

线切割放电加工助你飞得更高

Flying High with WEDM

伯明翰大学 David Apsinwall Leung Soo Mohannad Antar
 罗尔斯·罗伊斯公司 Dean Jones
 GF 阿奇夏米尔集团 Roberto Perez

航空发动机制造商必须通过设计更高燃烧效率、更轻的材料或更灵活快速的零件加工技术来保持其竞争力和降低成本。新的 EDM 加工技术为未来航空发动机制造提供了极大的潜力。至今, Rolls-Royce 和其他世界上主要的制造商对 EDM 加工的理解主要集中在传统的电火花成形 / 钻孔工艺来加工涡轮叶片上的冷却孔和喷管导向隔片上的密封槽。有证据证明, 尽管线切割加工 (WEDM) 已经改进放电电源, 使用镀锌线, 具有更有效的控制和监控能力, 强大的专家加工工艺, 抗电解作用的工艺和 24 小时运行的可靠性, 过去的 10~15 年里 EDM 技术极大的发展并没有应用到该领域。

一般认为 EDM 加工比其他传统的加工技术慢, 而且会因为变质层、细微裂纹、残余应力和微观结构硬度的变化而影响工件的刚性。对抗疲劳性能影响的结果, 就可以理解在以乘客安全第一的行业里会关注其危险性。不幸的是这种六七十年代对 EDM 的理解仍出现在许多书籍上, 而且放电能量和应用方式的不同从某种程度上会造成这种结果, 但是使用合适的方式可以把对工件的损伤降到最低。而且, 使用专业的电极和切割丝, 可以改变放电表面以加强耐磨性, 或改变表面的物理性能来满足其他运行标准。

过去 20 年里, WEDM 的切割速度几乎增加了 5 倍, 粗加工的直线切割速度可达 $600\text{mm}^2/\text{min}$ 。对大多数复杂型腔的加工速度较慢, 但也可达到约 $350\text{mm}^2/\text{min}$ 。通过优化粗加工和精加工的策略, 变质层几乎为零, 同时没

有材料或微观结构的变化。放电脉冲的控制特别是脉冲的持续时间和频率是达到最小损伤的关键因素。简单地讲, 较短的放电脉冲会降低对工件的热损伤。在粗加工时, 通常脉冲的峰值电流为 400A, 小于 $2\mu\text{s}$ 的持续时间, 精加工时脉冲持续时间为 50~500ns 来达到最小损伤。市场上只有少数几个机床制造商有这种能力, GF 阿奇夏米尔集团的 Clean Cut (CC) 技术可以满足这种需求, 并且 Birmingham 大学的研究已经证明了这点。

Birmingham 大学机械工程学院的加工研究组是英国 EDM 研发的主要机构, 在 EDM 技术研究领域已有 40 年的历史, 拥有最先进的, 可使用 $20\mu\text{m}$ 切割丝的 Agie Vertex 线切割机床和 Agie Compact 1 电火花机床, 两台都在温度受控的房间里, 还有 Charmilles Robofil 200 线切割机床和刚安装的 Robofil 240 CC 机床 (见图 1)。目前研究的重点是 UoB/Rolls-Royce/GF 阿奇夏米尔集团三家合作的项目, 在加工 Udimet 720 超级合金和 Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo 钛合金时达到最小损伤。该项目的目标是对使用 WEDM 加工涡轮机和压缩机圆盘叶片根槽上的孔进行评估。图 2 显示了大多数民用和军用发动机上关键尺寸控制的树型和楔型槽, 它用于叶片的精确定位和更换。只有少数几个机床制造商可以达到所需的精度, 一致性和工件的质量 / 刚性, 同时孔加工的价格和机床大小, 成本, 长时间的加工和更换次数, 以及加工的稳定性。

用 WEDM 加工的重点是确保可



图1 阿奇夏米尔Robofil 240 CC



图2 GF航空发动机压缩机圆盘带树型和楔型叶片安装槽

接受的工件刚性, 特别是抗疲劳性能。用持续的剪切来去除材料的工艺会在加工表面产生残余应力, 靠融化和气化而在工件和电极之间没有物理接触的 EDM 加工没有该现象。理想的 EDM 加工的工件表面最好有残余应力而不是张力, 但是现在可实现的最好的结果是中性应力。

从表面粗糙度来看, WEDM 加工只需要较少的切割次数就可直接达到所需的粗糙度 $R_a 0.8\mu\text{m}$ 。三维图形显示了在粗割和修切 4 Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo 材料的表面细节, 最终可达到粗糙度约 $0.43\mu\text{m Sa}$ (测量整个加工表面的结果)。有明显的证据可以支持 Clean Cut 技术几乎不产生损伤层的看法。以 Udimet 720 材料

在粗割和修切 4 后的工件表面损伤层为例,粗割已经可以达到小于 10 μm 的平均变质层且没有明显的热变形,经过修切 4 后,变质层仅有约 1.5 μm,

且没有明显的表面异常。

目前正在进行抗疲劳测试,还需一点时间才能证实 WEDM 加工更多地进入航空发动机制造领域。现在

WEDM 加工的前景看好,加强放电电源性能新产品线的研发正在进行,WEDM 加工肯定会很快实现。

(责编 深蓝)

快速和可靠地生产合格首件

Rapidly and Stably Manufacture First Qualified Part

约翰内斯·海德汉博士(中国)有限公司

快速响应避免加工中断

海德汉数控系统 iTNC 530,可靠性高,其稳定成熟的软硬件系统是决定性因素。有些预防性措施可以避免工件在长时间加工中经常出现的问题。

在复杂的五轴联动加工中,iTNC 530 非常有效地降低刀具、夹具和机床防护罩内的静止件相互碰撞的可能。海德汉数控系统的动态碰撞监测(DCM)功能监测所有运动并在可能发生碰撞前及时报警,如图 1 所示。实时保护功能也适用于装夹或程序中中断运行期间,例如机床操作人员手动运动机床轴时。

机床一旦静止不动,系统需快速和可靠地响应。为此,iTNC 530 通过短信立即通知机床操作人员或服务工程师,最大限度缩短响应延迟。

退刀功能使 TNC 可在 NC 停止运行时全自动地

从工件中退出刀具,即使是倾斜轴,也不会损坏刀具或工件。如果是停电问题,这个安全功能也有效。

可靠的程序优化功能

海德汉数控系统一个显著特点是对不均匀的分布点不敏感。不同

工件间的分布点差别很大,无法预先精确确定。iTNC 530 的强大运动控制功能可以保证轮廓精度,无论生成程序所用何种 CAD/CAM 系统和后处理器。因此,可以轻松切换工件,甚至包括临时性换件,不需要修改机床特定设置,因此也不需要优化。

CAM 系统生成的程序保存在数控系统硬盘中。因此访问程序速度快,也更直接,例如用数控系统的 3D 线图直接在数控系统中进行最终仿真。只要有需要,设计和布局合理的编辑器能方便地修改程序,如图 2 所示。

缩短虚拟机床磨合时间

复杂加工过程仿真能显著缩短小时费率机床的磨合时间。虽然所有功能强大 CAM 系统都有仿真功能,但无仍法达到 100% 可靠。原因之一是功能强大的后处理器在所生成的 NC 数控程序中插入了附加定位程序段。而且,仿真系统不能真实地使用复杂五轴数控系统功能。这是 virtualTNC 虚拟机床作用所在。virtualTNC 的内核来自 iTNC 530 数控系统的核心控制模块,通过一定接口可集成在任何仿真系统中。用 virtualTNC 在虚拟环境中执行一个 NC 数控程序,其运动与实际机床中运动完全一样,其中当然包括复杂的五轴加工功能。也包括被仿真程序在实际机床中运行时的补偿运动或反向运动。这样生成的加工程序速度快,可靠性更高。(责编 深蓝)

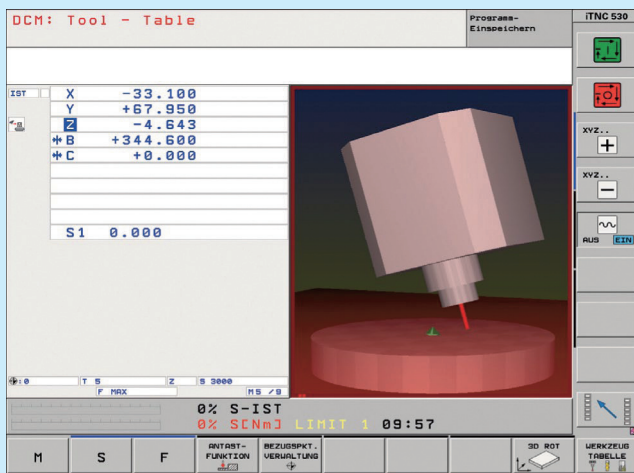


图 1 iTNC 530 的动态碰撞监测功能

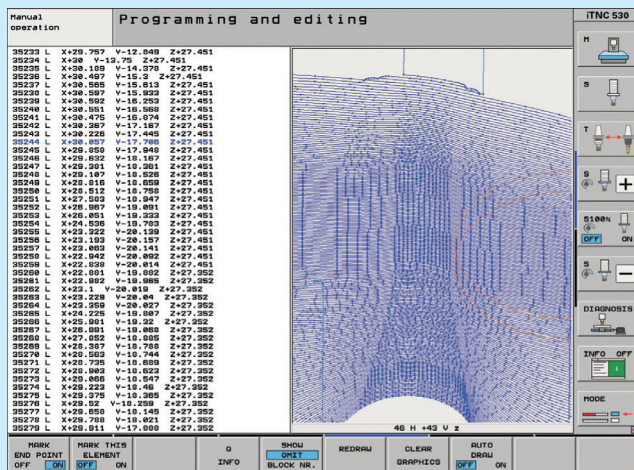


图 2 iTNC 530 提供多种 CAD/CAM 程序优化