叶轮叶片与五轴加工铣削刀具方案

■ 埃莫克法兰肯精密工具（苏州）有限公司 （江苏 215138） 师 岩

摘要：叶轮是比较典型的五轴加工零件，法兰肯（FRANKEN）有着非常成熟的刀具方案及客户群体；FRANKEN叶轮系列刀具适合加工铝合金、不锈钢（包括沉淀硬化不锈钢）、钛合金及高温合金等材料的中小型叶轮（出气口直径一般在30～500mm），这类叶轮主要分布在汽车增压器、离心压缩机、鼓风机、水轮机、汽轮机及航空发动机等领域。FRANKEN的目标一直是高效、高精度、高稳定性；同时，FRANKEN技术人员结合工艺技术给客户以合理、先进的铣削方案；让客户买的不仅是刀具，更是技术。

法兰肯（FRANKEN）在叶轮铣削领域积累了丰富的加工经验，可以根据客户的产品类型、材料及叶轮的结构特点，为客户推荐最合适的加工工艺和刀具方案。

叶轮叶片加工的工艺特点

叶轮是离心压缩机、鼓风机、水轮机、汽轮机及航空发动机等动力机械的核心部件（见图1），其加工技术一直是研究的焦点。整体叶轮结构复杂，加工易产生碰撞干涉，传统的铸造成型、脱蜡铸造等难保证叶片、流道以及叶片与轮毂圆角处的加工质量。

叶轮叶片加工，采用五轴联动数控机床系统是解决叶轮、叶片、船用螺旋桨、重型发电机转子、汽轮机转子及大型柴油机曲轴等加工的唯一手段。它是一种科技含量高、精密度高且专门用于加工复杂曲面的机床，因其具备有效避免干涉、可侧铣直纹面及切削状态好等优点，从而提高整体叶轮加工效率和质量。

五轴数控加工对于采用合理的工艺、加工策略和编程提出了更高的要求，因此具有强大处理功能的CAM软件（如HYPERMILL、NREC等）是高效、高质量加工叶轮叶片的另一个重要条件。随着CAM软件的飞速发展，也使得叶轮加工采用新工艺，刀具商发展全新一代刀具成为可能。

图 1

一揽子高效加工方案

FRANKEN公司近百年的发展中，始终密切关注并追踪最新科技，不断发展高性能的铣刀以满足不同行业客户不断提高的高质量、高精度和高效率的要求。为适应叶轮叶片这类复杂的五轴加工，FRANKEN公司发展出一系列高性能、高精度的立铣刀、球头铣刀、锥度球头铣刀及环形段落铣刀等专用Turbine刀具，以使客户能够在多轴机床上加工复杂零件，以及有时近乎苛刻的提效要求得以满足。因此公司与软件商Openmind、机床商（如五轴机床ALZMETALL和HERMLE）等紧密合作，FRANKEN可以为叶轮叶片客户获得包括最适宜刀具、加工参数和编程工艺在内的一揽子高效加工方案（见图2）。

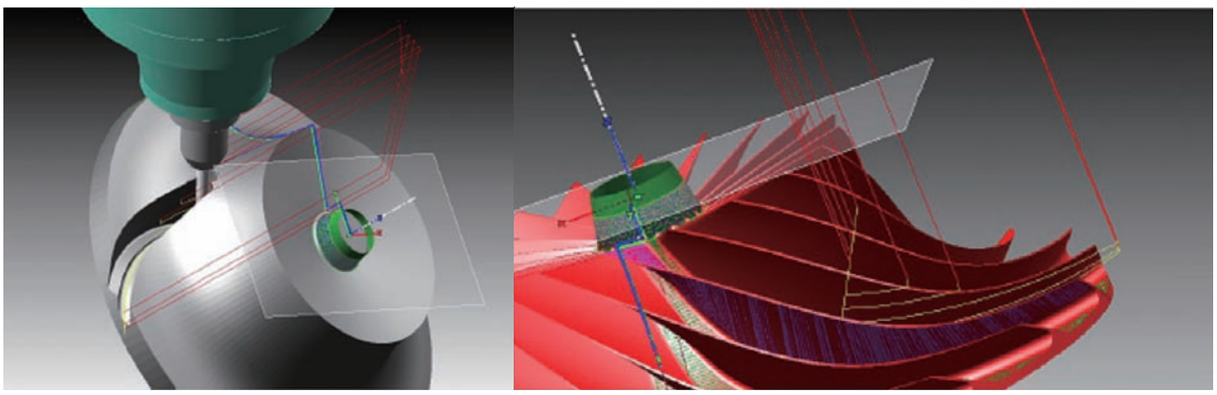


图 2

1. 叶轮叶片粗铣刀01

相对于铝材料、不锈钢、钛合金及航空发动机行业的镍基合金材料的叶轮加工，对于刀具提出了更高的要求。有鉴于此，FRANKEN推出了Tinox-Cut波刃立铣刀和圆鼻铣刀（高金属去除率）。

（1）刀具的设计特点及应用范围：采用强韧的刀具几何角度、特殊槽形与精心研发的特殊涂层及中心内冷等措施，获得较高的进给速度，提高铣刀的寿命。在加工工艺方面，FRANKEN理念为不采用相对高的转速以获得相对高的进给来提高效率，而是倾向于粗加工时低转速、大切深、较大切宽的方式来加工；在条件允许的情况下，采用摆线式加工的方式粗加工叶片和叶轮流道。

（2）应用于叶轮铣削对刀路的要求：立铣刀开粗需要确保刀具铣削时保持正拖刀角状态，刀轴矢量光顺，没有突变。

在欧洲两家著名的航空发动机公司，TiNox系列粗加工铣刀（见图3）表现非常成功，获得了客户的认可。

2. 叶轮叶片粗铣刀02

Tinox-Cut波刃锥度圆鼻或球头铣刀（专用于狭小区域）如图4所示。

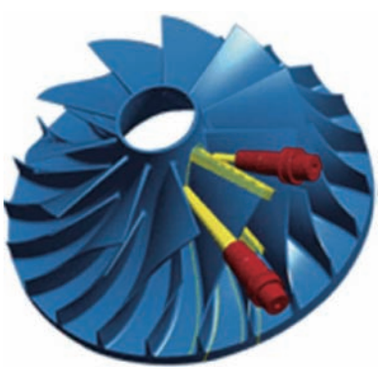
（1）刀具的设计特点及应用范围：多功能刀具，3刃设计，粗型断屑槽。适合难切削材料。

图 3

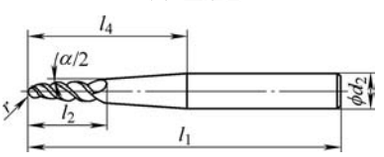
图 4

（2）应用于叶轮铣削对刀路的要求：刀路光顺、中开槽、分层铣和侧铣（见图5）。

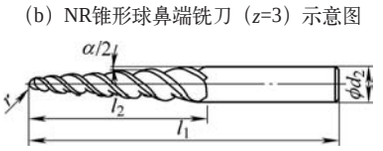
多种规格的锥度小直径铣刀，能够更多的去除狭小空间、叶根处的余量。尽可能地压缩非



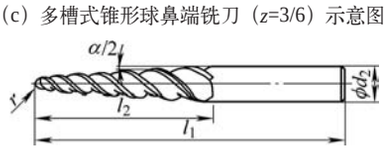
（a）三维图



（b）NR锥形球鼻端铣刀（z=3）示意图



（c）多槽式锥形球鼻端铣刀（z=3/6）示意图



（d）锥形球鼻端铣刀（z=3）示意图

图5 叶轮的粗加工、半精加工和精加工

机械手段的加工时间。

3. 叶轮叶片精铣刀01——锥度球头铣刀

在叶轮叶片精加工中，锥度球头铣刀扮演着十分重要的角色，工艺成熟可靠。

（1）刀具的设计特点及应用范围：多功能刀具，3刃设计，精加工几何设计，尤其适合难切削材料，用于所有韧性材料（见图6）。

（2）应用于叶轮铣削对刀路的要求：刀路光顺，可以侧铣加工直纹叶片和点铣自由曲面叶片。

4. 叶轮叶片精铣刀02——环形段落铣刀

FRNAKEN于2016年正式向全球市场推出了全新的精加工铣刀——环形段落铣刀（亦称鼓形铣刀）。

刀具特点是每把刀的切削区域是个大圆弧段，在曲面加工提供了新的高效加工的可能性，大圆弧段模拟了一把切削直径为6～500mm甚至更大的球头铣刀，能够使用更大步距刀具路径，由此，在提高工件表面质量的同时，加工时间也被显著减少。这些刀具主要用在像涡轮叶片、叶轮叶片、叶盘叶片及轮胎模具的生产上。非常重要的一点，客户的CAM系统必须能够支持，计算环形段落铣刀的几何形状。其中，Hypermill软件（Open mind）和FRNAKEN刀具完美结合，只需要在软件中输入相关刀具外形尺寸就能模拟成刀具外形，这为编程提供极大便利。当然，其他编程软件如NREC等也可实现相关功能。

图 6

在国内某客户的实际应用中，加工曲面零件表面粗糙度值遵照客户要求R_a=1.6μm，接刀纹路用手触摸无触感，在转速和进给不变的情况下，用传统球头铣刀a_p=0.3mm，a_e=2mm，采用环形段落铣刀a_p=8mm，a_e=0.5mm加工效率提高20倍左右，大大地减少客户加工时间（见图7、图8）。

FRANKEN以德国公司一贯严谨认真的态度，精密制造的Turbine系列叶轮叶片加工铣刀为客户加工提供了保证。当2017年9月EMO展后，FRANKEN更将推出全新一代的Turbine系列。

“工欲善其事，必先利其器”！FRANKEN公司将为您提供这样的“利器”，成为您的合作伙伴。

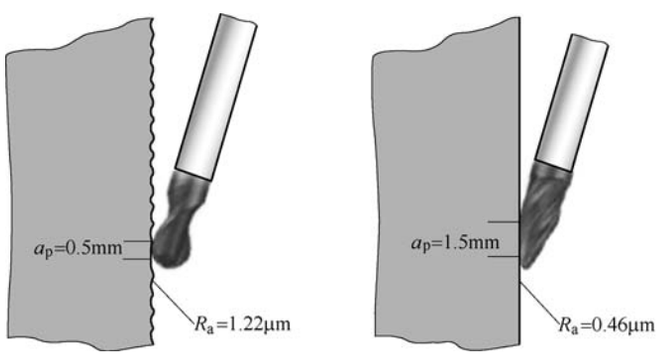


图 7

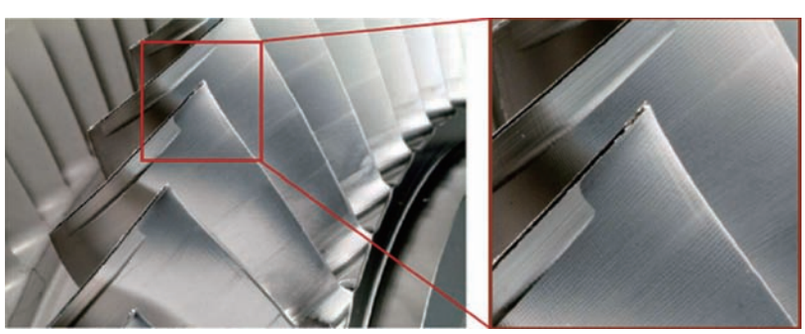


图 8

MW（收稿日期：20170621）

提　示

作者投稿时，请在投稿系统（http://tougao.mw1950.cn）中完善作者信息，包括身份证号、银行卡号及开户行（包括银行名称及支行或分行名称）信息等，否则可能造成无法申领稿费。

本刊编辑部