

# 新型精密模具表面镜面加工技术

刘亚丹<sup>1</sup> 葛晓宏<sup>1,2</sup> 黄红武<sup>2</sup>

(1. 厦门大学机电工程系 2. 厦门理工学院 福建 厦门 361005)

**摘要:**介绍了混粉电火花与大面积脉冲电子束模具镜面加工(EBM)技术的概况,对两种技术在加工材料、加工效率、加工成本及表面质量等进行分析对比,指出两种加工技术的应用特点。为精密模具表面镜面加工提供了技术指导。

**关键词:**混粉电火花 脉冲电子束 镜面加工

**中图分类号:** TG175 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-4801(2008)01-39-03

## 1 前言

模具型腔和精密零件的表面质量直接关系到产品的表面质量。目前,大多数模具表面加工还依赖于手工来实现,有些模具的抛光时间占模具整个制造周期的1/3,手工抛光劳动强度大,抛光精度低<sup>[1]</sup>。20世纪80年代末,日本学者毛利尚武等人在研究中发现,在工作液中添加一定数量的硅、铝等微细粉末会显著地改善电火花加工后的表面粗糙度,达到类似镜面的效果,从而提出了混粉电火花镜面加工技术。该技术只需改进加工工作液,而对机床,电极等并无特殊要求,因此混粉电火花镜面加工技术具有良好的实用性。最近几年,日本Sodick公司与日本永田精机公司、冈山大学宇野研究室共同研制了电子束镜面加工装置EBM(电子束有效范围为 $\phi 60\text{mm}$ ),使用电子束对模具型腔表面进行镜面加工,实现了大面积、高效率的金属表面镜面加工。与传统的抛光方法相比,这两种方法都能很好地提高模具表面的镜面加工的效率 and 效果。

## 2 精密模具镜面加工技术概况

在模具镜面加工技术中,传统加工方法主要是依靠手工和机械加工,非传统加工方法主要有电解研磨、磁流体抛光、超声研磨电子束镜面加工、混粉电火花加工等。金刚石超精密切削最小切削厚度可达到1nm,主要用于特种有色金属材料的加工;超精密磨削的表面粗糙度可达到镜面水平( $R_a = 0.01 \sim 0.02\mu\text{m}$ ),可加工超精密金刚石车削无法加工的黑色金属、硬质合金等材料。但是对于模具镜面加工,超精密切削只能加工特种有色金属材料,而超精密磨削要求的工件几何形状是规则平面或曲面,无法满足模具生产的需要,两者在模具镜面加工领域得不到广泛的应用。混粉电火花和电子束镜面加工是近时期发展起来的

两种先进技术,不仅能加工模具零件中的尖角、凹槽、异形等结构,而且对大部分模具材料都能得到理想的加工效果。

## 3 新型镜面加工技术应用比较

### 3.1 混粉电火花镜面加工技术

混粉电火花加工与普通电火花加工的原理基本相同(如图1所示),也是基于工具和工件之间脉冲性火花放电时产生电腐蚀现象蚀除多余的金属,达到预定的工件表面加工质量要求,与普通电火花加工不同的是在煤油等工作液中加入Al、Si、W等导电微粉,并且对规定参数设置得更精细,脉冲宽度和峰值电流都比较小。

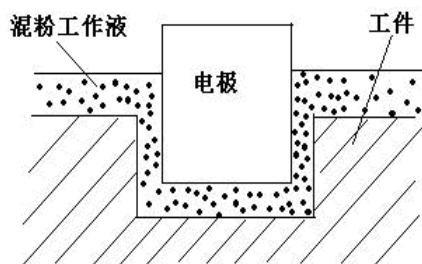


图1 混粉电火花镜面加工原理图

加入导电微粉降低了工作液介质的电阻率和绝缘强度,使电极与工件间的放电间隙增大,加速工作液的流动,易于电蚀物的排除,减少了短路和电弧等非正常放电。悬浮在工作液中的导电微粉,把原来单一的放电通道分割成多个放电通道,使每一个小放电通道中的能量变少,这样在一次火花放电过程中,就只有极少量材料被加热至熔融状态,不至于形成较大的放电凹坑。同时,由于正离子和电子脉冲宽度较窄,加速能量不足以把通道中心的大部分熔融金属喷溅出来,只是在冲击力的作用下使其向四周延展,形成浅而平的凹坑,所以与普通电火花加工相比表面较为平整<sup>[2]</sup>,表1是混粉电火花加工与普通电火花加工表面粗糙度的比较。

表1 混粉电火花与普通电火花加工表面粗糙度比较

电极尺寸	表面粗糙度 ( $R_{max}$ )	
	普通工作液	添加硅粉工作液
(25×100) mm <sup>2</sup>	2.5μm	0.6μm
(100×100) mm <sup>2</sup>	3.5μm	0.9μm
(200×200) mm <sup>2</sup>	5.5μm	1.5μm

### 3.2 脉冲电子束镜面加工技术

脉冲电子束加工通常要求在真空环境下使用, 装置如图2所示, 加工之前真空室内已预先掺入了(5~15)×10<sup>2</sup>Pa左右的氩气(Ar), 首先由布置在腔外部的电磁线圈产生磁场, 当磁场达到最大的瞬间, 对阳极施加脉冲电压, 由于彭宁效应使腔内产生的电子向阳极移动, 同时因电子受到劳伦兹力的作用而进行螺旋运动, 飞行中的电子不断与腔内的氩原子发生冲撞, 而在阳极附近产生等离子体(阳极等离子体), 当等离子区达到最大的瞬间时给阴极施加脉冲电压, 就会在阴极附近形成双电荷层, 电场强度得到增强, 从阴极释放出来的电子被高电场加速形成电子束<sup>[3 4]</sup>。

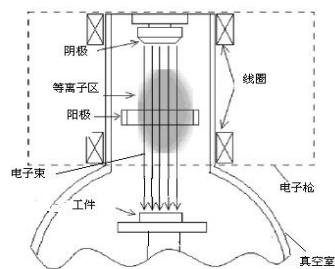


图2 大面积脉冲电子束照射装置  
该装置电子束(φ60mm)的单位面积能量为

2~10 J/cm<sup>2</sup>, 每次照射的时间为2~3 μs, 作用深度为几个微米。高功率的脉冲电子束照射钢表面时, 如图3所示, 电子束90%能量转变为金属表面热能, 受热区域的温度极迅速上升(约10<sup>8</sup> K/s), 达到熔点以上而熔化气化, 从而实现金属表面的平整。停止照射后由于金属基体的导热, 金属表面高速冷却(约10<sup>8</sup> K/s), 发生淬火反应形成致密的细小马氏体组织, 提高了金属表面的硬度, 耐磨性和耐腐蚀性。

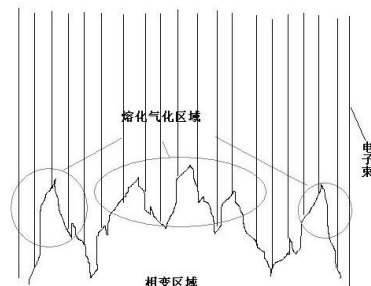


图3 大面积电子束照射金属表面示意图

### 3.3 分析比较

混粉电火花镜面加工是通过脉冲放电的电腐蚀效应来蚀除多余的金属, 混粉电火花镜面加工的效果受很多因素的影响, 主要有: ① 粉末的粒度和浓度; ② 工作液的充分搅拌; ③ 极间工作液的流场分布情况; ④ 合理的放电参数设定; ⑤ 工件材料等。电子束镜面加工是通过加速电子与工件表面的能量转换使金属表面熔化气化, 去除多余材料, 加工效果的关键与工件的预处理效果(电火花放电); 最佳照射参数(电子束能量密度, 照射次数); 电子束的照射角度等因素有关。表2为两种加工方法的特点比较。

表2 混粉电火花镜面加工与电子束镜面加工特点的比较

比较内容	混粉电火花镜面加工	电子束镜面加工
适用材料	适于加工含碳量较少, 晶粒细小的材料。	绝大部分的模具材料(除锰含量高的材料)
工件几何形状	可加工表面形状由电极决定	可加工区为电子束能够照射到的所有区域
对工件表面质量要求	预先电火花放电加工达到表面粗糙度小于Ra1.6μm, 预留约10 μm的加工余量	要达到理想的加工效果, 需预先用电火花放电, 加工需达到一定表面粗糙度。
工作环境要求	添加导电微粉的工作液	真空室中加入(5~15)×10 <sup>2</sup> Pa左右的氩气(Ar)
目前设备装置	主要是日本sodick, 公司, 三菱电机公司和台湾美溪公司等的具有混粉电火花镜面加工功能的电火花放电机床。	日本sodick公司EBM镜面加工装置
加工表面质量	① 表面粗糙度可以达到0.1 μm以下。 ② 改善工件表面的耐磨, 耐腐蚀性能。 ③ 表面留下白硬层(重铸层)	① 消除了前一个工序(电火花放电)留下的白硬层。 ② 表面粗糙度为加工前的1/4~1/3, 可以达到0.01 μm以下。 ③ 表面生成了致密的细小马氏体组织, 提高表面硬度, 耐磨性和耐腐蚀性。
加工效率	为手工抛光的10倍以上	为手工抛光的几十倍到几百倍, 一般的工件在几分钟之内就能达到镜面效果
加工成本	从Ra0.6到镜面效果为0.1元/cm <sup>2</sup> 左右	加工到镜面效果的成本小于0.05元/cm <sup>2</sup>

## 4 新型镜面加工技术应用

混粉电火花加工的操作比较复杂,工作液的使用寿命短,增加了加工成本,同时放电间隙和放电变化幅度的增大影响工件的加工精度(特别是仿形精度),模具表面有白硬层残留,经过混粉电火花加工过的模具表面的硬度和耐磨性已经相当高,这时只能通过特殊的加工的方法才能去除表面的白硬层。相比较而言电子束镜面加工的效率更高,模具表面光泽度更高,硬度和耐腐蚀性更好,去除了上道工序(电火花放电)留下的白硬层,得到的模具表面更理想。

### 4.1 混粉电火花加工技术应用

当采用混粉电火花镜面加工时,可按下列步骤进行:

(1)用电火花机床对模具型腔进行粗加工,并为精加工和混粉电火花加工留 $0.4-0.5\text{mm}$ 的加工余量。

(2)用普通工作液对模具型腔进行精加工时,应注意加工规准的合理转换。为保证混粉电火花镜面加工效果,精加工后的工件表面应具有较低的粗糙度,一般应小于 $R_a1.6\mu\text{m}$ ,同时为混粉电火花镜面加工留约 $10\mu\text{m}$ 的加工余量。

(3)转换工作液,对模具型腔进行混粉电火花镜面加工。为提高加工效率,混粉电火花镜面加工过程可采用粗、精两种规准。最终模具型腔表面粗糙度可以达 $0.1\mu\text{m}$ 以下<sup>[5]</sup>。

### 4.2 脉冲电子束加工技术应用

利用大面积电子束对模具型腔表面进行镜面

加工,首先在磨床或者电火花机上预先对模具型腔表面加工至一定表面粗糙度,并预留 $2-5\mu\text{m}$ 的余量。实验表明,电火花放电表面相对于其他加工方法表面能取得更为理想的加工效果,而且在相同的照射条件下,照射前的表面粗糙度越小,获得的照射后的表面粗糙度也越小。接着把工件安装在真空室的工作台上,真空泵进行 $5-10\text{min}$ 的抽真空,并加入氩气使真空室的真空度保持在 $(5-15)\times 10^{-2}\text{Pa}$ 左右,再利用电子束对模具型腔进行数分钟的照射及完成加工。对于加工面积较大的工件,可以通过移动工作台,反复进行照射来完成。在加工过程中对于不同的模具材料需要设定不同的电子束的能量密度,照射次数等参数来获得最佳的加工效果。目前沙迪克公司的电子束镜面加工机床可获得 $R_y0.01\mu\text{m}$ 以下的表面粗糙度。

## 5 结束语

混粉电火花和电子束镜面加工是新兴的模具镜面加工技术,综合比较两者的加工特点,后者的加工效果更好,更具有市场竞争力,在未来的模具镜面加工领域有着很广阔的应用前景。但是作为最新兴的镜面加工技术,目前还有很多问题需要解决,如对不同的模具材料需要建立一个完整的照射参数指导数据库,如何解决锰和铬含量高的模具材料无法得到镜面加工效果,以及照射过程中可能发生的二次淬火等问题。电子束镜面加工的广泛应用还需要在实际生产过程中不断总结改进。

### 参考文献:

- [1] 魏志强,莫德秀.精密模具的大面积镜面加工技术[J].模具工业,2000,(2),47-49.
- [2] 许洪斌,李登波.模具表面抛光技术的研究进展[J].模具制造技术,2006,(2),44-48.
- [3] Y.Unoa, A.Okada, K.Uemura et al. A new polishing method of metal mold with large-area electron beam irradiation[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2007, 187-188, 77-80.
- [4] 沙迪克公司,虞战波,樱井丰久.大面积电子束的模具精加工技术[J].机械工人(冷加工)2004,(11),43-44.
- [5] 赵万生,孟庆国.混粉电火花镜面加工技术的研究及进展[J].中国机械工程,2001,(4),466-469.

**作者简介:**刘亚丹(1983年~),男,汉族,福建龙岩,厦门大学机电工程系硕士研究生,研究方向:机械电子工程。