

浅析钛合金零件加工工艺方法

陈睿欣

中航西安飞机工业集团股份有限公司 陕西 西安 710089

【摘要】：常用的钛合金材料具备较强的耐腐蚀性特征、耐磨能力以及较高的强度，在当前很多高精尖的机械工业、航空零件生产中均有应用，但是，因为钛合金本身的特性，其机加工的工艺难度偏高。本文将首先阐述钛合金零件加工难点，随后参考机加工钛合金零件的过程当中涉及到的一些工艺技巧展开分析，以期能够为从事该行业的加工生产工作的相关人员提供理论参考。

【关键词】：钛合金零件；加工工艺；技法分析

钛合金本身的密度值偏低、比强度偏高、耐腐蚀能力好、耐热度高、韧性好、可塑性强，当前航空航天材料、医学器械材料、电解工业当中均有广泛的实际应用，不过相对的，其本身的弱导热能力、高硬度、低弹性模量等特征也令其变成了比较难以加工的材料之一。在本文当中就将对对此进行研究，分析钛合金机加工当中的工艺方法。

1 钛合金零件的加工难点

1.1 优势分析

钛合金材料的强度高，且密度小（ $4.4\text{kg}/\text{dm}^3$ ），另外，其重量比较轻；热强性比较高，通常来说，钛合金材料处于400摄氏度到500摄氏度的高温依然可以保持极高强度，且能够正常进行运转工作，而另一种常用的材料：铝合金，一般工作温度仅能满足200摄氏度以下的要求；较之钢材，钛合金材料本身拥有的较高耐蚀度能够有效节省飞机的正常运转成本、维护保养成本，为航空航天做出重要的贡献^[1]。

1.2 难点分析

对于钛合金零件的加工过程而言，其难度始终偏高，切削加工操作的前期阶段，往往会遭遇到壳体性工件的加工刀具消耗过度的情况，发生刀片材料磨损严重、成品零件的表面不光洁等等问题，可能和钛合金材料本身复杂的组织、较大的亲和力有关联。实际加工的过程当中，因为晶格原子一般不会很容易脱离出原来的平衡点位置，可能会导致切削温度在短时间内迅速提升，诱发刀具磨损的风险^[2]。而相对的，钛合金本身的导热系统散热能力比较差，切削的过程中作业范围势必会出现温度聚集的情况，诱发刀具崩坏的风险，严重影响到钛合金零件最终的表面质量。受到走刀量、速度以及切削深度情况等诸多因素共同影响，钛合金零件在加工的过程中如果遇到意外的机床震动，势必会导致变形的情况出现^[3]。薄壁零件的刚性相对较低，受到切削应力的影响，其整体精度也会受到严重影响。

除此之外，钛合金本身具备较高的化学活性，和气体杂质出现化学反应之后会导致材料当中出现O、N元素，或者是导致晶格弯曲等情况，材料塑性大幅度下滑，或者是出现表面硬蹭，导致刀具受损的情况出现^[4]。所以，使用钛合金材料的加工生产，受到工艺的影响，很难实现理想的尺寸精度以及形位公差等要求，可以尝试从规划工艺路径、明确刀具参数、制定切削参数和良好冷却润滑等角度入手加以优化改良，以期能够生产满足实际需求的零件。

2 钛合金零件的加工工艺方法

2.1 钛合金激光直接快速成形技术

自20世纪90年代开始，随着计算机技术的飞速发展，激光直接制造技术逐渐成为制造领域研究的热点。激光直接快速成形技术中有2种方法可以用于直接制造金属零件，即区域选择激光熔化（Selective Laser Melting, SLM）技术和近净成形（Laser Engineered Net Shaping, LENS）技术^[5]。国外有关大型钛合金结构件激光直接快速成形技术的研究主要集中在美国。美国AeroMet公司在2002-2005年间实现了激光直接快速成形钛合金结构件在飞机上的应用。2001年AeroMet公司开始为波音公司F/A-18E/F舰载小批量试制发动机舱推力拉梁、机翼转动折叠接头、翼梁、带筋壁板等机翼钛合金次承力结构件。2002年制定出了“Ti6Al4V钛合金激光快速成形产品”宇航材料标准（ASM 4999）并于同年在世界上率先实现激光快速成形钛合金次承力结构件在F/A-18等战机上的验证考核和装机应用。在航天领域，NASA马歇尔航天飞行中心（NASA'S Marshall Space Flight Center in Huntsville, Ala.）于2012年将选区激光熔化成形技术应用于多个型号航天发动机复杂金属零件样件的制造，激光直接快速成形技术还常常被用于钛合金零件模具的修复^[6]。

我国钛合金结构件激光直接快速成形技术的研究，从2001年开始一直受到政府主要科技管理部门的高度重视，在

飞机、发动机等钛合金结构件激光快速成形制造工艺研究、成套装备研发及工程应用关键技术攻关等方面取得了较大进展。北京航空航天大学王华明主持的“飞机钛合金大型复杂整体构件激光成形技术”项目，该技术在航空领域被广泛应用。

2.2 钛合金精密旋压技术

旋托成形技术制造的构件解决了刚度低、颤动大、加工精度低等技术问题，应用于航天领域具有诸多优势。美国强力旋压生产的 $\phi 3900\text{mm}$ 大型导弹壳体，径向尺寸精度达到 0.05mm ，表面粗糙度 R 为 $1.6\sim 3.2\mu\text{m}$ ，壁厚差 $\leq 0.03\text{mm}$ 。美国钛制造公司采用 1.5m 立式旋压机旋压 $\phi 1524\text{mm}$ 的Ti-6Al-4V钛合金导弹压力容器封头，每个封头的旋压时间为 5min 。民兵洲际导弹第二级固体发动机壳体采用了Ti-6Al-4V材料，并用强力旋压成形，成形后的钛合金壳体重量减轻 30% 。围绕航天对轻质、高强、大型化的航天需求，德国MT宇航公司采用旋压工艺制备出 $\phi 1905\text{mm}$ 的高强Ti-15V-3Cr

合金推进系统贮箱，并应用于欧洲阿尔法通信卫星巨型平台，实现了卫星平台的大幅度减重，增加有效载荷目标^[7]。

我国的旋压工艺与设备的研究源于60年代初期，钛合金的旋压研究始于上世纪70年代，经过40多年来的发展，基本形成了从设备研制到工艺开发一套成熟的体系，国内航天所用钛合金及旋压制品，如火箭发动机外壳叶片罩陀螺仪导向罩、内蒙皮等，高钛合金用于发动机叶片热处理强化钛合金旋压成形^[8]。

结语

综上所述，较之大多数常用于机械生产、零件加工领域的金属材料来说，钛合金类的零件加工往往会面对更高的技术要求和更严格的质量限制。不过，假如能够结合实际情况，积极予以应对，还是能够在较大程度上保证其取得良好的生产加工工艺成果，并且依照加工需求，把机床、配置等都优化到合理的状态下，获得理想的钛合金工艺零件产品，满足各个行业的需求。

参考文献：

- [1] 孙攀攀,吴晓鸣,盛军,等.钛合金薄板类零件精度控制方法研究[J].新技术新工艺,2019(05):11-18.
- [2] 姜俊伯,吴锐.基于复杂形体钛合金零件的加工工艺探讨[J].内燃机与配件,2019(12):136-137.
- [3] 马波义,张宏.某薄壳钛合金零件加工工艺研究[J].数码设计.CG WORLD,2019(017):P.50-51.
- [4] 李维亮,周良明,唐林.钛合金典型特征加工工艺方案设计[J].机床与液压,2019(022):126-129.
- [5] 张海英,董登科,苏少普,等.后处理对激光选区熔化成形Ti-6Al-4V钛合金力学性能的影响[J].机械强度,2019(06):74-77.
- [6] [1]李艳春,张玉婷,宋美慧,等.选区激光熔化成形TC4钛合金技术研究现状[J].黑龙江科学,2020,v.11;No.167(04):27-29.
- [7] 张成,杨海成,韩冬,等.钛合金旋压技术在国内航天领域的应用及发展[J].固体火箭技术,2013(01):131-136.
- [8] 鲍芳芳,高威,冯新,丁贤飞,南海.基于专利数据的钛合金精密铸造技术研究概况[J].特种铸造及有色合金,2020(12):66-72.