

孔加工

打造孔加工技术的核心竞争力

LAI 公司利用各种非常规的加工工艺，可以在一系列难加工材料上加工出精确的孔。事实上，精密孔加工已经成为该公司特色业务之一。

文 | Derek Korn

LAI 总部设在亚利桑那州，在美国拥有四个生产厂，LAI 擅长运用高速电火花、激光和水刀来加工航空航天和发电涡轮机部件的复杂异形冷却孔。这些组件通常是由镍铬合金、哈氏合金等棘手的高温合金制成，能承受涡轮发动机所产生的高温。

核心竞争力

LAI 是航空航天、发电、国防、医疗和电子工业行业的精密部件和组件方面领先的制造商。公司

于 1979 年在马里兰州成立，现在其东部工厂就在离此不远的威斯敏斯特。1994 年，LAI 在明尼苏达州的明尼阿波利斯建立了一个工厂，专门从事精密水刀加工。2007 年，公司收购了缅因州士嘉堡的制造商 Rich 公司，这个公司拥有一系列常规和非常规加工能力，包括激光加工和高速电火花穿孔。该公司最近还合并了其两个西南地区的工厂建立了新的坦佩总部，提供激光和水刀加工。

LAI 的三种非常规工艺分布在

该公司的四家工厂。在孔加工方面，他们主要加工航空航天和陆基涡轮部件，如一级喷嘴、叶片、叶盘、隔热罩和叶翼，往往需要大量特殊几何形状的孔，以满足特定的流量要求。

由于具有多项非常规钻孔加工的专长，LAI 能确定制孔作业的最佳工艺。而材料往往决定工艺的选择。例如，高速放电加工钻孔可用于导电材料，但不能用于非导电材料或有热障涂层的材料，这些材料必须用激光或水刀来加工。被加工部件的设计功能也要考虑。有些组件要求孔的大小和间距有具体严格的公差。而在其他情况下，孔还是先进的冷却系统的一部分，从而整体流速分布比保持孔尺寸的精密可重复性更重要。

孔的表面光洁度常常比尺寸更重要，因为它有助于确保层流保持在整个冷却系统。对于这些应用，LAI 公司已为打孔建立了一套“drill-to-flow”的工作方式，其中包括组件在加工中及加工后的流量台测试，以确保无论它们是用什么方法加工出来的，都将提供用户所指定的流量。

图 1 LAI 公司开发的水刀工艺可以执行离轴高精度孔加工及其他业务



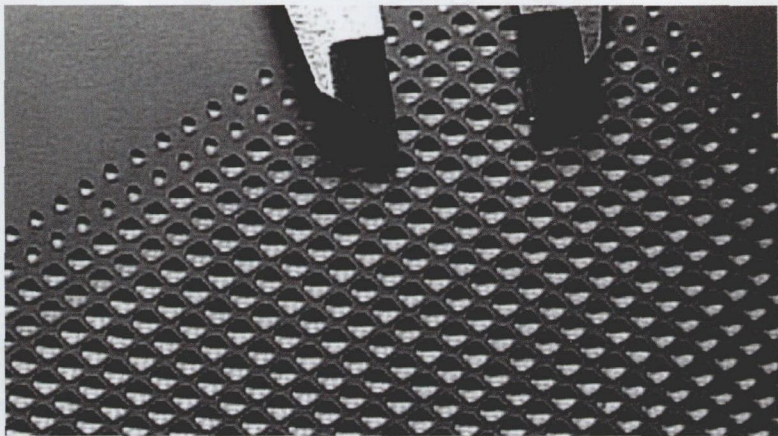


图2 “drill-to-flow” 打孔方式能够做出复杂孔的形状，以使该组件满足特定的流率要求

水刀打孔

虽然许多厂商使用加砂水刀用于附加工序的粗切削或准备工作，但 LAI 的水刀工艺却能够做精密孔加工及其他工作。其水刀加工的一个优点是，不会有激光加工所产生的热影响区。不像激光加工，需要后续精加工以除去部件上的再铸材料层。另外，它也能钻透相对厚的材料，与激光加工可以相媲美。

LAI 在明尼阿波利斯水刀生产厂设有水射流研究开发中心。经过 12 年的努力，该中心已经开发出公司的“drill-to-flow”水刀工艺，做直径小至 0.018 in (1 in=25.4 mm) 的高精度异形孔。战略市场和产品副总裁 Darcy Dodge 说，LAI 采用的水刀设备一半是购置的，一半是自己研发的技术，后者拥有处于保密状态的知识产权。该技术用不同的研磨介质和喷射压力，并进行设备改造获得有效创造复杂孔所需要的运动、速度和编程类型。

LAI 公司大部分的水刀设备提供五轴运动，在涡轮机和其他组件上打出斜孔。孔的角度为 90°、25° ~30° 不等。有些机床有加工如涡轮叶片等圆形工件的旋转工作台，或 6 ft × 20 ft (1 ft=304.8 mm) 的大容量床身，可以容纳多个组件进行长时间无人操作。水切割机床

通常可以做到 ± 0.001 in 的直径公差，这些都有赖于 LAI 的工艺技术和严格执行的预防性维护计划。

水切割加工同时要做的就是流量测试（同样的还有激光和高速电火花加工钻孔）。在某些情况下，流量公差要求极高，以至于组件有可能在完工之前便因为流量测试不过关而被淘汰。公司使用每个组件一台验证主机校准流量工作台，以确保气压变化不会对工作台上的读数产生不利影响。在流量测试之前，所有的孔都要进行针规测量，以确保孔不被堵塞。此外，一些客户还

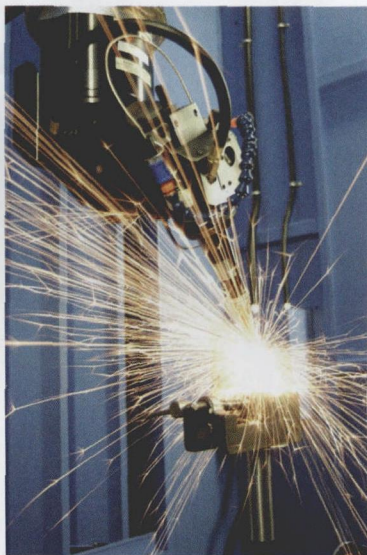


图3 LAI 公司用环钻、冲击钻和飞行钻激光技术加工一些要求高的孔

要求对他们提出的孔的尺寸公差进行针规测量。

激光打孔

激光加工是在该公司在士嘉堡、坦佩和威斯敏斯特的工厂进行的。有些机床是 5 轴的，而另一些机床则结合倾斜头和回转工作台，可做 6 轴加工。公司有 CO₂ 和 Nd:YAG 激光器，虽然 Nd:YAG 激光器更常用于加工高温合金，因为他们提供高峰值脉冲功率，产生重铸层也较少，所以做钻小孔作业特别有效。它也有可能有效地把脉冲穿过热障涂层，因为其功率密度高，能迅速渗透涂层，同时防止开裂。

LAI 公司用环钻、冲击钻和飞行钻的激光加工技术打孔。这些工艺钻的孔径范围为 0.006~24 in。环钻时工件保持静止，而激光束则移动生成一个圆形或其他形状的外围轮廓。与此相反，冲击钻从激光器发出一个或多个脉冲，而激光束和工件均保持静止。脉冲的数量取决于材料的类型和厚度，而打出的孔径与激光束的直径相同。

飞行钻是冲击钻的一个变型，激光脉冲从静止的激光器发出而工件则旋转或直线移动。当打每个孔需要多个脉冲时，激光的软件会同步工件与激光脉冲的移动，确保脉冲每次反复击中相同的位置。此工艺可以达到 ± 0.001 in 的孔径精度。通过改变激光脉冲的能量、脉冲数或透镜的焦距，可以控制孔的尺寸和锥度，以满足该组件的要求。

飞行钻的成功是因为有了激光器的自动对焦控制 (AFC) 功能。该功能涉及“映射”工件表面，以确定工件待钻区域的实际形状。映射得到的数据用于数控以定位聚焦透镜，这样，在钻孔的过程中无论何种表面质量都能保持正确的激光束焦点位置。

高速电火花打孔

士嘉堡工厂有七台高速6轴电火花打孔机。高速电火花打孔比传统的电火花加工有更快的钻孔速度，特别适用于高温合金和单晶合金，后者是LAI公司的一个重要客户为做单级喷嘴指定的材料。

高速电火花打孔使用由铜或黄铜做的空心电极。高速钻孔过程中，电极燃烧的同时以3000 r/min的速度旋转，并且电介质是通过电极芯输送，能提供有效的冲洗。旋转也最大限度地减少了电极漂移，能钻弯曲或倾斜的表面。另外，钻孔深度达2 in时还能精确地保持直径稳定。而常规的电火花成型机和数控加工中心钻孔时，由于电极或刀具不垂直于工件表面，通常都会发生偏转。

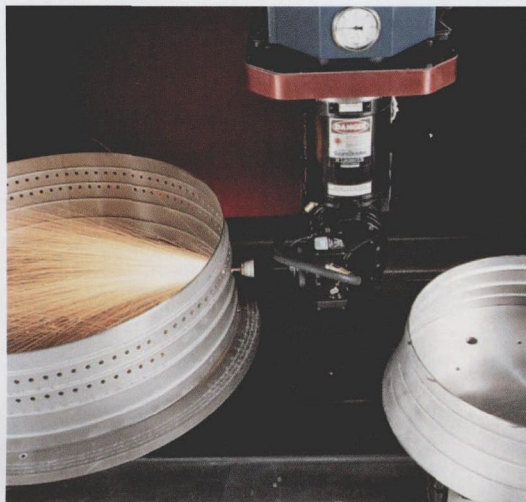


图4 用这些工艺能钻出直径范围为0.006~24 in的孔

电火花钻孔的速度在很大程度上取决于所用电极的大小。孔的深度接近1~2 in时钻孔的速度会减慢，因为深处的冲洗变得不那么有效。另外，也可以通过使用探测周期来

计算电极的磨损和所去除的工件材料量，钻盲孔并镗到规定的深度。这些探测周期能确定达到规定深度所需用时。

四台机器配置在两个操作员照看的一个特定的加工单元里。这些机器的X、Y、Z行程分别为60 in、30 in、30 in，这是很重要的，因为加工单元中运行的组件比其他类似的大。LAI公司还建立了自己的电火花导向器，使电极能进入喷嘴的深层区域。

这些机器还配备了24站换刀器，使用带有双位终端操纵器的FANUC LR伴侣机器人，可更换18个电极和6个导向器。该加工单元还具有离线电极试验区，操作员可以测试支架、导向器和电极组件，以确保电介质无障碍通过电极组件。[MM]



艾恩司公司1973年成立于瑞士，主要致力开发、生产机床周边附属设备

"One-Stop-Shop 一站式服务"

提供高整合性产品，确保理想的性能组合及稳定的设备运行，为优质可靠的企业代表。



棒材送料系统



冷却液管理系统



空气滤清系统



切屑管理系统



优秀的研发团队



顾客至上的服务精神



持续创新的开发设计



品牌优势的质量保证

多项产品设计专利

有关当局已判定同业仿冒艾恩司送料机同步装置之专利为无效，艾恩司后续将对其他侵权厂家诉诸法律并索取赔偿。

EMTE EASTPO

国际机床展
上海2014

上海新国际博览中心 (SNIEC)
展台: E1A002

2014年7月14-17日
9:30 - 17:30

艾恩司(苏州)机器设备有限公司
www.LNS-Asia.com

▲反馈服务编码M4910