刀具

钛合金车削加工的利器

西安航空动力控制科技有限公司（以下简称中航西控）创建于1955年，隶属于中国航空工业集团公司，是中国航空发动机燃油控制系统、飞机液压装置及高技术机电产品研制、试验和生产的基地。拥有先进的数字化精密机械制造、特种工艺、计量检测能力和信息化管理手段，设有两个设计研究所、十余个专业制造单元及相关业务、生产、信息技术、国际合作等管理部门。以PDM为平台的数字化设计制造体系，使中航西控具有研制适应市场快速变化的不同产品的柔性加工能力。

文 | **西安航空动力控制科技有限公司** 杜改梅、刘凌云、张静

自成立近六十年来，中航西控先后为中国50多种航空航天发动机研制生产了150多个型号的数十万台套燃油附件。同时，通过实施核心技术辐射战略，已成功涉足航天和陆用战车动力控制、民航修理、国际航空零部件转包生产等领域，与霍尼韦尔、古德里奇、联合技术、伊顿、GE、史密斯宇航以及艾嘎设计局等世界知名航空企业建立了长期稳定的合作关系。

随着航空航天领域发动机产品的更新换代，钛合金的使用比重越来越大：钛合金凭借优异的综合力学性能、密度小、抗腐蚀性强等特点，成为飞机发动机理想的制造材料。在航空发动机燃油控制系统中，钛合金已逐步取代耐热钢、不锈钢等材料，成为各类连接件、紧固件等部件的首选材料。但同时，钛合金的硬度高、耐磨性高等特点也给加工带来了极大的挑战，尤其是切削刀具，因钛合金的切削性差而导致刀具磨损快等加工难题频繁出现，严重影响了加工精度和效率。因此，中航西控主要通过对钛合金材料切削加工性能的分析，选用合理的加工刀具，确定较优的切削参数和加工工艺，来找到适合在数控车床上对钛合金轴类零件进行粗加工和精加工的有效途径。

钛合金加工给刀具带来极大挑战

钛的各种属性使之成为具有强大吸引力的零件材料，但其中许多属性同时也影响着它的可加工性。工业中常用钛合金为两相钛合金，即（α+β）钛合金，在航空发动机燃油附件中常用TC4、TC6，其中TC4是这类合金的典型代表。钛合金材料硬度高、切削性能差，且易产生加工硬化现象，给切削加工带来了困难。针对钛合金中TC4这类材料的零件，尤其是车削加工工艺，中航西控做了较为深入的研究，并取得了一些经验。

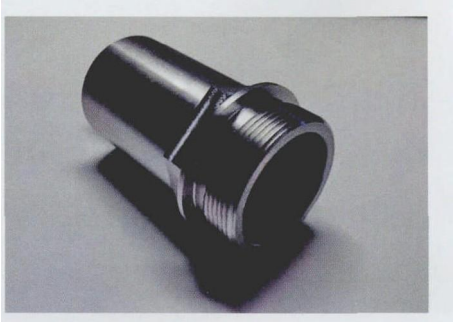


图1 产品零件图

首先，钛合金的弹性模数小，其中TC4的弹性模量E=110 GPa，约为钢的一半，而且导热性低，因而由切削力所引起的被加工件弹性变形大，同时在加工过程中会产生较高和较集中的切削力。这样就容易产生振动而导致切削时出现震颤，降低工件精度，因此要改善加工系统的刚性。

其次，钛合金在切削加工中所产生的局部高温，使钛很容易吸收大气中的氧和氮，从而形成又硬又脆的外皮。这就会造成工件加工表面的加工硬化现象，而且加工硬化速度快，使得刀具表面产生严重的划痕，容易在切削过程中产生崩刃现象。

除此之外，钛合金材料本身的物理和化学性能使其切削加工时与工件亲和力大，切削加工时刀具与工件接触时易产生黏刀现象，增大了刀具与工件间的摩擦，产生大量的切削热。由此产生的大量切削热无法及时通过切屑散发出去，大大降低了刀具的使用寿命。因此加工钛合金的刀具必须具备高热硬度。

钛合金加工是一项系统工程

中航西控所制造的航空发动机燃油控制系统中，钛合金零件以小型轴类零件为主，车削加工为其主要加工手段。这里的钛合金加工可以被看作是一项系统工程，需要从加工设备、切削刀具、切削参数、冷却液等多个角度进行考虑。就加工设备而言，钛合金加工需要机床加工性能好，冷却充分，所以加工设备选择加工精度较高的数控车床，加工时主轴震动极小加工稳定性好。

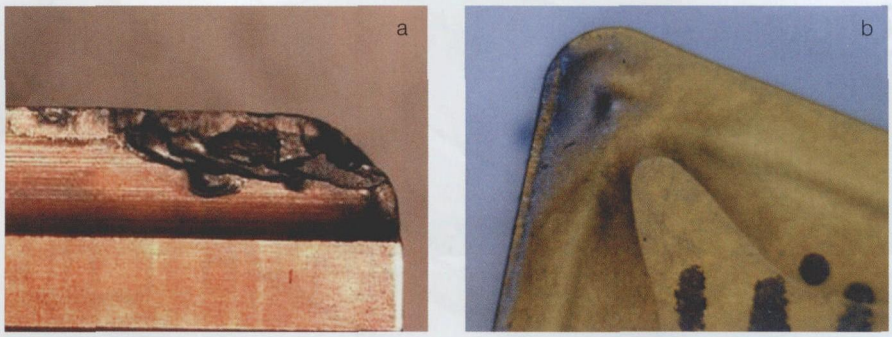


图 2 刀具的磨损形式
a 粗加工：主轴转速 S=600 进给量 F=0.2 切削深度 a_p=1
b 精加工：主轴转速 S=1000 进给量 F=0.15 切削深度 a_p=0.8

用于钛合金加工的刀具材料的硬度及耐磨性要好，具有极好的耐热性、在高温下能保持较高的强度及韧性，以及一定的抗冲击性和抗破坏性。满足以上要求的刀具有：陶瓷刀具、涂层硬质合金刀具、立方氮化硼刀具（CBN）及类金刚石刀具（PCD）等。其中涂层硬质合金刀具价格低廉，且具有良好的导热性和较高的硬度，在红硬性和韧性等方面也表现出色，虽然比陶瓷、立方氮化硼刀具（CBN）、类金刚石刀具的耐热性和化学稳定性要差一些，但比陶瓷和类金刚石刀具具有较高的抗冲击性和抗破坏性。因此已成为加工钛合金的首选刀具。

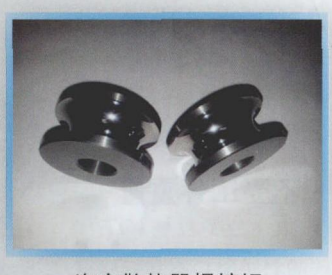
在车削参数方面，钛合金加工也是需要更多考量的。如切削速度的设定，过高的切削速度会导致切削热升高，刀具切削刃过热、粘结现象严重，刀具磨损加重，会缩短刀具使用寿命；同时会导致钛合金工件表层开裂或氧化，影响工件的力学性能，所以应在保证较大的刀具耐用度下，选择适当较低的切削速度，降低加工成本

我们为全球2000多家客户提供钨钢陶瓷应用解决方案

主要产品：成型轧辊、结构陶瓷、钨钢模具、钨钢零件、钨钢坯料

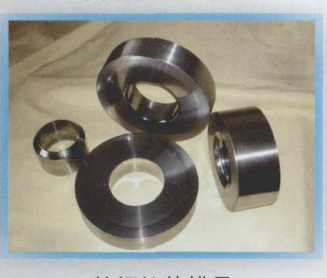
夏阳与全球知名钨钢企业美国肯纳Kennametal、欧洲森拉天时Ceratizit、日本桑阿洛伊sanalloy、中国台湾春保CBcarbide保持良好合作关系，使夏阳成为优秀的钨钢材料供应商，完全满足客户个性化、多样化、专业化要求。

夏阳正为全球2000家以上客户提供产品和服务。今天夏阳正致力于成为“钨钢陶瓷零部件优秀供应商”、“全套钨钢陶瓷解决方案提供商”、“钨钢陶瓷应用专家”。


汽车散热器焊接辊

光伏轧辊

热流道喷咀


钨钢拉伸模具

钨钢零部件

陶瓷部品

夏阳®
钨钢陶瓷应用专家
tungsten Steel Ceramics Applications Specialist

东莞市夏阳精密钨钢有限公司
地址：广东省东莞市常平镇东部工业园白花沥管理区
电话：+86-769-83939973
传真：+86-769-83939972
服务热线：400-6220-800
网址：www.xycarbide.com 邮箱：yang88@xycarbide.com

▲反馈服务编码M5270

并保证加工质量。其次是切削深度的设定，因钛合金工件加工前须进行预备热处理，使得工件表面有一层氧化层，为提高刀具的耐用度应采用相对较大的切削深度，可以直接切入钛合金机体未氧化的金属层，提高刀具使用寿命。另外一个参数设定时需要考虑的是进给量，进给量的大小对产生切削温度的大小影响不是很大，在保证加工效率的前提下，减小切削速度增大进给量是合理的切削方式。

为保证加工质量及提高刀具的耐用度，还应考虑到冷却液的使用，比如要充分对加工区域进行冷却，冷却液不仅可以有效降低切削温度，还可以减少切削时对刀具的黏结现象，提高效率，延长刀具使用寿命。

硬质合金涂层刀具改善加工

旋转类零件如某螺塞零件，最大外圆直径为 ϕ33.8，材料为 TC4，原材料选用 ϕ30 棒材。零件采用一次车削加工完成（如图 1）。为了保证零件加工精度，

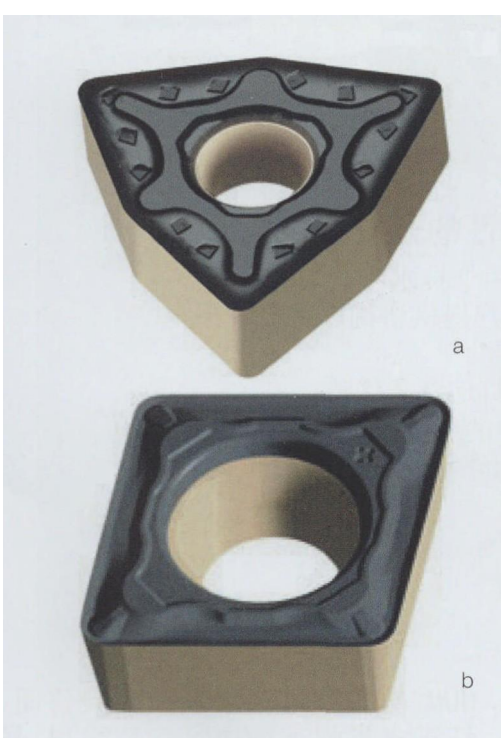


图 3 硬质合金涂层粗、精加工刀具
a 外圆粗加工选用瓦尔特老虎刀片（Tiger·tec）WNMG080404-NM4 材质 WSM30
b 外圆精加工选用瓦尔特老虎刀片（Tiger·tec）CCMT09T304-PF4 材质 WSM30

加工设备选用了进口数控车床，其主轴转速最高 6000 r/min，主轴跳动小于 2 μm，加工时主轴震动极小加工稳定性好，冷却液可由 3 个方向喷出，冷却充分。

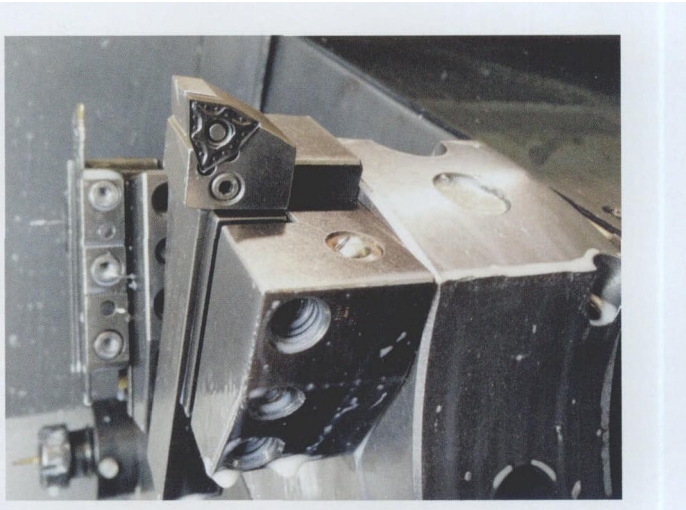


图 4 现场加工图

进行外圆车削时，初期选用了某知名品牌硬质合金涂层刀具，按照厂家推荐的切削参数进行加工。由于零件来料状态为圆棒料，表面有热处理氧化层，加工时刀具的边界磨损严重，致使加工 10~15 件零件刀具就产生不同程度的磨损及崩刃现象（如图 2），无法满足批量生产的加工需求。

后期经过反复试验验证，中航西控最终选用了瓦尔特公司同等价格下的硬质合金涂层刀具：外圆粗加工选用 WNMG080404-NM4 材质 WSM30；外圆精加工选用 CCMT09T304-PF4 材质 WSM30（如图 3），此刀片同时用于镗孔加工。

WNMG080404-NM4 材质 WSM30 刀片是一款 W 形负型刀片，双面 6 个有效切削刃，NM4 是专为不锈钢和难加工材料设计槽型，适合中等切削，在单边余量 0.5~4 mm，进给 0.16~0.25 以内，都可以形成完美的切屑。WSM30 材质的抗冲击性能非常强，刀片涂层则是采用了 Al_2O_3 物理涂层，既确保了刃口的锋利性，又具有出色的红硬性，有效延长了刀具寿命。

CCMT09T304-PF4 材质 WSM30 刀片是 C 形正型刀片，PF4 是专为不锈钢和难加工材料设计的精加工槽型，适合单边余量在 1.5 mm 以内的精车加工。

由于 TC4 的加工特性及刀具材质 WSM30 的特性，使切削时产生大量的热量，加工区温度可达到 800℃以上，而刀具切削区的高温可对工件的切削层产生退火和软化效应，可很大程度上消除零件的加工硬化现象；同时硬质合金涂层刀具耐高温且红硬性好，使得工件粗车加工时较易切削；粗加工用 WNMG080404-NM4 刀片为凸三角形刀片，负型刀片，可以正反使用，共 6 个刃可使用 6 次，大大降低了粗加工时的刀具费用。

粗加工选择低转速大进给量，切削参数选择：切削深度 a_p=0.8~1.2 mm；进给量 F=0.18~0.4 mm/n；主轴转速 S=600~1000 r/min。粗车刀片一个刀刃可加工 25~30 件零件。精加工及镗孔加工切削参数选择：切削深度 a_p=0.2 mm；进给量 F=0.1 mm/n；主轴转速 S=2000 r/min 左右，精车刀片一个刀刃可加工 45~50 件零件，镗孔加工时一个刀刃可加工 35~45 件，加工后零件的表面粗糙度可达 R_a0.8，尺寸精度可控制 0.005 mm 以内，满足了零件的设计要求，而且车削零件时的加工硬化现象基本消除，大大提高了加工效率及刀具使用寿命。

钛合金以其优良的性能在国内外航空航天工业领域的使用率在逐年提升，但受加工成本高、加工效率低、刀具耐用度低等问题的影响，应用层面一直受到比较大的阻碍，通过以上对钛合金切削性能分析、合理选择刀具及加工参数，有效的解决了钛合金零件车削时刀具耐用度低等问题。实践证明数控车床、硬质合金涂层刀具不失为加工钛合金的利器，在车削刀具选择上瓦尔特公司的产品是一种比较经济的选择。MM