	3	5
表面粗糙度值 $R_a/\mu\text{m}$	0.8	1.6

$\phi 17$ mm并制孔 $\phi 5$ mm,调头光端面再进行镗孔 $\phi 5.9$ mm,并对内槽1孔 $\phi 8.30^{+0.036}_0$ mm进行加工,再调头光端面车制外圆 $\phi 14$ mm、制 $R1$ mm,车制螺纹 $M16 \times 1.5-6g$,然后再加工槽2孔 $\phi 7^{+0.08}_0$ mm,最后对 $\phi 6H7$ 进行铰孔。实际加工中工步繁杂,产品的不合格率不高。具体的加工工序如下。

10车工:粗车外圆 $\phi 17$ mm,制孔 $\phi 5$ mm。

15车工:调头光端面,镗孔 $\phi 5.9$ mm,制内槽孔 $\phi 8.30^{+0.036}_0$ mm,宽3 mm, $R0.3$ mm,保证圆跳动公差要求,如图3所示。

20车工:调头光端面,保证总长尺寸 $15^{+0.18}_0$ mm,车外圆 $\phi 14$ mm、制 $R1$ mm,车制螺纹 $M16 \times 1.5-6g$ 。

25车工:以螺纹定位,加工内槽孔 $\phi 7^{+0.1}_0$ mm及槽宽5 mm,如图4所示。

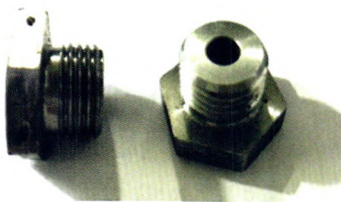


图1 堵塞螺栓实体

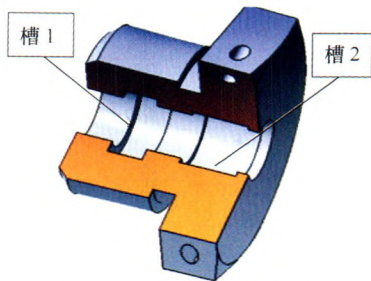


图2 堵塞螺栓内孔槽结构

最后进行铰孔 $\phi 6H7$ ，完成加工。

(2) 传统加工工艺分析。传统加工设备通常采用数控单板机，其加工刀位较少，加工过程中需要多次调头加工，使得效率低；加工内孔槽所使用刀具刀杆细长，需伸出长度大于12.3mm，加工内槽单边切深为1.15mm，槽底根部有两个 $R(0.3 \pm 0.1)$ mm，切削阻力大，产生大量切削热，造成刀具易磨损；同时由于内孔径为 $\phi 6$ mm比较小，加工空间较小，造成排屑比较困难，内槽易残留切屑，不但会导致划伤孔壁，而且容易挤断内槽刀杆。因此传统工艺流程存在加工效率低、加工质量不稳定的特性，也是本文新工艺方法重点解决的问题。

加工效率较低：内孔及外圆尺寸需多次反复装夹完成，每道工序都需要调头装夹，加工时间长，效率低且多次装夹容易产生加工误差，装夹过程如图5所示。

加工质量不稳定：零件内槽

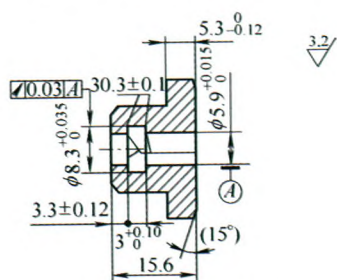


图3 第15次工序

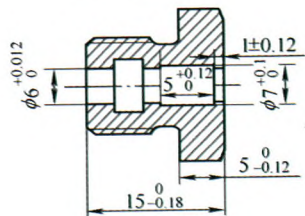


图4 第25次工序

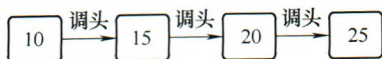


图5 工序间装夹过程示意图

孔壁尺寸相对比较复杂，对孔的尺寸公差要求和位置公差要求也高，由于是在 $\phi 6$ mm的小孔内加工内槽 $\phi 8.3$ mm，以及白钢刀的磨损、振刀等原因，都会造成 $\phi 8.30^{+0.036}_{-0}$ mm尺寸超差、内槽孔壁表面粗糙度值 $R_a=0.8\mu\text{m}$ 达不到要求，零件合格率只有80%。

2. 数控加工工艺分析

(1) 加工设备的选择。根据该零件的加工需求，选择在起亚SKT15z全功能数控机床上，分两道工序完成零件的加工。选择使用全功能数控车床具有以下优势：①机床刚性好、精度高、稳定性好，能保证产品加工的精度要求。②一次装夹完成多道工序，数控车床共有12个刀位能依次完成车外圆、退刀槽、制外螺纹、钻扩孔、镗孔及粗精车加工内槽等工序的加工。③有良好的冷却、润滑作用，能降低刀具加工时产生的切削热。④生产效率高，缩短了产品的加工时间，降低了工人劳动强度。

(2) 加工工艺流程。通过对数控设备能力的分析，由原来4道工序优化至2道工序完成加工，优化后工序如下。

10车工：粗车外圆并制螺纹 $M16 \times 1.5-6h$ ，制孔 $\phi 5.9H11$ ，制内槽 $\phi 8.30^{+0.036}_{-0}$ mm，保证 $R(0.3 \pm 0.1)$ mm及 $R(0.2 \pm 0.1)$ mm倒

角，如图6所示。

15车工：调头光端面并制 15° 倒角，镗孔 $\phi 6^{+0.012}_{-0}$ mm，制内槽孔 $\phi 7^{+0.1}_{-0}$ mm、宽5mm，如图7所示。最后进行铰孔 $\phi 6H7$ ，完成加工。

(3) 加工刀具选择。粗加工刀具：零件的加工重点在于内孔和内孔槽的加工以及排屑问题，选择粗加工刀具主要考虑以下方面：①刀具材料选择，选白钢刀做为粗加工刀具，其材料为高速钢，其切削性能非常好，有很好的韧性和硬度。②刀具的几何角度，白钢刀取刀宽2.0mm，减小其径向切削力，取前角 $10^\circ \sim 15^\circ$ 、副偏角 $1^\circ \sim 2^\circ$ ，且切削刃必须水平不能高于工件中心线，后刀面磨成圆弧面，保证与槽底无干涉，白钢内槽刀如图8所示。③刀具刚性，刀头伸出部分取决于工件要求，因为细刀杆刀头伸出部分越短，其刚性就愈好；反之其刚性就愈差，故刀杆取最短伸出长度为理想长度。根据加工零件深度距离 $L=6$ mm，故取伸出刀长为 $L=7$ mm（大于6mm），能保证内槽刀具具有良好的刚性和切削性能。

精加工刀具选择：选用整体硬质合金车槽刀作为精车刀加工内槽，如图9所示。

硬质合金刀具的特性：刀具材料。硬质合金具有很高的硬度、强度以及耐磨性，特别是它

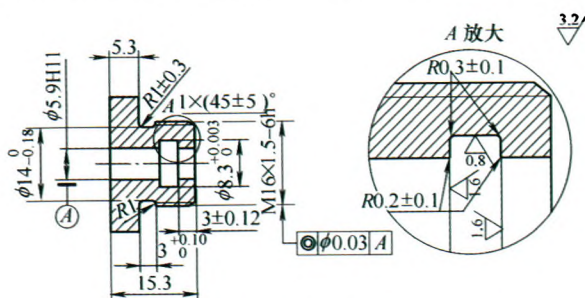


图6 第10次工序

的高硬度和耐磨性，在高温下仍然具有很好的切削性能。

几何角度。其刀头伸出部分长度为10mm，切削刃宽1.0mm，前角约 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ ，刀宽两边尖角R0.1mm，刃口锋利、切削阻力小、切削性能好，完全能满足内孔槽的加工尺寸公差要求。

刀杆设计。刀头部分为嵌入式设计，可以快速安装到刀杆，它的重复定位精度高，具有精度高、互换性好、使用方便、更换迅速的优点。

(4) 加工参数确定。粗加工内孔槽及程序。加工内孔时的步骤：①打中心孔，避免产生跳动。②钻孔 $\phi 5.5\text{mm}$ 再扩孔至 $\phi 5.8\text{mm}$ 。③镗孔至 $\phi 5.95\text{mm}$ ，其主要作用是尽量减少内孔加工的切削余量，使内槽刀加工受力均匀。

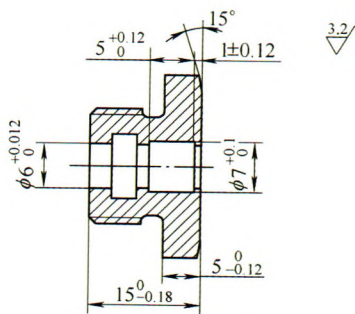


图7 第15次工序

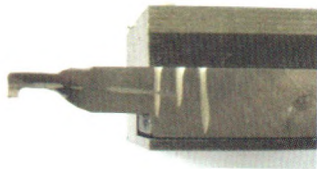


图8 白钢内槽刀

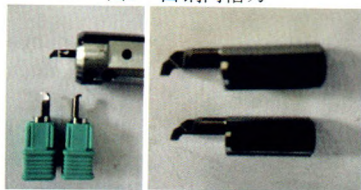


图9 硬质合金内槽刀

粗车加工内孔槽时，取主轴转速900r/min、进给量0.03mm/s，选择每刀切削深度 $a_p=0.4\text{mm}$ 进行加工，加工内孔槽采用断屑切削，利用切槽循环指令G75来加工每一刀，使切削出来的切屑呈较短的弧状碎块，而不是以前的带卷状，使加工切屑有足够空间排出孔外，不至于被堵塞而挤断内槽刀；同时给刀具充分的冷却，要用数控机床专用切削液对刀尖部位冷却，主要起到充分冷却和冲出加工碎屑的作用。

在第一刀加工完后，用指令M00暂停运行程序，用小弯钩及时钩出小孔及槽底残留的积屑，再进行加工第二刀，同样必须及时清理出内槽里的积屑，使内槽刀的切削刃不被挤压，延长刀具使用寿命。编程如下：

```
T0808;
M3 S900;           (主轴正转,
                    转速900r/min)
M08;               (切削液开)
G00 X5.8 Z1;
Z-5.8;             (快速定位至
                    5.8mm, 左端面留0.2mm余量)
G75 R0.2;
G75 X8.10 P200 F0.03; (切槽
                    循环指令G75)
G01 Z2 F0.1;       (退出工件)
G00 X100 Z100 M9;
M00;               (程序暂停, 勾
                    出内槽残留切屑)
M3 S900;
G00 X5.8 Z1 M8;    (快速定
                    位至孔外)
Z-5.0;             (第二刀右端
                    槽面留0.2mm余量)
G75 R0.2;
G75 X8.10 P200 F0.03; (切槽
```

循环指令)

```
G01 Z10 F0.1;      (退出工件
                    孔口)
G00 X100 Z100;
M5;
...
```

精加工内孔槽及程序。由于选用的刀具为整体硬质合金材料，其刀具的切削刃宽为1mm，根据其高硬度、耐磨性的特点，故取较高主轴转速 $n=1\ 800\text{r/min}$ ，低进给速度 $f=0.02\text{mm/r}$ 进行精车加工，由于加工余量小，加工余量只有0.2mm左右，能够保证内孔槽 $\phi 8.30^{+0.036}_0\text{mm}$ 、R0.3mm、R0.2mm和表面粗糙度的要求。

具体程序编制如下：

```
T1010;
M3 S1800;           (主轴正
                    转, 转速1 800r/min)
G00 X5.7 Z1 M08;
G01 Z-6 F0.15;      (定位至加
                    工槽深度L=6mm)
W-0.3;
G01 X6 F0.05;
G03 X6.6 W0.3 R0.3; (圆弧
                    插补指令车制R0.2mm)
G01 X8.3 R0.3 F0.02; (内槽1
                    底径尺寸及R0.3mm)
Z-5.5;
G00 X5.7;
Z-3.0;
W-1;
W0.3;
G01 X6 F0.05;
G02 X6.6 W-0.3 R0.3; (圆弧
                    插补指令车制R0.2mm)
G1 X8.33 R0.3 F0.02; (右槽
                    端面底径直径尺寸及R0.3mm)
Z-6.01 R0.2 F0.025;
X5.7;               (退刀至 $\phi 5.7\text{mm}$ )
```

G01 Z20 F0.2, (退出工件
孔口外)

G00 X100 Z100;

M09;

M05; (主轴停止)

...

最后加工内槽2尺寸, 加工步骤为车制内螺纹心轴M16×1.5, 以螺纹定位光端面, 保证总长尺寸并制15°角, 然后同样用G75指令粗加工内槽φ7mm, 孔槽底径留0.1mm余量, 然后再精车内槽φ7⁰_{-0.1}mm, 保证槽2尺寸及相关尺寸至要求。

3. 数控加工实际效果

为了说明该数据加工工艺的合理性、可行性及有效性, 在某机械加工中心采用新的工艺方法和传统工艺方法进行同时加工一批零件, 验证实际加工的效果。

结果表明采用新方法使加工效率提高57.1%, 加工工序减少50%, 产品合格率提高到99.5%。详细情况如表2所示。

表2 加工工艺优化前后对比表

项目	优化前	优化后	优化率
刀具伸出长度	>12.3mm	>6mm	51.2%
车工工序数量	4次	2次	50%
加工时间	35min	15 min	57.1%
产品合格率	80%	99.5%	19.5%

4. 结语

传统工艺方法加工小孔径内孔槽加工效率低、槽内径超差、工人的劳动强度大, 产品的合格率也偏低。本文以数控机床为基础探讨了加工该类型零件的工艺方法, 通过实际加工结果表明, 采用数控设备、合理选择刀具、优化加工工序、设定合适加工参数及数控程序, 可使小孔径内孔

槽类零件堵塞螺栓的产品加工质量得到大幅提高, 合格率达到99.5%, 加工时间大大缩短, 不但降低了工人的劳动强度, 也提高了工作效率。同时, 该方法是全功能数控车上加工小孔径内孔槽类零件工艺方法的初探, 可以作为加工各种套筒类小孔径内孔槽、多台阶内孔槽、多沟槽类内孔槽等零件工艺方法的借鉴。

参考文献:

- [1] 佚名. 车工技术[M]. 北京: 国防出版社, 1980.
- [2] 刘力健, 牟盛勇, 续永刚, 等. 数控加工编程及操作[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- [3] 郭佩玲. 小孔径、多台阶、多沟槽液缸体的加工及测量[J]. 现代制造工程, 2002 (4): 36-37.

MW (收稿日期: 20161101)

雄克推出高刚度细长型液压刀柄 TENDO Slim 4ax



雄克最新推出的TENDO Slim 4ax高刚度细长型液压刀柄, 成功实现了将DIN 69882-8标准热缩刀柄完整外部几何结构与高质量液压膨胀技术相结合的设计。这款细长型精密刀柄非常适用于连续生产, 尤其在汽车工业中。其设计用于轴向操作, 能够在5轴加工中心和模具行业中, 在接近轮廓的狭窄空间内进行铣削、钻孔和铰孔操作, 并展示出卓越性能。一系列测试结果表明, 这款刀柄的液压技术阻尼减振性能可大幅优化铣削操作过程。液压刀柄设计能够减少Y向力量推进的峰值切削振幅, 降低刀具的变形。通过减少横切机构和刀具刃口的负载能够显著延长刀具的使用寿命。使用户获得精准的钻孔规格和高精密工件。

与雄克TENDO系列中的其他液压刀柄一样, 高刚度细长型TENDO Slim 4ax有高夹持回转精度、完美的阻尼减振性能, 使用扳手便能快速更换刀具。即使是狭窄外形和位置公差也能精确操作, 因此无需购买价格高昂的外围设备。该精密刀柄可以即插即用, 无需对机床进行重新编程就可以替代热缩刀柄, 让

用户在实际应用中享受其带来的便利。雄克高刚度细长型液压刀柄TENDO Slim 4ax可配备微量润滑系统(MQL), 不仅防尘而且维护要求极低。与热缩刀柄不同的是, 刀柄在伸出长度 $2.5 \times D$ 处永久夹持回转精度 $< 0.003 \text{ mm}$, 转速为25 000r/min时动平衡等级为G2.5。目前的型号有HSK-A63接口, 尺寸 $\phi 10 \text{ mm}/L1=120 \text{ mm}$ 、 $\phi 12 \text{ mm}/L1=90 \text{ mm}$ 、 $\phi 12 \text{ mm}/L1=120 \text{ mm}$ 、 $\phi 14 \text{ mm}/L1=90 \text{ mm}$ 、 $\phi 14 \text{ mm}/L1=120 \text{ mm}$ 、和 $\phi 20 \text{ mm}/L1=90 \text{ mm}$ 。另外直径6mm和32mm以及L1尺寸为90mm、120mm和160mm的型号已在规划中。