

刀具

专用难切削材料的刀具

现代高效产品要求采用同样讲究的材料。针对此类材料的加工，也对所采用的刀具的特性提出了一些特别的要求。“现成”技术方案无法提供很多帮助，因此需要进一步强化研发工作。对此，既要刀具结构进行设计，也要对切割材料和涂层进行优化。本文重点对淬火工具钢、钛金属和CFK 复合材料材质的刀具解决方案进行介绍。



更多精彩内容请扫描二维码

文 | Klaus Vollrath

“在工业加工领域，目前的发展趋势是与日俱增的难加工材料的应用和刀具所受负荷程度越来越大。”位于 Oberkochen 地区的 LMT 公司的顾问 Diethard Thomas 博士说道。今天所采用的材料较以往更加难以加工。特殊的挑战来自于对硬度较大，直至 68 HRC 的钢材、钛金属材料及复合材料的加工，尤其是高科技应用场合所需的碳纤维复合材料 (CFK)。属于此类挑战的还有使用越来越普遍的不锈钢，因为在加工这种材料时会产生不利于生产的切屑。



图 1 针对 CFK 碳纤维复合材料铣削加工的 VHM 微型铣刀和转位刀具

对加工策略的优化至关重要

较高或很高硬度的材质要求较高的切削力和较大的刀片负荷，同时所产生的热量也会较大。仅仅通过改进切削刀具的材质特性并不能解决问题；更需要做的是对刀具结构设计、大阻力切割材料和相应涂层进行智能化的综合整改。此外，对加工策略的优化也显得非常重要，例如长短辐旋轮线铣削工艺。

在铣削高强度材料时，通常会考虑缩小切削角度和准备出相应的切割边缘。通过准备出合适的切割边缘，刀片的稳定性可以得到增强。另外一个结构性的措施便是放大边角的半径，这是因

为刀片边角所受到的机械载荷和热载荷最大。因此，锐边的出现会导致刀片提前磨损。在刀片材质种类方面，只要是设备的状态稳定，就可以选择具有很高 K 类热硬度的微粒硬质金属材料。

刀具制造厂商所面临的挑战是非匀质材料结构的复合材料。在把 CFK 与例如铝材相复合的结构部件铆接成所谓的垛材时，必须对板材进行钻孔、铰孔和倒角。迄今为止需要采取三道工序和最多用到三种不同的刀具。现在，LMT Berlin 公司对此研发出了一种刀具，采用这种刀具只需一个工序即可完成加

工。这种带有 PKD 刀片的“One-Shot-Drill”（一枪钻）以拥有作业安全的多功能而见长，它可以避免喷溅、毛刺生成和分层现象。

“对现代难加工高效材料的相应切削刀具的研发工作实际上需要讲究勤奋。”位于 Düsseldorf 地区的 ZCC 公司产品经理 Nobert Reiche 解释说。在这方面并没有捷径可走，而是需要坚韧不拔和对细节问题持续进行优化的协作精神，例如切割材料的成分、涂层方式和结构以及刀片的外形与布置等问题。对此需要与用户、Düsseldorf 总厂里的硬



图2 带有 ISO 转位刀片，用于对钛金属进行粗加工的套式立铣刀。各齿排采用不同的刀片尺寸可以确保新型铣刀的良好性能

质金属技术专家、涂层技术人员和应用实验室进行紧密合作。

避免分层是 CFK 铣削中面临的一个挑战

对 CFK 材料进行铣削时所面临的特别挑战之一便是如何避免分层的问题，即复合材料里有一部分纤维被扯出。在这方面，刀片的几何外形非常重要。单纯降低 6 mm 直径范围内的刀片的几何外形尺寸的做法并不奏效。在这个范围内，ZCC 公司对自行研发直径小至 0.8 mm 的 VHM 微型铣刀上拥有专门的技术诀窍。这种铣刀通常可以被应用到高档汽车和跑车的 CFK 部件的加工场合上。对可以使金刚石涂层达到极佳附着力的高效硬金属合金的研发也是非常重要的。它对刀片的耐久性有着决定性的影响。

ZCC 公司也在钛金属材料加工（例如航空航天）领域里潜心研发。钛金属合金具有冷硬化倾向并可构成具有黏结特性的长条切屑，冷硬化现象会导致刀具快速变钝。此外，尤其是在切削螺纹

时，钛金属典型的弹性和强度特征会造成刀具“卡壳”。

在加工航空航天所需的钛金属结构件时，往往需要达到一个很高的切削容量，切削速率成为了一个很重要的竞争力指标。另一方面，在钛金属加工上也要战胜极大的挑战。钛金属合金的范围很广，在可加工性方面也存在着各种不同之处。从传统的 Ti6Al4V 到诸如 Ti10-2-3 或 Ti5553 等的强度更高的合金。Ceratizit 公司也是本领域里的一家专业化公司。这家切削加工厂具备粉末冶金和应用技术的加工能力。无论是针对涡轮铲斗的高合金钢、耐高温材料，还是钛金属合金材料。

钛金属的热导性能较差，因此切削刀具的热负荷会加大，刀具的磨损风险也会变得更大，这是因为刀具受到的热负荷会加大。另一个因素便是钛金属的润滑性倾向，因此切屑很容易会与转位刀片焊接在一起，会在再次进刀时会与刀刃周边产生烧结现象。

针对各种不同的加工任务，研发出相应类型的刀具产品。转位铣刀在大物料量加工场合可以达到极佳的效益，因此它通常是粗加工场合的首选刀具。而 VHM 刀具则主要适用于半精加工和精加工，其主要任务当然也是这些方面，例如曲率半径很小、镂空和槽口尺寸很窄而无法采用转位刀具等场合。容屑槽数大和轴向切削率高等，均属于这种刀具的固有优点。

切屑的安全排放决定了生产流程

Mapal 公司针对钛金属内置结构件的挑战性加工，研发出了一种创新型的带有 ISO 转位刀片的套式立铣刀。据 Mapal 公司介绍，齿排上采用各种不同刀片规格，可以使这种新型铣刀达到很高的性能。“由于材料的可锻性强，刀片会经受到比诸如铸件加工更大的负荷。径向安装方式可以帮助刀片经受住这种负荷。”该研发项目的高级项目经

理 Axel Fleischer 解释道。在研发工作中，除了刀片及其最佳的安装角度之外，铣刀的基体也至关重要。对经过硬化和镀镍处理的特种工具钢的选择，是影响到铣刀基体功能的一个重要因素。

对内部冷却剂的输送作了彻底的优化，每个刀片均单独接受冷却剂的供给。最佳设计的冷却剂输送路径与经过抛光的大容量切屑腔室可以确保切屑的安全排放。在研发过程中，切屑腔室的结构设计虽然显得有些繁琐，但是对于铣刀的成功应用来说，则非常重要。这是因为在切削率很高的情况下，确保流畅的切屑排放是至关重要的。

各个部分的优化结果汇总起来的效果究竟如何，最初的实际试验结果可以给出答案。“航空领域里的一个客户对采用新型 Mapal 钛金属加工铣刀所能达到的数值非常满意。”这家位于 Aalen 地区企业的项目负责工程师 Jens Ilg 说。在加工 TiAl6V4 钛合金部件时，采用了两款直径分别为 50 mm ($Z=4$) 和 63 mm ($Z=5$) 的新型铣刀，其最大切削深度为 30 mm，每齿在全断面切割时的进给量为 0.15 mm。

在航空航天领域，大约有 1/3 用于铆钉和螺栓紧固的复合材料孔是通过手动工具进行打孔的。因此，在设计刀具时需要特别重视对手动工具所存在的无法避免的定位与稳定性方面的不良影响进行补偿。

尤其是当刀具发出侧向楔入力或需要耗费很大的垂直力时，孔的质量、生产率和员工的注意力都会受到不良的影响。此外，在刀具发生断裂时，孔的下部便会产生毛刺、破裂和分层。倒角往往也会受到损坏。对钻孔的典型要求是粗糙度 $R_a < 4.8 \mu\text{m}$ ，整个范围内的分层程度为 $< 1 \text{ mm}$ 且无剥落现象。如果是金属包覆的情况，则粗糙度要求为 $R_a < 3.2 \mu\text{m}$ ($< 1.6 \mu\text{m}$ ，金属范围)，孔的误差范围为 $\pm 0.02 \sim \pm 0.04 \text{ mm}$ ，而 CFK 的误差范围则为无切屑损伤现象出现。MM