



微弧氧化技术及应用

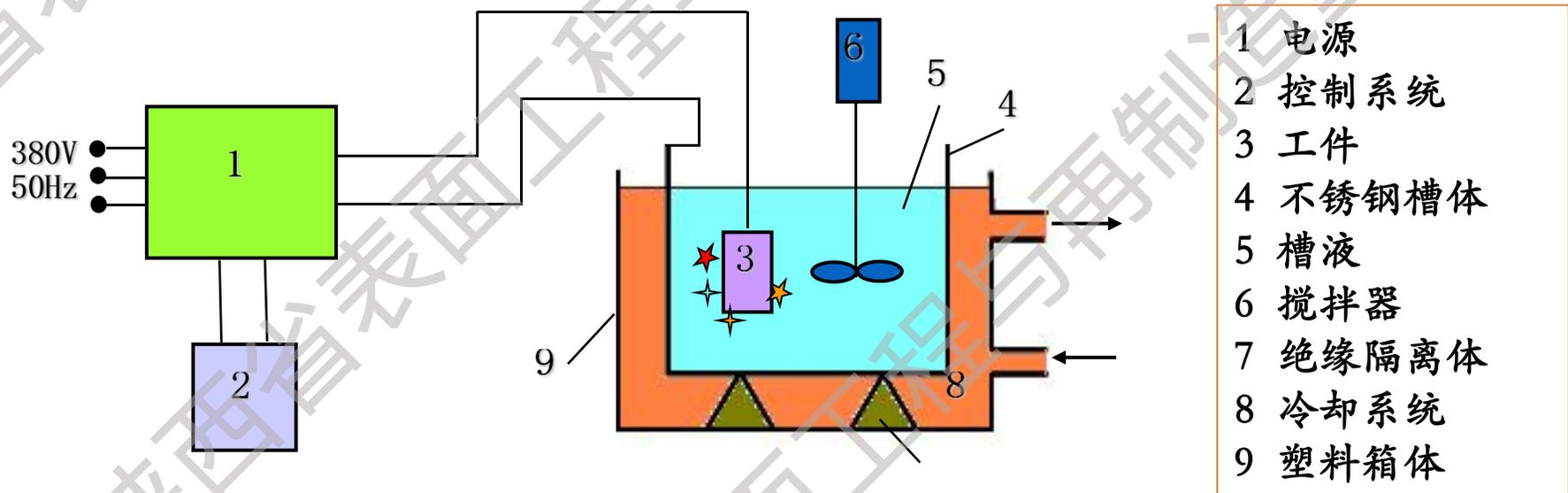
制备及测试设备



100KW微弧氧化系统

微弧氧化技术

微弧氧化(Microarc oxidation, MAO)又称等离子体电解氧化 (Plasma electrolytic oxidation, PEO)、微等离子体氧化(Microplasma oxidation, MPO)等, 是通过电解液与相应电参数的组合, 在铝、镁、钛等金属及其合金表面依靠弧光放电产生的瞬时高温高压作用, 原位生长出以基体金属氧化物为主的陶瓷膜层。

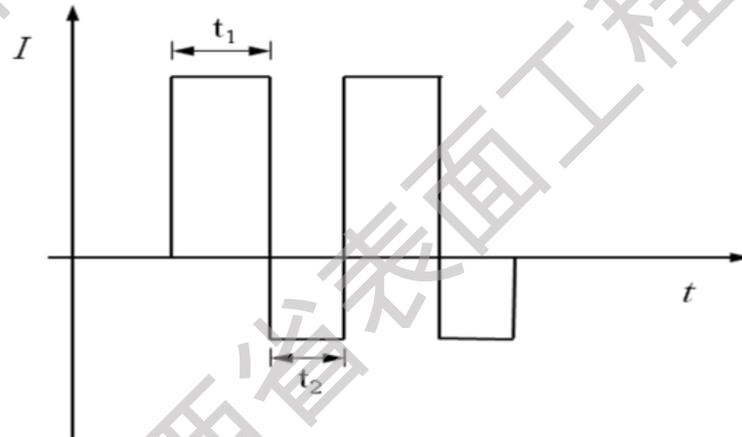


微弧氧化机理:

微弧氧化技术



脉冲微弧氧化系统



电源波形示意图



工作状态波形

微弧氧化技术

工艺特点

- 设备较为复杂
- 工艺适应性强
- 大电流、高电压
- 溶液绿色环保

膜层特点

- ★耐蚀性高
- ★耐磨性高
- ★绝缘性好
- ★硬度高
- ★原位生长，与基体结合牢固
- ★耐热性好
- ★作为底涂层，与面层附着力好

微弧氧化技术

铝合金微弧氧化与阳极氧化膜层性能对比

性能	微弧氧化	阳极氧化	硬质阳极氧化
最大厚度 (μm)	100-300	5-20	60-150
硬度 (Hv)	1000-4300	300-400	400-600
氧化膜相结构	$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 、 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$	无定形相	无定形相
耐磨性	优于硬合金	差	差
击穿电压 (V)	>1000	不绝缘	低
粗糙度 (Ra)	可根据要求加工	—	低
孔隙率 (%)	0-5	>40	>40
5%NaCl盐雾腐蚀 (h)	>3000	<200	>300

微弧氧化技术

铝合金微弧氧化与阳极氧化工艺对比：

阳极氧化：

工艺流程：脱脂—水洗—碱洗—中和—水洗—阳极氧化—水洗—着色—水洗—封闭—干燥

溶 液：硫酸、硝酸、氢氟酸、重铬酸盐等，酸性、污染严重。

微弧氧化：

工艺流程：脱脂—水洗—微弧氧化—水洗—干燥

溶 液：硅酸盐等，呈碱性，绿色环保。

微弧氧化技术

镁合金微弧氧化与化学氧化膜层性能对比

性能	微弧氧化	钝化(化学氧化)
最大厚度 (μm)	100	1~2
硬度 (Hv)	可达Hv800	-
氧化膜相结构	MgO、铝尖晶石、镁橄榄石等陶瓷相	无定形相
耐磨性	好	极差
粗糙度 (Ra)	1-2	低
致密性	好	差
与基体结合强度	冶金结合, 强度高	差
5%NaCl盐雾腐蚀 (h)	>96	<24

微弧氧化技术

镁合金微弧氧化与化学氧化工艺对比：

化学氧化：

工艺流程：脱脂—水洗—活化—水洗—表调—水洗—钝化—水洗—干燥

溶液：磷酸盐、铬酐酸或重铬酸盐等，酸性、污染严重。
应用：一般作为装饰、中间防护层及涂装打底。

微弧氧化：

工艺流程：脱脂—水洗—微弧氧化—水洗—烘干

溶液：硅酸盐，呈碱性，绿色环保。
应用：最终防护层或涂装打底。

微弧氧化技术

实验室研究成果:

- ◆ 开发了全新绿色环保的氧化液体系
- ◆ 掌握了从设备到工艺、工程化的全套技术
- ◆ 解决了工程化应用方面诸多难题
- ◆ 可对膜层相成分进行调整
- ◆ 镁合金高耐腐蚀涂层/镁合金导电+微弧氧化涂层

通过多年的研究探索，在批量生产、质量控制以及大型、复杂零件处理等方面积累了丰富的经验。

技术水平

技术水平:

微弧氧化膜膜层性能		铝合金			镁合金	钛合金
		铝硅系	铝铜系	铝镁系		
最大厚度 (μm)		300	300	300	150	100
显微硬度 (Hv)		>1000	>1500	>1500	>800	>1200
5%NaCl盐雾腐蚀 (h)	不封闭	>1000	>200	>1000	>800 (镁锂 > 500)	>3000
	封闭	>3000	>3000	>3000	>1000	
耐压性 (v.60s)	点接触	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
	面接触	>600	>600	>600	>500	>300
耐磨性 (600目水砂纸 300次)		不露基体	不露基体	不露基体	不露基体	不露基体

微弧氧化技术

技术水平—膜层均匀性:

微弧氧化膜层生长过程中易产生尖边效应，特别是复杂零件，因此，能否有效控制各部位膜层厚度的均匀性是工程化应用的难点:

每平方米范围内膜层均匀性

膜层厚度 (um)	误差 (每平方米)
膜厚 < 30	$\leq \pm 5$
$30 \leq \text{膜厚} \leq 60$	$\leq \pm 10$
$60 < \text{膜厚} \leq 100$	$\leq \pm 15$

7.8孔深45mm



微弧氧化技术

技术水平—膜层结合性能：



板厚1mm，MAO处理后折弯如图，膜层结合良好，不脱落

微弧氧化技术

技术水平—铝合金膜层耐蚀性:

铝合金微弧氧化后耐蚀性能良好
耐中性盐雾 > 3000h 以上（铝铜系铝合金封闭后可达）

海洋环境下与异种材料装配测试

实验条件: 参照标准 GB/T5776-2005、GB/T5370-2007，厦门海域天然海水浸泡120天，铝合金零件与不锈钢、黄铜等零件组装整体浸泡测试。

结论: 铝合金构件表面局部变色，外表面出现少量白色沉积物，内壁与金属接触处出现片状白色盐类沉积物；去除白色沉积物后，微弧氧化膜层完整，未发现局部腐蚀现象。

微弧氧化技术

技术水平—铝合金膜层耐蚀性:



人工海水浸泡2500h后外观

模拟海水室温全浸耐腐蚀测试:

测试条件: 参照标准JB/T6073-92《金属覆盖层实验室全浸腐蚀试验》, 测试期间实验室平均温度 24.8°C , 最高温 26°C , 最低温 23.5°C 。

试验结果: 2500h后表面形态如上图, 试样耐腐蚀测试后, 除表面有少量溶液垢粘在膜层上外, 表面并无腐蚀发生, 膜层耐腐蚀性能良好。

实际海洋环境下湿搁置测试:

测试条件: 参照标准

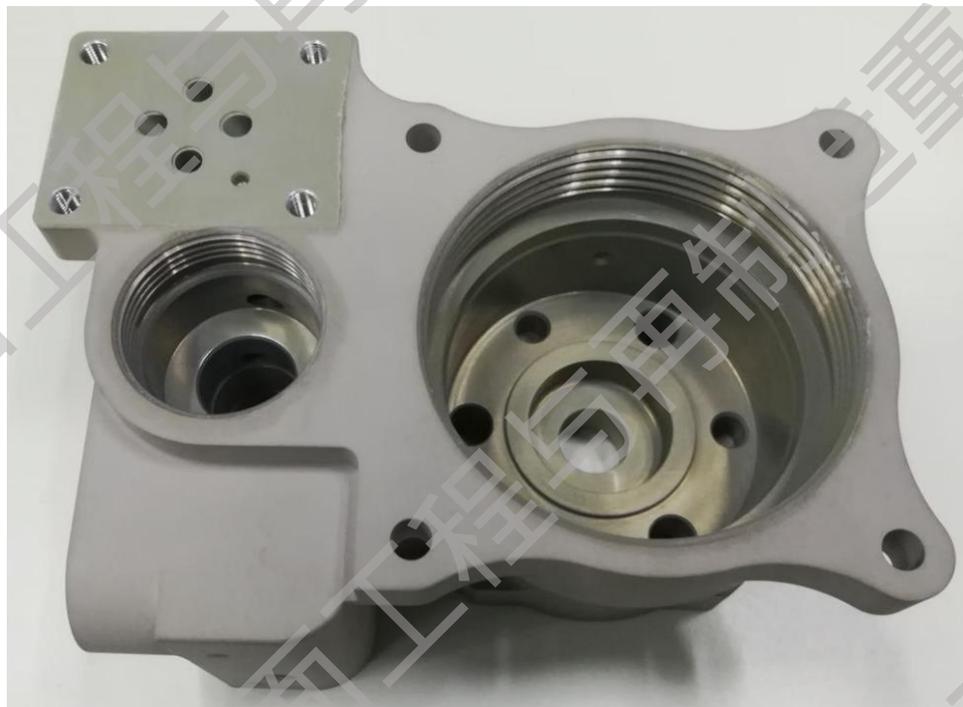
GB/T5776-2005《金属和合金的腐蚀 金属和合金在表层海水中暴露和评定的导

则》, GB/T5370-2007《防污漆样板浅海浸泡试验方法》, 厦门海域天然海水浸泡4个月, 濒海搁置6各月交替进行。

结论: 实验结束后用清水清洗零件表面脏污, 微弧氧化膜层表面完整, 未发现明显腐蚀痕迹。

微弧氧化技术

技术水平—铝合金膜层耐蚀性：



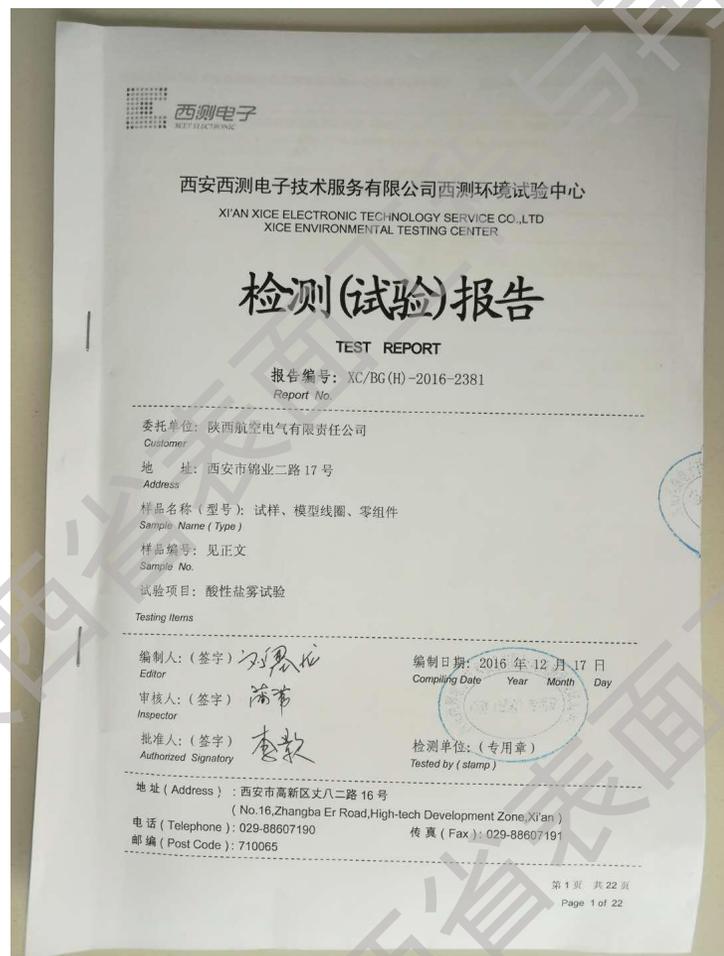
ZL105零件酸性盐雾试验240h后外观

酸性盐雾耐腐蚀测试：

测试条件：参照标准GJB150.11A-2009，表面无腐蚀，膜层耐腐蚀性能良好。

微弧氧化技术

技术水平—铝合金膜层耐蚀性:



- 2016年11月27日~2016年12月07日使用设备TT00087对样品按照委托方提供的试验条件进行了酸性盐雾试验。
- 试验准备
 - 盐溶液配置: 将5份重量的氯化钠溶解于95份重量的蒸馏水中, 配置成浓度为5%的NaCl盐溶液, 并用稀硫酸溶液调节盐溶液pH值, 使其pH值为3.2;
 - 在标准大气条件下, 对样品外观进行检查, 记录样品外观状态;
 - 用干净的棉布蘸取少量无水乙醇对样品(除编号为G7-01, G7-02的样品)表面进行擦拭, 确保样品表面无污物。

样品描述 Sample Description	样品编号	材料/体系	处理工艺	尺寸	数量	外观
T13-01, T13-02		ZL105 体系1	微弧氧化 (30~40) um	(70*150*5) mm	2	外观良好
						外观良好
T14-01, T14-02		ZL105 体系2	微弧氧化 30um	(70*150*5) mm	2	外观良好
						外观良好
T15-01, T15-02		铝合金 3003	微弧氧化	/	2	外观良好
						外观良好
T16-01, T16-02		ZL105 封闭	微弧氧化封闭	(70*150*5) mm	2	外观良好
						外观良好
试样	T13-01	1	表面无明显变化 (参见图 9-1~9-9)			
试样	T13-02	1	表面无明显变化 (参见图 9-1~9-9)			
试样	T14-01	1	表面无明显变化 (参见图 9-1~9-9)			
试样	T14-02	1	表面无明显变化 (参见图 9-1~9-9)			
试样	T15-01	1	表面无明显变化 (参见图 9-1~9-9)			
试样	T15-02	1	表面无明显变化 (参见图 9-1~9-9)			
试样	T16-01	1	表面无明显变化 (参见图 9-1~9-9)			
试样	T16-02	1	表面无明显变化 (参见图 9-1~9-9)			

ZL105、3003铝合金试样酸性盐雾试验报告 (240h)

微弧氧化技术

技术水平—镁合金膜层耐蚀性（中性盐雾）：



1	镁合金试样	AZ33M	依据 GB/T 6461-2002 6.1 中表 1 的有关规定进行评级	样品表面有极少量腐蚀斑点，缺陷面积小于 0.1%	9 级	/
---	-------	-------	--------------------------------------	--------------------------	-----	---

序号	样品名称	型号	合格判据	试验结果	结论	备注
1	镁合金试样	AZ41M	依据 GB/T 6461-2002 6.1 中表 1 的有关规定进行评级	样品表面未出现腐蚀现象，无缺陷	10 级	/

微弧氧化技术

技术水平—镁合金膜层耐蚀性（中性盐雾）：参照标准：GJB150.11A-2009



AZ31镁合金试样816h后的表面状态

微弧氧化技术

技术水平—镁锂合金膜层耐蚀性（中性盐雾）：



盐雾试验96h后外观

盐雾试验168h后外观

盐雾试验292h后外观

试验结果：镁锂合金292小时盐雾试验后，表面状态达到9级，性能良好。

微弧氧化技术

技术水平—镁合金膜层耐蚀性（中性盐雾）：



AZ31



ZM5



LZ91

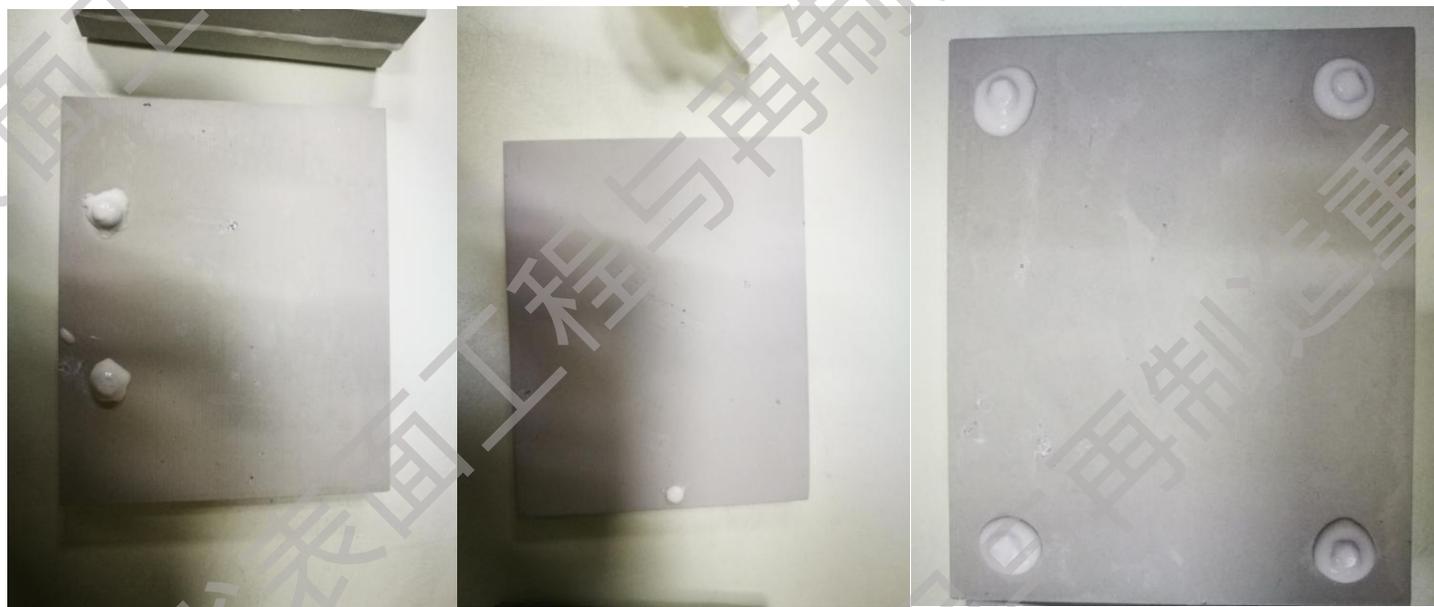


MA21

微弧氧化、涂装、中性盐雾试验96h、湿热240h后外观

微弧氧化技术

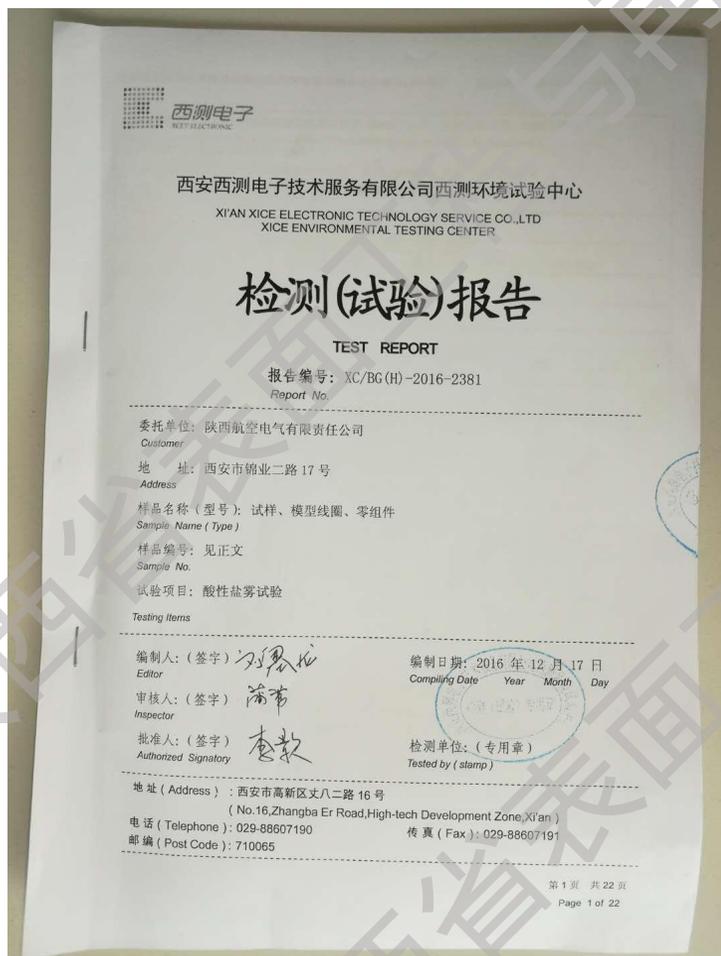
技术水平—镁合金膜层耐蚀性（酸性盐雾）：



LZ91酸性盐雾240h后外观

微弧氧化技术

技术水平—镁合金膜层耐蚀性（酸性盐雾）：



1. 2016年11月27日~2016年12月07日使用设备 TT00087 对样品按照委托方提供的试验条件进行了酸性盐雾试验。

2. 试验准备

- (1) 盐溶液配置：将 5 份重量的氯化钠溶解于 95 份重量的蒸馏水中，配置成浓度为 5% 的 NaCl 盐溶液，并用稀硫酸溶液调节盐溶液 pH 值，使其 pH 值为 3.2；
- (2) 在标准大气条件下，对样品外观进行检查，记录样品外观状态；
- (3) 用干净的棉布蘸取少量无水乙醇对样品（除编号为 G7-01、G7-02 的样品）表面进行擦拭，确保样品表面无污物。

3. 镁合金

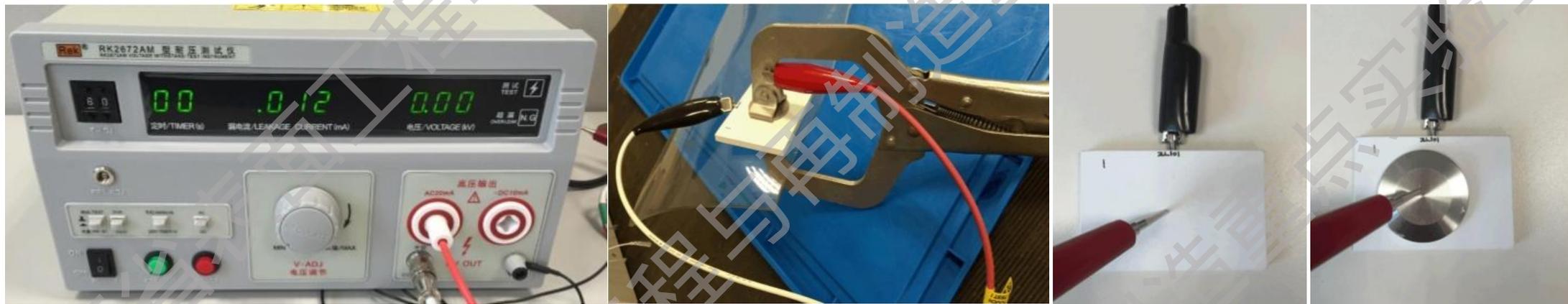
编号	材料	表面处理	表面涂层	规格	数量	备注
M1-01, M1-02	ZM6	化学氧化	H01-32 环氧酚醛清漆两遍、HTY 94-1 耐高温镁合金底漆两遍和 HTY 94-2 耐高温镁合金面漆两遍	(70*150*5) mm	2	外观良好
M2-01, M2-02	ZM6	微弧氧化	封闭处理	(70*150*5) mm	2	外观良好
M3-01, M3-02	ZM6	微弧氧化	涂环氧漆	(70*150*5) mm	2	外观良好

15	试样	M1-01	1	表面无明显变化（参见图 9-1~9-9）
16	试样	M1-02	1	表面无明显变化（参见图 9-1~9-9）
17	试样	M2-01	1	表面无明显变化（参见图 9-1~9-9）
18	试样	M2-02	1	表面无明显变化（参见图 9-1~9-9）
19	试样	M3-01	1	表面无明显变化（参见图 9-1~9-9）
20	试样	M3-02	1	表面无明显变化（参见图 9-1~9-9）

ZM6试样酸性盐雾试验报告（240h）

微弧氧化技术

技术水平—膜层绝缘性:



微弧氧化膜层耐压性能测试

参照标准: GPT-9804/9803/9802

要求: 交流、保持60s、电流 $<0.5\text{mA}$

测试结果:

点接触 耐压1000v, 电流 $<0.5\text{mA}$

面接触 耐压600v, 电流 $<0.5\text{mA}$

绝缘性在一定程度上反映了膜层致密性, 耐压性能越好, 说明放电通道越少, 膜层越致密。致密的膜层综合性能更佳。

案例

案例： 电气化铁路接触网支架零件



铝合金铸件： A365；

使用环境： 高盐高湿， 要求高耐腐蚀性；

案例

案例：纺织配件



微弧氧化技术使得铝合金代替钢用于制作高速运转的纺织配件成为可能，不仅增加了耐磨性及使用寿命，而且降低了能耗。

铝合金微弧氧化



微弧氧化技术使得铝合金代替钢用于制作高速运转的纺织配件成为可能，不仅增加了耐磨性及使用寿命，而且降低了能耗。

纺织配件微弧氧化

案例

案例：铝合金微弧氧化



铝合金零件：6061；要求：耐蚀、耐磨。

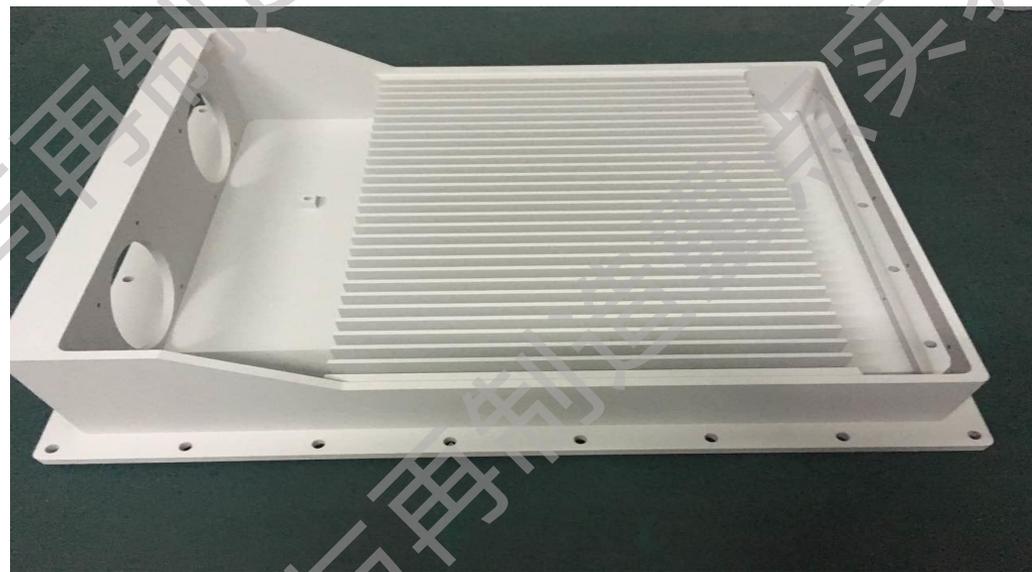
案例：柴油机出水管



微弧氧化处理内壁：要求内壁涂层分布均匀，耐蚀性好。
处理前使用状况：一个月更换一次。
处理后使用状况：一年以上更换一次。

案例

案例：散热器微弧氧化



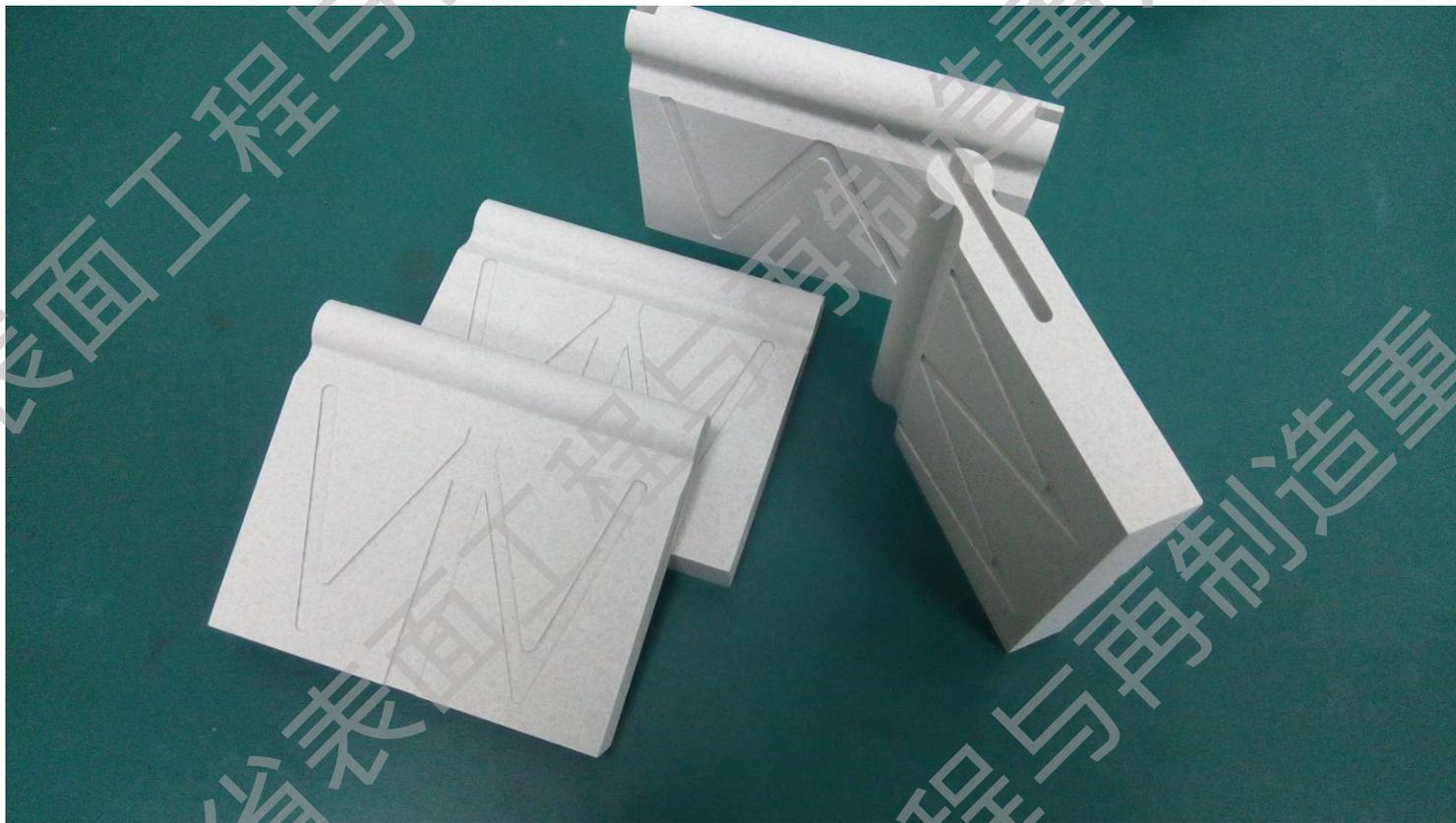
铝合金散热器：5A06；要求：黑色、白色。

案例

案例：铝合金黑色微弧氧化+彩导



案例



铝合金滑块：2A12；要求：高耐磨性；
膜层厚度：40-50um

案例

案例：镁合金



镁合金AZ91D压铸镁合金

案例

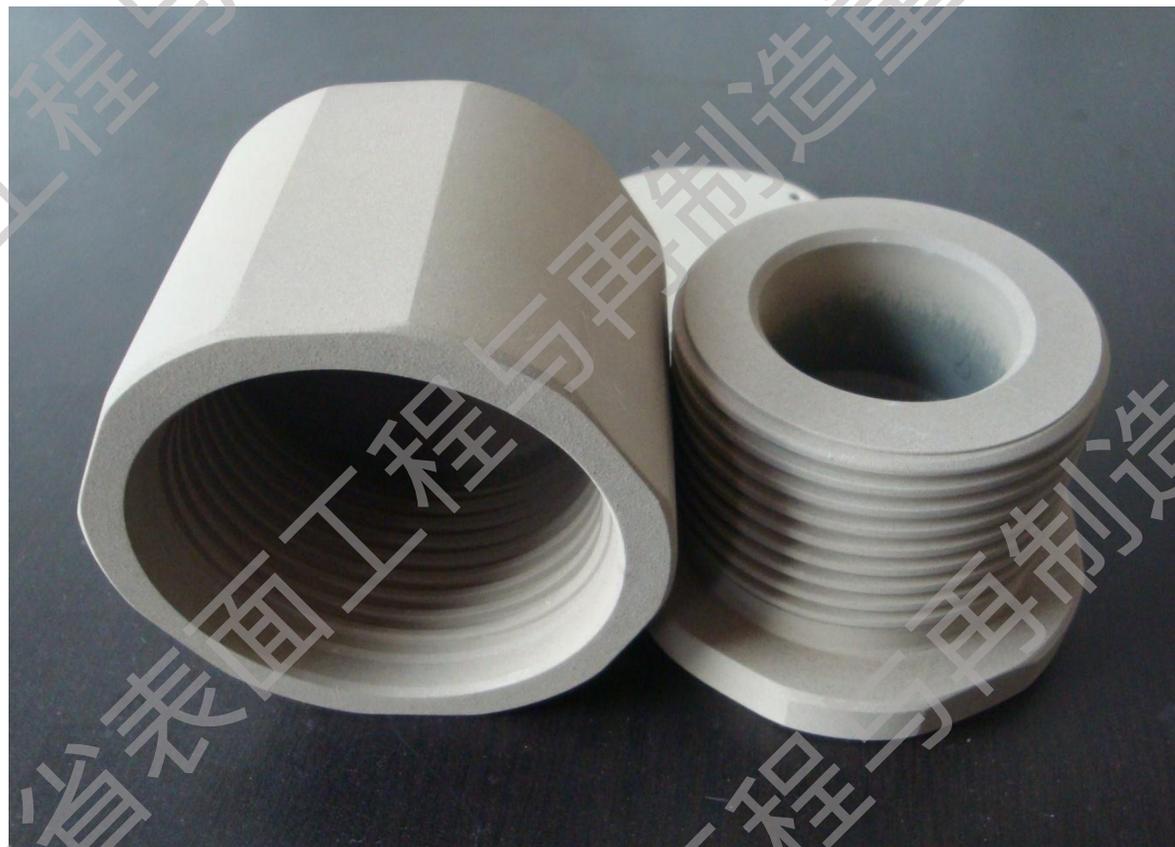
案例：镁合金黑色微弧氧化



镁合金黑色微弧氧化

案例

案例：钛合金微弧氧化



钛合金微弧氧化

案例

案例：钛合金微弧氧化



钛合金黑色微弧氧化



谢谢！