

铍材料精密电火花加工工艺研究

潘伟光,吴优,周兵,潘文杰

中国工程物理研究院材料研究所

摘要: 针对铍材料机械加工性能较差的缺点,进行了电火花精密加工工艺的探索;通过负极性和以较低放电能量的加工方式,突破了机械加工极限,得到了厚度为0.05mm左右的铍薄膜。

关键词: 电火花加工;负极性;铍

中图分类号: TG661;TH16

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.1000-7008.2020.03.019

Research of Beryllium Machining Process by EDM

Pan Weiguang, Wu You, Zhou Bing, Pan Wenjie

Abstract: Aiming at the disadvantage of poor machining performance of beryllium, the precise machining process of EDM is studied. By the negative polarity and the relative low machining energy, a beryllium foil with about 0.05mm thickness is achieved in experiment. The EDM process breaks the limit of the conventional machining process validity.

Keywords: electro-discharge machining; negative polarity; beryllium

1 引言

近年来,国防工业的突飞猛进使得传统铝合金及钛合金已经无法承载新技术的变革,材料性能的不足渐渐成为核工业、惯性导航以及陆装武器观瞄等领域的发展桎梏^[1]。而铍作为一种稀有轻金属材料,以其优良的物理力学性能被誉为“核时代金属”和“空间时代金属”。但铍材料在200℃以下时,具有较高的硬脆性,机械加工性能较差(见图1)。表1是几种常见航空用金属材料的性能对比。

表1 常见金属材料性能对比

材料	弹性模量(GPa)	密度(g/m ³)	线膨胀系数(10 ⁻⁶ /K)
Mg	45.5	3.79	26.1
Al	74.2	2.7	21.4
不锈钢	196	7.8	17.5
Be	300	1.84	11.5

电火花加工(Electro-discharge Machining)是一种特种加工工艺。加工过程中,电极与工件不发生接触,仅靠电极间产生的高温来达到蚀除材料的目的。其加工原理为:当电极与工件在很小的间距产

生较大的电势时,两者之间的绝缘油液发生电流击穿,许多游离的电子向正电极涌动并将极间的绝缘油液进一步电离,从而产生更多的自由电子;在该过程中,电极与工件之间瞬间形成强大的电场,并产生一个暂时的放电通道。在大量电子快速迁移下,狭小的区域内将产生较大热量,将电极与工件材料气化,从而达到去除工件材料的目的^[2](见图2)。该加工方式具有非接触、无加工应力等技术优势,在机械难加工材料的应用中具有广阔的前景。

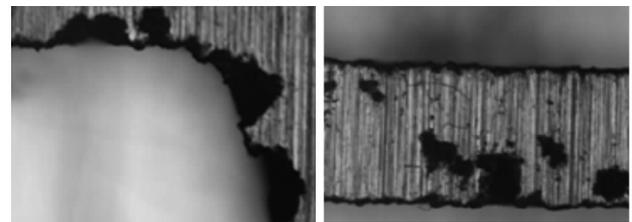


图1 传统加工方式的崩边现象

为了探索电火花技术在铍材料加工领域应用的可行性,本文在以下两方面开展了相关研究:①利用电火花精密加工技术,完成0.05mm厚度铍薄膜(薄膜长10mm×宽5mm)的试制;②在电火花加工条件下,进行加工质量、成型精度、加工参数与电极损耗

收稿日期:2019年7月

(3)新型锯片齿型结构复杂,侧隙加工时,需采用两步加工工艺完成,并结合径向水口槽的磨削,即可磨出锯齿的径向和切向棱角。

参考文献

[1]张艳龙,韩会杰,黄建平. 镶片圆锯生产工艺及配套工装

夹具改进[J]. 河北冶金,2014(5):64-66.

[2]韩会杰,郁春锋,张晓娟,等. 镶片圆锯片的生产工艺改进[J]. 北华航天工业学院学报,2015(4):22-24.

[3]GB/T6130-2001, 镶片圆锯[S].

第一作者:孟娟,本科,唐山冶金锯片有限公司,063020
河北省唐山市

的初步研究。

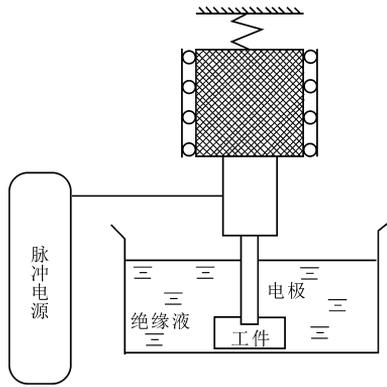
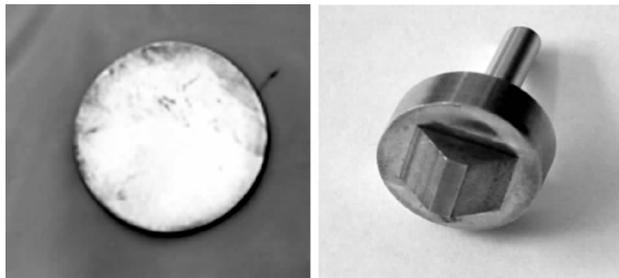


图2 EDM加工原理

2 电火花加工试验及结果分析

试验加工设备为瑞士阿奇—夏米尔的 FORM 1000 型电火花成形机床,机床在 Z 轴方向的定位精度可达到微米级,满足 0.05mm 铍薄膜的加工试制。

试验使用牌号 RJY40 的光学仪表级铍材料,样品为经过表面研磨的直径 20mm 的铍圆片,厚度为 0.80mm,加工余量约 0.75mm;此外,电极材料为黄铜,其加工表面的两个长侧边设计为钝角过渡(见图 3)。



(a) 铍样品 (b) 黄铜电极

图3 铍样品和电极

由于电火花加工是一种非接触、无应力的加工方式,故在试验中采用环氧树脂胶将铍样品粘接在金属工装上,注意只能在铍样品的边缘进行粘接,避免造成样品底部绝缘。考虑到加工效率和加工质量的要求,铍薄膜加工分为粗加工和精加工两道工序。

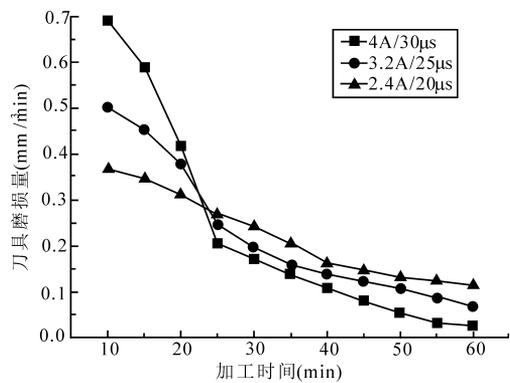
2.1 铍薄膜的粗加工

粗加工过程中,由于 90% 左右的余量都将在粗加工工序中去除,因此一方面要考虑适当提高加工效率,另一方面也要避免较大的电极耗损。

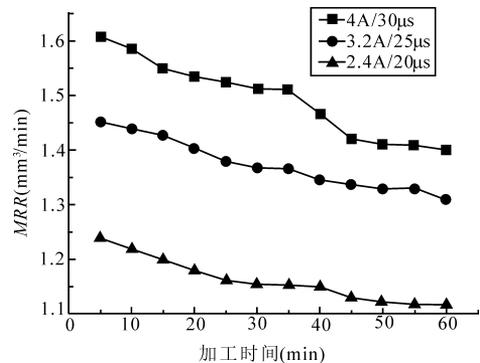
为有效提高加工效率,适当增加材料去除率 MRR 也是研究重点之一。为了最大程度减少在加工中产生剧毒铍蒸气,整个加工过程均在较低的放电参数(表征为电流强度 $I(A) \times$ 放电脉宽 $td(ms)$

下进行。

随着放电参数的增大,为了减少电极耗损,粗加工采用负极性的加工方式。因为随着加工过程的进行,放电时产生的高温使工作介质部分产生热分解生成碳和碳胶粒,并在正极表面形成具有一定强度和厚度的化学吸附碳层。由于碳的熔点和气化点相对较高,因此该吸附层可对阳极表面起保护和补偿作用,从而实现低损耗加工^[3]。如图 4 所示,在约 1h 的加工时间内,通过一系列的试验研究,得到了负极性加工前提下、不同强度放电参数时的电极损耗和材料去除率。



(a) 电极损耗



(b) 材料去除率

图4 粗加工的电极损耗和材料去除率

从图 4a 可以看出,电极损耗率呈剧烈下降向缓慢下降发展的趋势,其中前 25min 内电极的损耗率较大。造成该现象的原因主要有两方面:首先,由于加工过程中尖端放电的影响,电极与工件接触的边缘部分最先受到集中电子流的冲击,造成其边缘部分率先气化,使得电极损耗率突然增加,在试验中可以观察到,卸下的电极锐利边缘由于热损耗全部变成了钝圆;其次,随着加工过程的进行,碳和碳胶粒慢慢沉积于电极表面并逐渐增厚,进一步阻止了电极的损耗,在该碳化层的保护下,电极的损耗渐渐稳定在相对较低的水平上。

材料去除率随着加工的进行趋于下降,但下降

速率相对较小。这是由于随着加工的进行,作为负极的工件表面也会逐渐附着一层相对较薄的碳化物,且该层碳化物不如正极电极的表面致密,所以对工件表面的“保护”作用相对较小。

图5为电火花粗加工后铍材料表面的显微形貌,可以发现黑色的浅坑内布满了碳化物颗粒,正是这些颗粒减小了材料去除率。

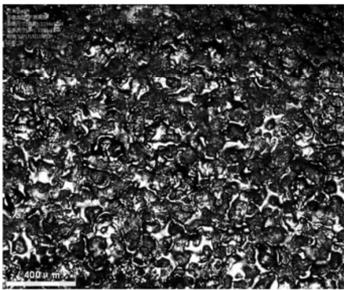


图5 粗加工后的铍样品表面

2.2 铍薄膜的精加工

经过超声波清洗,初步测得经过粗加工后的样品,其表面粗糙度约为 $R_a 6.8\mu\text{m}$ (放电参数为 $3.2\text{A} \times 25\mu\text{s}$),铍薄膜厚度约为 $0.10 \sim 0.11\text{mm}$ 。这是因为粗加工全过程中并未更换电极,堆簇在电极和工件表面的碳化物颗粒严重影响了样品表面的电火花加工质量。考虑到样品仍有 $0.05 \sim 0.06\text{mm}$ 左右的加工余量,故须在精加工中保证电极与样品表面的光洁,并尽可能避免电极损耗,以保证加工精度。

由于实验室使用粉末冶金铍材料,其晶粒一般在 $15 \sim 30\mu\text{m}$ 左右,故必须准确控制电火花精加工的进给量,防止样品厚度过薄导致穿孔或断裂。最终,精加工被分为两个步骤进行:①为了保证电极进给的准确性,在实际加工中应最大程度地避免电极在加工过程中的损耗。试验中首先采用负极性加工方式,调整放电参数为 $2.0\text{A} \times 25\mu\text{s}$,缓慢去除约 $0.03 \sim 0.04\text{mm}$ 的加工余量。在此过程中需特别注意,由电极损耗导致的加工进给失真,必须不断利用FORM 1000型电火花机床配套的雷尼绍测头进行在线检测,以确认实际进给量(见图6);②当铍薄膜的厚度约为 $0.06 \sim 0.07\text{mm}$ 时,停止负极性的加工方式,更换新电极,对刀后更换为正极性加工并使用相对较低的放电参数(约 $2.0\text{A} \times 25\mu\text{s}$)。这一过程相当于机械加工中的抛光,因为放电通道中的尖端放电效应会优先去除样品表面粗糙不平的部分,使得加工表面趋于光洁。

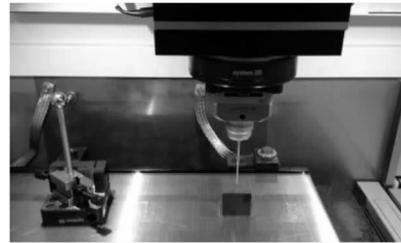


图6 FORM 1000电火花机床的在线检测

2.3 试验结果分析

通过以上两个加工步骤得到了厚度约为 0.05mm 的铍薄膜,经过精加工并完成清洗后的铍薄膜表面微观形貌见图7,测得表面粗糙度约为 $R_a 2.6\mu\text{m}$ 。

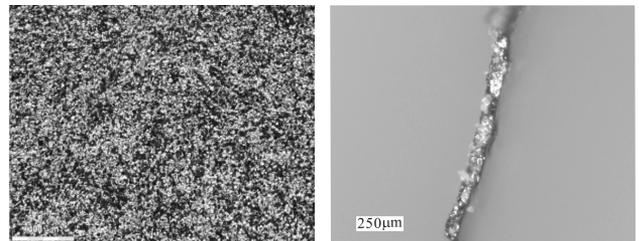


图7 精加工后的铍样品表面 图8 铍薄膜的横截面

制样与样品研磨抛光后,得到铍薄膜的横截面形貌见图8。可以看出,横截面上仅包含了 $1 \sim 2$ 层的晶粒,此厚度的铍薄膜已基本达到该牌号铍材的加工极限尺寸。

3 结语

通过大量的工艺试验与试验分析,最终通过精密电火花加工工艺在牌号为RJY40光学仪表级的铍材料表面成功制得了表面粗糙度约为 $R_a 2.6\mu\text{m}$ 的薄膜,最薄可以达到约 0.05mm ,相当于 2 层左右的晶粒尺寸。

参考文献

- [1] 马世光,戴富强. 当前我国铍工业的形势和任务[J]. 稀有金属,2009,21(增刊二):289-291.
- [2] 刘晋春,赵家齐,赵万生. 特种加工[M]. 北京:机械工业出版社,1999:9-12.
- [3] Xia H, Hashimoto H, Knieda M, et al. Measurement of energy distribution in continuous EDM process[J]. JSPE, 1996, 62(8):1141-1145.

第一作者:潘伟光,高级工程师,四川省中国工程物理研究院材料研究所,621907 四川省江油市

First Author: Pan Weiguang, Senior Engineer, Sichuan China Academy of Engineering Physics, Institute of Materials, Jiangyou, Sichuan 621907, China