

# 先进复合材料机加工解决方案

## Solution for Advanced Composites Machining

伊斯卡刀具国际贸易(上海)有限公司

随着新一代碳纤维增强塑料(CFRP)和层压材料向更轻、更强发展,性能不断提高,其在军用飞机和汽车等各个领域中的地位日渐突出。有人在《复合材料技术》2010年12月刊上撰文预言,“没有其他技术可以超越碳纤维增强塑料,帮助汽车制造商更快地实现轻量化的目标”。

作为一种工件材料,其由来已久的主要挑战是如何提高制造工艺,尤其是机加工。虽然应用于机身或轮船框架性能优异,但各类纤维增强环氧树脂、聚酯和乙烯基塑料硬度高、难切削,加工过程中不能出现一点异常偏差,且预加工附加值高,更不允许废品的产生。

新一代专用刀具纷纷涌现,解决了各类复合材料的最常见加工需求。例如,伊斯卡聚晶金刚石(PCD LINE)系列钻头和铣刀加工覆盖面宽,是经过实践验证的复合材料加工刀具。既有适合加工以铝合金为底层的较厚材料的钻头,也有适合加工以碳纤维增强塑料为底层的较薄材料的钻头。还提供一系列组合刀,如埋头螺钉孔组合钻头、钻铰刀、槽铣刀以及组合钻铣刀。可以说,从增强复合材料首次问世至今,第一次可以随时找到一款不折不扣的高性能刀具应对任何想象得到的复合材料加工任务。

目前,复合材料切削的首选刀具解决方案是,采用整体硬质合金为基

体,薄的PVD金刚石(PCD)涂层、钎焊PCD刀片或在切削刃处烧结PCD。在实际针对各种先进复合材料的成千上万应用中,伊斯卡的上述刀具比大部分其他同类产品(也包括CVD金刚石涂层硬质合金刀具)都要出众。材料越硬,增强纤维的密度越高,工艺改进的余地也就越大。

原因是显而易见的。仅从刀具的角度而言,整体硬质合金刀具具有保证工件尺寸精密公差、位置公差以及表面质量所必需的刚性和尺寸精度。整体硬质合金也使得切削几何结构优化成为可能,这样可以减小切削力、切削热、未切削纤维、杯突、拉丝、起毛等问题以及可更好地控制切屑。

薄的PVD金刚石(PCD)涂层(应用于整体硬质合金刀具或PCD刀片)使切削刃耐磨性更高,从而保障在较长的加工周期内刀具保持原有的几何结构。奥秘在于实现PVD的金刚石(PCD)薄涂层。它们不仅提供金刚石的耐磨性,而且有利于保持硬质合金刀具加工的理想切削几何结构。相比之下,CVD(化学气相沉积)涂层方式不可避免地形成了较厚的金刚石涂层,不利于几何结构优化。

### 主流复合材料加工刀具

如前所述,整体硬质合金基体金刚石增强钻头已被证明非常成功。

因为它们在加工复合材料时,能保持比普通整体硬质合金刀具更长久的锋利状态。

目前市场上有4种金刚石增强刀具适合加工复合材料。

(1)CVD金刚石涂层硬质合金,兼具金刚石的高耐磨性、硬质合金刀具的尺寸精度的优点。缺点是涂层较厚,可能降低切削刃的锋利性,甚至使得切削刃偏离正确的几何形状。

(2)PVD金刚石涂层硬质合金,兼具金刚石的高耐磨性、硬质合金刀具的尺寸精度的优点。切削刃更锋利,对切削刃几何形状的控制更佳。

(3)于整体硬质合金基体上,钎焊金刚石刀片,适用于仅对刀具前刃具有金刚石耐磨性要求的情况。

(4)高压整体烧结金刚石(PCD)整体硬质合金钻头,其特点为烧结金刚石(PCD)于整体硬质合金刀具刃槽中。

伊斯卡最近为解决复合材料和层压材料钻削问题而提出一种创新的解决方案,即采用变形金刚立铣刀(MULTI-MASTER)系列刀头。变形金刚系列可实现快换刀头,装卸快速,易于操作,且一支刀杆可夹持多种可换刀头。这种新式刀头结合了金刚石切削刃及针对复合材料而优化的刀具几何形状。采用此刀头可逐次进行粗加工、半精加工和精加工操作。其几何结构适合加工开放型腔、槽铣以及方肩铣。

另一个有前景的新产品是伊斯卡整体硬质合金钻铰刀(SOLIDRILL-REAM),结合了钻头和铰刀,可于一个工步中实现更精确的孔加工。该技术采用在同一个刀体上钎焊不同的PCD刀片来分步进行钻孔和铰孔加工。

### 复合材料早期的孔加工

孔加工主要指加工铆钉孔,是复合材料加工中不可避免的主要工序。由于固有的硬度和尺寸稳定性,纤维增强塑料无法分解在铆钉孔加工中因中心偏心而产生的错位应力。

早期解决方案主要依靠在具有偏置、插补编程功能的数控机床上采用整体硬质合金刀具加工定心孔。这实际上是一个轨道铣削过程,并不是真正的钻削,因为它使用比孔径更小的刀具。相对于钻削来说,采用此工艺路线确实能减少切削热并降低进给力。这也使得采用一把刀具来加工不同直径的孔及不规则型腔成为可能,并降低了刀具的库存成本。

但是刀具磨损仍然是个问题,这促使人们采用一种常见的“变通方案”:编程补偿刀具磨损。这种策略虽然可保证加工尺寸,但不利于被加工表面质量和切削热控制。

### 孔加工的改进

加工复合材料,以下是一些改善



钻铰刀

或解决孔加工难题的操作技巧。

保持较小的切削力,以最小化被加工材料的分层和切削应力。

加工铝制蜂窝结构或泡沫芯材料,采用硬质合金钻头即可。基材硬度越高,增强纤维的含量越多,采用使用金刚石涂层/金刚石刀片切削刃刀具的趋势就越大。

如果孔的尺寸允许,采用硬质合金立铣刀加工中心孔或选用带PCD涂层刀尖的变形金刚系列刀具进行插补铣,比采用直柄麻花钻效果更佳。加工浅孔,采用短粗的直柄钻头。加工较深的孔,需要为各种切屑考虑可靠的排屑方式。如果可能的话,需考虑“啄钻”。

速度和进给需要符合层压材料的每层材质要求。准备好为每一层的加工而改变钻削参数。

刀具几何结构参数的选择应该基于层压材料中的底层材料。如果底层为塑料,使用带锥角的锥形钻头。如果底层为铝或钛,使用带锋利切削刃的高剪切力钻头使得退刀更干净,余留更少的毛刺。锥形钻头只会粘结更多的铝屑。

当加工较厚的复合材料时,需要提防热量积聚以及切屑阻塞。选择更窄的刃带、更宽的排屑槽和较大螺旋角的钻头,以在工件过热前完成钻孔。

### 加工含钛复合材料时 注意事项

当层压材料中含有钛时,上述推荐的经验做法都变得不可取。为了避免加工硬化和过热,并控制切屑,最好选择小前角、小后角的刀具,采用低主轴转速。

总之,在刀具的选择上要充分考虑,包括金属层与塑料层的相对厚度和位置分布,这是一个平衡问题。金属层多的层压材料适合采用带内冷却功能的硬质合金刀具。如果以碳纤维复合材料为主,则选用PCD硬质合金刀具更合适。

要确定工艺能保证钛切屑被破碎至很小,并容易排出。用户一定不想冒钛切屑堵塞复合材料孔的风险。同样,最有效的补救措施是采纳更低的切削速度,采用啄钻方式加工。

### 复合材料的铣削

铣削复合材料,与钻削相似,也同样具有挑战性。如果刀具在同一时间需加工几个不同材料的层,需要考虑到所有因素并重新设计工艺。如果需要多次进刀完成不同材料层的加工,可能不得不更改参数以匹配各层。

这就是为什么伊斯卡设计了许多广受欢迎的铣刀。它们型号多样,专门针对CFRP和复杂层压材料的加工进行了优化。目前,针对端铣和方肩铣的粗加工和精加工,可选用优化的带金刚石涂层的伊斯卡整体硬质合金立铣刀(SOLIDMILL)。而立装自夹式槽铣刀(TANGSLIT)、蝴蝶槽铣刀(TANGSLOT)以及HELI2000等通用型可转位刀片现均提供PCD刀尖。上述刀具在机翼架、机身以及其他商业和军事领域的应用中,均赢得了广泛好评。

根据特定需求,伊斯卡可以为加工复合材料提供真空焊接刀具形式的定制解决方案。

### 不断更新

如果在过去的2年内没有重新了解过复合材料加工,将在这个蓬勃发展的行业内错过获得大幅提升生产率、获取更佳工件品质及更高切削刃寿命和提升竞争力的机会。在复合材料这个非常苛刻的加工领域,向一个经验丰富的全系列刀具供应商(例如伊斯卡)做先期咨询,用户就会更快、更好地找到答案,并使得生产效率获得大幅提升。

(责编 良辰)