

刀具

促进复合材料钻孔加工的发展

碳纤维增强复合材料 (CFRP) 具有极高的强度重量比, 并且在极端条件下具有稳定的材料属性, 因此在全球航天航空行业内有着广泛的应用。因为碳纤维材料和金属材料的机械性能有极大的差别, 在对紧固孔进行有效的钻孔加工时, 需要使用具有高耐磨性和优化槽型的切削刀具产品。

文 | 肯纳飞硕金属 (上海) 有限公司

在加工航天航空行业内的零配件时, 多晶金刚石 (PCD) 刀具要比传统的碳化钨硬质合金刀具具有更高的加工效率。一些领先的刀具制造商正在开发并生产 PCD 钎焊钻头产品。这些刀具产品的切削刃采用 PCD 材料, 钻体部分为整体硬质合金材料。硬质合金钻体有很好的刚性和尺寸精度, 确保钻孔的加工质量, 同时具有内部螺旋冷却通道, 螺旋式排屑槽可以提高冷却性能和排屑性能, 这些特性对钻孔加工是非常必要的。位于功能区的切削刃部分采用 PCD 材料, 具有极好的耐磨性, 提高加工效率。

刀具开发过程

为了开发一款高性能的 PCD 刀具产品, 应当在考虑综合因素的情况下进行深入的研究。这种开发过程不仅决定了刀具的性能, 还对刀具的加工效率和成本起到了重要的影响作用。在生产用于复合材料加工的合成金刚石钻头产品时, 有 4 种主要技术可以应用:

(1) CVD (化学气相淀积) 金刚石涂层钻头

整体硬质合金钻在最后一个工

艺经过 CVD 金刚石涂层处理。这是一种成本效益很好的产品, 但刃口锐度受到了涂层厚度的影响。此外, 因为硬质合金基体部分和金刚石涂层部分的硬度不同, 这款产品吸收冲击能量的性能不佳。防崩刃性能也很有限。

(2) PCD 镶刃钻头

圆锥型的 PCD 材料按照特点钻尖槽型烧结至较小尺寸的硬质合金基体之上。然后, 将这些半成品钎焊至整体硬质合金钻体之上。为了处理硬质合金和 PCD 联接面之间的高应力问题, 这款 PCD 产品在 PCD 材质优化方面受到了限制。后烧结工艺还会导致成本高昂, 因为需要去除非功能区的金刚石材料, 还要增加内部冷却孔。

(3) PCD 纹络钻头

在整体硬质合金棒料之上预先加工的槽内填入 PCD 粉末原料, 然后经过高温、高压处理形成 PCD 排列结构。在经过高温、高压过程之后, 对棒料进行剪切后钎焊至钻体之上, 最后按照规定槽型进行磨削处理。这种 PCD 纹络技术可以制造复杂槽型, 以及具有高正前角外形的刀具产品; 与 PCD 镶刃刀具产品相比,

只需较少的磨削处理。这种刀具受到尺寸限制, 因为要对复杂 3D 槽型进行高温、高压处理。此外, 因通常需要使用高钴成分的材料, 因此也降低了 PCD 材料的硬度和耐磨性。

(4) PCD 钎焊钻头

最成熟的 PCD 钻头加工技术为 2D 技术, 对于较小尺寸刀具, 可以使用一种特殊的硬质合金和 PCD 夹层材料; 对于较大尺寸刀具, 可以使用纯 PCD 钻尖材料。这款产品在槽型方面有严重的缺陷, 因为很难增加一个用于复合材料加工的前角。3D 钎焊需要多个所需材质的 PCD 刀座, 并且微观结构应按照规定切割为螺旋形状。在整体硬质合金钻头上应磨削出一个对应的螺旋槽, 以安装 PCD 刀片。与 PCD 镶刃产品相比, 这款 3D 钎焊产品只在功能区采用 PCD 材料, 大大增加了加工性能。这项 3D 钎焊技术被用于开发本文所述的 PCD 测试钻头。

优化的刀具槽型

在对复合材料 / 钛材料层叠板进行钻孔加工时, 选择优化的刀具槽型非常困难, 因为这两种材料在切削过程中表现出不同的特性。CFRP

材料的钻孔加工通常需要大螺旋角和长切削刃，因为碳纤维应当沿着切削刃发生剪切作用。长切削刃通过小钻尖角而实现。此外，CFRP材料的钻孔加工还应降低轴向力，以避免在退刀时发生加工材料层裂现象。这些特点可以形成非常锋利的切削刃槽型，同时也减小楔块角度。后角可以高达 20°，螺旋角约为 30°。钛材料的切削原则上也可使用锋利的切削刃，但与 CFRP 材料的钻孔加工相比，需要一个更加稳定的楔块角。钛材料加工中的刀具后角通常在 8°~14° 之间的范围。与钢材料加工相比，这些后角通常更大，因为后刀面上的热量应当尽可能降低，以减少刀侧面磨损的形成。大后角与典型的 30° 螺旋角结合应用时，会明显降低切削刃的强度。螺旋角

表 PCD 材质刀具寿命的三次测试结果

	G4	KD1415	KD1425
测试 1	28	68	56
测试 2	123	71	62
测试 3	81	88	16
平均	77	76	45
偏差 (+/-)	(46/49)	(12/8)	(17/29)

已减小至 15°~20° 范围，从而可对大后角做出平衡。

为了实现孔径紧密公差，钻头应当具备卓越的自定中心性能，这一点是绝对必要的。从另一个角度而言，钻尖角度对毛刺的形成也起到重要的影响。钻尖角在低 90° 或高于 150° 时，可以帮助降低钻孔出口处的毛刺高度。因此，钻尖角为 155° 的钻头适合钛材料加工的需求，但定中心性能不好。所以，推荐使用双钻尖角设计方案，其中内部钻

尖角为 130°，外部钻尖角为 155°。与普通应用的长切削刃钻头相比，这款钻头产品的整体钻尖高度较低。因此，第三条和第四条刃带可以很快接触材料，有益于形成更紧密的孔径公差。

在对 CFRP/ 钛层叠板材料进行加工时，可以通过密封的内部冷却通道进行微量润滑 (MQL)，在促进润滑的同时还可以降低在钛材料加工中形成的高热，因为这种材料的热传导率较低。在使用 PCD 刀具

傲马水切割

五轴斜度切割头

- A-Jet五轴斜度切割头，可实现0-60° 坡口切割，或用于锥度补偿
- 用户可使用A-Jet切割带有坡口的孔，或图形，适用于金属焊接破口加工



EXPERIENCE.
INNOVATION.
QUALITY.

扫描二维码，关注“傲马水切割”官方微信

▲反馈服务编码M4953

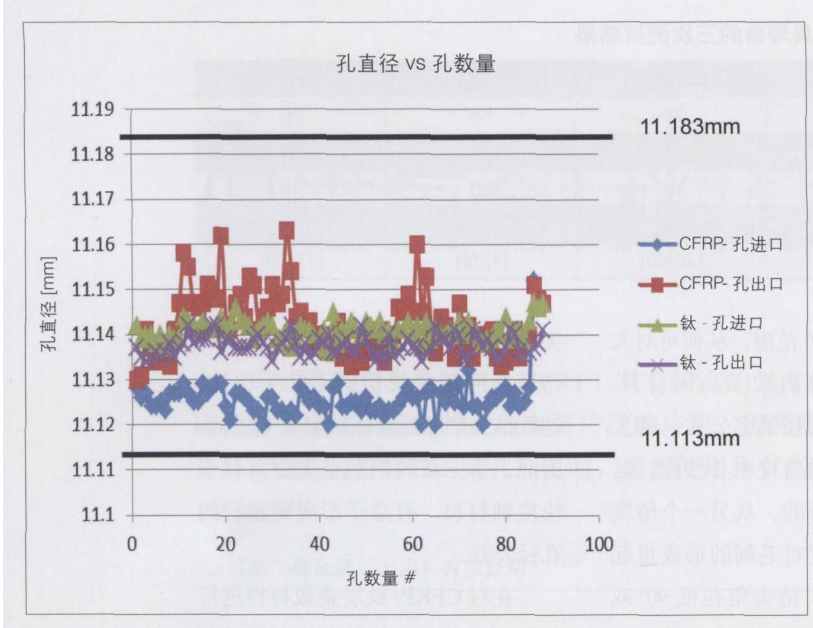


图1 一款PCD刀具加工钻孔数与孔径的对比

测试表明，PCD钻头在使用寿命即将结束时的主要失效模式是钻尖出现崩刃；硬质合金钻的失效模式表现为毛刺高度超限。在这次测试中，所有钻孔都符合钻孔质量要求。

钻孔尺寸

图1所示为测试PCD刀具的钻孔加工尺寸。在对每个钻孔检测时，孔径的测量位置选择在4个不同的位置；两个在CFRP板材部位，两个在钛板材部位；分别对应在钻孔进口表面和出口表面。

可以看出，位于钛板材部位的钻孔质量非常好，尺寸在规定公差值的中间范围，上下浮动范围很小，为10μm。钛板材钻孔入口处和出口处的尺寸非常接近。但在CFRP板材部位，钻孔入口处和出口处的孔径差较大。这种现象是因为在排屑过程中，切屑对钻孔避刮擦造成的结果。对于减少切屑的刮擦，以及增加钻孔尺寸的一致性而言，提高切屑控制性能是非常必要的。仅依靠刀具设计而提高切屑控制性能是非常困难的。在加工实践中，一种成熟的工艺是增加啄钻操作，或是通过振动支持钻孔操作，以实现控制切屑长度并减弱切屑刮擦效果。

进行钻孔加工时，微量润滑是绝对必要的；否则切削刃部位形成的高热会导致石墨化，或相应形成碳化钛。这种反应会形成排屑槽部位出现化学磨损，最终会导致排屑槽内的PCD材料崩裂。

实验性研究

这款开发的PCD刀具产品经过了实验性测试，目的在于评估在规范应用中最合适的PCD材质和刀具槽型。测试过程中的刀具设置和切削参数如下：

(1) 测试刀具：PCD钎焊钻头，直径为11.113 mm，三种不同的PCD材质（G4、KD1415和KD1425），未经涂层处理相同槽型的钻头。

(2) 测试材料：包括一块厚度为8.7mm的购置CFRP板材（Isocarbon 3k），并与一块厚度为10.8mm的Ti-6Al-4V板材牢固地层叠在一起，使用测试刀具进行通孔加工，从CFRP侧进刀，从钛板侧出刀。

(3) 机床刀具及冷却剂：一台CNC加工中心（Heckert CWK 400），水平主轴，主轴贯通式微量润滑方式（Vascomill MMS FA2）。

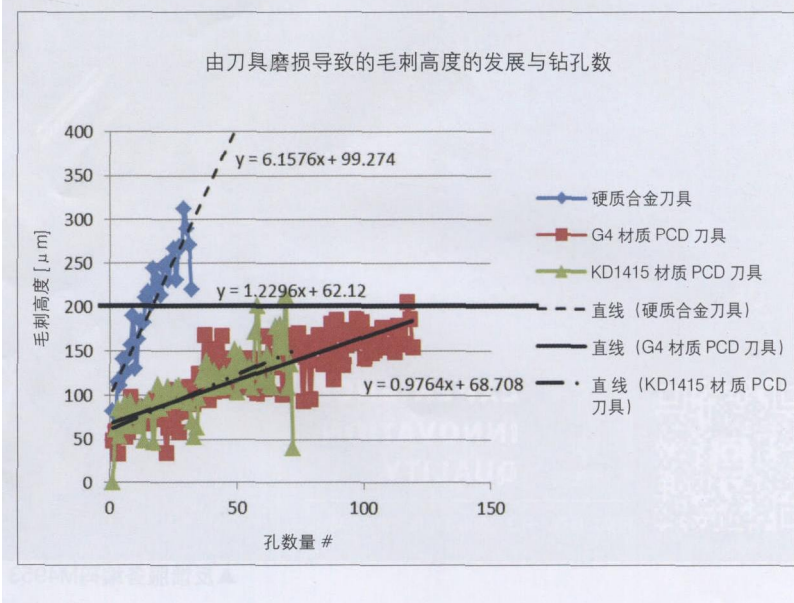
(4) 切削参数：切削速度

为20 m/min（65 SFM），进给率为0.05 mm/r，同时适用于CFRP和钛材料加工，不使用啄钻加工法。

(5) 刀具检测：为了监控刀具磨损过程，在完成4个孔的钻孔加工后，使用显微镜对钻头进行检测。在完成24个孔的钻孔加工后，在扫描电子显微镜下观察刀具的磨损结构。

(6) 钻孔测量：在完成所有加工测试后，对测试材料进行清洗和标注。对所有钻孔进行检测。对4个孔的内部进行直径测量。同时，还对钛板材底部出口孔表面的毛刺高度进行测量。

图2 因刀具磨损导致的毛刺高度发展过程与钻孔数的对比情况



测试结果表明,在此展示的新型钻尖产品可以加工出 H10 公差等级的钻孔尺寸。在优化加工条件以及加工过程稳定的情况下,甚至可以实现 H8 公差等级的钻孔尺寸。不能证明钻孔质量与切削刃材料有必然关系。相同钻尖槽型的 PCD 钻头和硬质合金钻头的钻孔加工质量是相似的。

毛刺

在探讨与毛刺高度控制和磨损结构相关的钻孔结果时,可以清晰地看到不同切削刃材料产生的不同结果。图 2 所示为一款硬质合金刀具和两款 PCD (KD1415 和 G4 材质) 刀具钻孔加工时毛刺高度的发展过程与钻孔数的对比情况。

可以看出,硬质合金钻仅完成 14 个钻孔加工之后,在钛板材出口处的毛刺高度就明显增加;而两款 PCD 刀具在加工过程中,首次出现毛刺超过规定的钻孔分别是第 57 个钻孔和第 117 个钻孔。

从理论上讲,毛刺高度的发展过程与刀具钻尖部位的磨损紧密相关。这一点可以在硬质合金刀具和 PCD 刀具的对比中显明,因为这两种材料的硬度有很大的不同;所以,PCD 刀具钻尖处的磨损发展过程较慢。与硬质合金钻相比,PCD 钻的钻尖磨损要少得多。这三种 PCD 材质的磨损发展情况区别很小。PCD 材质的主要磨损类型为切削刃/钻尖部位的崩刃。

表中对这三种 PCD 测试材质的刀具寿命做了综合对比。可以看出,G4 和 KD1415 材质在刀具平均寿命方面非常相似。KD1415 在刀具使用寿命的稳定性方面表现更好,并且因为机械加工性能更好,可以减少制造成本。

结论

我们开发了三款采用不同 PCD 材质以及优化槽型的 PCD 整体硬质合金钎焊钻头产品,并对这些产品进行了测试。测试结论如下:

(1) 在 PCD 刀具制造过程中,3D 钎焊技术允许刀具采用灵活的螺旋角角度,因此也可以采用大前角设计方案。与 PCD 镶刃产品相比,3D 钎焊产品因为去除了刀具功能区表面的 PCD 材料,所以具有更好的机械加工性能。

(2) 这款开发的 PCD 钻产品采用优化的刀具槽型(双钻尖角度、螺旋槽、内部螺旋冷却通道、大前角),因此可以加工高质量的钻孔(钻孔尺径及毛刺高度控制)。

(3) 与未经涂层处理的整体硬质合金钻相比,PCD 钻在使用寿命方面有显著的改善。

(4) 所有测试 PCD 刀具具有相同的磨损形态,从前刀面出现细微裂缝开始,最终会因钻尖崩刃导致突变性失效。

(5) 在刀具寿命稳定性和机械加工性能方面,KD1415 要比 G4 和 KD1425 材质有更佳的表现。所以,KD1415 是最适合本文所述加工应用的材质。**MM**

ARISON
EVERYTHING FOR CUSTOMER
艾瑞森涂层

卓越
严谨
高效
创新

Activate
the surface energy

昆山市千灯镇卫泾路518号
No.518 Weijing Road,Qiandeng
Kunshan 215343, China

Tel: +86 512-3683 0678
Fax: +86 512-3683 0677

全国客服热线: 400 705 9580
www.arison.com.cn