

基于局部电场控制微弧氧化设备的研制与应用

张勇, 陈跃良, 李岩, 丁文勇

(海军航空工程学院 青岛分院, 山东 青岛 266041)

摘要: 针对微弧氧化技术推广应用过程中传统微弧氧化处理设备难以解决的技术难题,在局部放电、化整为零的思路基础上,通过屏蔽阳极(待处理工件),创新了大面积微弧氧化处理的局部电场控制新方法,设计研制了一种带有移动阴极的局部电场控制微弧氧化设备。实现了对大尺寸工件表面微弧氧化处理以及装备腐蚀损伤关键部位的原位绿色维修,操作简单,使用方便快捷。

关键词: 局部电场; 移动阴极; 微弧氧化

中图分类号: TG174.3 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2011)05-0092-04

Development and Application of Micro-arc Oxidation Equipment Based on Local Electric-Field Control

ZHANG Yong, CHEN Yue-liang, LI Yan, DING Wen-yong

(Qingdao Branch of Naval Aeronautical Engineering Academy, Qingdao 266041, China)

Abstract: Plenty of technical problems of traditional micro-arc oxidation equipment are difficult to deal with during application. A new method of local electric-field control was put forward for micro-arc oxidation treatment of large part, which using shielding anode and on the basis of local discharging and putting the integrity into pieces. A local electric-field control micro-arc oxidation equipment with moving cathode was designed and developed, which realized the micro-arc oxidation treatment of large work surface. Moreover, this equipment can be used to repair engineering equipment by treating the corrosion damage of key position with its simple and convenient operation.

Key words: local electric-field; traveling cathode; micro-arc oxidation

微弧氧化(Micro-Arc Oxidation, MAO)又称微等离子体氧化、阳极火花沉淀、火花放电阳极氧化等^[1],是近年来兴起的一种直接在金属表面原位生成陶瓷膜的新型表面处理技术。该技术是在普通阳极氧化技术基础上发展起来的,但两者在机理、工艺以及氧

化膜层性能上都有许多不同之处。微弧氧化技术与其他许多材料表面处理技术(如化学氧化、阳极氧化、金属涂镀、有机物涂敷、表面离子注入、激光退火等)相比,有许多优越性。如微弧氧化陶瓷膜与基体结合牢固、结构致密,具有良好的耐磨损、耐腐蚀、耐

收稿日期: 2011-04-20

作者简介: 张勇(1981—),男,重庆荣昌人,硕士,讲师,主要研究方向为材料腐蚀与防护。

高温冲击和电绝缘性能,其工艺简单、对环境无污染等。微弧氧化技术正成为国际材料、表面工程技术领域的一个研究热点,在石油、造船、建材、军工、航天、航空、机械、纺织、汽车、医疗、电子、装饰等诸多领域有广阔的应用前景^[2-3]。其中操作方便、性能优异的微弧氧化装置的研制是保证微弧氧化技术推广和应用的关键。结合海军航空工程学院的研究成果和实际工作经验,对微弧氧化处理设备进行了阐述,并针对实际使用过程中存在的问题,在广泛调研的基础上,充分借鉴现有技术,设计研制了一种可用于结构表面局部微弧氧化处理的小型微弧氧化设备。

1 微弧氧化处理设备

微弧氧化处理设备如图1所示,主要由微弧氧化电源、调压控制系统、氧化槽、循环冷却系统等组成。电源及控制系统提供微弧氧化所需的脉冲高电压,脉冲幅度及脉冲宽度等电参数在一定范围内可进行调节。在微弧氧化过程中,将铝合金或镁合金制品表面去油、清洗后,铝、镁合金制品作为阳极,不锈钢板作为阴极,置于脉冲电场环境的电解液中,利用电化学方法,使材料表面产生微小火花放电斑点,在热化学、等离子体化学和电化学的共同作用下,在这些材料表面原位生长陶瓷质氧化膜^[4-5]。由于在微弧氧化过程中工件表面的微弧放出大量的热量,使电解液升温,而要获得高质量的陶瓷层,电解液的温度不能过高(15~30℃为宜),因此需要安装溶液循环冷却系统,使电解液温度保持在一定范围内^[6]。

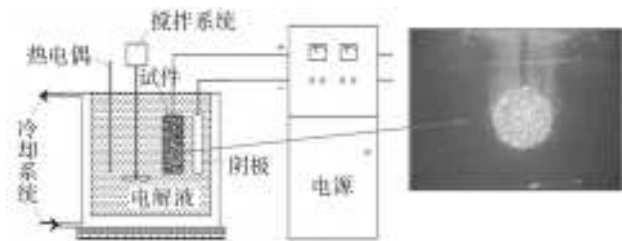


图1 微弧氧化处理设备

Fig. 1 Micro-arc oxidation device

经过微弧氧化处理后,装备表面能够生成比传统表面处理性能更加优异的膜层,但是装备在服役时常因意外擦伤、磨损或局部腐蚀,使防护层局部失效,必须进行及时修复,而现有的微弧氧化工艺都是

在中大型加工槽内完成的。因此,存在4个问题:1)外场腐蚀的结构必须拆下送到指定地方进行施工,不方便;2)使用过程中有损坏,没有快速便捷的修理设施;3)对超大工件的修复需用超大加工槽;4)特殊形状结构防护层的修复技术还存在问题。如何利用微弧氧化技术对装备损伤涂层进行局部修复成为微弧氧化技术能否广泛推广需要解决的一个重要问题。另一方面,大面积微弧氧化处理电源功率要求高^[7],放电电流太大,造成个别部位膜层质量不高,而且大功耗使电解液的冷却成为难题。

2 基于局部电场控制微弧氧化设备的总体设计

目前,微弧氧化设备的研制主要集中在电源及控制系统的研究上^[8-10],仅考虑如何通过工艺参数控制降低能耗、提高膜层质量,对微弧氧化处理的方式没有实质性改变,不能解决工程应用中的问题。在局部放电、化整为零的思路基础上,新研设备基于移动阴极的设置,通过屏蔽阳极(待处理工件),创出了大面积微弧氧化的局部电场控制新方法,实现了工件表面局部微弧氧化。采用移动方式,由局部至整体,实现了小功率电源对大尺寸工件的处理,解决了超大面积结构的微弧氧化处理难题。该设备由专用电源、特制喷淋式移动阴极、电解液回收装置三大模块组成,如图2所示。

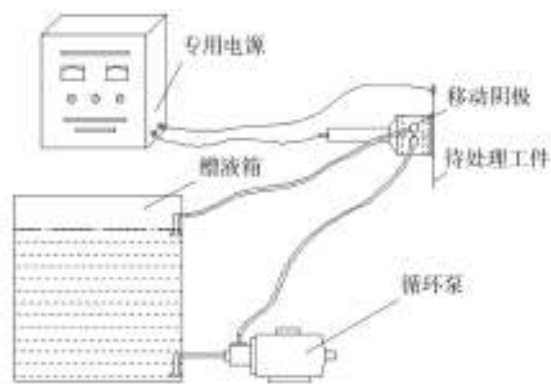


图2 局部电场控制微弧氧化设备组成

Fig. 2 Composition of micro-arc oxidation equipment based on local electric-field control

将民用单相220V交流电接入专用小型微弧氧化电源,输出的阳极通过夹具与待处理工件相连,输

出的阴极通过快卸插座与一个带有吸盘的组合喷淋头(移动阴极)连接。移动阴极及工件下方放置着一个槽液箱,将循环泵的出水口与移动阴极相连接,吸水口放置在槽液箱内。工件微弧氧化处理时喷淋的电解液通过回水管进入槽液箱,形成电解液的闭合循环。循环泵使电解液循环得到冷却,循环泵的驱动电机是调速电机,调节调速电机转数,改变电解液流量,可控制移动阴极座内电解液的温度,使之适合微弧氧化处理。工作时先开循环泵,使电解液从喷淋头中喷出,待电解液充满移动阴极与工件形成的密闭空间以后,打开电源开关,调整电压、频率、占空比等参数,进行微弧氧化处理。

通过合理布局和集成,将设备各个模块安装在可移动底座上,便于拖运,使装备外场维修过程中微弧氧化处理更加方便快捷。图3为新研设备的实际外观。



图3 设备外观

Fig. 3 Appearance of the equipment

3 移动阴极的设计

研制本设备的关键是设计适用于各种特殊结构的移动阴极,如图4所示。

该移动阴极带有的回流装置,可实现电解液的

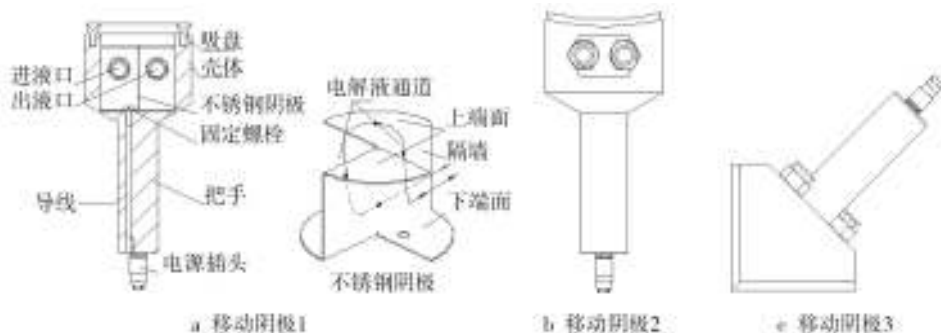


图4 3种不同类型移动阴极示意

Fig. 4 Diagram of three different types of traveling cathode

回收利用。具体设计是:移动阴极座的开口形状与待微弧氧化处理工件表面基本吻合,微弧氧化电源的输出阳极通过阳极导线连接工件,输出阴极通过阴极导线连接固定在移动阴极座内的不锈钢阴极,移动阴极座开口安装吸盘;连电解液箱、循环泵的2根电解液管道另一端分别连接移动阴极座上的进液口和出液口;进液口和出液口位于不锈钢阴极的隔墙两侧,不锈钢阴极上端面与工件表面平行,2者间距约为5 mm,电解液由进液口进入隔墙的一侧,经电解液通道,通过不锈钢阴极上端面与工件间隙到达隔墙的另一侧,从出液口排出。

吸盘紧紧地吸附住工件,移动阴极座与工件构成密封空间,当微弧氧化处理完毕后,排空电解液,撬起吸盘边缘,使空气进入吸盘吸附面,移动阴极座

便脱离工件,在工件上不留痕迹,移动阴极座装卸无需粘接剂和清除试剂,经济、方便、可靠。

移动阴极座由腔体和把手组成,腔体的开口安装吸盘,腔体的底部连接把手前端。不锈钢阴极下端面固定在腔体内底面上,阴极插座在把手后端头,把手内连接线孔中的连接线连接不锈钢阴极下端面和阴极插座。阴极插座与阴极导线的电源插头配合连接,电解液管道与进液口、出液口采用管道快卸接头连接,移动阴极没有拖带导线、管道,连接装卸快捷,使用方便。腔体容纳电解液,握持把手,便于移动阴极座,通过把手压紧吸盘,使吸盘紧紧地吸附住工件。移动阴极腔体采用绝缘透明材料(例如透明玻璃钢材质),透明壳体便于观察电解液液面和微弧氧化反应情况。

4 设备特点

相比于其它微弧氧化设备,此设备具有以下特点:

- 1) 通过局部电场控制,利用小功率电源实现了大面积的微弧氧化处理;
- 2) 节能降耗,能够实现对工件表面局部区域的微弧氧化处理,电能、电解液等消耗大幅降低,处理效率相对提高;
- 3) 适用特殊结构,吸盘吸附工件,在工件上不留痕迹,移动阴极座的装卸经济、方便、可靠;
- 4) 电源插头和插座连接、管道快卸接头连接方便、快捷;
- 5) 循环泵使电解液循环得到冷却,不锈钢阴极隔墙隔开进液口和出液口,强制电解液经不锈钢阴极上端面与工件间隙充分循环,微弧氧化处理高效、均匀。

5 设备主要技术指标

研制的带有移动阴极的局部电场控制微弧氧化设备达到了以下技术指标。

- 1) 实际输出脉冲峰值电压值:0~700 V,可调;
- 2) 实际测量平均电流值:0~10.0 A;
- 3) 通过操作面板电位器给定的输出频率:30~1500 Hz,可调;
- 4) 通过操作面板电位器给定的占空比:3%~90%,可调;
- 5) 处理效率:微弧氧化处理时间为20~30 min,膜层厚度为10~20 μm ;
- 6) 膜层质量:厚度为10,15,20 μm 的膜层表面微孔孔径依次约为2,3,4 μm 。

6 设备的应用

基于局部电场控制微弧氧化设备可以用于以下几个方面:

- 1) 对装备使用过程中表面的腐蚀损伤关键部位进行原位微弧氧化处理,提高其腐蚀防护能力;
- 2) 对微弧氧化处理工件装配及使用过程中出

现的损伤进行原位绿色修复;

3) 从局部到整体可实现超大工件的表面微弧氧化处理;

4) 对异型大型工件传统微弧氧化处理中膜层质量不高的部位进行二次处理修复,解决了异型构件的微弧氧化问题。

利用此设备,对在海洋环境下服役的海军某型飞机腐蚀损伤严重部位的铝合金结构表面进行了局部微弧氧化处理。试用后明显提高了该部位铝合金的腐蚀防护能力,并且完成了对某型新研装备镁合金结构表面的微弧氧化处理,得到的膜层致密、均匀;经加速环境腐蚀试验验证,明显提高了镁合金在恶劣环境下的腐蚀防护能力。

7 结语

1) 针对目前微弧氧化技术推广应用所要解决的难题,基于局部放电、化整为零的思路,通过屏蔽阳极,设计研制了一种带有移动阴极的局部电场控制微弧氧化设备,并且研制了不同开口形状的便于拆卸更换的移动阴极,适于各种特殊结构的表面微弧氧化处理。

2) 利用新研设备实现了对大尺寸工件表面微弧氧化处理,对装备腐蚀损伤关键部位进行了原位微弧氧化处理,保证了铝、镁合金结构在严重腐蚀的环境下服役的可靠性。

3) 新研设备具有结构简单、体积紧凑、质量小、便于移动的特点,且采用普通220 V供电,能耗低、操作方便,得到的微弧氧化膜层性能优异,推进了微弧氧化技术的工程应用。

参考文献:

- [1] 张文华,胡正前,马晋. 俄罗斯微弧氧化技术的研究进展[J]. 世界有色金属,2004(1):43—46.
- [2] 胡宗纯,谢发勤,吴向清. 不同控制方式下占空比对钛合金微弧氧化膜的影响[J]. 电镀与环保,2006,26(5):23—25.
- [3] 段关文,李金富,王拥军,等. 铝合金的微弧氧化研究[J]. 表面技术,2007,36(3):30—33.
- [4] WIRTZ G P, BROWN S D, KRIVEN M W. Ceramic Coatings by Anodic Spark Deposition[J]. Materials & Manufacturing

(下转第103页)

3.4 维护措施

根据涡轮叶片热腐蚀的特点,相关的主要维护措施如下。

1) 科学合理地进行燃气轮机的清洗。这不仅可以有效防止燃气轮机机件的电化学腐蚀,而且可以减轻涡轮叶片的热腐蚀。同时,对延长燃气轮机寿命和确保燃气轮机长期工作中性能不会恶化也有十分显著的效果。具体的清洗周期和清洗方法可以根据具体机种和使用环境而定,制订出科学的维护规程。

2) 加强涡轮叶片的腐蚀监控。要对涡轮叶片的腐蚀状况进行全寿命跟踪监控,对叶片腐蚀及早发现、排除,对叶片要进行定期严格检查。要充分运用无损检测技术。燃气轮机翻修寿命不能只按工作小时数或起落次数来确定,而必须考虑使用的日历时间。

3) 尽可能地使用硫含量低的燃油,并且要保证燃油的清洁,要防止受到海水的污染。

4 结语

随着我国海洋活动的日益增多,研究燃气轮机涡轮叶片热腐蚀的重要性也愈显重要。除了要加强热腐蚀机理、材料和涂层等的理论和试验研究之外,更为重要的是要重视现役燃气轮机相关数据的积累,以及已有研究成果在现役和新研燃气轮机上的应用,并为之建立全寿命跟踪监控体系,以便建立有效的数据库。这不仅对研究工作十分重要,而

且可为未来燃气轮机防腐设计规范的制订提供必要的基础。

参考文献:

- [1] WANHIL R J. High Temperature Gas Turbine Materials[M]. National Technical Information Service, 1987: 12—15.
- [2] 赵德孜. 海洋环境对燃气轮机的影响及预防措施[J]. 航空维修专刊, 1987, 4(2): 22—27.
- [3] WING R G, MCGILL I R. The Protect of Gas Turbine Blades [J]. Aircraft Engineering, 1981, 53(10): 21—23.
- [4] 赵德孜. 燃气轮机的低温热腐蚀[J]. 航空制造工程, 1989(2): 15—16.
- [5] 顾凯, 赵德孜. 海航现役发动机的腐蚀研究及对策[C]//中国航空学会动力专业 2000 年学术年会论文集. 2000, 274—278.(余不详)
- [6] 隆小庆. 航空发动机高温部件热腐蚀机理的探讨[J]. 全面腐蚀控制, 2003(2): 9—13.
- [7] 李云, 郭建亭, 袁超等. 镍基铸造高温合金 K35 的热腐蚀行为[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2005, 25(4): 250—255.
- [8] 罗顺, 陈和兴. 高温镍基单晶合金 NiCoCrAlYTa 涂层的抗热腐蚀性能[J]. 材料保护, 2010, 43(3): 17—20.
- [9] 梅建伟, 蒋云峰, 喻绍森. 一种数字化多自由度镁铝合金微弧氧化电源的研制[J]. 电源技术, 2010, 34(5): 502—505.
- [10] 蒋百灵, 李均明. 铝镁合金微弧氧化处理技术的工程应用[J]. 新技术新工艺, 2010(2): 16—18.
- [11] 段关文, 高晓菊, 满红, 等. 微弧氧化研究进展[J]. 兵器材料科学与工程, 2010, 33(5): 102—106.
- [12] 孟光毅. 大功率微弧氧化电源[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- [13] 梅建伟, 蒋云峰, 喻绍森. 一种数字化多自由度镁铝合金微弧氧化电源的研制[J]. 电源技术, 2010, 34(5): 502—505.
- [14] 蒋百灵, 李均明. 铝镁合金微弧氧化处理技术的工程应用[J]. 新技术新工艺, 2010(2): 16—18.
- [15] MAHYSHEV V. Micro-arc Oxidation, A New Method for Strengthening Aluminum Surfaces[J]. Mateloberflache, 1995, 49(8): 606—608.
- [16] 蒋百灵, 张先峰, 朱静. 铝、镁合金微弧氧化技术研究现状和产业化前景[J]. 金属热处理, 2004, 29(1): 23—29.
- [17] 段关文, 高晓菊, 满红, 等. 微弧氧化研究进展[J]. 兵器材料科学与工程, 2010, 33(5): 102—106.

(上接第 95 页)

Processes, 1991, 6(1): 87—115.

- [5] MAHYSHEV V. Micro-arc Oxidation, A New Method for Strengthening Aluminum Surfaces[J]. Mateloberflache, 1995, 49(8): 606—608.
- [6] 蒋百灵, 张先峰, 朱静. 铝、镁合金微弧氧化技术研究现状和产业化前景[J]. 金属热处理, 2004, 29(1): 23—29.
- [7] 段关文, 高晓菊, 满红, 等. 微弧氧化研究进展[J]. 兵器材