

薄壁钛合金套数控加工工艺

■ 北华航天工业学院 (河北廊坊 065000) 任国柱 杨 嵩 程 磊 杨俊学 刘一飞

摘要：阐述钛合金零件的加工特点，分析薄壁钛合金零件的数控车削加工工艺，介绍薄壁钛合金割缝的数控铣削加工方法以及刀具的选择。通过对薄壁钛合金零件的工艺分析与刀具选择，不仅保证了零件的尺寸与形位公差，而且极大地提高了生产率，在生产实践中具有一定的工程实践指导意义。



1. 钛合金套加工工艺分析

如图1所示，一种薄壁钛合金零件壁厚仅为1.8mm，内孔的尺寸公差为0.1mm，内外圆同轴度要求为 $\phi 0.05\text{mm}$ ，而且要求在薄壁套圆周上加工出36个宽度为0.6mm、长度为50mm的槽，零件材料为TC4，要求表面粗糙度值 $R_a=1.6\mu\text{m}$ ，不仅有较高的尺寸加工精度与形位公差要求，而且要求表面粗糙度值低，加工难度较大。

钛合金材料在航空航天等领域有广泛的应用，其特点如下：

①导热系数低，切削温度高，相

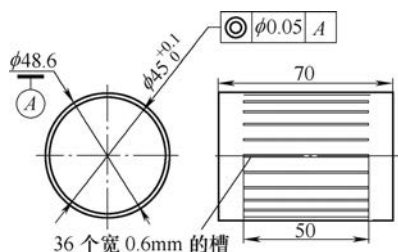


图1 薄壁钛合金零件

同条件下，TC4的切削温度比45钢高出1倍多。②加工过程中刀具与切屑的接触长度短，这样单位接触面积上的切削力就会加大，易使刀具崩刃。③由于钛合金的切削变形系数接近于1，所以切屑在前刀面的滑动摩擦路程就会增加，刀具磨损速度加快。④化学活性大，在加工表面容易产生表面变质污染层，使组织不均匀，严重损伤刀具，出现缺口、崩刃及剥落等现象。⑤由于钛合金亲和性大、切削温度高，切削时粘刀现象严重，在切削过程中会引起粘结磨损。

由于薄壁钛合金套的表面粗糙度值为 $R_a=1.6\mu\text{m}$ ，要求较高。同时，由于是型材管料，其外圆不需要加工，只需要抛光处理，所以要完成薄壁钛合金套的加工，需要5个加工步骤：①粗车内孔。②铣圆周36个宽度为0.6mm、长度为50mm的分布槽。③去除内孔翻边毛刺。④精车内孔。⑤抛光外圆。

2. 内孔的粗加工

由于薄壁钛合金套的壁厚仅

为1.8mm，所以粗车内孔的装夹方案选择软包爪，如图2所示为焊接的铜软包爪，在其尾部车有一个2mm的限位，限制薄壁钛合金套长度方向的位置移动。

由于YT类硬质合金车刀与钛合金材料结合力强，容易发生粘结磨损，所以粗车内孔的刀具选择YG8硬质合金车刀，刀具的主偏角 95° ，副偏角 35° 左右，前角 6° ，后角 9° ，切削参数为： $v=70\text{m/min}$ ， $f=0.2\text{mm/r}$ ， $a_p=1\text{mm}$ 。图3所示为加工实况，



图2 车床软爪

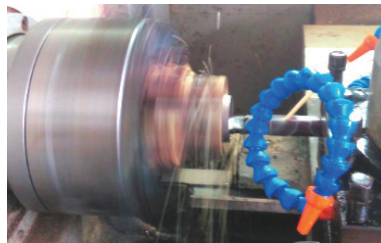


图3 粗加工

内孔粗加工完成后，要给精加工留量0.15mm。

3. 圆周36个槽的加工

薄壁钛合金套圆周上36个槽的加工，选择在四轴立式加工中心上，利用分度头通过一夹一顶的装夹方案，如图4所示。装夹时需要做一个心轴2，心轴的一端外圆被三爪自定心卡盘3卡住，另一端外圆有一个止口，并与薄壁钛合金套筒4的一端内孔间隙配合，配合间隙为0.02mm，薄壁钛合金套的另一端内孔与堵头1的外圆间隙配合，配合间隙为0.02mm，堵头的另一端端面中心钻有中心孔，通过活顶尖5将其顶住。

铣槽加工时，由于薄壁变形后应力集中，容易造成槽宽变窄，所以应使用厚度略大于槽宽的锯片铣刀。这里刀具选用厚度为0.7mm、内孔直径为22mm、外圆直径为60mm的高速钢锯片铣刀，齿数为72齿，其中直径为22mm的内孔与铣槽刀具的伸出轴间隙配合，配合间隙为0.02mm，图5所示为铣槽刀具。

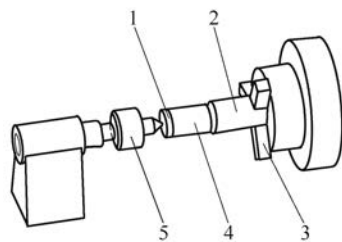


图4 铣槽装夹示意图

1. 堵头 2. 心轴 3. 三爪自定心卡盘
4. 薄壁钛合金套筒 5. 活顶尖



图5 铣槽刀具

铣槽加工参数选择为： $n=100\text{r/min}$ ， $f=25\sim 30\text{mm/min}$ ， $a_p=2\text{mm}$ 。背吃刀量=锯片厚度，这里吃刀深度 $\geq$ 薄壁套的壁厚1.8mm，因为经过试验，如果不是一次切开而是分层切削，由于应力集中，第二次进刀就会在分层处造成刀具的崩刃甚至断裂，同时加工效率大大降低，所以这里选择 $a_p=2\text{mm}$ 。需要注意的是，锯片铣刀沿钛合金套筒套径向进刀时，背吃刀量 $a_p\geq$ 薄壁套壁厚1.8mm，不要分层铣削，否则切开的薄壁套在开口处由于应力集中，会使开口处产生变形，导致缩口，第2次进刀锯片铣刀不能顺利进刀，导致锯片铣刀出现崩刃或断裂，致使加工不能顺利进行。图6所示为加工实况。

4. 内孔毛刺的去除

薄壁钛合金套内孔铣削加工完成后，由于钛合金对刀具材料的化学亲和性强，容易粘刀，所以铣出的毛刺不会轻易断掉，而是卷曲在内孔的两端，如图7所示，所以需要将其去掉。采用



图6 铣槽加工



图7 内孔卷曲毛刺

的方法为利用尖嘴钳将其逐一掰掉。由于掰掉后的内孔还会留有去不掉的毛刺，所以粗加工时留下的0.15mm精加工余量正好在精加工时将其去除。

5. 内孔的精加工

薄壁钛合金套的内孔精加工还是采用粗加工时的装夹方案，即利用铜软包爪装夹外圆，利用内孔精车刀精镗内孔。

镗内孔精车刀选择陶瓷刀具，刀具主偏角 95° ，副偏角 35° ，主前角 8° ，后角 12° 。切削参数如下： $n=400\text{r/min}$ ， $v=55\text{m/min}$ ， $f=0.15\text{mm/r}$ ， $a_p=0.15\text{mm}$ 。

6. 外圆的抛光加工

由于薄壁钛合金套内外圆毛坯比较规矩，外圆已经达到了规定的尺寸要求，所以不需要单独加工，但是表面粗糙度不是太理想，需要进行外圆的抛光加工处理。

外圆抛光也是选择在数控车床上，通过三爪自定心卡盘与活顶尖一夹一顶的装夹方案。如图8所示，心轴的一端装夹在三爪自定心卡盘上，心轴的一端外圆与薄壁钛合金套的一端内孔间隙配合，配合间隙为0.02mm；薄壁钛合金套的另一端内孔与堵头的外圆相配合，配合间隙也为0.02mm，活顶尖与堵头的中心孔相配合。

抛光的时候，先在薄壁钛

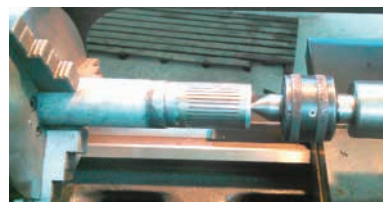


图8 外圆抛光

薄纸板的另类高效机加工工艺创新

■ 豫西工业集团河南北方红阳机电有限公司 (南召 474678) 毛 永

摘要: 对于科研用单件小批量薄纸板产品的加工, 利用摇臂钻床, 根据高速旋转切割传递原理, 实现薄纸板的切割, 可降低生产成本、提高生产效率。

1. 产品结构及工艺需求

某科研项目的零件之一调整垫片是我单位承接的机加产品, 其材质为QB1314-91, 是0.5mm厚的硬纸板。调整垫片的具体尺寸如图1所示, 外径160mm, 厚度0.5mm, 科研阶段用量不多于

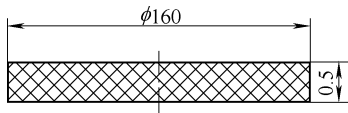


图1 调整垫片

100件。

该产品过去通常是利用冲压机和冷冲模具冲压而成, 生产效率高, 适用于设计尺寸定型后的大批量生产。但是在某项目的科研阶段, 各个零件设计尺寸不定型、变化大, 导致此工艺冷冲模具改动、加工制作成本高, 不适用于科研单件小批量生产。

2. 工艺创新

我单位以工具工装生产为

主, 在设备配置上没有冲压机。外协加工批量小, 外协单位不愿意做。在这种情况下, 试验采用一种高速旋转切制工艺, 利用摇臂钻床在X、Y、Z轴方向上的移动和在Z轴方向上的旋转来共同完成快速高效旋切工件。由于其具有效率高、能快速切除非金属材料(纸板、软橡胶板)的优点, 非常适合加工厚0~30mm的纸板和软橡胶板, 从而实现了单

合金套的外壁涂一层专用抛光皂(见图9), 然后起动主轴, 主轴转速 $n=500\text{r/min}$, 利用抛光轮对其外圆进行抛光处理。

最终加工完成后的零件如图10所示。



图9 抛光皂

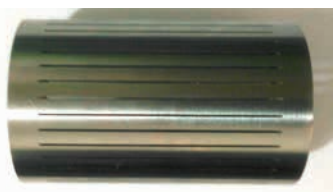


图10 成品零件

7. 结语

钛合金材料是典型的难加工材料之一, 我们在工作中要理论结合实际, 不断积累加工经验, 针对具体问题制定出切实可行的钛合金加工工艺方案。

本文对加工该类零件的设备、刀具、夹具、切削参数及其他一些工艺方法进行归纳、总结和论证、应用, 以期更好地指导实践中钛合金的加工, 文中的加工方法可能不是最佳方案, 欢迎同行批评指正。

参考文献:

[1] 王文斌, 林忠钦, 李奇, 等. 机械设计手册[M]. 北京: 机械工

业出版社, 2004.

[2] 李洪. 机械加工工艺手册[M]. 北京: 北京出版社, 1996.

[3] 张耀宸. 机械加工工艺设计手册[M]. 北京: 航空工业出版社, 1987.

MW (收稿日期: 20160408)

专家点评

锯片切割外圆窄槽的方法比较简单实用, 当薄壁零件的刚性较差时, 建议使用较小直径的锯片, 减小切入进给时的吃刀阻力。