

磁研磨法去除微小喷嘴棱边处毛刺的研究

Study of Deburring on Edge of Micro Nozzle by Magnetic Abrasive Finishing

辽宁科技大学机械工程及自动化学院 李彦俊 陈 燕 郭龙文

[摘要] 微小喷嘴旋流槽棱边处的毛刺用传统研磨方法难以去除,本文提出了利用旋转电磁场带动微细磁针旋转与喷嘴形成碰撞来实现对喷嘴旋流槽棱边处的抛光处理这一新的研磨方法,解析了旋转磁场的产生原理及电磁研磨机的工作原理;分析了电磁研磨机对微小喷嘴棱边处毛刺的去除机理;进行了抛光试验,用3D超景深电子显微镜观察喷嘴棱边处并记录研磨前后的照片。试验结果表明,电磁研磨机可以对微小喷嘴旋流槽棱边处的毛刺起到良好的去除作用。

关键词: 磁研磨 喷嘴 毛刺 旋转磁场

[ABSTRACT] It is difficult to remove the burr on the edge of swiler of micro nozzle by using traditional polishing methods. A new polishing method is developed which takes advantage of revolving electromagnetic field to let the tiny magnetic needles revolving, and colliding with nozzle, so as to polish the edge of swiler of micro nozzle. Firstly, the generation mechanism of the rotating magnetic field and the working principle of the electromagnetic mill are introduced, and then the removal mechanism of the burr on the edge of micro nozzle by using electro-magnetic mill is analyzed, at last, the polishing experiment is also conducted. The 3D depth of field electron microscopy is used to observe the picture of burr on the edge before and after polishing. Finally, experiment shows that using electro-magnetic mill can have a good effect on removing burr on the edge of the micro nozzles.

Keywords: Magnetic abrasive finishing Nozzle Burr Magnetic field

近年来,随着科学技术的发展,微小型零件在各领域得到了广泛的应用。然而微细切削加工主要问题之一是有毛刺产生。毛刺的存在会降低工件的精度,影响其表面质量^[1]。发动机中燃油喷嘴的旋流槽毛刺的存在对喷嘴的流量和喷雾锥角影响很大,进而影响燃油雾化的质量和均匀性,降低燃烧室的燃烧性能,这直接关系到燃烧的稳定性,对发动机推力、耗油率和工作可靠性产生不良影响。因此,燃油喷嘴性能的优劣是发动机研发中相当重要的问题^[2-6],去毛刺成为喷嘴加工过程

中一道必不可少的工序。

而燃油喷嘴在微细切削时产生的微毛刺通常很难去除,这主要是因为零件特征尺寸很小(宽度尺寸大约为0.3~0.5mm),毛刺相对尺寸较大,甚至与工件特征尺寸相当。再者,利用常规毛刺去除方法来去除毛刺时有可能造成零件的尺寸误差,甚至严重地损伤工件,对其使用性能造成较大的影响^[1]。本文提出利用旋转磁场带动磁针旋转对微小喷嘴进行研磨这一新的研磨方法。该方法可以实现对微小喷嘴旋流槽棱边处毛刺的去除,达到所需求的表面质量。

1 旋转磁场的产生原理

电磁研磨机旋转磁场的产生原理类似于三相异步电动机旋转磁场的产生原理如图1所示。将3组线圈按一定方式嵌入到铁芯内,3组线圈两两之间相隔机械

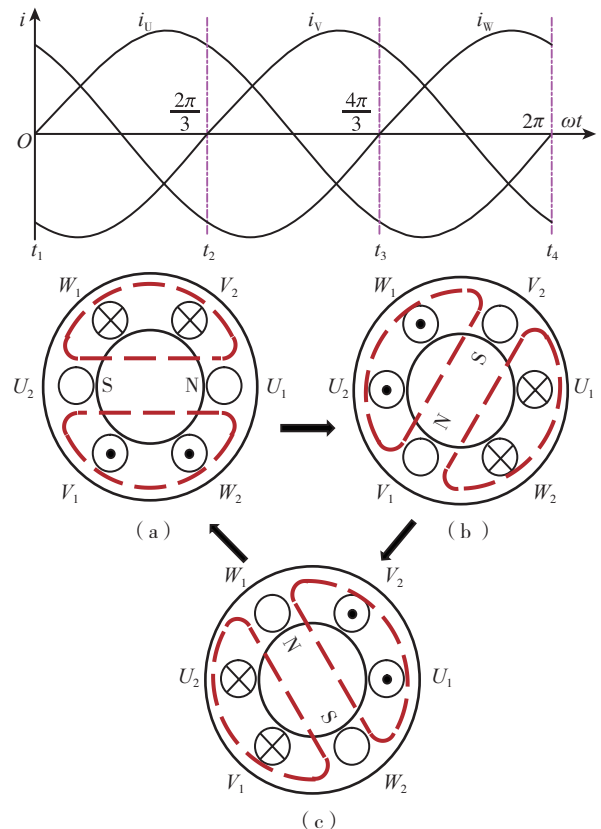


图1 旋转磁场产生原理图

Fig.1 Generation mechanism of rotating magnetic field

角度 120° 。当 3 个绕组跟三相电源接通后,绕组中便通过三相对称的交流电流 I_U 、 I_V 、 I_W (相位差为 120°),其波形如图 1 所示,利用相位差即得到所需要的旋转磁场。假定电流的瞬时值为正时是从各绕组的首端流入,末端流出。电流流入端用“ \times ”表示,电流流出端用“ \bullet ”表示。

当 t_1 时刻 $\omega t=0$ 时, U 相电流 $I_U=0$; V 相电流取为负值,即电流由 V_2 端流进,由 V_1 端流出; W 相电流 I_W 为正,即电流从 W_1 端流进,从 W_2 端流出。根据右手螺旋定则,可以判定出此时电流产生的合成磁场如图 1 (a) 所示。

当 t_2 时刻 $\omega=2\pi/3$ 时,电流已变化了 $1/3$ 周期。此时刻 I_U 为正,电流由 U_1 端流入,从 U_2 端流出; I_V 为零; I_W 为负,电流从 W_2 端流入,从 W_1 端流出。这一时刻的磁场如图 1 (b) 所示,磁场方向与 t_1 时刻相比沿顺时针方向在空间转过了 120° 。用同样的方法,继续分析电流在 t_3 、 t_4 时的瞬时情况,便可得这 2 个时刻的磁场,分别如图 1 (c)、1 (a) 所示。在 $\omega=4\pi/3$ 时刻,合成磁场方向较 t_2 时刻又顺时针转过 120° 。在 $\omega=2\pi$ 时刻,磁场较 t_3 时再转过 120° ,即自 t_1 时刻起至 t_4 时刻,电流变化了一个周期,磁场在空间也旋转了一周。电流继续变化,磁场也不断地旋转^[8]。

因此,三相对称的交变电流通过对称分布的 3 组绕组产生的合成磁场,是在空间旋转的磁场,而且是一种磁场幅值不变的圆形旋转磁场。

2 电磁研磨机工作原理

图 2 为电磁研磨装置工作原理图。将工件、磁针与混合溶液按一定比例混合后装入容器内,将容器置与电磁研磨装置套筒内,给线圈通以三相交流电,电磁研磨装置即开始工作。工件与磁针在旋转磁场中被磁化后随旋转磁场一起高速旋转,但由于工件的重量比磁针的重量大得多,所以,工件的旋转速度相对于磁针的旋转速度要低,工件与磁针即产生随机的相对碰撞,从而达到去除工件毛刺的效果。

混合溶液主要是由水和研磨液按一定比例混合而成的,在研磨过程中混合溶液主要起两方面的作用:第一,研磨液具有辅助研磨的作用,可以提高研磨效率;第二,在清水中添加研磨液可以增大溶液的粘度,从而增大混合溶液对工件和磁针的浮力,有利于扩大研磨空间,使工件得到更充分的研磨。

根据现代物理学理论,磁针对工件的撞击力:

$$\sum F = (mv' - mv) / \Delta t = \Delta P / \Delta t \quad (1)$$

式中: m 为单个磁针的质量; v 为磁针撞击工件前瞬间磁针与工件的速度差; v' 为磁针撞击工件结束瞬间磁针与工件的速度差; ΔP 为磁针撞击工件瞬间的动量变化;

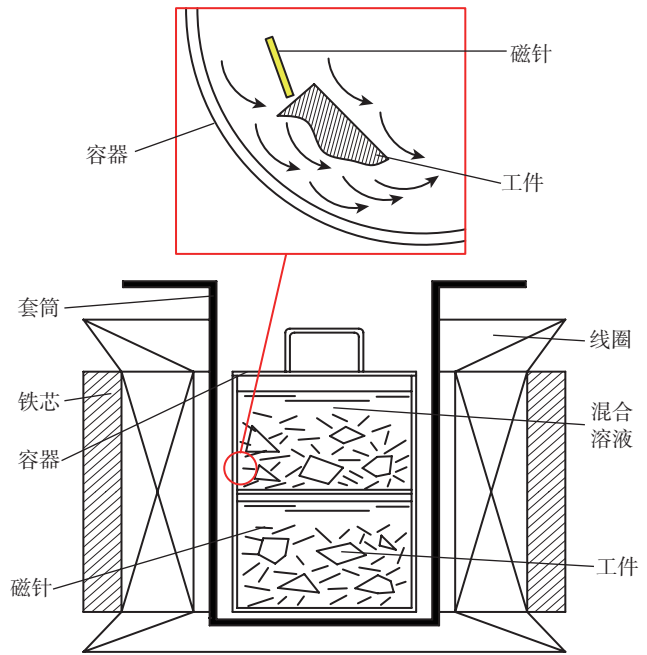


图2 电磁研磨机工作原理图

Fig.2 Operational principle of electro-magnetic mill

Δt 为磁针与工件的作用时间。

虽然磁针的质量较小,但由于磁针在旋转磁场中的转速可以达到 1000r/min ,所以磁针撞击工件瞬间仍可以得到较大的动量变化,而磁针与工件的作用时间是非常短暂的,因此磁针可以对工件产生足够大的撞击力满足去毛刺的需求。

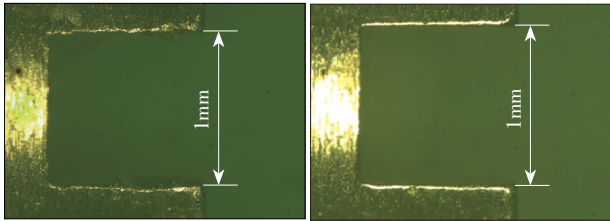
3 试验结果及分析

将磁针与混合溶液在圆筒形容器中按一定比例混合,将工件放入容器中,并将圆筒形容器置于套筒内,启动电磁研磨机对工件进行研磨,试验条件如表 1 所示。试验前后分别用 3D 超景深电子显微镜观察并记录工件研磨前后相关数据,如图 3 所示,可以看出,经过研磨喷嘴旋流槽棱边处的毛刺被完全去除,棱边变得更加平直、光滑。

表1 试验条件

磁针	$\phi 0.3, 30\text{g}$
研磨液	10ml
水	300ml
旋转磁场转速	1000r/min
研磨时间	10min

工件与磁针在旋转磁场中被磁化后,各自形成磁极并产生磁场。工件和磁针都随旋转磁场旋转,但由于磁针重量远小于工件重量,致使磁针的旋转速度远快于工件的旋转速度,两者之间存在相对运动。当磁针靠近工



(a) 研磨前 (b) 研磨后

图3 棱边处研磨前后对比图

Fig.3 Photo contrast before and after polishing

件时,工件与磁针两者自身所产生的磁场相互吸引,使磁针与工件相互碰撞。对工件磁针产生的磁场进行有

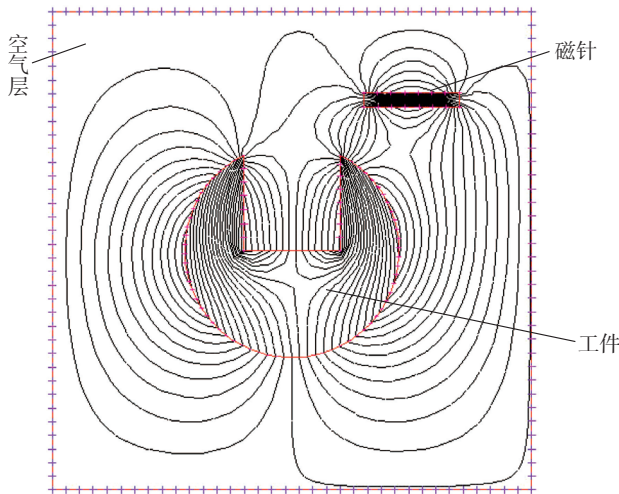


图4 磁力线的有限元分析图

Fig.4 Analysis of magnetic flux lines by Ansys

限元分析如图4所示。

影响研磨加工效率及质量的因素很多,其中最主要的一个因素是磁力的大小。磁针在磁场中所受磁力 F 可由如下公式表示:

$$F = \frac{1}{2\mu_0} B^2 S \quad (2)$$

式中, B 为磁场与磁针作用面处的磁感应强度; S 为磁场与磁针作用面的面积; μ_0 为真空磁导率^[9]。

显然,在磁针受力面积一定的情况下,磁针所受的磁场力主要由磁场区域的磁通量密度所决定。

由图4可以看出,工件棱边处的磁通量密度是最大的,所以根据公式(2),当磁针靠近工件时,工件棱边处的磁场区域对磁针的磁力是最大的,因此,当磁针靠近工件时,磁针首先撞击工件槽的棱边处,如图5所示。

磁针撞击工件瞬间产生的压强 P 可以由下式表示:

$$P = F / S \quad (3)$$

式中, F 为磁针对工件的撞击力; S 为磁针与工件的作用面积。

显然,磁针与工件的作用面积越小,磁针对工件的撞击力的作用效果越好。如图5所示,绝大部分的磁针

撞击在工件槽棱边上,棱边的面积很小,故磁针对棱边处的撞击力的作用效果好,有利于该区域毛刺的去除。

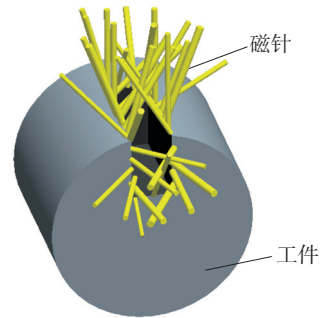


图5 磁针与工件碰撞示意图

Fig.5 Diagram of impact between magnetic needles and work piece

4 结论

本文针对微小喷嘴棱边处的毛刺难以去除这一加工难题,提出了磁研磨法这一新的研磨手段,利用旋转磁场带动磁针旋转撞击工件,达到去除毛刺的目的,并以试验结果为依据加以分析,得到如下结论:(1)喷嘴和磁针在旋转磁场中会被磁化,两者本身各自形成新的磁极。当磁针靠近喷嘴时,磁针与喷嘴两者自身产生的磁场相互吸引使两者发生碰撞,由于喷嘴旋流槽棱边处的磁通量密度最大,对磁针产生的磁力最大,所以磁针首先撞击喷嘴旋流槽棱边处。(2)由动量定理及压强与作用面积的关系式可知,磁针对喷嘴旋流槽棱边处的作用力及该作用力的作用效果都是非常好的,可以满足抛光需求。(3)经过试验验证,磁针对喷嘴旋流槽棱边处可以起到良好的抛光效果。

参考文献

- [1] 白清顺,刘立飞,卢礼华,等. 微细铣削圆弧槽微结构时的微毛刺分析及预测. 机械设计与制造,2011(11):229-231.
- [2] 刘凯,张宝诚,宋文超,等. 加工工艺对航空发动机燃油喷嘴性能的影响研究. 航空发动机,2012,38(1):55-59.
- [3] 甘晓华. 航空燃气轮机燃油喷嘴技术. 北京:国防工业出版社,2006:15-55.
- [4] 马洪安. 某型航空发动机燃油喷嘴对比试验研究. 航空发动机,2009, 35(3): 54-57.
- [5] Han Z, Parrish S, Farrell P V, et al. Modeling atomization processes of pressure-swirl-hollow-cone fuel spray. Atomization and Sprays, 1997, 7(5): 663-684.
- [6] Rizk N K. Model for research swirl atomizers. AIAA 94-2777, 1994.
- [7] 陈燕,巨东英. 磁力研磨装置设计中的磁力线分析. 工艺与检测,2005(8): 101-103.
- [8] 汤蕴璆,罗应立,梁艳萍. 电机学. 北京:机械工业出版社,2010.
- [9] 王瑜. 永磁装置中磁场力的计算. 磁性材料及器件,2007(5): 49-60.

(责编 夏宛)