

电火花磨床成型加工工艺研究

Study on Forming Machining Technology of EDM Grinder

沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司技术中心 于冰 朱海南

[摘要] 通过对专用于航空发动机蜂窝加工的电火花蜂窝磨床的功能开发和工艺研究,实现对环形件外型面的电火花成型加工。该方法是一种独创的新型加工工艺,突破了传统电火花磨床只能磨削加工环形蜂窝件内径的束缚,实现了实体工件外型面低成本、高效能的大余量去除和成型加工,有效地解决了难加工材料、特殊结构表面余量去除困难,刀具悬臂梁加工振动大,刀具损耗大的技术难题。

关键词: 电火花蜂窝磨 成型加工

[ABSTRACT] EDM forming machining for outer profile of circular pieces is realized by functional developing and technology researching on EDM honeycomb grinder. This technology is a new and unique machining process, it breaks through the traditional process of EDM honeycomb grinder that only grinds the inner wall of ring part honeycomb piece, it realizes low-cost and high-efficient grinding and forming machining for workpiece outer profile, and solve many technical problems, for instance, the material is difficult to grind, the surplus of the special surface structure is difficult to decrease and so on.

Keywords: EDM Honeycomb grinding Forming machining

先进制造技术的快速发展和航空发动机新材料、新结构的应用对电火花成形加工技术提出了更高的要求,同时也为其研究和工艺开发、设备更新提供了新的动力。电火花成形加工应主要面向传统切削加工不易实现的难加工材料、复杂型面等,其中精细、精密、窄槽、深腔等加工将成为发展重点。相对于切削加工技术而言,电火花成形加工仍是一门较年轻的技术,在今后的发展中,其向数字化、柔性化方向发展的趋势已不可逆转。

公司的数控电火花蜂窝磨床是用于航空发动机的特殊结构——蜂窝加工的专用设备。该设备采用电火花放电加工原理,将环形工件安放在旋转工作台上,利用旋转电极在加工区对环形蜂窝件内孔进行展成磨削加工。该设备一直以来仅用于蜂窝加工,没有实现数字化和柔性化,不能用于成型加工,设备利用率低。

为了充分发挥数控电火花蜂窝磨设备的功能,解决发动机研制生产的技术难题,本课题结合电火花加工技术和计算机控制的特点,对电火花蜂窝磨削加工方法进行创新研究,进一步开发了设备功能;改变了传统的电极旋转修圆补偿加工方式,采用固定电极径向限位伺服磨削方式进行成型加工;通过计算机系统控制电极与工件之间的相对运动轨迹,并适时地调整电火花加工的电参数,完成了对实体工件外形面进行分段成型磨削加工,解决了传统磨削方式无法实现的零件外形面成型加工的难题;探索出一条难加工材料、特殊结构表面去余量成型加工低成本、高效能的加工工艺方法。

1 工艺试验设计

1.1 加工原理

电火花蜂窝磨是电火花磨削中的一种特殊加工方式,加工时将环形工件平稳安放在机床旋转工作台上,让旋转电极进入内孔加工区;在机床控制系统的驱动下让工具电极和工件之间保持恒定的火花放电间隙,同时让它们相互反方向旋转;在X、Y两个方向上完成对蜂窝内径修圆的补偿加工,加工过程中电极与工件处于不接触状态、不产生任何切削力;对结构强度低的零件表面可实现高效率、高质量的无损伤加工,非常适合于航空发动机环形蜂窝零件的内孔磨削加工。

1.2 试验条件

本试验以苏州中特仪器设备有限公司生产的ZT-021电火花蜂窝磨床为试验平台。机床主要由主机、液压系统、工作液系统、控制系统和脉冲电源等部分组成。

试验条件为:

- 工件材料:1Cr18Ni9Ti/INCO718;
- 电极材料:紫铜;
- 电极结构:弧面扇形段;
- 加工极性:负极性;
- 旋转电极头转速:0;
- 工作台直径: $\phi 1000$ mm;
- 工作台转速范围:0.05~3 r/min;
- 加工方式:浸液加工。

1.3 试验方法及电极设计

电火花蜂窝磨床通常采用旋转圆棒电极进行内径修圆补偿磨削方式的蜂窝环加工。根据该设备的结构和控制特点开发出了2种成型加工方法：一是加工过程中工件不旋转，电极直接进给，分度实现成型加工；二是加工过程中工件旋转，电极直接进给，连续或分段实现成型加工。成型加工改变了原来的磨削方式，采用固定电极径向限位伺服磨削加工进行外形面的成型加工，扩展了设备功能，大大提高了设备利用率。

成型电极可根据零件的不同结构设计成不同的形状，满足其成型加工要求。试验电极采用紫铜材料设计成带角度的弧面扇形结构，弧面的尺寸通常介于最终成型表面和中差值表面的直径要求之间，选取的角度不宜过大，以免影响加工效率。成型电极结构如图1所示。

分段成型加工也称非连续成型加工。所谓分段，即给定一个起始加工角度 α （非 0° ）开始加工，加工前转盘由 0° 空载旋转到 α 位置，再以 α 为起始角度旋转加工到 360° 停止加工。以同样的方法每次按实际加工情况设定 $0.1\sim 1.0\text{mm}$ 的进给量，连续加工 n 周，直至达到最终要求的成型尺寸，加工方式如图2所示，这种加工方式大大提高了加工效率。



图1 成型电极
Fig.1 Forming electrode

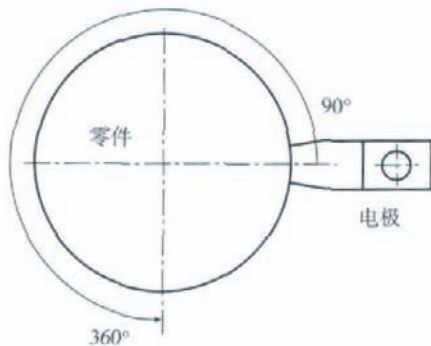


图2 分段成型加工方式示意图
Fig.2 Sectional forming machining process

2 工艺试验过程

与传统的机械加工一样，电火花蜂窝磨床本身的各种误差以及工件和工具电极的定位、安装误差都会影响到加工精度。这里主要讨论与电火花加工有关的因素，其中值得注意的有2点：一是在机床开启或找正等需要旋转转盘时，旋转的方向必须与加工时的旋转方向一致，这样能够尽量减少由于机床的反转而引起的偏差；二是预加工的对象为实体零件外型面，加工方式为固定电极径向限位伺服加工，加工方式和加工对象的转变意味着以往加工蜂窝的参数及经验值可能不适用，需要摸索出一套新的参数值，表1为经过大量工艺试验获取的不同材料的理想工艺参数组合。

试验件成型加工完成前后状态如图3所示。

将该工艺用于发动机轴承油气封严圈零件的外型

表1 电火花蜂窝磨削参数表

序号	脉冲宽度/ μs	脉冲间隔/ μs	包络宽度/ μs	包络间隙/ μs	低压电流/A	抬刀高度/mm	加工材料
1	600	200	1000	800	20	4.7	1Cr18Ni9Ti
2	600	200	1000	1000	22	4.7	
3	500	300	2000	1000	25	4.7	INCO718

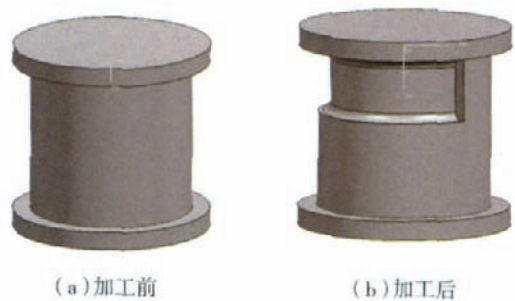


图3 成型加工前和加工后试验件示意图
Fig.3 Test pieces before and after forming machining

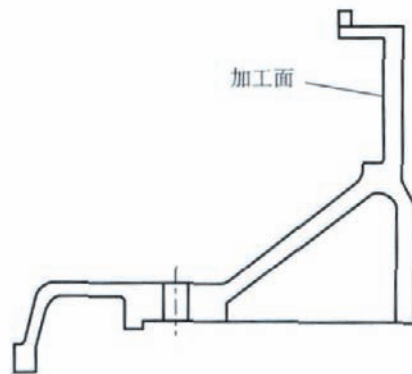


图4 零件加工状态简图
Fig.4 Diagram for machining state of part

面加工,零件设计要求及加工状态如图4所示。

零件的外圆尺寸为 $\phi 116\text{mm}$,最终加工到尺寸 $\phi 105 \pm 0.1\text{mm}$ 。该零件加工过程中我们采用了 17° 的小弧面扇形电极,每次加工都以 0.3mm 的进给量进行一周分段伺服加工,以 72° 为起始角度旋转加工到 360° 停止加工,共加工18周。第1周,由于使用新的电极没有产生炭黑层及存在毛刺尖点等影响,加工时间略长,约为 75min ;第2周及第3周加工时间分别为 40min 和 35min ,后15周平均加工时间为每周 30min ;加工整个零件所用时间大概为 10h 。

3 试验结论

通过工艺试验以及对试验结果的分析,确定了电火花蜂窝磨分段成型加工工艺方法的优势,优化了工艺参数,突破了传统工艺的束缚,在原先只能进行工件内径连续磨削的电加工设备,通过转变控制方式、结合计算机系统控制和优化工艺参数,完成了实体零件外形面的成型磨削加工,使航空难加工材料因硬度高、结构特殊而造成的机加工刀具损耗大、周期长的技术难题有了一个合理的解决方案。经检测该方法所加工的零件外形面尺寸及表面粗糙度均达到图纸要求,目前该工艺方案已应用于某发动机轴承油气封严圈零件的生产,并取得了良好效果,单件可降低成本近万元,每年可创造效益百万元。但目前存在的问题是设备数控化、柔性化程度低,建议在设备工作台上增加周向伺服进给和轴向精确分度功能,则可进一步扩展设备功能,大大提高设备利用率。相信随着工艺的日臻完善,该项技术将会在航空发动机制造领域得到更加广泛的应用。

参考文献

- [1] 曹凤国.电火花加工技术.北京:化学工业出版社,2001.
(责编 泰山)

(上接第75页)

量,以及添加适当的液体润滑剂,以利于提高产品的质量。

(3)数值模拟作为一种有效的仿真工具,能够近似地模拟并直观地显示出材料变形情况及金属流动特性。这不但降低了实验成本,而且对微挤压工艺的设计和参数优化具有指导意义。同时也是提高产品质量的基础,最终为微小零件挤压工艺的深入研究提供必要的信息与指导。

参考文献

- [1] Geiger M, Kleiner M, Eckstein R, et al. Microforming. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 2001, 50(2): 445-462.

[2] 申昱,于沪平,阮雪榆.流动应力下降尺度效应的数值模拟.上海交通大学学报,2006(10):1667-1670.

[3] Engel U, Eckstein R. Microforming—from basic research to its realization. Journal of Materials Processing Technology. 2002, 125-126: 35-44.

[4] Tiesler N E U. Microforming—effects of miniaturization. Metal Forming. 2000: 355-360.

[5] 王世明,彭林法,来新民.微挤压成形工艺仿真建模与分析.机械制造,2006(9):23-25.

[6] 赵亚西,童国权.微型齿轮挤压成形.模具工业.2006(11):32.

[7] Saotome Y. Superplastic nanohydroforming of bulk metallic glasses and the application to micromachines. 2003.

[8] 黄晓慧,王广春,赵国群.正向挤压成形均匀性的有限元仿真.锻压机械,2001,36(3):11-13.

(责编 淡蓝 岩石)

(上接第89页)

各节点成员的库存水平显著低于效率型供应链系统,可以节约大量资金。总体而言,反应型供应链中各节点通过信息共享可使供应链获得较低的库存数量。近年来,市场环境变化越来越剧烈,企业间只有有效合作,才能在保证服务水平的前提条件下降低整体库存水平。供应链管理思想虽然实现了一体化,但在实施过程中,必须有效利用信息通过信息系统形成的供应链网路,可以在满足顾客需求服务水平情况下,将传统生产方式中的不确定因素造成的库存量有效降低,提升企业的竞争力。此外,还需要进一步讨论将原材料供应商纳入供应链的情况,这样对企业更具指导意义。

参考文献

[1] 马士华,李华焰,林勇.平衡记分法在供应链绩效评价中的应用研究.工业工程与管理,2002,7(4):5-9.

[2] Ballou R H. 企业物流管理——供应链的规划、组织和控制.北京:机械工业出版社,2002.

[3] 徐贤浩,马士华.供应链关键绩效评价指标及优化.华中理工大学学报,2000,28(3):30-32.

[4] Stephens S. The Supply Chain Council and the Supply Chain Operations Reference (SCOR) Model. Logistics Spectrum, 2000, 34(3): 16-18.

[5] 叶春明,马慧民,李丹,等.BP神经网络在供应链绩效评价指标中的应用研究.工业工程与管理,2005(5):37-43.

[6] 胡晓燕.基于供应链绩效评定的物流成本评价体系研究.武汉理工大学学报,2003,(10):687-692.

[7] 余锦华,杨维权.多元统计分析与应用.广州:中山大学出版社,2005.

[8] Dallas E Johnson. Applied Multivariate Methods for Data Analysts. Duxbury: Thomson Learning, 1998.

[9] 赵林度.供应链与物流管理:理论与实务.北京:机械工业出版社,2003.

[10] 李贲春.供应链绩效评价指标体系与评价方法研究.管理工程学报,2004(1):104-105.
(责编 岩石)