

ZK61M镁合金的电火花加工

■ 航天科工惯性技术有限公司（北京 100074） 刘 胤 赵利民 刘美云 李 萌

镁合金因密度小、比强度和比刚度高而在航空航天、常规武器、核工业和交通运输等行业获得了广泛的应用。因镁合金材料的切削性能优越，一般不用电火花加工的方法进行加工。本文结合我单位某结构件的试制生产实例，在分析ZK61M材料性能的基础上，分别进行了镁合金的电火花线切割加工、电火花加工以及微弧氧化后的电火花加工，分析了试验现象，总结了镁合金电火花加工的技术措施，并应用于批量化生产，效果良好。

1. ZK61M镁合金材料性能

ZK61M属于Mg-Zn-Zr系镁合金，该系镁合金具有最高的强度、良好的塑性和耐蚀性，是目前应用最多的变形镁合金之一。ZK61M可采用挤压或锻造后直接时效（T1）或人工时效（T6），两种热处理后的强度差不多，但后者的塑性却低很多。ZK61M合金强度高，主要用于航空工业制造承受负荷较大的零件。在一般腐蚀介质中，ZK61M合金具有较好的耐蚀性，无应力腐蚀

开裂倾向。ZK61M的零件工作温度不能超过150℃。其化学成分和物理力学性能如表1、表2所示。

2. 结构件工艺性分析

图1a为某结构件，材料为变形镁合金ZK61M。从图中可以看出，整体呈框架结构，四周由四根方柱联接上下平板，内腔整块方料需加工去除，上下平板内侧存在键槽结构，用于安装电路板。图1b为图1a

中底面虚线部分结构的放大图，图中标蓝部分为安装盖板，无法用铣削加工完成，只能通过电火花放电加工。

在分析了结构精度和工艺难点后，工艺路线安排先由数控加工将四周侧面加工至相关结构深度，剩余内腔及键槽部位由电火花线切割加工完成。图1b部位（两处）则由电火花局部加工，之后钳工打孔攻螺纹，最后进行微弧氧化处理。

3. 电火花线切割试验

（1）采用水溶性线切割液试验：线切割机床选用CTW400TA线切割快走丝机床。工作液选用某牌号水溶性切割液，其特点是：无毒、无油污，长时间不用换液；防锈性好、适应切割各种材料（对钨、钼、钛和铝等特殊材料切割加工效果尤其突出）。在加工过程中工作液的颜色会逐渐变深，甚至呈棕黑色，只要保证有效的过滤则不影响其使用性能。

线切割时间为1 h。线切割后现象：零件表面（加工面和非加工

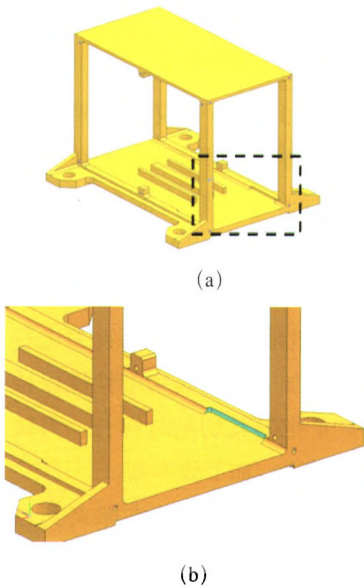


图1 某结构件

表1 ZK61M的化学成分

化学成分	Mg	Zn	Zr	Al	Mn	Si	Cu	Fe	Be	Ni	其他
组成分数（%）	余量	5~6	0.3~0.9	≤0.05	≤0.1	≤0.05	≤0.05	≤0.05	≤0.01	≤0.005	≤0.3

表2 ZK61M的物理力学特性

密度 / (g/cm ³)	硬度HB / (kgf/mm ²)	熔点 (℃)	热导率 (25~200℃) / [W / (m·℃)]	抗拉强度 (挤压棒材) / MPa	延伸率 (%)
1.8	75	635	0.28~0.3	335 (T6)	11

面)均呈灰黑色,但较干净,无浮灰,无需特殊处理就可检验和后续加工。因线切割液为水溶性,故线切割时间越长,零件表面发生腐蚀越严重,线切割过程如图2所示。当线切割工作液为水溶性时,不建议用于线切割镁合金材料。

(2)采用乳化性线切割液试验:线切割机床选用CTW400TA线切割快走丝机床。工作液为某牌号乳化性切割液,其特点是易于落料,排屑好,切割效率高(切割厚件时尤其突出);无毒,无刺激性气味,易冲乳(凉水)即可,对水的适应性强(只要是干净水即可),乳液使用周期长;加工稳定不易断丝,加工精度高,且具有一定的防锈性。

线切割时间:1h。线切割后现象:零件参与线切割的表面呈灰黑色,非加工面未受腐蚀。线切割过程如图3a所示。线切割完成后,在余料的出丝口下方表面粘附厚厚一层灰色浮灰(见图3b),需用汽油清洗后才能进行检验和后续加工。随着加工时间的延长,非加工面存在轻微腐蚀或水纹,但腐蚀程度远

低于水溶性切割液的腐蚀程度。

4. 电火花试验

(1)试验条件:电火花机床选用MD20NC电火花成型机床;工作液为煤油;电火花时间为10 min。

(2)电火花加工后现象:参与电火花放电的零件表面呈灰黑色,非加工面未受腐蚀。电火花加工过程如图4a所示,图4b为加工完成后的现场图。

5. 微弧氧化后电火花试验

结构件表面状态:ZK61M镁合金结构件表面已做微弧氧化处理。

电加工原因:结构件中ST2×0.4钢丝螺套螺纹底孔在过丝锥时折断。

电加工方法:一是自制小直径电极利用电火花加工;二是利用小孔穿丝机直接进行电加工。考虑到电火花加工过程中,工作介质煤油(内含电火花放电过程中产生的金属小屑、碳黑等电蚀产物)会污损结构件微弧氧化表面(镁合金微弧氧化陶瓷膜层一般为乳白色或灰白色),影响其表面质量;同时,考

虑到镁合金微弧氧化的最后工序为自来水漂洗,故采用小孔穿丝机进行放电加工去除断丝锥。

电加工机床:DS703电火花高速小孔加工机,中空圆电极,电极直径1.6 mm;工作液:工业用自来水;电火花时间:5 min。

电火花加工后现象:零件微弧氧化表面无腐蚀,钢丝螺套底孔呈黑色,经检测,不影响螺纹孔尺寸。从而说明:在自来水环境下,微弧氧化后的镁合金零件短时间内完全可以参与电火花加工,且表面质量不受影响。图5为加工完成后欲交付的产品,表面质量完好。

6. 结语

系列试验以及批量化生产验证表明:镁合金可以进行电火花加工,质量稳定。在电火花线切割加工过程中,为了保护零件的表面质量,尽量选用具有一定防锈防腐功能的乳基工作液;镁合金能够在煤油环境中进行电火花加工;微弧氧化处理后可在流动的自来水中进行短时间的电加工,表面无腐蚀现象发生。

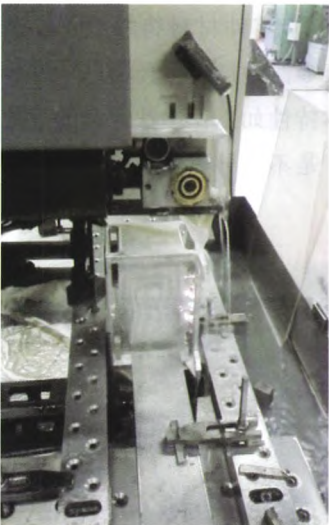
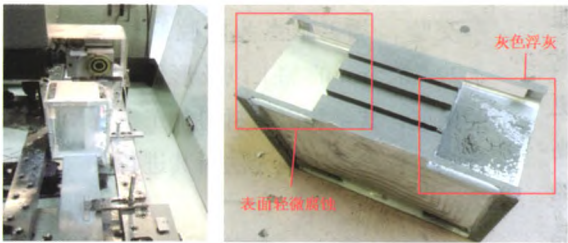


图2 电火花线切割
(水溶性切割液)



(a) 线切割过程 (b) 线切割余料及其浮灰
图3 电火花线切割(乳化性切割液)



(a) 电火花加工过程 (b) 加工后的现场
图4 电火花加工

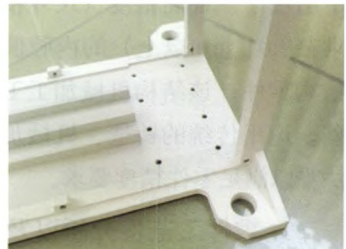


图5 镁合金成品结构件

MW (收稿日期:20140730)