

# 数控加工钨渗铜材料工件的工艺参数选用

Selection of Process Parameters for NC Machining of Copper-Infiltrated Tungsten Material

中国三江航天集团红阳厂 刘钢棒 吴国君 陈志勇

**[摘要]** 针对钨渗铜材料切削性能差,在数控切削加工过程中易产生裂纹、崩料、变形等质量缺陷,从刀具、切削参数、切削液选用及走刀路线的安排等方面综合考虑,提出了解决问题的工艺方法。

**关键词:** 钨渗铜 刀具 切削参数 切削液 走刀路线

**[ABSTRACT]** The cutting performance of the copper-infiltrated tungsten material is poor, and it is liable to produce cracks, broken debris and deformations. Cutting tools, cutting parameters, cutting fluid and cutting route are investigated to find out an approach to solve these problems.

**Keywords:** Copper-infiltrated tungsten Cutting tool Cutting parameter Cutting fluid Cutting route

钨渗铜是一种新型粉末冶金材料,密度大( $17.29\text{g/cm}^3$ ),主要成份为钨(熔点 $3370^\circ\text{C}$ ),铜含量一般为10%。钨渗铜材料的主要特点是耐高温性能好、高温强度高,被广泛运用于航空航天产品飞行器的燃烧室中。但钨渗铜切削性能差,属于脆性材料,在加工过程中刀具磨损快,易产生裂纹、崩料等质量缺陷,为解决钨渗铜材料切削难、易产生裂纹、崩料等缺陷,笔

者在加工钨渗铜工件的生产实践中不断探索,特别是对加工该类材料工件的刀具、切削参数、切削液的选用及数控铣削走刀路线安排等诸多方面进行了重点研究与试验,总结了适合于加工钨渗铜材料的刀具与切削参数,下文对研究成果加以简要介绍。

钨渗铜室温下材质极脆,多孔钨的抗拉强度仅为 $50\sim 120\text{MPa}$ ,而Cu的抗拉强度为 $240\text{MPa}$ ,而当W骨架的孔隙被Cu填充后,其室温抗拉强度达 $600\sim 800\text{MPa}$ ,Cu对W骨架产生了很大的强化和韧化作用,从而使得材料的机械切削性能变差,主要表现在:加工时切削力大,切削温度高,另外,由于钨渗铜材料弹性模量小,加工时在已加工表面形成过程中弹性恢复,易与刀具发生强烈摩擦,加快刀具磨损。

## 1 加工刀具与切削参数的选用

### 1.1 刀具的选用

加工钨渗铜的刀具材料要求抗弯强度高、硬度高、韧性好、热硬性好、耐磨性好、散热性好,立铣刀最好选用三刃硬质合金铣刀,切削刀具要求刀面光洁,刃口锋利,对多刃刀具,应控制切削刃的跳动量。对加工钨渗铜的刀具几何角度,除后角要求稍大外,其他无特殊要求,按成品刀具几何角度即可。常用切削钨渗铜的刀具材料见表1。

表1 切削钨渗铜刀具材料推荐表

牌 号	抗拉强度 $\sigma_b/\text{MPa}$	硬度 HRA	刀 具 种 类
YG6	1 320	91.0	铣刀、钻头、铰刀、镗刀、车刀
YG8	1 741	89	铣刀、钻头、铰刀、镗刀、丝锥、车刀
Y330	1 960	90.5	铣刀、钻头、铰刀、拉刀、螺纹刀具
W12Cr4V4Mo	3 200	66~67	铣刀、钻头、铰刀、拉刀、车刀
W12Mo3Cr4V3Co5Si	2 844~3 334	66~69	铣刀、钻头、铰刀、拉刀、螺纹刀具
W6Mo5Cr4V2Al	4 511~4 609	65~69	铣刀、钻头、铰刀、拉刀、螺纹刀具
W10Mo4Cr4V3Al	2 452~3 138	66~69	铣刀、钻头、铰刀

### 1.2 切削参数的选用

切削钨渗铜时,重点考虑切削时会产生较高的温度,切削热不易消散,而集中在刀尖处加快刀具磨损,正确选择切削速度、切削深度、进给量不仅能有效提

高加工效率,降低生产成本,还能有效延长刀具的使用寿命,硬质合金刀具切削温度应控制在 $600\sim 800^\circ\text{C}$ ,因此,要严格控制切削用量,特别是切削速度不能过快。表2是运用硬质合金端面铣刀与立铣刀加

表2 铣削钨渗铜切削参数推荐值

刀具类型	刀具材料	粗 铣				精 铣			
		切削速度 /(mm·min <sup>-1</sup> )	每齿进给量 /mm	轴向切深 /mm	径向切深 /mm	切削速度 /(mm·min <sup>-1</sup> )	每齿进给量 /mm	轴向切深 /mm	径向切深 /mm
端铣刀	硬质合金	118~150	0.03	0.5~1.2	—	188~238	0.03~0.04	0.1~0.15	—
立铣刀	硬质合金	27~42	0.03~0.04	1~3	1~4	34~37	0.05~0.06	0.2~0.5	0.5~1

工钨渗铜的切削参数推荐值。

## 2 切削液的选用及走刀路线的安排

### 2.1 切削液的选用

切削钨渗铜时产生的切削温度很高,切削热不易分散,在数控铣削过程中应充分使用切削液,提高切削过程中的润滑性能,降低切削力,从而大大提高刀具耐用度,有效地防止粘刀和刀具过早磨损。粗加工阶段切削液可选用一般的皂化液或磨削液,精加工阶段切削液优选特种切削油+抗磨液压油混合液,配比各占50%。

### 2.2 走刀路线的安排

合理安排数控铣削过程中的走刀路线,是防止加工钨渗铜产生裂纹和掉渣的最关键的工艺方法,数控铣削过程中走刀路线的安排可参照以下原则进行:

(1)合理选择铣削方式。铣削方式分为逆铣与顺铣。顺铣时,切削过程平稳,刀齿切削路程较逆铣短,切削由厚至薄,可减轻切削屑粘附现象,明显改善铣刀的磨损,提高刀具耐用度,并降低表面粗糙度,数控铣削内、外形轮廓时建议一律采用顺铣方式。

(2)铣削下陷及槽口边缘时应保证铣刀旋转切屑向里排,这样可保证不因材料质脆而造成铣削缺陷。

(3)在加工内、外形轮廓时,采用顺铣的情况下,要避免大吃量出刀,防止棱边崩角、掉渣。

(4)在加工平面或盲槽时,不适合选择在工件表面垂直进刀,应尽可能选择斜线或螺旋进刀,避免工件产生裂纹。

(5)在钻孔时,必须将出刀面紧贴在其他金属垫块上,这样可有效控制出刀孔口出现掉渣现象。

此外,为了防止钨渗铜在数控铣削过程中产生裂纹与掉渣,除了应合理安排走刀路线外,保证刀具在加工过程中始终锋利,也是重要的条件之一。

## 3 加工实例

图1所示是某产品上的一项重要结构件——钨渗铜护板,零件所选材料为W-7Cu粉末冶金板材,毛

坯单件供货。根据护板的结构形状及毛坯供货状态,编制加工护板工艺流程(见图2)。

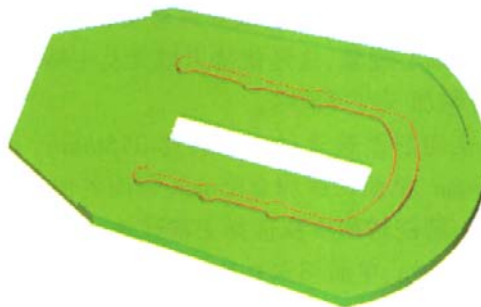


图1 护板实体模型

Fig.1 Solid model of guard plate

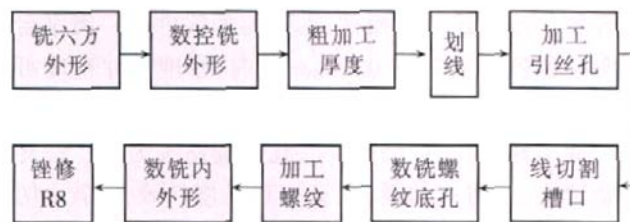


图2 加工护板工艺流程

Fig.2 Process flow chart of machining guard plate

首先加工六方外形。铣四周时刀具的选择: $\phi 28$ 立铣刀,刀具材料Y330,刀具几何参数为成品角度。铣四周时切削参数的选择:第一次采用手动进给,主轴转速为300r/min,切深5mm,去除氧化皮;第二次进给量为118mm/min,切深1mm。挟持两侧面,铣削两大面,刀具选择 $\phi 160$ 铣刀盘,YG8刀片,安装8个刀片。铣端面时切削参数的选择:主轴转速为375r/min、进给量为118mm/min、切深1mm。

数控粗铣外形时,由于毛坯来料极不规则,毛坯铣四周后,两侧的直线段仅为50mm,不利于后续上虎钳挟持铣削厚度两面保证厚度尺寸及平面度。因此必须增加数控铣削工序,将毛坯外形加工成规则形状,以利于后续加工厚度两面制作专用钳口,挟持工件。在这过程中,刀具选择 $\phi 20$ 立铣刀,刀具材料硬质合

金选用 Y330。切削参数选择主轴转速 600r/min, 进给量 118mm/min, 切深分 2 次加工至尺寸。

然后再粗、精加工零件厚度, 由于此时零件外形已不能直接挟持在标准虎钳钳口上加工厚度, 根据零件外形制作专用钳口, 确保挟持牢固, 夹紧受力均匀, 减轻装夹变形, 从而确保铣削厚度尺寸及两面平面度要求。

在此过程中, 粗铣零件厚度刀具选择  $\phi 160$  铣刀盘, 选择 YG8 刀片, 安装 8 个刀片。另外要求挟持力稍大, 避免铣削阻力大造成零件移动, 粗加工后的零件表面有凹心现象, 这是挟持力过大及主轴未经调整所致, 待精加工时可消除。

粗铣切削参数选择主轴转速 375r/min、进给量 118mm/min、单面切深为 0.85mm, 每面各留 0.1mm 余量精铣。精铣切削参数选择主轴转速 475r/min、进给量 118mm/min、单面切深 0.1mm, 保持刀片锋利, 可获得  $R_a 1.6$  的表面粗糙度值。及时调整机床主轴, 使主轴与工作台的垂直度 0.03mm。由于铣削量极小, 精加工时, 挟持零件不能过于用力, 否则会造成零件弹性变形, 加工后的零件会产生两边尺寸已到, 中间偏薄的现象。按上述方法操作, 加工后的零件上一级平台检测平面度可控制在 0.03mm 以内, 厚度尺寸精度可控制在 8.03~8.08mm 之内。

加工螺纹孔时, 钻螺纹底孔所选钻头为  $\phi 5$ , Y330 合金钻头, 并进行修磨, 保证刃口长度一致, 2 个主切削刃对称, 钻角 150°; 当有效孔深为 5.5mm 时, 其实际钻深应为 6.94mm。横刃斜角为 55°; 为避免在钻削过程中处于挤钻, 要把横刃磨短, 修磨后的横刃长度是原来的 1/3~1/5, 这时轴向力和挤钻现象将减小, 定心作用也有所改善。钨渗铜护板攻丝比较困难, 用国产丝锥与硬质合金丝锥加工时, 均出现咬住和断锥现象, 经分析主要是该零件弹性模量小, 产生回弹, 且攻丝时扭矩过大所致。改用进口丝锥, 因是加工盲孔, 首先将丝锥底部倒锥磨去留 1~2 扣牙, 配特制的导向块, 以保证攻丝不产生歪斜, 同时可避免攻丝时孔口掉渣。攻入 2~3 扣牙后取下导向块, 丝锥蘸少许机油, 直接加工, 一支进口丝锥可加工 180 个螺纹孔, 是普通丝锥的 30 倍。

数控铣加工内外形时, 加工外形轮廓时, 选用直径为  $\phi 20$  立铣刀, 刀具材料选用 Y330; 加工内形轮廓时, 选用直径为  $\phi 18$  立铣刀, 刀具材料选用 Y330。加工内型面第 1 次切深为 3mm, 主轴转速 600r/min, 进给速度 60mm/min; 第 2 次、第 3 次切深各为 0.5mm, 主

轴转速 750r/min, 进给量 118mm/min。第 1 次加工内形快要铣通时必然会留下残留岛屿, 所以此时需要降低切削速度, 避免刀具与残留凸台发生撞击, 在加工表面留下缺陷; 在第 2 次加工后需将零件卸下, 检测尺寸与平面度(首件), 第 3 次加工需换刀具将余量一次切除。在加工内外形轮廓时必须安排顺铣的走刀方式, 另外, 在出刀位置, 需要先逆铣一小段, 留余量 0.5mm, 避免大切量出刀时, 材料崩角; 铣削槽口边缘时应保证铣刀旋转切削向里排; 材料脆性大, 不得在工件上垂直下刀。

切削液选用特种切削油+抗磨液压油混合, 配比为各占 50%。数控铣加工内外形是加工钨渗铜护板的关键工序, 除要合理选择刀具、切削参数、走刀路线外, 由于该零件脆性大, 铣削中一定要保证刀具锋利, 切削平稳, 刀尖部分用碳化硅油石修光, 粗精铣刀具分开使用, 铣刀用对刀仪校验。另外, 要合理选择压紧位置, 保证各部压紧力均匀。

#### 4 结束语

钨渗铜是一种新型材料, 虽然其切削性能较差, 但是只要在加工过程中注意摸索, 不断积累加工经验, 掌握其性能和特点, 采取必要的针对性措施, 就能获得理想的加工效果。本文以一典型钨渗铜材料结构零件为例, 理论联系实际, 对加工该类材料零件加工所需的刀具、切削参数、切削液及其他的一些工艺方法进行了详尽的总结, 希望对同行加工该类材料零件时起抛砖引玉的作用。

(责编 微凉)

#### 巴西航空工业公司召开维护成本研讨会

巴西航空工业公司于 2008 年 9 月 22 日至 26 日在巴西圣若泽杜斯坎普斯举办第八届维护成本研讨会(MCW)。本届年度维护研讨会的主要目的是通过运营商、供应商、服务中心和巴西航空工业公司之间的经验分享来来降低维护成本。此次会议主要针对 ERJ145 喷气系统和 E- 喷气飞机系列的商用航空项目, 讨论的主题是“维护新标准”。

ERJ145 喷气系列已在航空市场上服务了 12 年, 目前共有超过 1 000 架该型飞机在全球运营, 累计飞行超过 1 400 万 h。与会人员就多项议题通过演讲和圆桌讨论等方式分享各自的运营经验, 这些议题主要包括处理程序、维护计划、燃油消耗、获取精简结果和排除故障等。

(本刊记者 依然)