基于轴流压缩机动叶片的刀路轨迹设计

沈阳鼓风机集团有限公司 （辽宁 110869） 刘 磊

轴流压缩机的动叶片作为一种典型的薄壁类零件，广泛应用于航空、航天、能源化工及军事领域，其典型的应用包括飞机发动机的压气机转子、舰艇用的燃气轮机、发电站用的汽轮机转子等。

1. 叶片的加工技术难点

（1）叶片在三维空间呈现变截面扭曲状态，只能由多轴联动的数控加工中心进行铣制或电解加工。

（2）叶片属于典型的薄壁零件，加工过程中容易受切削力影响产生弹性和塑性变形。

（3）叶片本身对于材料的硬度和加工的精度有很高的技术要求，叶片的工作条件复杂，除因高速旋转和气流作用而承受较高的静应力和动应力外，还要承受高温、高压、腐蚀和冲蚀作用，一般是由不锈钢锻件构成，在数控加工时材料比较难切削。

HyperMILL 软件是德国 OPENMIND 公司开发的一款集成化 NC 编程 CAM 软件，它完全整合在 HyperCAD 和 Pro/E Wildfire 中，向用户提供完整的集成化 CAD/CAM 解决方案。OPENMIND CAM 公司研发的有 2～5 轴 CNC 铣削软体，这家公司拥有 10 年以上高阶 CAM 的专业经验。

HyperMILL 的最大优势表现在五轴联动方面，五轴联动被广泛应于汽车、工具、模具、机械、航空航天等领域，比如航空叶轮、叶片、结构件的铣削。现在很多机床和控制器都可以适应五轴铣削要求，然而在软件方面多采取定位加工方式（3 +2），需要进行繁杂的优化，很少有 CAM 系统能提供专业可靠的五轴联动解决方案。

针对叶片在空间上的变截面扭曲结构，通过 hypercad 构造锻件毛坯体，使用 HyperMILL 的“3D 任意毛坯粗加工”的子模块（见图 1），设定切削区域和加工参数，可以对叶片锻件毛坯体生成理想的 3 + 2 轴刀路轨迹，使用这种铣削方法主要是解决加工效率和加工刚度的问题。叶片程序包中含有许多可以简化加工定义和大幅缩短编程时间的自动化功能，其中包括用于铣削过渡半径的滚动球功能，用于自动设置精加工循环最佳起始位置的最佳配合功能，或用于避免刀面与凹面碰撞的自动引导角校正功能。

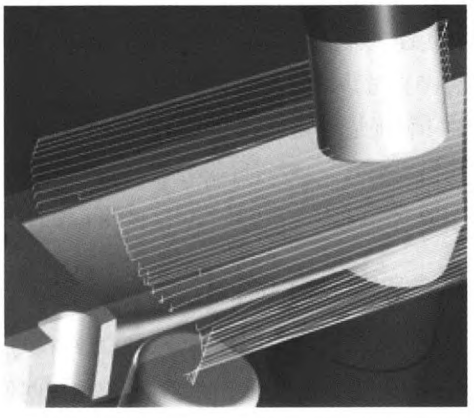

图 1 叶片锻件的粗加工刀路轨迹

2. 叶片的加工刀路轨迹的关键点

（1）叶片锻件的高效粗加工 由于叶片的 3 +2 轴加工属于定轴加工铣削范畴，铣削加工时只有加工中心的 X、Y、Z 三个直线轴同时联动，对于机床的两个旋转轴 A、B 轴采取固定刀轴矢量方向，然后通过机床代码 M 指令锁死两个旋转轴，这样在铣削加工过程中，定轴铣削的加工周期对比同样采取五轴联动的方法，可以节省一倍的加工时间，而此时数控机床的刚性处于最强的状态，这样对于减少刀具的切削振动、延长机床的寿命有很大好处。

使用 HyperMILL 的“3D 任意毛坯粗加工”铣削功能子模块（见图 2），在叶片的轴向方向上生成往复的刀路轨迹，可以减少刀具“空走”的刀路数量，缩短加工时间，而且在加工过程中毛坯体处于余量均匀的状态，切削时的受力状态也处于恒定的范围，这样可以明显降低切削振动带来的影响。

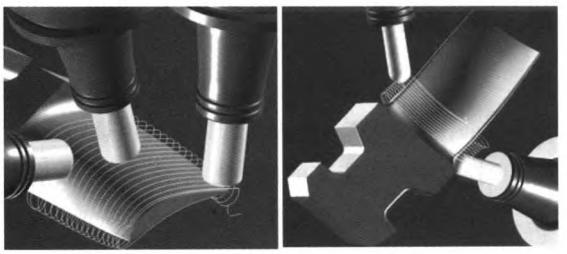

图 2　叶片的精加工刀路轨迹

（2）叶片的精加工刀路轨迹规划　对于叶片表面的精加工铣削，需要在加工中心上进行多轴联动加工，我们使用 HyperMILL 的“5 轴叶片顶部铣削功能”子模块，可以生成围绕叶片表面的多轴连续运动的刀路轨迹，可以使用带 CVD 或 PVD 涂层的柳叶刀片和球头硬质合金铣刀，设置合理的步距和余量，其直接影响到叶片表面的粗糙度。

（3）叶片根部的刀路轨迹规划　叶片的根部铣削（见图 3）一直是叶片加工的重点和难点，需要考虑如何避免数控刀具与夹具以及主轴头之间发生碰撞和干涉，通过 HyperMILL 软件的 3D 加工策略，可以通过软件内部的刀路计算来避免发生碰撞现象。对于叶根区域通常情况下我们生成 3 + 2 轴铣削的刀路轨迹即可，如果发现刀轴矢量角度不合适，我们使用 HyperMILL 软件的专利技术，“再加工”策略（见图 4）可以实现新的刀轴矢量轨迹，它的原理是在原有刀路轨迹的基础上生成新的刀轴矢量，即 3 轴的刀路轨迹转换为数控加工中心的 5 轴刀路轨迹，

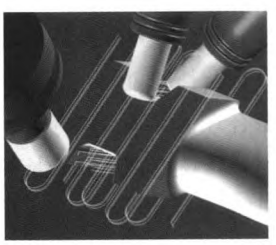

图 3　叶片根部铣削精加工

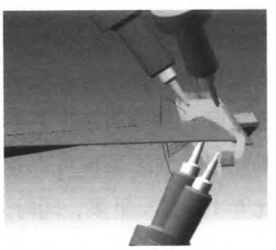

图 4　HyperMILL 的“再加工”策略

从而达到精确铣削的目的。精加工后的轴流叶片和装配后的压气机转子如图 5 所示。

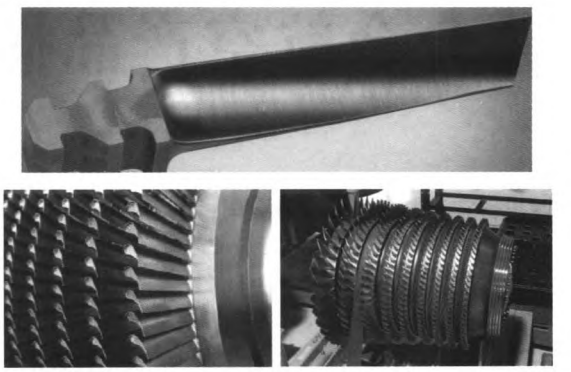

图　5

3. 结语

本文通过使用 HyperMILL 软件加工轴流压缩机的动叶片为例，介绍了叶片在五轴联动数控机床上铣削的加工方法，通过生成高质量的 CAM 刀路轨迹，解决了加工效率低和叶片表面粗糙度差的问题，为同类产品的加工刀路轨迹设计提供了参考方法。**MW**

（收稿日期：20131012）

硬质合金滚压工具

本单位生产硬质合金滚压工具已有 30 余年历史。滚压加工广泛运用于机械加工、液压、重型机械等行业，是一种对机械零件表面进行光整和强化的工艺，它利用硬质合金滚轮对工件表面施加压力，使其表面产生塑性变形，达到修整表面微观几何形状、降低表面粗糙度值的目的，同时可提高表面硬度。滚压后，使零件表面粗糙度值从 R_a = 6.3 ~ 1.6μm 降低到 R_a = 0.8 ~ 0.1μm，实现以滚代磨。本单位还可根据用户要求，生产、加工各类异型硬质合金制品及硬质合金模具。

靖江市城北合力滚压技术服务部（原国营靖江汽车修造厂）

地　址：江苏靖江市真武河北路 47 号

联系人：蒋文宏　　手机：13327780598

邮　编：214500　　电话：0523 - 84832767

传　真：0523 - 82853000　E-mail：jwh@ sina. com

广告查询编号：1008