刀具

航空工业中的解决方案

在航空工业中，对轻质飞机及更佳的燃油效能喷气发动机的持续追求，带来了新材料的变革，如镍基合金、钛合金、复合高强度铝合金、复合材料等。轻而坚固的飞机材料不易加工，但它们却因其固有特性成为了航空工业领域的理想材料。切削刀具制造商则需持续开发适用于此领域的先进刀具，以实现高生产率。

文 | 伊斯卡刀具国际贸易（上海）有限公司

在许多航空航天应用中，钛及钛合金正在取代传统的铝合金。新一代飞机需要充分利用钛合金的性能，无论是商用机还是军用机市场，都正在推动对钛合金的需求。波音 787、空客 A380、F-22 猛禽战斗机、F-35 联合攻击战斗机等新机型都采用了大量钛合金材料。

钛合金具有高强度、高断裂韧性以及良好的抗腐蚀性和可焊接性。随着飞机机身越来越多地采用复合材料，钛基材料用于机身的比例也将日益增大，因为钛与复合材料的结合性能远远优于铝合金。钛合金极高的强度 / 密度比为减轻大型构件的重量提供了解决方案，以及其固有的高耐蚀性可以节省飞机日常运行和维护保养的成本。

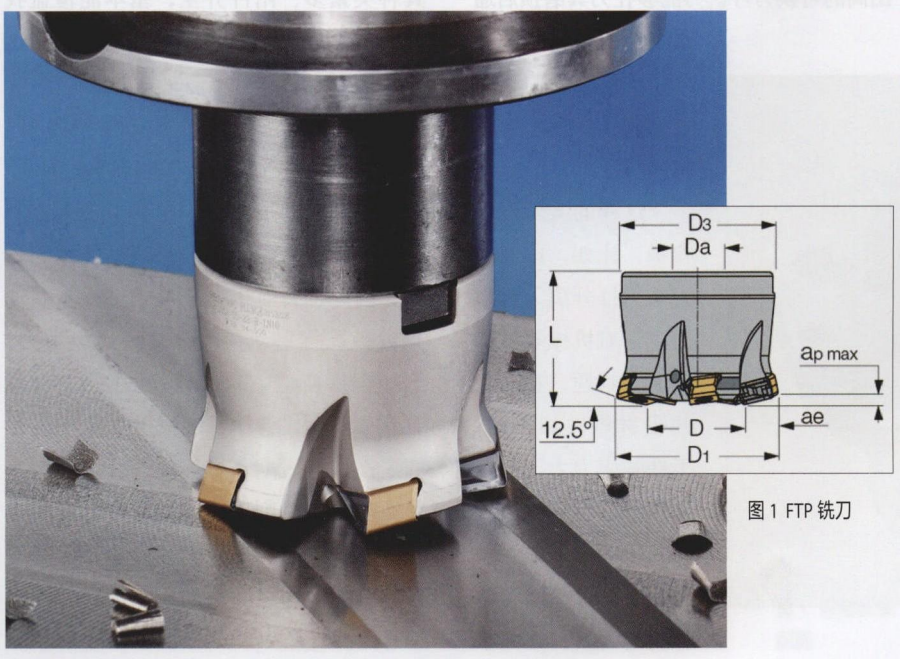

图 1 FTP 铣刀

传统的钛合金材料已经不能适应航空工业更高的发展要求，国内外不断地研制出各种强度更高、各方面性能更优秀的钛合金，比如 TI5553、TC18、TC40 等，这些钛合金很好地促进了航空工业快速发展的需求。

钛合金通常认为属于难加工材料，典型钛合金的金属去除率仅为大多数普通钢或不锈钢的 25% 左右。随着各种难加工钛合金材料在航空工业中的普遍使用，按照现有加工水平，零件的加工制造周期进一步延长，完全不能满足现在航空工业的新机型日新月异的要求。为了满足航空制造业对钛合金加工日益增长的需求，制造商需要增加生产能力，因此需要更好地理解钛合金加工策略的有效性。典型的钛合金工件的加工是从锻造开始的，直到约 80% 的材料被去除而获得最终的工件外形。

随着航空零部件市场的快速增长，制造商们已经感到力不从心，加上因钛合金工件加工效率较低而增加的加工需求，导致钛合金加工能力明显处于紧张状态。由于这些工件通常是由

新型合金制成，因此需要改变加工方式和刀具材料。

起落架加工实例

以典型的钛合金零件——某飞机起落架为例，来说明加工刀具的改进对提高加工效率和降低加工成本的有效性。该起落架材料为某新型钛合金，加工难度非常大，传统刀具加工一件零件大概需要 1 个月，而且由于零件难加工，导致刀具磨损非常快，刀具成本居高不下。在这种状况下，用户急于寻求一种既能大幅度提高加工效率又能降低加工成本或者不提高加工成本的刀具。

针对用户的现实需求，伊斯卡（ISCAR）提出了大进给铣刀解决方案。FTP 铣刀是伊斯卡公司在 HTP 插铣刀基础上开发出来的一款新型刀具，可同时满足插铣和大进给铣削两种铣削方式的要求，而且切削轻快。针对航空难加工零件材料的加工，伊斯卡开发了 ER 槽形及更适合加工钛合金等难加工材料的 IC830 硬质合金涂层牌号。采用直径 63 mm 的 FTP 大进给铣刀，共 6 个有效齿，每个刀片 4 个切削刃。刀具可以实现平面铣和坡走铣，具有在铣削余量不大于 1.8 mm 的情况下实现快速走刀，最大每齿走刀可达到 1.5 ~ 2 mm 之间。

由于刀片正反面均带切削刃，刀片进行了加厚处理，定位面被分成了几个小平面，位于刀片侧面并与前刀面形成燕尾槽结构，使得刀片装入刀体时更加地牢固，增加了刀具刚性，可以承受更大的切削力，实现更大的进给，同时减小切削振动对刀具寿命的影响。

相比于传统的带两个切削刃的 APKT 刀片，FTP 铣刀片每刀片带 4 个大进给切削刃更经济；刀片及切削刃槽形的特殊设计，大幅提高了刀片定位强度及刀片自身强度；切削过程更平稳，切削力更小，刀具在实际切削过程中产生的切削热更少，大幅提高了刀具切削刃的正常使用寿命，每个切削刃的使用寿命达到竞争对手的 3 倍左右，从而有效降低了刀具的成本。

图 2 飞机框架零件加工方案

机匣类零件解决方案

涡轮机匣零件，从工件材料上分析，大量采用了变形高温合金、铸造高温合金等难加工材料。这些难加工材料导热系数小、比强度大、切削温度高、易产生加工硬化。切削时刀具磨损快，刀具寿命短，刀具消耗量大。从工件结构上来看，壁薄、刚性差，难加工。加工零件凸起部分，刀具系统容易与零件、夹具干涉。刀具悬伸需要适当加长，增加了振刀的风险。所以必须对刀具路径进行优化，如采用插铣和快速走刀加工代替正常的侧面铣削，使刀具在加工中的受力状态发生了改变，由原来刀具主要承受侧向力转而承受轴向力，刀具的刚性大大增加，有效减少了刀具在切削过程当中出现振刀的可能，切削参数选择的空间更大，提高了加工效率。从机床的选择上来说，涡轮机匣需要在大功率的加工中心上加工。从加工工序上分析，机匣需要经过粗加工、半精加工、精加工。为了节省刀具费用，在制造这类零件时，粗加工、半精加工和精加工需采用不同的有针对性的刀具，可显著提高生产效率。从加工经济性方面上来说，刀具配置方案需要不断改进，尽量采用刀具商最新研发的产品。

针对用户需加工零件状态结合机床条件，铣削加工是这个零件的关键加工工序。零件材料为镍基高温合金，铣削加工难度非常大、加工余量大、加工时间长、刀具费用居高不下。针对这个零件的铣加工特点，伊斯卡制定了完整的粗加工和精加工方案。在粗加工阶段尽量采用伊斯卡新型的大进给刀具，选用针对高温合金材料铣削的合适刀具槽形，和最先进的针对高温合金的刀片牌号。充分利用用户现有机床的潜力，尽一切可能提高加工效率，降低刀具消耗成本。在精加工阶段，考虑零件实际型面及零件最终刚性，合理选取适合的刀具规格，选用合适的刀具结构及刀具牌号，尽量在保证刀具高效切削的前提下，降低刀具消耗成本，为此我们建议用户使用伊斯卡的变形金刚（MULTI-MASTER）系列铣刀。

针对此零件特点，结合用户现场的实际情况，我们抛弃传统加工思路，在粗加工阶段大胆启用了伊斯卡的大量新型高效加工刀具，在满足加工质量前提下，尽量采用高效刀具，充分发挥刀具及现有设备优势，在规划加工顺序及刀具路径时，把提高加工效率放在首要位置去考虑。在精加

工阶段，采用了伊斯卡的变形金刚（MULTIMASTER）立铣刀。与传统整体硬质合金刀具相比，变形金刚立铣刀具有明显的优势：降低单件工件刀具成本；可实现在机床上直接换刀且不需要重新对刀，节省了辅助时间；由于刀具自身特点，使刀具的整体强度优于普通杆状刀具，使刀具的切削性能表现非常优秀。

按照以上方案加工机匣类零件，不仅加工效率相比于通用的加工方法得到了大幅度提高，而且加工质量也得到了很好的保证。同时，随着伊斯卡在刀具上的不断创新，不断地将更新的解决方案用于此类零件的加工，以满足用户对加工效率提出进一步的提升要求。

盘轴类零件解决方案

在航空发动机的制造中，盘环件及轴类零件均是关键件或重要件。此类旋转零件，在发动机正常运行时处于相对恶劣的运转环境，对保障发动机正常运转甚至飞机正常飞行起到了至关重要的作用。故，必须保障此类零件具有高的可靠性、高的安全裕度，同时还要尽量减轻零件的重量。基于以上诉求，首先从选材上就要求盘轴类零件具有耐高温、耐腐蚀、比重轻等特点，目前主要采用各类高温合金及钛合金。加工难点在于，被加工材料的机械加工难度非常大，以及此类零件具有型面复杂，薄壁，易变形等典型特点。

针对航空类难加工复杂盘轴类零件的加工，伊斯卡公司大量标准的ISO车刀及各类切槽刀基本可以满足各种类型的零件加工。伊斯卡公司更擅长的是为用户提供全套加工解决方案，包括采用标准刀具及各种针对性非常强的非标刀具，以满足用户的各种特殊需求。

针对航空类复杂且难加工的盘轴类零件，伊斯卡公司都可以根据用户零件及特殊要求，在伊斯卡的标准刀具基础上开发出满足用户特定要求的完美方案。

图3 带HSK刀柄的整体式刀具系统（刀片底面槽结构）

铝合金框架结构件解决方案

为满足现代飞机隐身、超声速巡航、超常规机动、高信息感知能力、长寿命、结构轻量化等方面的性能要求，航空零部件的新技术、新结构、新材料不断涌现。飞机零件中有大量的薄壁零件，如翼肋、长桁、框等，它们有很薄的壁和筋，特点是大量采用整体薄壁结构和尺寸趋向大型化、结构趋向复杂化、制造趋向精确化发展、加工难度大、切削加工量大、薄壁、易变形、零件制造精度要求高等。对此类航空整体结构件实现高精度、高效率和高可靠性的切削加工一直是航空制造业面临的一个重要课题。随着高速切削技术的发展，高速切削加工以其加工效率高、切削力小、工件的热变形和热膨胀小、加工表面质量好、经济效益高及适宜加工复杂和细长薄壁件等独特优势，被广泛应用于航空航天整体结构件的加工中。

高速切削加工已成为机械加工领域的一项引领技术。一般切削线速度高达普通切削线速度的5～10倍，可认为是高速切削。高速切削刀具技术是实现高速切削加工的关键技术之一。高速切削加工要求整个刀具系统十分可靠，这其中不仅要求刀具材料本身可靠，还要求组成刀具系统各零件如刀片、刀柄、刀夹、刀垫和紧固螺钉等可靠。除零件结构可靠外，还要求夹紧可靠，以提高刀具整体结构可靠性。其中，刀片和夹紧的可靠度起主要作用。

高速切削加工用回转刀具按刀片固定方式可分为整体结构、带有固定刀片座结构和可调刀片座结构三种。高速铣削刀具系统常在10 000～30 000 r/min旋转速度下工作，在这样高速回转速度下工作的机夹可转位铣刀刀具系统受到很大的离心力作用。除刀体失效外，刀具夹紧单元的失效与切削单元的失效是由离心力造成的高速切削刀具的另外两种主要失效形式。因此，如何实现机夹刀具可转位刀片的有效装卡，对于高速切削刀具的安全性至关重要。

动平衡性能是高速切削刀具系统优劣的一个重要指标。在高速切削条件下刀具系统的不平衡将会产生较大的惯性离心力，从而使机床主轴-刀具系统产生振动，给切削加工过程的稳定性与安全性带来不利的影响，不仅会加剧主轴轴承及刀具的磨损，同时会影响工件的加工质量，如造成各刀齿的负载不均衡，工件局部过切、工件形状发生变形，表面出现振纹等。在高速铣削过程中，常采用整体式刀具系统，以提高刀具系统的整体刚度、动平衡精度及抗振性等。

伊斯卡在航空工业

作为以色列的本土企业，伊斯卡基于航空工业和军事工业成长。在航空产业的的优势让各大航空制造商成为我们忠实的客户。除了经典的产品，伊斯卡在总部以色列特芬的技术团队，仍紧跟航空制造产业的发展，不断进行着有针对性的研发，并随时为客户提供更有竞争力的产品。同时，伊斯卡中国的航空产业团队也致力于更快捷地服务于本地客户，及时将公司最新的产品带给中国客户。MM