

钛合金切削加工特点及刀具材料选用

Characteristics of Machining Titanium Alloys and the Choice of Tool Material

沈阳理工大学机械工程学院 杜 敏 姜增辉 冯吉路



杜 敏

沈阳理工大学机械制造及其自动化专业硕士研究生,主要从事高速切削技术的研究。

钛合金以优异的综合力学性能、低密度以及良好的耐腐蚀性,被誉为是一种使人类走向太空时代的战略性金属材料,不仅在航空航天及军工领域得到广泛的使用,而且开始逐渐渗透到经济生活的各个方面。随着中国航空航天事业的发展,钛合金的加工技术受到更多的关注和研究。

钛合金的分类

钛合金按照不同的方法有不同

刀具材料的选择对于钛合金的加工有很大影响。加工钛合金的理想刀具材料必须同时具备较高的热硬度,良好的韧性、耐磨性,高的导热系数和较低的化学活性,在切削时,刀具还应具有良好的抗冲击性。

的分类,最常用的分类方法是按退火后组织特点分类,可分成 α 、 $\alpha + \beta$ 、 β 型钛合金^[1-4]。

α 型钛合金密度小,有很好的热强性和热稳定性,焊接性能好,室温、超低温和高温性能良好,但不能进行热处理强化。例如 TiAl 在 600℃ 时,仍然有很高的强度,而且蠕变性能、热稳定性、疲劳性能和断裂韧性等方面都有好的表现,常用于喷气发动机涡轮盘和叶片的制造。

$\alpha + \beta$ 型钛合金双相合金,组织稳定,韧性、塑性和高温变形性能随着 β 相稳定元素的增加而提高;有较好的热压力加工性,能进行淬火时效使合金强化,热处理后的强度约比退火状态提高 50%~100%;高温强度高,可在 400~500℃ 的温度下长期工作,其热稳定性次于 α 钛合金。 $\alpha + \beta$ 型钛合金中 Ti-6Al-4V(中国牌号 TC4) 是钛合金中使用量最大的钛合金,在美国,其产量占钛合金产

量一半以上,以其优良的综合力学性能和切削加工性大量用于航空零件制造^[5-9]。图 1 为钛合金航空发动机叶轮。

β 钛合金是 β 相固溶体组成的单相合金,室温的强度较高,冷加工和冷成型加工能力强,未热处理即具有较高的强度,淬火时效后合金强度得到进一步强化,室温强度可达 1372~1666MPa;但热稳定性较差,不



图1 钛合金航空发动机叶轮

宜在高温下使用^[10-13]。

钛合金切削加工的特点

钛合金本身所具有的物理和化学性能给切削加工带来了困难,具体表现有以下6点。

(1) 钛合金的导热性差,是不良导热体金属材料。由于导热、导温系数小,是45号钢的1/6,所以在加工时所产生的高热量不能有效扩散,同时刀具的切削刃和切屑的接触长度短,使热量大量聚集在切削刃上,温度急剧上升,导致刀刃的红硬性下降,刀刃软化,加快刀具磨损^[14]。

(2) 钛合金的亲合力大。钛合金在加工中黏刀现象严重。增大了刀体与工件的摩擦,摩擦导致大量的热,降低了刀具的使用寿命。

(3) 高的化学活性。在加工中,随着切屑温度的升高,容易与空气中的O、N、CO、CO₂、H₂O等发生反应,使间隙元素O、N的含量增加,工件的表面氧化变硬,难以加工,增大了刀具单位面积上所承受的切削力,刀尖应力变大,同时使前刀面和后刀面与工件的摩擦加剧,这将导致刀刃迅速磨损或崩刃^[15]。

(4) 钛合金的变形系数不大于1。在切削加工中,刀-屑接触面积小,增大了切屑和前刀面的摩擦,提

高了切削温度,加快了刀具前刀面磨损。

(5) 钛合金的弹性模量小,在切削中容易产生较大变形、回弹、扭曲和振动,造成加工件几何形状和精度差,表面粗糙度增大,刀具磨损增加。

(6) 不同的加工方法,钛合金的加工难度不同。按机械加工由易到难排序为:车削、铣削、钻削、磨削。其中钻小直径深孔更困难^[16]。

钛合金切削加工的刀具材料

钛合金加工的高成本是阻碍其广泛使用的主要原因,寻求一种高效率、低成本的加工方法已成为当今钛合金研究的热点。刀具材料的选择对于钛合金的加工有很大影响。加工钛合金的理想刀具材料必须同时具备较高的热硬度,良好的韧性、耐磨性,高的导热系数和较低的化学活性,在铣削时,刀具还应具有良好的抗冲击性。

当今在生产实际中用来加工钛合金的刀具材料主要有:硬质合金、聚晶金刚石(PCD)、聚晶立方氮化硼(PCBN)等。经过生产实际验证,硬质合金和PCD刀具被认为是加工钛合金比较理想的刀具材料^[17]。

1 硬质合金刀具

硬质合金刀具(见图2)是目前

加工钛合金应用最为广泛的一种刀具。因其低廉的价格、优良的导热性、较高的硬度、韧性和红硬性已成为国内企业加工钛合金的首选。硬质合金按晶粒的大小可分为普通硬质合金、细晶粒硬质合金和超细晶粒硬质合金;按化学成分可分为钨钴类(YG)、钨钴钛类(YT)和添加稀有碳化物类(YW)。由于钨钴钛(YT)类刀具和钛合金有强烈的亲和力,所以目前在工业生产中获得广泛应用的仍然是钨钴类硬质合金YG8、YG6、YG3等。如果使用添加的稀有金属的细晶粒硬质合金YA6、YD15、YG10H、YS2等,可提高刀具的寿命和加工效率。

硬质合金加工钛合金速度可以达到45m/min以上^[18],但当切削速度继续增加时,刀具和工件接触面的温度迅速升高,同时由于Co的熔点较低,在高的切削温度及元素扩散作用下,造成了刀具材料中W和Co元素的扩散和流失,降低了刀具的硬度和韧性,使硬质合金刀具发生严重的塑性变形、粘结磨损和扩散磨损,导致刀具失效^[19],因此,硬质合金刀具只适合切削速度小于75m/min的钛合金^[20]。

2 聚晶金刚石(PCD)刀具

聚晶金刚石刀具(见图3)具有极高的硬度和耐磨性、刃口锋利、低摩擦系数、高弹性模量、高导热系数、以及与非金属亲和力小等优点。

金刚石刀具主要有聚晶金刚石(PCD)刀具和化学气相沉积刀具(VCD)金刚石刀具。金刚石类刀具适用于钛合金的精加工和超精加工。金刚石的耐热温度只有700~800℃,加工时必须进行充分的冷却和润滑。试验表明^[21],在切削速度105m/min的情况下车削钛合金Ti-6Al-4V时,PCD刀具并没有发生粘结磨损,在刀具前、后刀面也都粘有较多钛合金,这些粘着物会被切屑慢慢带走,不会对切削刃带来损害,因为在刀具表面



图2 硬质合金刀具

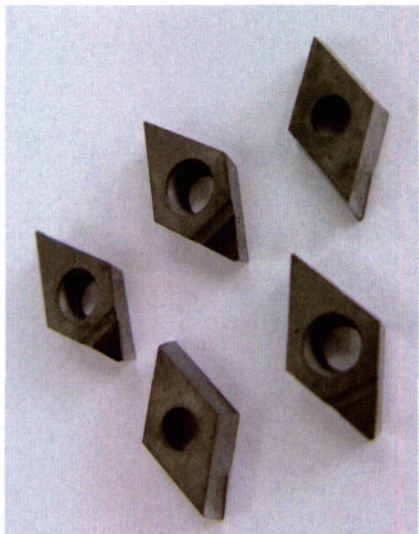


图3 聚晶金刚石 (PCD) 刀片

会形成一层薄薄的 TiC 层,这种 TiC 层很稳定,能很大程度降低 PCD 刀具前、后刀面的粘结和扩散磨损。但是由于 PCD 刀具刀尖锋利和切削温度高,在切削加工中更易发生微崩刃和石墨化引起的沟槽磨损。

3 聚晶立方氮化硼 (PCBN) 刀具

如图 4 所示为聚晶立方氮化硼 PCBN 车刀,PCBN 刀具的硬度虽然略低于金刚石,但却远远高于其他高硬度材料,而且 PCBN 刀具热稳定比金刚石高得多,可达到 1200℃ 以上,适合高温干切削。另一个优点是化学惰性大,与钛合金在 1200℃ 不起化学反应。

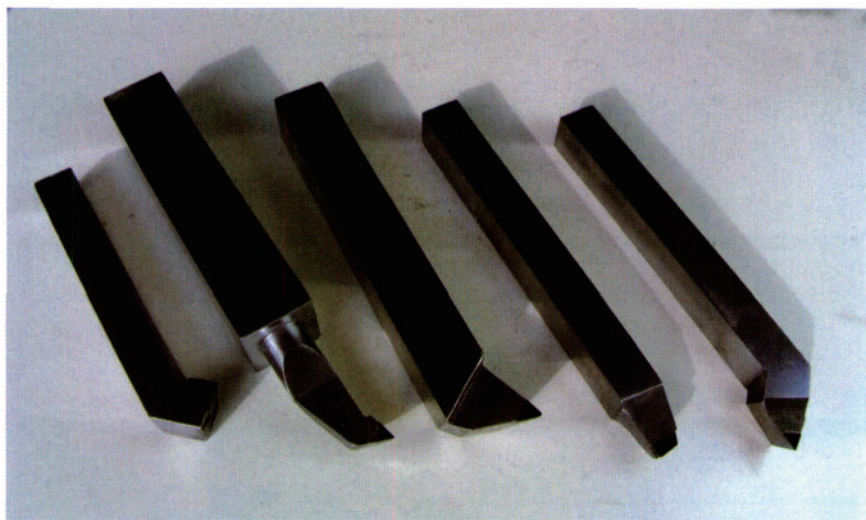


图4 聚晶立方氮化硼PCBN车刀

PCBN 刀具加工钛合金与硬质合金刀具相比,有着切削速度高、表面粗糙度低和刀具寿命长等特点,并且在高速、低进给量、低背吃刀量的条件下,有更长的刀具寿命和非常好的工件加工表面粗糙度^[22],因此 PCBN 刀具更适合用作钛合金的精加工,但由于 PCBN 刀具脆性很大,在切削加工中应重视刀具可能产生的破损和崩刃问题^[16]。

钛合金切削加工的一般原则

美国、日本、前苏联从 20 世纪 60 年代开始,由于军事工业和飞机制造业的需要,开始对钛合金的切削加工原则进行系统的研究,并获得了大量的成果。钛合金主要的切削原则有以下 5 点。

(1) 切削速度: 切削速度是影响刀刃温度的重要因素。过高的切削速度会导致刀刃过热、刀刃粘结和扩散磨损严重,刀具重磨频繁,会缩短刀具寿命。同时会导致钛合金工件表面层开裂或氧化,影响其力学性能,所以应在保证较大的刀具耐用度的前提下,选择适当的切削速度,降低成本,保证加工质量。

(2) 进刀深度和走刀量: 走刀量的变化对温度的变化不大,所以降低切削速度增大走刀量是合理的切

削方式。如果有氧化层和皮下气孔层的情况,大的切深可以直接切到基体未氧化金属层,提高刀具的寿命^[23]。

(3) 刀具的几何角度: 在切削钛合金时选择与加工方法相适应的前角和后角等几何参数并对刀尖适当的处理,会对切削效率和刀具的寿命有重要的影响。试验证明,当车削时为了改善散热条件和增强切削刃,前角一般取 5°~9°; 为了克服因回弹而造成的摩擦,刀体的后刀面一般取 10°~15°; 当钻孔时,缩短钻头长度、增加钻心的厚度和导锥量,钻头的耐用度可提高好几倍^[24]。

(4) 夹具的夹紧力: 钛合金易变形,夹紧力不能过大,特别在精加工工序时,可以选择一定的辅助支承。

(5) 切削液: 切削液是钛合金加工中不可缺少的工艺润滑油。切削液不仅可以有效降低切削温度,减少刀具和切削摩擦产生的热量,还可以充当切削过程的润滑剂,减少钛合金的切屑和刀具面的黏结,提高效率、降低成本,延长刀具的寿命。但不能使用含有氯或其他卤元素和含硫的切削液,这类切削液会对钛合金的力学性能产生不良影响^[25]。

结束语

综上所述,钛合金因其优良的性能在航空航天工业的使用比例逐年增加,但受切削加工成本高和加工效率低的影响,目前应用仍然受到较大限制。随着刀具材料的研发和加工工艺的不断完善,钛合金的加工效率会大大地提高,加工成本将会明显下降,从而在造船、汽车制造、化工、电子、海洋开发等领域拥有广阔的应用前景。

本文共有参考文献 25 篇,因篇幅所限,未能一一列出,读者如有需要,请向本刊编辑部索取。

(责编 小城)