

3. 成果 2 扫描件:

荣获国家期刊奖、全国优秀科技期刊一等奖 第43卷 总第361期 ISSN1001—2249
CODEN TZZJHEE

特种铸造及有色合金®

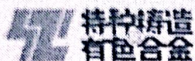
SPECIAL CASTING & NONFERROUS ALLOYS — 2023 ④ —

网址: www.special-cast.com 电子信箱: tzzz@special-cast.com 电话: 027-85486024 85358206 传真: 027-85358127



地址: 苏州市吴中区临湖镇银藏路188号
网址: www.shsanji.com
销售服务电话: 400-828-2566





特种铸造及有色合金

TEZHONG ZHUZAO JI YOUSE HEJIN

(月刊 公开发行 1980年创刊)

主管：中国科学技术协会

主办：中国机械工程学会铸造分会

武汉机械工艺研究所

编辑、出版：特种铸造及有色合金杂志社

地址：武汉市江岸区九万方路26号

社长：张正贺

主编：栗万仲

编辑部/新媒体部主任：刘晨辉

发行部主任：张尧仪

邮政编码：430019

电话：027-85358206 85486024

传真：027-85358127

E-mail: tzsz@special-cast.com

Http://www.special-cast.com

Http://www.cnki.net

印刷：武汉嘉亨印务有限公司

国内总发行处：中国邮政集团有限公司湖北分公司

国内邮发代号：38-109

订购处：全国各地邮局

中国邮政报刊订阅网址：

http://bk.11185.cn

国外总发行处：中国国际图书贸易集团有

限公司(北京399信箱)

国外代号：BM6644

国际标准连续出版物号：

ISSN 1001-2249

CN 42-1148/TG

国际刊名代码：(CODEN)TZIHEE

广告发布登记编号：武工商广登字

[2019]02号

中国内地定价：20元/册

中国港澳台地区定价：20美元/册

国外定价：25美元/册



扫描本刊二维码加关注

· 阅读优秀论文

· 了解行业讯息

· 观看大咖讲座

· 荣获国家期刊奖、全国优秀科技期刊一等奖

· 中国机械工程学会铸造分会期刊

· 中国科技论文统计源期刊(CSTPCD)

· 中文核心期刊

· 中国学术期刊光盘版入编期刊

· 美国《金属文摘》收录期刊(MA)

· 英国《科学文摘》收录期刊(SA)

· 美国《化学文摘》收录期刊(CA)

· 日本《科学技术文献速报》收录期刊(JI)

· 俄罗斯《文摘杂志》收录期刊(AJ)

· 荷兰Scopus数据库收录期刊

编委会 (第九届)

名誉编委：

傅恒志 柳百成 丁文江 李元元 李新亚 赵立信 谭德春 姜永正 张立波 黄卫东

李荣德 郭景杰 谢敬佩 边秀房 杨业源 罗继相

主任：陈光 苏彦庆

副主任：(按姓氏笔划为序)

王同敏 王慧远 孙宝德 严 密 李 卫 李吉祥 吴国华 余 欢 宋克兴 陈瑞河 周建新

侯 华 袁晓光 崔启杰 熊守美 樊自田 潘 治 魏世忠

编委：(按姓氏笔划为序)

丁宏升 万 里 马明臻 马德新 王开坤 王自森 王孝东 王武孝 王泽忠 王顺成 王 俊

王俊升 王晓军 王恩刚 王爱琴 毛卫民 方健儒 邓运来 甘章华 卢德宏 付俊伟 白月龙

乐启斌 冯义成 邢书明 吉泽升 曲迎东 吕志刚 朱秀荣 朱国明 朱 强 任忠鸣 刘永长

刘永跃 刘宏磊 刘忠侠 刘相法 刘 勇 刘海峰 刘 源 齐乐华 闫 洪 米国发 许庆彦

孙剑飞 严有为 青青松 杜之明 杜 军 巫瑞智 李元东 李文珍 李邦盛 李金山 李全国

李杰华 (奥地利) 李彦军 (挪威) 李祖来 李 峰 李润霞 李培杰 李新中 李增民

杨明波 杨贵荣 杨湘杰 肖代红 吴树森 吴海华 何 杰 佟国栋 张二林 张卫文 张志英

张志峰 张 林 张 虎 张忠华 张彦敏 张 耘 张 海 张 博 罗爱华 (美) 陈乐平

陈登庆 陈维平 陈 强 范洪远 范晓明 林 鑫 周计明 周志明 周志敏 郑士建 郑开宏

单智伟 赵九洲 赵成志 赵宇宏 赵忠民 赵海东 胡侨丹 南 海 钟 鼓 姜巨福 姜自川

袁宝国 顾冬冬 徐 骏 郭洪民 唐和雍 接金川 黄宏军 曹喜彪 寇宏超 董法普 董寅生

蒋海燕 蒋 斌 韩志强 傅高升 游志勇 蔡启舟 蔡 彬 管仁国 廖敦明 薛 涛 蒙新华

注：△中国工程院院士 ☆中国科学院院士 ◇海外编委

青年编委会 (首届)

主任：陈瑞河

副主任：(按姓氏笔划为序)

卢一平 曲迎东 刘 源 青青松 何 杰 张忠华 张 博 赵宇宏 胡侨丹 查 敬 管仁国

翟 薇

编委：(按姓氏笔划为序)

丁贤飞 王书杰 王永喆 王 军 王 彤 王 亮 王 群 王 琪 王 智 王 强 王 程

于文波 牛晓峰 计效园 龙 威 叶嘉慧 田艳中 付华栋 孙文文 戚章昌 毕广利 吕书林

朱德智 乔昭威 任 波 刘文才 刘文博 刘志伟 刘奇成 刘 柯 刘时麟 刘 健 刘 健

刘海涛 刘崇宇 刘富初 刘鑫旺 江鸿翔 阳颖飞 李庆林 李 军 李志明 李 凯 李和平

李清泉 李渤勃 李德江 杨 伟 杨勤人 肖 寒 吴正刚 吴孟武 吴 渊 汪东红 张云虎

张 永 张永健 张华伟 张宇博 张花蕊 张丽娟 张建波 张 亮 张美娟 张 蔚 张 敬

张 鸿 张嘉艺 陆 稻 陈 云 陈 云 陈 刚 陈利文 陈宗宁 陈旭初 陈豫豫 薛玉英

范丽莎 林 冲 国秀花 周延军 郑洪亮 宝 磊 孟祥斌 孟 毅 赵火平 赵希国 赵君文

胡文义 胡文鑫 胡 盼 胡茂良 胡松松 钟 华 聂金凤 费 征 夏少华 夏 琦 徐严遂

徐 岩 徐 琴 徐 超 殷亚军 高古辉 高 通 郭 威 郭恩宇 黄桂军 黄杰杰 黄 毅

黄 锋 曹艳飞 康慧君 梁顺星 谢 耀 隋德伟 查 鹏 董福宇 蒋文明 游国强 樊振中

周昆明

注：1. 西安理工大学 2. 广东技术师范大学 3. 中国科学院金属研究所 4. 武汉理工大学

报道内容：各种(黑色和有色合金)特种铸造方法, 各种有色合金(包括新能源材料、高温合金、金属玻璃等)复合材料的理论、工艺、设备、测试与控制、计算机应用等方面的科技成果、生产技术和现场经验, 以及上述内容的国内外发展动向、行业活动、学术会议消息等。

版权声明：本刊印刷版和网络版之版权归特种铸造及有色合金杂志社所有, 未经书面许可, 其他单位不得以任何方式全部或部分翻译、转载、网上发布或录入数据库。





特种铸造

2023 年第 43 卷

目

本期推荐

- 大型零件高性能挤压铸造的难题与对策 郭书明 高文静 武彤 等(433)
- 压弯半径对 7A53 铝合金结构壁板尺寸与组织性能影响 樊振中 许波 彭石磊 等(438)

试验研究

- 基于正交试验的 $\text{SiC}_p/\text{ZL101}$ 与 ZL101 铝合金板材搅拌摩擦搭焊工艺优化 袁贝 康敦明 蒋文明 等(447)

研究·计算机应用

- 镁合金离心铸造工艺数值模拟研究 康建明 梁海成 赵大志 等(452)
- 基于深度学习的铝合金轮毂铸件图像缺陷检测 闫学顺 汪东红 吴文云 等(457)

研究·复合材料

- 石墨烯纳米片/AZ91D 镁基复合材料腐蚀行为 张露露 陈利文 李利民 等(463)
- 原位合成 $\text{SiTiB}_2/\text{Al-4.5Cu}$ 复合材料的组织及性能 李鹏 徐宏 毛红奎 等(469)

研究·合金工艺

- Cu-Ni 合金 Ni 释放标准试样制备工艺 陈绍兴 袁军平 刘崇华 等(474)
- 电磁搅拌频率对 Cu-0.3Sn 合金组织及 Sn 偏析的影响 致鑫荣 张士宏 陈岩 等(479)
- 热处理温度对 CoCrFeNiSn 高熵合金组织及性能的影响 郝雪卉 王可馨 陈丽燕 等(484)
- 退火工艺对轧制态 Mg-Al-Ca-Mn-Zn 合金组织和力学性能影响 方德俊 孙有平 何江美 等(488)
- FeCoCrNiC 高熵合金的动态压缩行为及本构关系 卢杨 赵晖 毛鹏燕 等(494)
- 真空连铸+离心铸造工艺对 L605 合金纯净度的影响 寻梦华 骆合力 李尚平 等(499)
- 脉冲电流强化对冷轧 AZ31 镁合金的组织与性能的影响 魏陈阳 周全 陈乐平 等(503)
- 金属型铸造 ZL205A 铝合金组织物相分析及工艺优化 杨启欣 曹岩 黄亮 等(510)
- 分段电压模式制备镁合金微弧氧化膜工艺研究 赵昊宇 陈伟东 刘硕 等(514)

研究·合金性能

- Ce 对汽车用 Al-Mg-Si-Cu 合金时效析出行为的影响 李美玉 刘学辉 余海东 等(518)
- $\text{Al-Mo}_2\text{Nb}_2\text{Ta}_2\text{Ti}$ 难熔高熵合金组织和性能研究 崔霞 尹传礼 王子豪 等(524)
- La 和 Ce 对铸造 Al-7Si-0.6Cu-0.8Fe 合金组织及性能的影响 吴顺意 葛富彪 甘培原 等(529)
- Ca、Ni 元素对 Mg-4Zn 合金显微组织及降解性能的影响 王小刚 刘涛 李伟莉 等(536)
- TA10 钛合金热连轧板材显微组织及其性能 徐梦喜 刘仁慈 黄海广 等(543)

出版日期:2023 年 4 月 20 日;本期责任编辑:刘晨辉



W 吉福
Ti, Sc
应用
Ti 含量
挤压铸
应用
精密铸
大型基
应用
消失性
会议
第十九
国内
1 至 2
中国普
布勒第
基于
特种
基于
创新
现代
计算
供应
刊
《特
有色

分段电压模式制备镁合金微弧氧化膜工艺研究

赵昊宇 陈伟东 刘 硕 李锦涛

(内蒙古工业大学材料科学与工程学院)

摘 要 为了研究分段式加载电压对镁合金微弧氧化膜性能的影响,采用 Na_2SiO_3 电解液体系对AZ91D镁合金进行微弧氧化。利用扫描电镜(SEM)对氧化膜的表面和截面形貌进行观察,用涡流测厚仪、激光共聚焦显微镜及Image J测试了膜层的厚度、粗糙度及孔隙率,并对氧化膜的耐磨性进行了分析。结果表明,当第1阶段加载电压为300 V(180 s)时,所获膜层的表面孔隙率最低,仅为4.574%,膜层厚度为90 μm ,粗糙度为2.72 μm 。SEM结果表明,分段式加载电压所获膜层的致密度提高,表面裂纹和孔洞减少。分段加载电压方式为300 V(180 s)+380 V(1 620 s)时的磨损量最少,经过200 r的磨损后,质量损失仅为17.2 mg,较一次性加载方式减少了4.6 mg。

关键词 微弧氧化;氧化膜;分段电压;膜层特性

中图分类号 TQ174;TG146.22

文献标志码 A

DOI:10.15980/j.issn.2023.04.016

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Preparation and Behavior of Micro Arc Oxide Film on Magnesium Alloy by Voltage in Stage

Zhao Haoyu, Chen Weidong, Liu Shuo, Li Jintao

(School of Materials Science and Engineering, Inner Mongolia University of Technology)

Abstract: To analyze the effects of voltage in stage on properties of micro-arc oxidation (MAO) films with applied voltage in stage, AZ91D magnesium alloy was oxidized in Na_2SiO_3 electrolyte system. The surface and section morphology of the oxide film were observed by scanning electron microscope (SEM). The thickness, roughness and porosity of the films were measured by eddy current thickness gauge, laser confocal microscope and Image J. The wear resistance of the films was analyzed. The results reveal that with the applied voltage of the first stage of 300 V (180 s), the porosity of the film is only 4.574%, with the thickness of the film of 90 μm , and the roughness of 2.72 μm . SEM results show that the density of the film is increased and the cracks and holes in film surface are reduced. When the applied voltage is 300 V (180 s) + 380 V (1 620 s), the wear rate reach the minimum value, and mass loss is only 17.2 mg with 200 r wear and 4.6 mg less than that of one-time applied.

Key Words: Micro Arc Oxidation, Oxide Film, Voltage in Stage, Characteristics of Film

微弧氧化可以在Al、Mg、Ti及Zr等轻金属表面原位形成一层氧化膜^[1-3],提升基体合金的耐磨性、耐腐蚀性等,被广泛地应用于医疗、航空、船舶等领域^[4-6]。

微弧氧化过程中,随着电压升高,试样表面形成钝化膜,当电压达到可以破坏该膜层时即开始放电击穿,熔融的基体金属遇到电解液发生反应并冷却凝固形成新的膜层。由于高温熔体几乎是瞬间凝固,因此会在膜层的表面形成大量裂纹和熔体通过的通道。这些位置又成为下一次击穿的薄弱处,使得膜层不断生长。因此放电击穿的强度、位置及其均匀性都会影响膜层的应力分布和释放,进而影响膜层的品质和性能。针对这一问

题,常用的措施是改变电源参数和电解液组成^[7-10]。

目前微弧氧化电源常用的方法为恒电压法,在恒压模式下,电流被动改变,而这种能量的变化又决定了微弧放电的过程及表面微孔的结构。因此,采用分段式电参数控制电弧的放电击穿能量,能够控制内部应力,减少裂纹的产生^[11-13]。目前常用的一次性升压加载方式由于大电弧集中在某一区域放电,常常导致膜层的部分区域较薄,部分区域很厚。基于此,本研究在AZ91D镁合金表面进行微弧氧化处理,通过控制电压的加载方式,控制放电击穿的过程,对比不同电压加载方式对膜层的形貌及耐磨性的影响,以期获得适宜的处理工艺。

收稿日期:2022-06-16;修稿稿收到日期:2022-08-13

基金项目:内蒙古工业大学大学生创新创业训练计划资助项目(20220433001)

第一作者简介:赵昊宇,男,2001年出生,本科,呼和浩特(010051),E-mail:995175719@qq.com

通信作者:陈伟东,男,1979年出生,教授,呼和浩特(010051),E-mail: weidongch@163.com

引用格式:赵昊宇,陈伟东,刘硕,等.分段电压模式制备镁合金微弧氧化膜工艺研究[J].特种铸造及有色合金,2023,43(4):514-518

ZHAO H Y, CHEN W D, LIU S, et al. Preparation and behavior of micro arc oxide film on magnesium alloy by voltage in stage[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2023, 43(4):514-518.

为微弧氧化的技术开发和实际应用提供参考。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料

微弧氧化基体合金为 AZ91D 镁合金,线切割为 30 mm×20 mm×3 mm 的片状试样,经 800~2000 号砂纸逐级打磨并进行超声清洗。选用的电解液为硅酸盐体系:Na₂SiO₃ (12.0 g/L)+NaOH (2.0 g/L)+Na₂EDTA (2.0 g/L)+ZrO₂ (0.5 g/L)。电解液通过冷却循环水保持在 20~25 ℃ 之间。微弧氧化电压的加载方式通过 T-30B 型微弧氧化电源设置为两段加载,设定 30 s 升至第 1 阶段设定电压值,第 1 阶段电压的选择以高于起弧电压(270 V)的正向电压值为起点,分别选用正向电压为 270、280、290 及 300 V 作为第 1 阶段加载电压值,加载时间为 300 s。停留时间选择以一次性加载电压处理时电流下降至最小值所用时间(100 s)为依据。设定第 1 阶段电压为 300 V 后,加载时间选择 60、180 及 300 s,总氧化处理时间为 1 800 s,具体见表 1。电流变化通过电源自带程序每秒记录一次。

表 1 分段电压加载方式及试样编号

编号	正向电压/V(加载时间/s)
S ₁	0→380(1 800)
S ₂	0→270(300)→380(1 500)
S ₃	0→280(300)→380(1 500)
S ₄	0→290(300)→380(1 500)
S ₅	0→300(300)→380(1 500)
S ₆	0→300(180)→380(1 620)
S ₇	0→300(60)→380(1 740)

1.2 试验方法

用 HCC-25 型电涡流测厚仪测量微弧氧化膜厚度。用 S3400 型扫描电镜对微弧氧化膜的表面和截面形貌进行观察。用 LSM700 激光共聚焦显微分析系统测量氧化膜的粗糙度。用 Image J 软件对膜层表面形貌进行孔隙率分析计算。耐磨性能采用 DZ-322TABER 耐磨试验机,对陶瓷膜层耐磨性进行测试,压力为 2.45 N,转速为 50 r/min,每 50 r 称重 1 次,计算经过 50 r 后的质量损失,共磨损 4 次,共 200 r。

2 试验结果及讨论

2.1 正向电流的变化

图 1 为微弧氧化电压采取不同正向电压加载方式时,正向电流的变化曲线。根据其电流的变化趋势可以将微弧氧化过程中的电流变化分为两个阶段,第 1 阶段,在 0~100 s 时,正向电流达到峰值后又下降至波

谷。在 0~30 s 时随着电压从 0 到 380 V 增加,电流迅速增大至最大值,这是由于在升压阶段氧化膜开始形成,电压的升高速率远高于氧化膜电阻的增加速率,因此电流在电压作用下快速升高,随后由于氧化膜生成,电阻增加,在 380 V 恒压条件下,电流逐渐降低;第 2 阶段,100~1 800 s 时,膜层由于电压作用,在薄弱处发生放电击穿,电流上升,在此过程中,膜层不断增厚,直至微弧氧化处理结束。

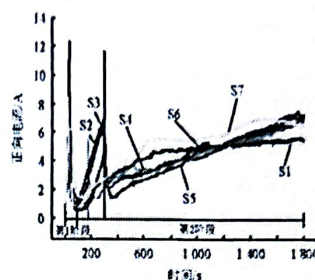


图 1 不同电压加载方式时的电流变化曲线

Fig.1 The curves of current with different applied voltage

采用分段加载电压后,可以将电流“升高-降低”的过程由 1 次改变为 2 次,通过控制电流击穿(放电能量)来控制膜层的生长,以获得较为合理的处理工艺。由图 1 可见,S₂、S₃、S₄ 及 S₅ 均为第 1 阶段停留 300 s,其表面微弧氧化过程中,在 100~300 s 时,电流第二次升高,其中又以 S₂ 和 S₃ 的电流强度更高。这是由于 S₂ 和 S₃ 第 1 阶段加载电压仅为 270 V 和 280 V,即第 1 阶段生成的膜层较薄,所以在升压的第二阶段,电阻较小,电流较高。缩短加载电压第 1 阶段的时间,如 S₆、S₄ 和 S₇ 的电流变化曲线,随着第 1 阶段停留时间缩短,由于 S₆ 的第 1 阶段加载时间最长,此时持续在薄弱位置击穿放电,尽管此时膜层厚度较厚,但电流依然较高。S₄ 缩短了这种不均匀放电的时间,初期氧化膜的生长更为均匀,所以电流较低,而 S₇ 则是在第 1 阶段电压还没有完全作用结束(<100 s 内)加载的,所以此时膜层较薄,电流也高于 S₄。

2.2 氧化膜的粗糙度及厚度

表 2 为不同电压加载工艺过程所获微弧氧化膜的厚度与粗糙度。可以看出,一次性加载电压的处理方式所获膜层的粗糙度达到 4.08 μm,采用分段加载后,膜层的粗糙度均降低,尤其是第 1 阶段处理电压值超过 290 V 后,膜层的表面粗糙度均降至 3 μm 以下。对比第 1 阶段加载电压的高低不同(试样 S₂~S₅),随着加载电压从 270 V 升高至 300 V,试样的粗糙度逐渐降低,这是由于 AZ91D 镁合金在选用电解液体系下,其起弧电压为 270 V 左右,当第 1 阶段加载电压略高于起弧电压时,微弧氧化反应仅在局部进行,获得的膜层较

薄,且不连续,第1阶段电压加载完毕后,继续升高电压至设定值时,膜层生长的剧烈程度降低,且优先在膜层表面薄弱的位置发生微弧放电击穿,所以所获膜层的表面粗糙度显著降低。

膜层厚度受到加载电压方式不同的影响较小,一次性升压的处理方式所获膜层最薄,这是因为尽管一次加载方式的初始阶段电压很高,对应的电流较高,但是由于氧化膜的生成,电流很快降低,表明微弧氧化膜的厚度增长主要集中于初始阶段,因此相比于分段式加载的方式,所获氧化膜更薄。分段式加载电压,即改变分段电压的值和停留时间,对膜层厚度的影响较小,主要是因为第1阶段处理时已经获得了较为致密的膜层,停留时间和较小幅度的改变电压,对膜层的击穿能力改变有限,膜层的生长增厚几乎停滞,而第2阶段的升压设置均为380 V,所以膜层厚度的区别也不明显。

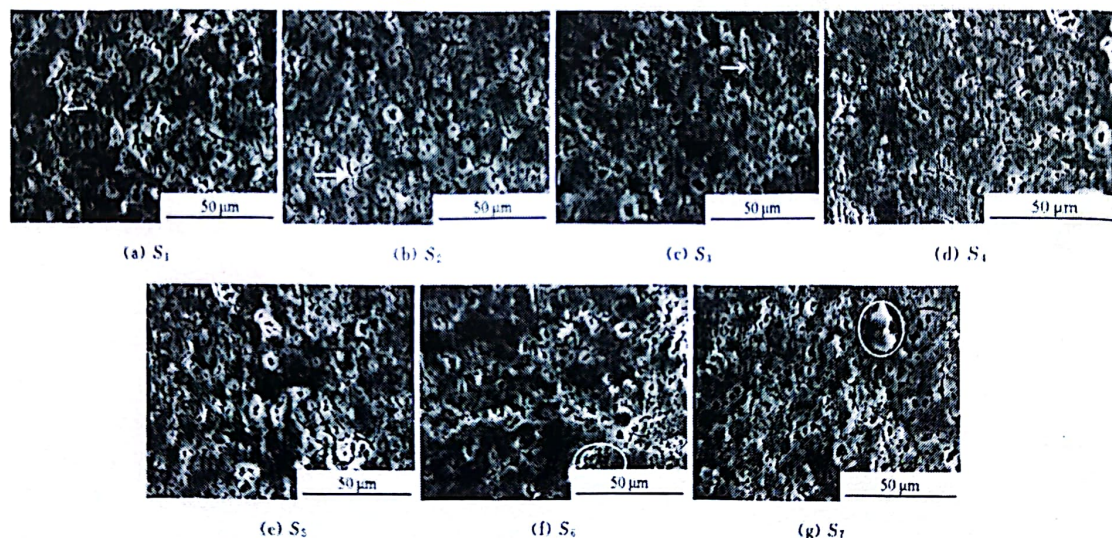


图2 微弧氧化膜的表面形貌

Fig.2 Surface morphology of micro arc oxide film

体合金通过放电通道接触到激冷的电解液,快速冷却凝固的过程中在孔的周围形成裂纹。

电压加载方式为二次加载后,膜层表面的裂纹不贯通,孔洞的尺寸减小,但其数量增多,见图2b和图2c。图3为微弧氧化膜的孔隙率。结合图3中膜层表面的孔隙率结果可知, S_5 膜层的孔隙率最大,而第1阶段电压为290 V和300 V时,膜层表面的孔隙率显著下降。而采用第1阶段加载时间较短的情况下, S_6 和 S_7 表面膜层则出现了膜层剥落和凸起的氧化物颗粒,见图2f和图2g。这是由于此时膜的致密度提高,最终所获膜层是在第1阶段加载获得一定厚度的初期氧化膜上形成的,后期的击穿只能在局部发生,所以膜层的孔隙率小,其中 S_6 试样的膜层由于第1阶段放电更加均匀,孔隙率仅为4.574%。

表2 微弧氧化膜的粗糙度与厚度

编号	粗糙度/ μm	厚度/ μm
S_1	4.08	84
S_2	3.77	95
S_3	3.56	98
S_4	2.85	96
S_5	2.50	86
S_6	2.72	90
S_7	2.71	95

2.3 氧化膜的表面形貌

图2为不同电压加载方式所获膜层的表面形貌。一次性升压的微弧氧化反应过程剧烈,膜层表面的放电微孔较大,表面裂纹较多,见图2a,且裂纹互相连通。由图2b可见,微弧氧化膜表面的裂纹大多集中于微孔的周围,这说明氧化膜形成时,随着放电击穿,熔融的基

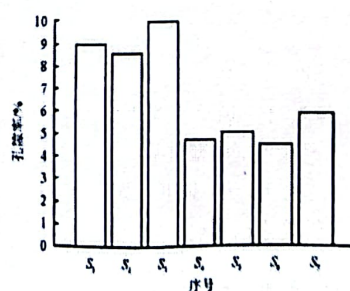


图3 微弧氧化膜的孔隙率

Fig.3 Porosity of micro arc oxide film

2.4 氧化膜的截面形貌

图4为不同电压加载方式下所制备氧化膜的截面形貌。由图4a可见,采用一次性电压加载时,膜层内部存在较长的裂纹,且膜层的厚度分布不均匀。采用阶段

式加载后,膜层内部的裂纹长度显著减小。从图 4b 可以看出,仅局部有裂纹存在。继续提高第 1 阶段电压的加载值,从图 4c 和图 4d 可以看出, S_3 和 S_4 膜层内部的裂纹逐渐消失,仅有少量的微孔。在第 1 阶段加载电

压为 300 V 时,见图 4e、图 4f 及图 4g,由于微弧氧化初期膜层生长更为均匀,氧化膜内部的结构最为致密,和基体结合处呈现均匀的锯齿交错状,这有利于膜层和基体结合力的提高。

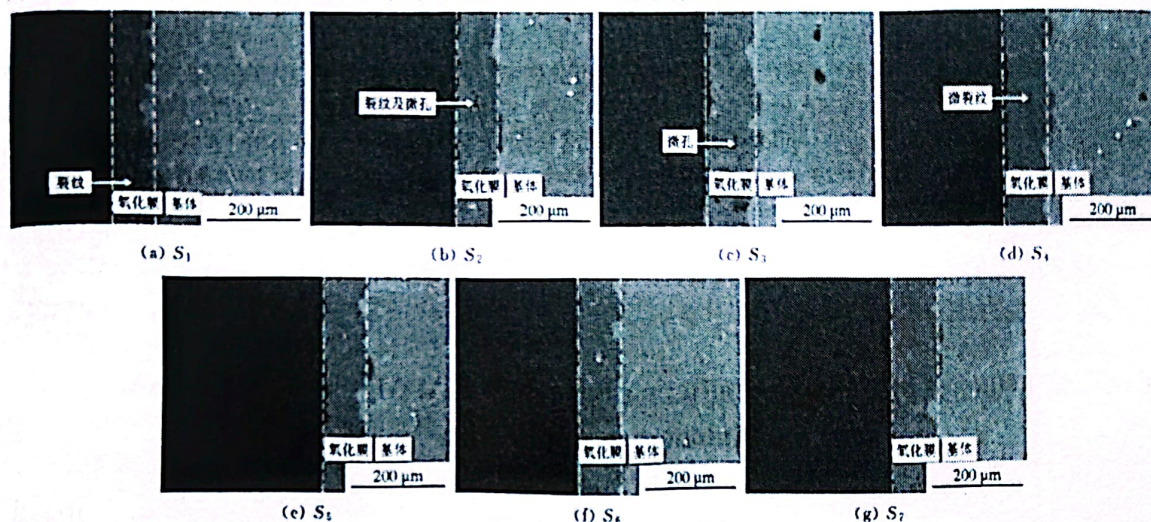


图 4 微弧氧化膜的截面形貌

Fig.4 Cross section morphology of micro arc oxide films

2.5 氧化膜的耐磨性

图 5 为对不同氧化膜进行 200 r 磨损后的质量损失。可以看出,采用阶段式加载电压和一次性加载电压方式对膜层在同等条件下磨损时的质量损失呈现出显著的不同,其中一次性加载电压时,由于所获得的膜层较为疏松,表面孔隙和裂纹较多,因此在接触到磨损磨头时更容易剥落,表现为磨损量较大。此外,不同膜层磨损量变化有相同的趋势,即磨损前期的磨损量较大(前 50 r),这是因为磨损进行的初始阶段,氧化膜表面的凸起和疏松层更容易被磨掉,而磨损后期,由于氧化膜内部相对外表面更为致密,磨损量下降。但采用一次性加载电压时,在磨损 100 r 后,磨损量仍较大,这表明其膜层内部也较疏松,和图 4a 中的结果相一致。阶段式加载电压试样表面的氧化膜中,由于膜层生长更为均匀, S_6 表面制备的膜层的磨损量最少,经过 200 r 的磨损后,质量损失仅为 17.2 mg,较 S_1 减少了 4.6 mg,表

现出较优异的耐磨性。

3 结 论

(1)AD91D 镁合金分段式加载电压所获膜层的致密度提高,表面裂纹和孔洞减少。

(2)AD91D 镁合金微弧氧化过程中,当加载电压方式采用第 1 阶段加载电压为 300 V,加载时间为 180 s 时,所获膜层的表面孔隙率最低,仅为 4.574%,膜层厚度为 90 μm ,粗糙度为 2.72 μm 。

(3)AD91D 镁合金微弧氧化过程中采用一次性加载电压时,在磨损 100 r 后,磨损量仍较大。阶段式加载电压试样 S_6 的磨损量最少,经过 200 r 的磨损后,质量损失仅为 17.2 mg,较 S_1 减少了 4.6 mg。

(4)AD91D 镁合金微弧氧化过程中,对比不同电压加载方式所制备氧化膜的性能和特征,采用分段式电压加载,300 V 加载 180 s+380 V 加载 1620 s 工艺制备的氧化膜在生成初期放电更加均匀,膜层的综合性能最佳。

参 考 文 献

- [1] 樊志斌, 阎峰云, 邵敏涛, 等. 基于微弧氧化技术的复合涂层的研究现状[J]. 特种铸造及有色合金, 2014, 34(1): 66-70.
- [2] YAO W H, WU L, WANG J F, et al. Micro arc oxidation of magnesium alloys: A review[J]. Journal of Materials Science & Technology, 2022, 118: 1558-1580.
- [3] JIN S Y, MA X C, WU R Z, et al. Advances in micro-arc oxidation coatings on Mg alloys[J]. Applied Surface Science Advances, 2022(8): 1-20.

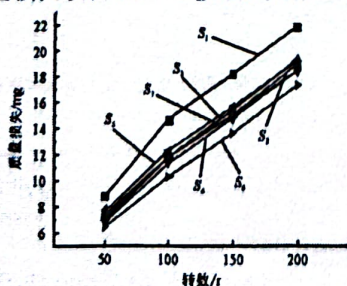


图 5 微弧氧化膜磨损质量损失

Fig.5 Mass loss of micro arc oxide films