

现代先进刀具 在钛合金上的应用

Application of Titanium Alloy for Modern Advanced Cutting Tool

瓦尔特(无锡)有限公司 赵正兴



赵正兴

瓦尔特公司机械加工、刀具应用工程师,主要负责产品工艺开发、加工刀具应用及指导客户正确选择和使用刀具。

钛是20世纪50年代发展起来的一种重要的结构金属,钛合金因具有强度高、耐腐蚀性好、耐热性高等特点而被广泛用于各个领域。世界上许多国家都认识到钛合金材料的重要性,相继对其进行研究开发,并得到了实际应用。钛及钛合金因具有优异的综合力学性能,在航空航天、

钛合金是难加工材料,使原来传统的刀具时,由于刀具结构、材料等因素,加工参数非常低,所以在钛合金结构件的加工上需要耗费大量的时间,在批量加工时需要占用大量的机床,形成一个加工瓶颈。随着现代刀具的发展,及人们对钛合金研究的加深,在钛合金的加工上有了越来越多的成熟经验,尤其瓦尔特公司在工艺方案及刀具加工上是强项。

船舶、石油、化工、兵器、电子等行业得到高度重视和广泛应用。

钛合金组成

钛是一种新型金属,99.5%工业纯钛的性能为:密度 $\rho=4.5\text{g}/\text{cm}^3$,熔点为 $1725\text{ }^\circ\text{C}$,导热系数 $\lambda=15.24\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,抗拉强度 $\sigma_b=539\text{MPa}$,伸长率 $\delta=25\%$,断面收缩率 $\psi=25\%$,弹性模量 $E=1.078\times 10^5\text{MPa}$,硬度HB195。钛合金的密度一般在 $4.51\text{g}/\text{cm}^3$ 左右,仅为钢的60%,一些高强度钛合金超过了许多合金结构钢的强度。

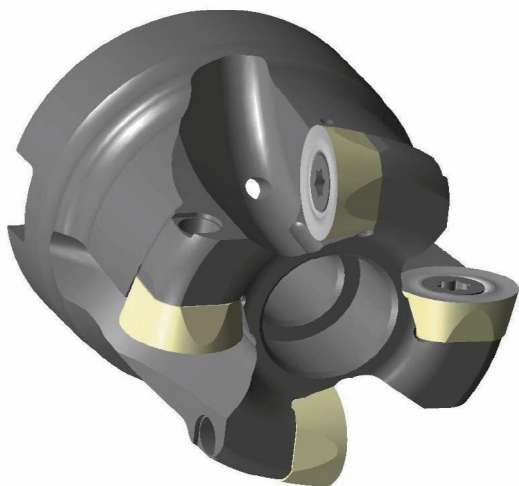
钛是同素异构体,在低于 $882\text{ }^\circ\text{C}$ 时呈密排六方晶格结构,称为 α 钛;在 $882\text{ }^\circ\text{C}$ 以上呈体心立方晶格结构,称为 β 钛。利用钛的上述两种结构

的不同特点,添加适当的合金元素,使其相变温度及相分含量逐渐改变而得到不同组织的钛合金。室温下,钛合金有3种基体组织,钛合金也就分为以下3类: α 合金、 $(\alpha+\beta)$ 合金和 β 合金,国内分别以TA、TC、TB表示。

钛合金的切削性能

钛合金材料具有比强度高、耐腐蚀性好(优于最好的不锈钢,且像钢一样易于铸造和锻造加工)等特点,是现代先进飞机受力件的首选材料之一。但是钛合金的机械加工性有诸多不利的特性,属于难加工材料,原因在于:

(1) 屈服极限和强度极限之比高达 $0.85\sim 0.95$ (钢仅为 $0.65\sim 0.75$),



F2334R

导致冷作硬化,增大冷作硬化层,降低合金塑性,加剧刀具磨损,在刀具选择上必须用耐磨、锋利的刀具。

(2) 切削温度高: 钛的导热系数 $\lambda = 15.24 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 约为镍的 1/4, 铁的 1/5, 铝的 1/14。由于钛合金的导热系数很小而各种钛合金的导热系数比钛的导热系数约下降 50%。切屑与前刀面的接触长度极短, 切削时产生的热不易传出, 集中在切削区和切削刃附近的较小范围内, 切削温度很高。在相同的切削条件下, 切削温度可比切削 45 号钢时高出 1 倍以上, 所以在加工钛合金时, 必须冷却要足够充分。

(3) 单位面积上的切削力大。主切削力比切钢时约小 20%, 由于切屑与前刀面的接触长度极短, 单位接触面积上的切削力大大增加, 容易造成崩刃。同时, 由于钛合金的弹性模量小, 加工时在径向力作用下容易产生弯曲变形, 引起振动, 加大刀具磨损, 不易保证零件的尺寸精度和形状精度, 刀具切削之后, 加工表面的回弹量很大, 为不锈钢的 2~3 倍, 造成刀具后刀面强烈的摩擦、粘附、粘结磨损。因此, 要求工艺系统应具有较好的刚性。

(4) 高温下的钛合金与空气中的化学作用很强, 在 300℃ 以上高温作用下, 钛合金易与大气中的 O_2 、

N_2 、 H_2 、 CO 等物质产生强烈的化学反应, 生成硬化层, 加速刀具磨损。

(5) 钛合金易粘附刀具, 这是因为刀具与切削单位接触面积压力增大, 使已加工表面产生回弹作用, 切削后的切屑与刀具表层材料产生“亲和”作用, 呈现粘刀—粘结—扩散过程, 加快刀具磨损。另外, 由于钛合金对刀具材料的化学亲和性强, 在切削温度高和单位面积上切削力大的条

件下, 刀具很容易产生粘结磨损。现代刀具的发展, 刀具表面都有涂层, 提高其耐磨性、抗粘结, 达到提高刀具寿命。

零件加工方案的制定

在大量应用钛合金的飞机上, 钛合金的比重占飞机的总重量超过 50% 以上。其结构一般为薄壁、小型腔结构为主, 要求表面粗糙度、精度高, 且一般厚度在 2~5mm, 在整个加工过程中金属去除量大, 可达整个毛坯材料的 90% 以上。

钛合金是难加工材料, 使用原来传统的刀具时, 由于刀具结构、材料等因素, 加工参数非常低, 所以在钛合金结构件的加工上需要耗费大量的时间, 在批量加工时需要占用大量的机床, 形成一个加工瓶颈。随着现代刀具的发展, 及人们对钛合金研究的加深, 在钛合金的加工上有了越来越多的成熟经验, 尤其瓦尔特公司在工艺方案及刀具加工上是强项。下面就瓦尔特刀具在钛合金 TC21 的加工方案及刀具做简要的探讨。

作为我国自主开发的高性能损伤容限型钛合金 TC21, 集高强、高韧、高模、优良焊接性能、损伤容限 5 大特点于一体, 相比国外同类材料具有更加优异的综合性能, 从静强度到损伤容限、从单一高性能到综合高性

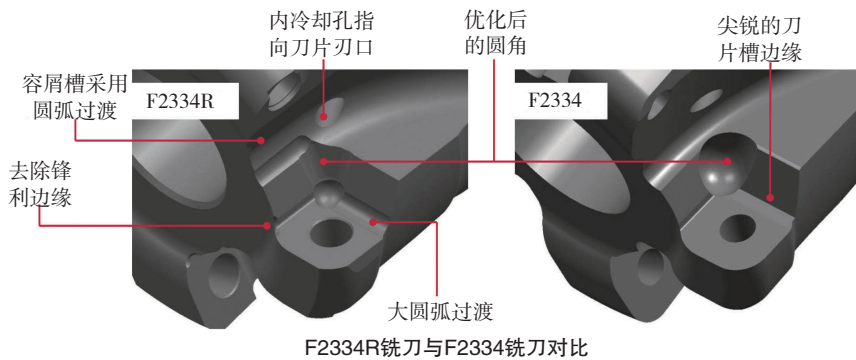
能的重大跨越。因此其机械加工比较困难, 所以在刀具选择上对刀具的锋利性、韧性、耐磨性提出很高的要求。

因为飞机上钛合金加工难度高、金属去除量很大, 刀具消耗非常多, 考虑到刀具成本, 在粗加工时, 首选可转位刀具, 可大大降低刀具使用成本。我们选用瓦尔特最新推出的 F2334R 系列圆刀片刀具加工, 刀体规格有直径 25~63mm, 根据工件的尺寸大小, 选择不同大小规格的刀具做粗加工。(1) 其采用增强型设计提高刀具刚性和加工的稳定性;(2) 径向正前角设计, 使切削更轻快, 消耗功率更小;(3) 优化的刀片座定位槽和排屑空间设计, 使刀片装夹更牢靠, 排屑更方便;(4) 满足高效生产的密齿设计, 提高加工效率;(5) 多种尺寸规格和接口设计。满足不同的加工状况要求。

刀片排屑槽选用瓦尔特新推出的 G77 槽型, 具有 20° 的前角, 锋利的槽型切削轻快, 特别适合钛合金类材料的加工, 可防止在加工过程中产生冷作硬化; 刀片精度高及与刀体的稳定结合减小了切削过程中的振动; WSM35 材质的韧性和强度都非常好, WSM35 材质 G77 槽型的刀片适合加工高强度的钛合金; 加上 Al_2O_3 和 ZrN 表面涂层, 结合了出色的基材韧性和抗高温磨损特性及抗脆裂特性, 有效防止刀片在切削过程中产生月牙洼磨损和积屑瘤, 大大提



RO型圆刀片



F2334R铣刀与F2334铣刀对比

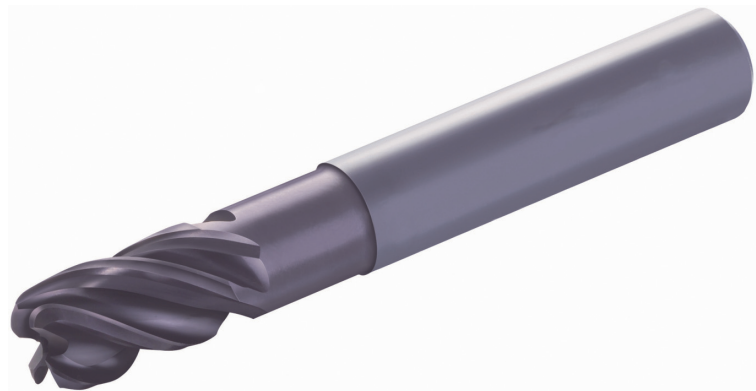
高刀片的寿命。

粗加工策略上选用层切法,留量在 1~2mm (根据工艺考虑)。考虑到其结构是薄壁件,切削受力不能太大及 TC21 的难加工性,选用每层切 1mm,结合瓦尔特刀具在钛合金上加工的经验及刀片材质的特性,线速度(V_c)在 30~35m/min,每齿进给量 f 为 0.45~0.55mm 比较合适,即保证加工效率,又兼顾刀具寿命。在有封闭型腔和工件转角的地方加工时,最好能先钻预孔,这样可以快速去除一部分余量,也为后续的铣削加工留下下刀点,保证在整个铣削过程的平稳性。在用层切法加工型腔时,不同的型腔的层切深度错开加工,以避免薄壁件的受力变形。

大孔可以选用瓦尔特的潜孔钻 F4213 系列,中心刀片选用最新推出的 WXP40 材质的刀片,周边刀片选用 WXP45 材质的刀片,特别适合不锈钢、钛合金等难加工材料;转角处小孔可以选用瓦尔特 TITEX 的 X.Treme Plus 系列合金钻头,其优良的切削性能,会取得良好的加工效果。粗加工型腔时,有了下刀点及预钻孔,可以保证在整个切削过程中切宽(A_c)、切深(A_p)恒定,及在转角处的切削余量均匀,有效保证切入和切出的平稳性,避免了垂直下刀及斜线铣刀的切削负载不稳定对刀具的冲击,保证刀具的寿命及产品的尺寸精度。

半精加工,留量为 0.3~0.5mm,用瓦尔特专门为钛合金加工设计

的 Prototyp Ti40 系列,直径范围为 12~25mm,配上不同的圆角,满足各种工件的加工需求;通过特殊表面处理的刀柄,提高了传递扭矩的能力,夹持的稳定性,保证加工的安全性;轴向冷却液出口,保证切削过程中冷却充分,提高刀具的使用寿命;经过磨削的圆弧,达到圆角尺寸精



Prototyp Ti40 刀具

度,保证产品的加工质量;40° 的螺旋槽加上微几何形状的刃口,实现轻快切削;通过对切削槽的匹配和抛光,以获得最优的排屑性能,降低积屑瘤产生的风险。瓦尔特 Prototyp Ti40 系列整体合金铣刀,具有粗壮的芯部,可以加大切削用量,提高加工效率;其不对称的刀刃设计,可以降低在切削加工过程在的振动,提高切

削的平稳性,加上表面的 ACN 涂层及后处理,提高了刀具的使用寿命。在做半精加工时,Prototyp Ti40 整体合金铣刀的线速度(V_c)可达 120m/min,每齿进给量 0.06mm,具有很高的加工效率和表面质量。

精加工用瓦尔特专门为钛合金加工设计的 Prototyp Ti45 系列,其 45° 大螺旋角,保证切削加工过程的平稳性和低振动;刀具刃口的微现代化处理,可以获得更好的加工表面质量;特殊的表面预处理,降低了积屑瘤形成的风险;刀具表面的 ACN 涂层,提高了刀具的使用寿命。据统计,Prototyp Ti45 铣刀在加工了 50m 的铣削长度后,产品的表面质量仍能达到 R_a 低于 0.5 的表面粗糙度。瓦尔特 Prototyp Ti45 铣刀, $\phi 16$ 的直径,

刃长可达 90mm; $\phi 20$ 的直径,刃长可达 100mm; $\phi 25$ 的直径,刃长可达 125mm,满足产品表面质量的要求。

在加工策略上,底部加工时,步距应为刀具直径的 75%,线速度可以达到 80m/min,每齿进给量 0.15mm;侧面加工时,线速度可以达到 140m/min,每齿进给量 0.08mm,这样可以获得最佳的表面质量。

综上所述,瓦尔特刀具在钛合金加工,特别是难加工的 TC21 上具有完整的解决方案。在实际应用中,成都飞机制造公司大量采用瓦尔特的刀具加工钛合金,并取得很好的效果。

(责编 亦非 良辰)



Prototyp Ti45 刀具