

[新设备·新材料·新方法]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2017.01.015

# 基于双层夹缝微量润滑 MQL 装置的 混粉准干式电火花加工

徐 赞, 梁 荣, 赵康东

(宁波工程学院 杭州湾汽车学院, 浙江 宁波 315336)

**摘 要:**针对目前混粉准干式电火花加工中气、液、固三相流稳定雾化困难的缺点,提出新的双层夹缝混粉准干式电火花微量润滑装置的应用,并对其促进稳定雾化机理进行试验研究。结果表明采用双层夹缝混粉准干式电火花微量润滑装置能提高三相流稳定性,改善雾化状态,进而改变放电间隙及放电通道位形,从而提高工件表面质量。

**关 键 词:**混粉准干式电火花加工;微量润滑装置;三相流介质;完全破裂雾化

中图分类号: TG661 文献标志码: A 文章编号: 1005-2895(2017)01-0067-04

## Powder Mixed Near Dry Electrical Discharge Machining Based on Double Cracks MQL

XU Zan, LIANG Rong, ZHAO Kangdong

(Automotive Institute of Hangzhou Bay, Ningbo University of Technology, Ningbo, Zhejiang 315336, China)

**Abstract:** Aiming at Near Dry powder mixed EDM in gas, liquid, solid three-phase flow stable atomizing difficult shortcomings, proposed new double cracks near dry powder mixed EDM application MQL device and its atomization mechanism to promote stability were discussed. Experimental studies have shown that the use of double cracks near dry powder mixed EDM MQL can enhance the stability of the three-phase flow, improve atomization state, thereby changing the discharge gap and the discharge channel bit-shaped, improve surface quality.

**Keywords:** powder mixed NDED (Near Dry Electrical Discharge Machining); MQL (Minimal Quantity Lubrication) device; three stream; complete rupture and atomization

混粉准干式电火花加工是一种高效率、高精度、高柔性的特种加工技术,该技术的特点是以气、液、固混合三相流为介质,经由微量润滑装置将含固体颗粒的液相与气相混合形成气液固三相流工作介质喷入旋转管状电极通过火花放电从而达到加工目的。微量润滑装置是决定三相流雾化状态并直接影响加工精度、稳定性和效率的关键装置。然而目前传统微量润滑装置在气、液、固三相混合过程中存在三相流介质不稳定或三相流混合雾化不充分的缺陷。即在雾化室内将气、液、固三相流用输送管在腔内混合,高压气流与供油供

水管内提供的液体相与粉末输送管输送的粉末固体相在简单型腔内混合达到雾化目的。其结构简单但缺点是气、液、固三相并不能充分地均匀混合并且雾化过程不稳定产生的过大液滴不利于小间隙电火花加工,易造成拉弧并导致短路率升高。

为了充分利用三相流介质的优点并克服其缺点,笔者提出新的双层夹缝混粉准干式电火花微量润滑装置结构及工作方案,装置通过圆柱形内壁、漏斗形中壁在靠近出口处形成细缝,将电火花液与导体粉末的混合相撕成极薄的液膜,再经漏斗形外壁与圆柱形内壁

收稿日期:2016-05-30;修回日期:2016-09-19

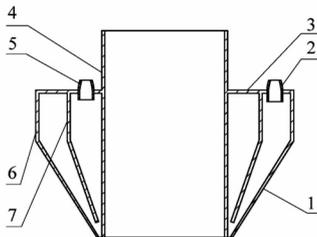
基金项目:2015年浙江省大学生科技创新活动计划(新苗人才计划)项目(2015R424029);2015年宁波市自然基金项目(2015A610156);2016年浙江省教育厅一般科研项目(Y201635586)。

第一作者简介:徐赞(1994),男,浙江宁波人,本科,主要研究方向为材料成型及控制工程技术。通信作者:梁荣(1981),男,山东青岛人,硕士,高级实验师,主要研究方向为材料成型及控制工程技术。E-mail:liangrong@nbut.edu.cn

所形成的细缝经压缩空气吹裂实现三相流介质充分混合并稳定雾化。

### 1 应用于混粉准干式电火花加工的双层夹缝微量润滑装置

双层夹缝准干式电火花微量润滑装置工作方式如图1所示,其雾化室主体由圆柱形内壁、漏斗形中壁、漏斗形外壁和圆平面构成。通过圆柱形内壁、漏斗形中壁在靠近出口处形成细缝,将电火花液与导体固体微细粉末的混合相撕成极薄的液膜,再经漏斗形外壁与圆柱形内壁所形成的细缝经压缩空气进一步吹裂雾化。



1—雾化室;2—压缩空气接头;3—圆平面;4—圆柱形内壁;5—电火花液接头;6—漏斗形外壁;7—漏斗形中壁。

图1 双层夹缝准干式电火花微量润滑装置工作方式示意图

Figure 1 Double cracks near dry EDM MQL system work schematic

由微量润滑 MQL 装置制备生成的三相流经过极间击穿,形成放电通道,材料电蚀,消电离 4 个阶段完成一次电火花放电过程,编辑电极与工件的相对运动路径并重复多次放电过程之后,即可得到所需形状工件。

### 2 雾化原理

基于双层夹缝微量润滑 MQL 装置雾化原理如图2所示,当韦伯数  $We$  大于黏性临界韦伯数  $We_c$  时,液体发生破裂。喷嘴雾化模式是双层夹缝准干式电火花微量润滑装置的主要雾化机制。该破裂模式是由于气液两相相互作用形成压力波及相互剪切作用而造成射流破裂<sup>[1]</sup>。

双层夹缝微量润滑装置实现完全破裂是通过雾化区域内部所设结构把液体和导体固体粉末混合相拉扯成极薄的液膜或液柱,随后与高压空气流相互作用,扰动破裂。双层夹缝端口液膜受力情况如图3所示。

低速细薄液膜与高速压缩空气的强烈相互作用所形成的高度雾化的三相流介质相对于单纯压缩空气和未充分雾化不稳定的三相流其放电间隙更高<sup>[2]</sup>,也使

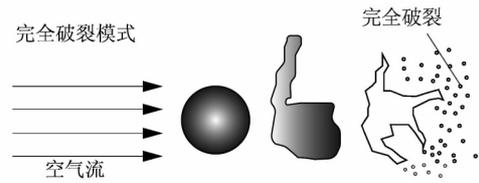


图2 双层夹缝微量润滑 MQL 装置的雾化原理图

Figure 2 Atomizer schematics of double cracks MQL device

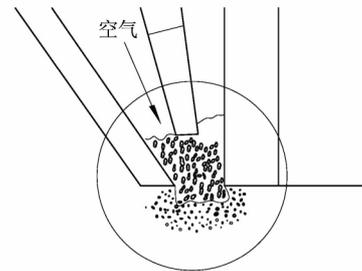


图3 双层夹缝端口液膜受力破裂示意图

Figure 3 Bilayer film stress rupture cracks port schematic

介质流动速度提高,排屑状态也得到改善,蚀除效率提高。

### 3 雾化作用

#### 3.1 三相流中雾化作用的影响

在完全破裂雾化过程中,大液滴能否进一步破裂主要取决于大液滴与周围气体速度差的大小,可以根据韦伯数  $We$  确定。

$$We = \frac{\rho_a V_r^2 D}{\sigma}$$

式中: $\rho_a$  为气体密度; $V_r$  为相对速度; $D$  为球状液体的直径; $\sigma$  为表面张力。

液滴直径的尺寸分布直接决定了三相流的雾化程度。一般普通微量润滑装置进行混粉准干式电火花加工时,三相流在二次喷嘴雾化作用下液、固两相混合相因空气流相互作用产生扰动而破裂,但由于并未延展成细薄液膜,扰动程度不均匀,破裂不彻底,易产生袋状剥离。根据韦伯数定义,在能改变的变量之中,表面张力  $\sigma$  越小,相对速度  $V_r$  越大,破裂越彻底,相应的三相流雾化程度也越高。双层夹缝微量润滑装置相当于将液膜进一步延展细薄,使其表面张力  $\sigma$  降低,同时通过伯努利效应加速空气流流速增大相对速度  $V_r$ ,从而使三相流充分、稳定雾化。

为验证双层夹缝微量润滑装置细化雾状液滴的效

果,采用统计学方法条形图表示喷射液滴直径尺寸分布,如图 4~5 所示,并以此评判雾化质量和喷雾特性。

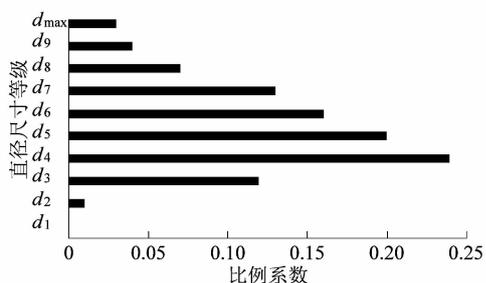


图 4 双层夹缝微量润滑装置液滴直径尺寸分布图

Figure 4 Double cracks MQL device droplet diameter size distribution

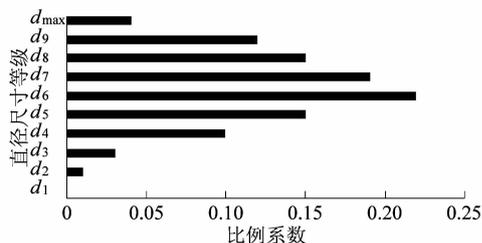


图 5 普通微量润滑装置液滴直径尺寸分布图

Figure 5 Common MQL device droplet diameter size distribution

实际状况中,由于普通微量润滑装置不稳定雾化,存在液滴直径尺寸分布的波动,但双层夹缝微量润滑装置的改善雾化质量效果仍较为显著。

### 3.2 三相流介质雾化对工件表面加工的影响

三相流介质的雾化对于准干式电火花加工的介电系数和放电间隙影响较大,同时还会引发串联放电现象。双层夹缝微量润滑装置通过改善三相流雾化状态从而进一步引发放电通道位形变化,使得工件表面电蚀坑面积扩大、深度降低,减低表面粗糙度并且通过高度雾化的三相流削弱电蚀产物聚集效应,有效降低拉弧放电、短路等不良放电现象发生的几率,大大提高加工稳定性。

当导体混粉固体相与电火花液液体相均匀混合并作为分散相均匀分布在作为连续相的压缩空气流气体相中时,假设液滴为球形,可计算该三相流体系的相对介电系数<sup>[3]</sup>

$$\varepsilon = \varepsilon_1 \left[ 1 + \frac{3\varphi_2((1+3\varphi_1)\varepsilon_2 - \varepsilon_1)}{(1+3\varphi_1)\varepsilon_2 + 2\varepsilon_1} \right]$$

式中: $\varepsilon$  为相对介电系数; $\varepsilon_1$  为气体介质介电系数; $\varepsilon_2$  为电火花加工液介电系数; $\varepsilon_3$  为导体粉末介电系数; $\varphi_1$  为混粉质量分数; $\varphi_2$  为固液混合相在气体中的质量

分数。由公式可知三相流的介电系数主要取决于混粉的质量分数和固液混合相在气体中的质量分数。双层夹缝微量润滑装置能有效雾化固液混合相,使其破裂成直径更小的球状液滴进而提高固液混合相在气体中的质量分数,影响其介电系数<sup>[3]</sup>。

## 4 试验验证

采用传统微量润滑装置、双层夹缝微量润滑装置进行混粉准干式电火花加工对比试验。试验条件:采用 SEFN450 精密电火花成形加工机床,2 组试验分别使用分流锥式普通微量润滑装置和双层夹缝微量润滑装置。压缩空气设定压力为 0.5 MPa,使用半径为 10  $\mu\text{m}$  的硅粉以 15 g/L 加入电火花液并以搅拌装置混合均匀。加工电极为管状铜电极,工件为经淬火并中温回火的 65 Mn 钢。设置放电回路开路电压为 200 V,峰值电流 4 A,脉宽 3  $\mu\text{s}$ 。试验过程中工件作为阳极,电极不做旋转。

利用示波器和机床自带检测反馈,在三相流介质趋于稳定后电极缓慢向工件距离以 1  $\mu\text{m}$  为单位逐步减小直至示波器出现加工放电波形,记录工件表面与电极距离即为放电间隙<sup>[4]</sup>,重复多次实验并取出现频率最高范围。采用 2 种微量润滑装置 MQL 的放电间隙如表 1 所示。

表 1 放电间隙对比测试

Table 1 Discharge gap comparison test

MQL 类型	放电间隙 $\delta/\mu\text{m}$
双层夹缝微量润滑装置	16 ~ 18
普通分流锥式微量润滑装置	13 ~ 19

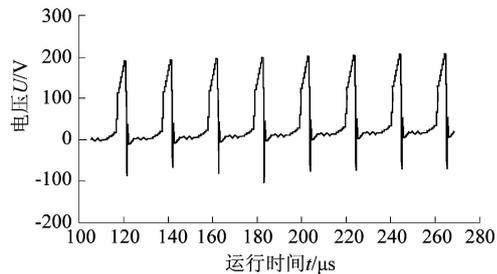
由试验结果可知双层夹缝微量润滑装置相比较于普通分流锥式微量润滑装置放电间隙更稳定,平均和最小放电间隙更大,能明显降低短路率,提高工作稳定性。为进一步证明其放电间隙对于工作稳定性的影响,使用示波器记录 2 种微量润滑装置进行混粉准干式电火花加工的波形图。使用双层夹缝微量润滑装置和普通分流锥式微量润滑装置在示波器测得混粉准干式加工电压波形如图 8 所示,可知使用双层夹缝微量润滑装置出现短路、拉弧等不良放电现象概率明显降低。

对比试验的条件和工件表面质量结果如表 2 所示。由表 2 可知双层夹缝微量润滑装置准干式电火花加工后工件表面电蚀坑半径分布更为均匀,标准差较小,表面粗糙度较好。而利用普通分流锥式微量润滑装置进行加工后工件表面电蚀坑半径数据分布较为分散。

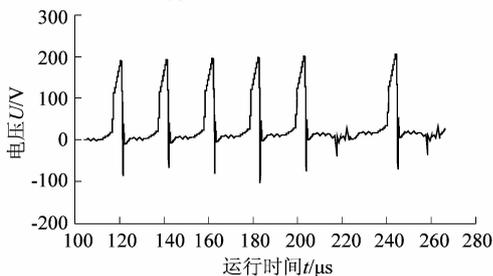
表2 工件表面质量对比

Table 2 Comparison of work-piece surface quality

MQL 类型	试验电蚀坑平均半径 $R_{ea}$	标准差 $\Delta$	表面粗糙度 $R_a$
双层夹缝微量润滑装置	25.4	3.1	2.6
普通分流锥式微量润滑装置	23.2	5.2	2.9



(a) 双层夹缝微量润滑装置



(b) 普通分流锥式微量润滑装置

图6 不同微量润滑装置的混粉准干式电火花加工电压波形图

Figure 6 Different micro-lubrication system for powder mixed near dry EDM comparison voltage waveform

对比试验验证了双层夹缝微量润滑装置能明显提高混粉准干式电火花加工的稳定性和减少拉弧、短路等不正常放电现象的发生概率。同时,通过更稳定的放电通道位形变化提高工件表面电蚀坑分布均匀程度,进而改善工件表面质量<sup>[5-10]</sup>。

## 5 结语

在特种加工领域,混粉电火花加工以其自身独特的高效率、高精度和高柔性等优势越来越受到人们的重视。基于双层夹缝微量润滑 MQL 装置的混粉准干式电火花加工能够加速电蚀产物清除速率,有助于实现放电加工技术高效化。试验研究证明采用双层夹缝混粉准干式电火花微量润滑装置能提高三相流稳定性,改善雾化状态,进而改变放电间隙及放电通道位形,提高工件表面质量,利用 SEFN450 精密电火花成形加工机床对经淬火并中温回火的 65Mn 钢进行表面加工,成功改善表面质量,表明该装置在混粉准干式电火花加工方面具有广阔的应用前景。

## 参考文献:

- [1] 贾东洲,李长河. 纳米粒子射流微量润滑磨削流场特性对润滑的作用机理及实验研究[D]. 青岛:青岛理工大学,2014:176-182.
- [2] 白雪,张勤河,李田田,等. 混粉准干式电火花加工介质击穿机理研究[J]. 机械工程学报,2012,48(7):187-192.
- [3] 高清,张勤河,张建华. 混粉准干式电火花加工试验研究[J]. 机械工程学报,2009,45(11):169-175.
- [4] 薛荣,顾琳,杨凯,等. 喷雾电火花铣削加工的能量分配与材料蚀除模型[J]. 机械工程学报,2012,48(21):177-179.
- [5] 高绪宝,顾琳,赵万生,等. 混粉电火花加工工件表面质量影响因素分析[J]. 制造业自动化,2009,31(3):1-4.
- [6] 聂小双,梁荣,潘培培,等. 二氧化硅粉末对电火花加工工件表面精度影响研究[J]. 宁波工程学院学报,2014,26(2):38-41.
- [7] 林海波,许琦. 微细电火花加工间隙控制方法[J]. 轻工机械,2010,28(1):71-72.
- [8] 杜连明,张勤河,张建华,等. 基于 PZT 激励同步压缩放电通道的微细电火花加工技术[J]. 机械工程学报,2013,49(9):185-189.
- [9] 元利伟,楼乐明,李明辉. 放电通道的波动性与电火花加工机理[J]. 上海交通大学学报,2001,35(7):989-992.
- [10] 赵福令,吕战竹,王辉,等. 粉末颗粒在混粉电火花加工中作用机理研究[J]. 大连理工大学学报,2005,45(5):668-671.

[信息·资讯]

· 产品信息 ·

## 台达智能立体仓库控制系统

当前,智能制造的定制化、柔性化生产模式,促使生产厂商的原材料和产品更加多元,同时,电子商务的迅猛发展也带来了海量货物存储要求,这些都对传统的仓库形态和管理模式带来了巨大挑战。传统仓库,如平面仓库,不仅空间利用效率低,且出入库管理也主要由人工操作,存在作业效率和准确率低等问题,已经不能够满足制造业变革和新兴商业模式发展的需求。智能立体仓库的出现可以有效克服传统仓库所面临的问题,也代表着未来仓库的发展的一种重要方向。

近日,台达成功为某制造企业提供完整的智能立体仓库控制系统解决方案,协助该客户完成对其仓库进行立体、智能化改造。台达提供的智能立体仓库控制系统解决方案,由台达 DIAView SCADA 工业组态软件、工业无线路由器、模块化中型 PLC AH500 系列、高彩人界面 DOP-B 系列、高功能型交流伺服系统 ASDA-A2 系列、工业平板电脑、变频器等工业自动化产品组成,主要应用在控制柜、输送机、龙门堆垛机 3 个关键工序。在该解决方案中,通过台达 DIAView SCADA 工业组态软件控制输送机和龙门堆垛机作业,并配合资料库记录物料存放位置,利用条形码扫描设备、输送机及巷道式龙门堆垛机,配合人工寻址,即可完成出、入库及物料拣选工作。

该控制系统提高了仓库的智能自动化管理水平,同时大幅提升仓库利用率、仓储容量和出入库作业效率。

(张 权)