

钢材表面处理方式对耐中温憎水涂料性能影响研究

靳磊^{1,2},卓林阳³,镇咸生²,但丽玲²,刘栋⁴,林筠⁴,罗文飞⁴

(1. 中国航空制造技术研究院/先进表面技术航空科技重点实验室,北京 100024; 2. 中国航发贵州黎阳航空动力有限公司技术中心,贵州 贵阳 550014; 3. 海装广州局,广东 广州 510000; 4. 中国航发贵阳发动机设计研究所通用技术研究部,贵州 贵阳 550001)

摘要: 现役航空发动机在服役过程中,由于后端机匣等部件内外表面温度可达400℃,因此对部件涂层的耐热及憎水性提出更高的要求。当部件的憎水涂层耐温性低于400℃时,不仅会引起涂层烧蚀或者熔融,留下黄色和黑灰色等复杂颜色而影响外观,还会降低其耐蚀性能而引起零件锈蚀,导致在维修过程中难以分清原基体材料情况(是否存在裂纹、凹坑等缺陷),而造成更大的困扰。目前,在国内尽管中温段憎水涂料的研究取得一些成果,但主要是聚焦于单纯的憎水涂料的研制。众所周知,涂料的防护性能除了与涂料本身有关外,还取决于零件的表面处理。由于涂料涂覆之前部件采用何种处理方式的研究涉及较少,因此以发动机零件常用的1Cr11Ni2W2MoV基材为研究对象,研究磷化、镀Zn、镀Cu、镀Ag表面处理方式对耐中温憎水涂层体系的宏微观形貌、电化学及耐环境等性能的影响规律。结果表明:4种表面处理方式的镀Ag与耐中温憎水涂料配合最佳,涂层表面光滑(粗糙度 Ra 约1.2 μm)、水接触角约120°、耐中性盐雾寿命约576h,即使在300和400℃环境中处理1h,该涂层的接触角仅降低10°左右、耐中性盐雾性能也依然保持在576h左右。说明,4种表面处理方式中电镀Ag/耐中温憎水涂层最为稳定、配合效果最佳,可用作航空发动机的中温段受热部件(如发动机后端壳体、紧固件及其他部件)的表面防护层。该研究在生产应用单位具有较高的工程价值。

关键词: 耐中温憎水涂料;表面处理;镀Zn;镀Cu;镀Ag;磷化;性能;工程应用

中图分类号: TQ153.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-9981(2025)02-0314-07

引文格式: 靳磊,卓林阳,镇咸生,等. 钢材表面处理方式对耐中温憎水涂料性能影响研究[J]. 材料研究与应用,2025,19(2): 314-320.

JIN Lei, ZHUO Linyang, ZHEN Xiansheng, et al. Study on the Influence of Surface Treatment on the Properties of Medium Temperature Hydrophobic Coatings[J]. Materials Research and Application, 2025, 19(2): 314-320.

0 引言

常温憎水涂料目前已得到广泛关注^[1-4],国内外诸多单位对此开展了不同角度、不同深度的研究,目前制备能力较为成熟,所研制的憎水涂层稳定性较好、疏水角较大、耐蚀性更佳,在海洋、化工、发电厂等领域得到了应用^[5-8]。鉴于此,常温憎水涂料在航空领域,如飞机的紧固件、起落架、销钉、耳片、转轴、尾梁、斜杆等也有潜在应用前景。对于航空发动机而言,尤其中温段部件,憎水涂料在400℃温度下使用也基本能满足发动机某些零部件的需求。辛景博^[9]研制了氟化SiO₂-环氧树脂涂料,该涂层在pH为1—13溶液浸泡2h和50—300℃下煅烧2h后依旧疏水,表明涂层具有较好的耐温等性能。Wang^[10]等以SiO₂为基体,乙烯基三甲氧基硅烷(VTMS)为改性剂,在60℃/5h的固化条件下复合乙烯基纤维

素,制备出改性SiO₂超疏水涂料,该涂料最大使用温度可达到290℃。Vidal等^[11]采用溶胶凝胶法,制备出稳定的SiO₂超疏水涂料,该涂料在400℃下煅烧5d后接触角依然能达到149°。

1Cr11Ni2W2MoV是航空发动机常用的重要金属材料之一,但该材料很少直接使用,一般会对其表面进行处理,处理方法主要有电镀Zn、Ag、Cu及磷化等^[12-18]。针对发动机中温段典型结构件如何选择适当的表面处理方式,尤其是适合LY-J1耐中温憎水涂料应用的表面处理方式,目前还不明确。若表面处理方式不合适,涂料与基体材料的结合力可能较差,服役过程中易造成涂层脱落;若涂料与表面处理不相容,也会形成微小的吸水通道,反而加速材料的腐蚀^[19-20]。鉴于航空发动机对涂料性能的高要求,针对涉及的特定涂料进行表面处理方式的适配

收稿日期:2022-11-30

基金项目:公司内部科研攻关项目(KYGG-2022-048)

作者简介:靳磊,博士,高级工程师,研究方向为电镀、涂料、涂层等。E-mail: 825620669@qq.com。

性研究,使该涂料性能得到最大程度的发挥。

为了提高发动机的防水性及增强其耐腐蚀能力,采用电镀Zn、Ag、Cu及磷化4种处理方式,对航空发动机常用的1Cr11Ni2W2MoV金属材料的表面进行处理,研究不同处理方式对LY-J1涂料的粘附力、电化学、耐腐蚀、耐热等性能影响,进而探索表面处理方式之间的细微差别,为金属材料表面憎水漆膜制备提供参考意见,也为该类型涂料在航空发动机领域中的应用奠定技术基础。

1 试验部分

1.1 材料与设备

试验以1Cr11Ni2W2MoV钢为基材,涂料主要组分为环氧改性有机硅(质量分数为34%—39%),其中稀释剂质量分数为41%—53%、固化剂质量分数为10%—15%、功能填料质量分数为5%—8%。

试验所需主要设备为空气喷枪,德国世达上壶式喷枪1500RP,其孔径1.3 mm,料罐容量600 mL。试验所用仪器为精密电子天平,德国赛多利斯BSA124S,精度0.1 mg。试验所用器具为水浴锅、烧杯等。

1.2 涂料、涂层的制备方法

1.2.1 涂料的合成

耐中温憎水涂料制备过程:首先,将加料1和加料2搅拌混合,随后加入加料3进行反应,待反应结束后收集树脂中间体产品。然后,向树脂中间体中加料进行反应,待反应结束后获得树脂产品。最后,向树脂中添加功能填料,通过机械搅拌使之表面改性,最终获得涂料产品(标记为LY-J1)。涂料LY-J1是一种水性纳米覆膜保护剂,其除主要成分含氢硅氧烷外,还包含有缓蚀剂、催化助剂、溶剂等,其中溶剂为电导率小于 $30 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ 的去离子水,去离子水含量(质量分数,下同)为65%—75%。该涂料为安全、遇明火不燃的憎水涂料,外观呈乳白色,不挥发物含量(SiO_2 、 TiO_2 等功能填料及硅树脂)为 $16\% \pm 2\%$,pH值为8.5—10.5,活性氢含量 $0.05\text{—}0.10 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$,闪点 $\geq 60^\circ\text{C}$,覆膜层厚度大约为 $0.5\text{—}5 \mu\text{m}$ 。

1.2.2 涂层的制备工艺

憎水涂层制备:喷涂溶液按比例配置→金属试样表面清洗→空气喷涂设备准备→涂料喷涂→干燥与固化。其中,涂料喷涂采用德国1.3 mm口径喷枪,喷涂压强为0.4 MPa、喷涂距离为13 cm、涂料喷涂量 $8 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$,空气消耗量 $8 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$,喷涂面(喷枪移动轨迹)2—3次,移动轨迹需相互垂直,移动速度 $10 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

喷涂后干燥固化:室温下在空气中晾0.5 h,然后在 90°C 下固化2 h,空冷或随炉冷却后取出,最后

在自然大气中晾48 h,随即可使用。

1.3 试验方法

1.3.1 形貌观察

采用线切割法将待测涂层样品裁成尺寸为 $1 \text{ cm}\times 1 \text{ cm}$,并选用400#、1000#和1200#的金相砂纸从粗到细顺序进行制样,随后对试样进行抛光、喷金或喷碳。利用光学显微镜及10倍放大镜,对试样的宏观形貌进行观察分析。使用扫描电子显微镜(泰思肯MIRA3 XM,FEI公司Quattro C),对试样截面的微观形貌进行观察。

使用电子显微镜测量涂层厚度,取3处的平均值即为最终厚度值。利用3D激光共聚焦显微镜(基恩士VHX-7000,移动分辨率10 nm、显示分辨率1 nm)对涂层表面形貌进行观察。按照GB 3505—表面粗糙度中的方法对涂层粗糙度进行测试,采用中线制评定,在高度特性参数常用的参数值范围内(R_a 为 $0.025\text{—}6.3 \mu\text{m}$, R_z 为 $0.1\text{—}25 \mu\text{m}$)优先选用 R_a 。

1.3.2 耐腐蚀性能

中性盐雾腐蚀试验:样品尺寸为 $105 \text{ mm}\times 50 \text{ mm}$,采用中性盐雾试验箱进行试验。其中,NaCl溶液的浓度(质量分数)为5%、pH值为6.5—7.2,试验温度为 35°C 。样品镀层面朝上并与垂线成 45° , 80 cm^2 的盐雾沉降量 $1\text{—}3 \text{ mL}\cdot\text{h}^{-1}$,每48 h观察镀层的变化(如起泡、生锈、脱落等)。根据GB/T 1766—2008色漆和清漆涂层老化的评级方法对样品进行评价,损伤程度共有6个级别,分别为0、1、2、3、4及5,数字越大破坏程度越严重。

电化学试验:采用Autolab PGSTAT302N电化学工作站进行电化学性能分析。其中,电解质为质量分数3.5%的NaCl溶液,尺寸 $10 \text{ mm}\times 10 \text{ mm}$ 的铂为对电极,参比电极为饱和甘汞电极,自腐蚀电位为 $\pm 150 \text{ mV}$,扫描速度 $0.000 2 \text{ mV}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

1.3.3 耐温测试

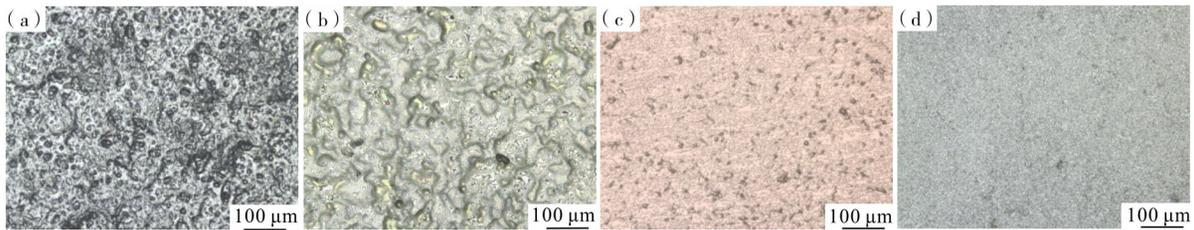
使用西尼特(北京)电炉公司生产的传统KSX系升温马弗炉进行耐温测试,二硅化钼为加热元件,炉膛为氧化铝多晶体纤维材料。将试样置于马弗炉中,随后以 $50^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 的升温速率将温度升至 400°C 并保温1 h,随炉冷却后取出试样备用。

2 结果分析与讨论

2.1 形貌分析

2.1.1 表面形貌

图1为4种不同表面处理工艺的1Cr11Ni2W2MoV基材表面形貌。从图1可见,1Cr11Ni2W2MoV基材的表面形貌截然不同。这是由不同表面处理工艺自身特点引起的。



(a)—磷化;(b)—镀 Zn;(c)—镀 Cu;(d)—镀 Ag。
(a)—phosphating; (b)—Zn plating; (c)—Cu plating; (d)—Ag plating.

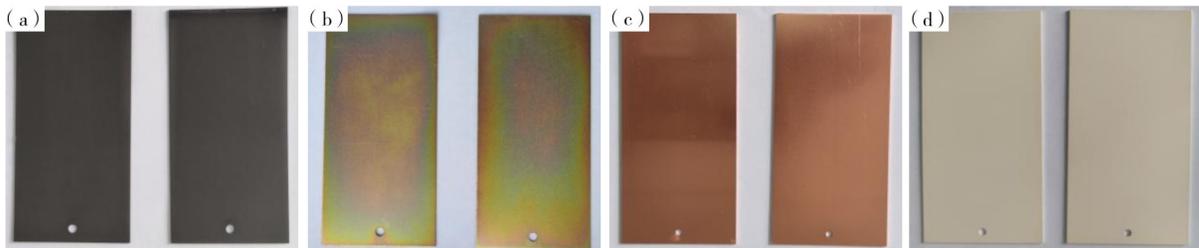
图1 1Cr11Ni2W2MoV 金属基材在不同表面处理工艺下的表面形貌

Figure 1 Surface morphology of 1Cr11Ni2W2MoV metal substrate after different surface treatment processes

2.1.2 表面粗糙度分析

首先采用电镀 Zn、Ag、Cu 和磷化 4 种不同表面处理方式,对 1Cr11Ni2W2MoV 基材表面进行处理,然后将耐中温憎水涂料涂覆于基材表面,最后进行干燥固化处理。图 2 为不同表面处理工艺下涂覆耐中温憎水涂料的 1Cr11Ni2W2MoV 基材表面宏观形

貌。从图 2 可见,憎水涂层颜色透明,并未对原表面处理形貌产生任何影响。说明,该中温憎水涂料的外观较为良好,并未有传统防腐涂料的红色、绿色、黄色等鲜明颜色,不会掩盖原金属材料颜色,这有利于观察原基体材料或原设备的状态,也有利于故障检查等。



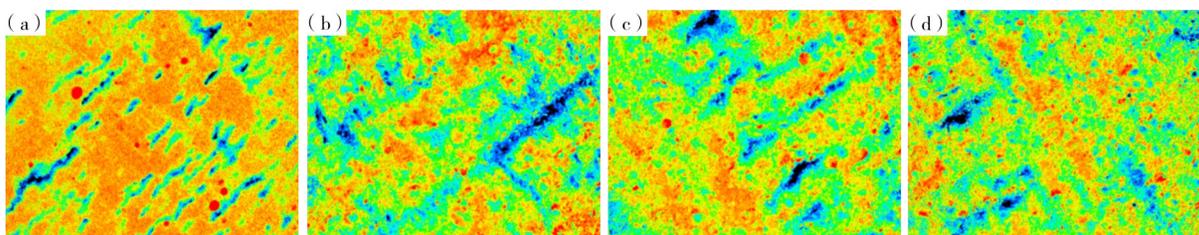
(a)—磷化;(b)—镀 Zn;(c)—镀 Cu;(d)—镀 Ag。
(a)—phosphating; (b)—Zn plating; (c)—Cu plating; (d)—Ag plating.

图2 不同表面处理工艺下涂覆耐中温憎水涂料的 1Cr11Ni2W2MoV 基材表面宏观形貌

Figure 2 Surface morphology of 1Cr11Ni2W2MoV substrate coated with medium temperature hydrophobic coatings under different surface treatment processes

将涂覆有耐中温憎水涂料的涂层表面放大观察(激光法),结果如图 3 所示。从图 3 可见,电镀 Zn、Cu、Ag 基材表面的涂层形貌较近似。这是由于电镀法具有近似的工艺特征,同时加上涂料在这 3 种电镀

表面铺展、填补部分凹坑、固化等规律基本一致,因此相似处更多。但是,经磷化的基材表面与 3 种电镀的稍有不同,这主要是粗糙度差异及涂料在不同表面的收缩、张力、固化动力学稍有不同引起的。



(a)—磷化;(b)—镀 Zn;(c)—镀 Cu;(d)—镀 Ag。
(a)—phosphating; (b)—Zn plating; (c)—Cu plating; (d)—Ag plating.

图3 不同表面处理工艺下耐中温憎水涂层的形貌对比

Figure 3 Comparison of morphology of intermediate temperature hydrophobic coatings by four different processes

利用粗糙度测量仪,对耐中温憎水涂料涂层表面测试,结果如图 4 所示。从图 4 可见,4 种涂层的粗糙度 R_a 集中在 1.1—1.5 μm 范围内,其中镀 Ag 涂层的表面粗糙度值相对最低。考虑到涂料喷涂工

艺一致,因此可认为镀 Ag 涂层表面最平整,尤其在涂料厚度仅 4—5 μm 情况下更能观察到粗糙度的细微区别。

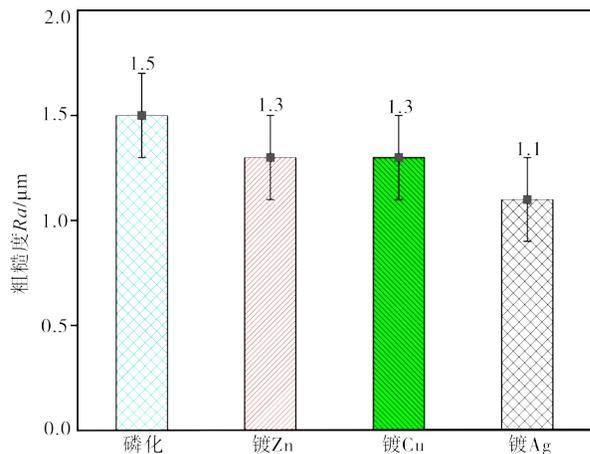
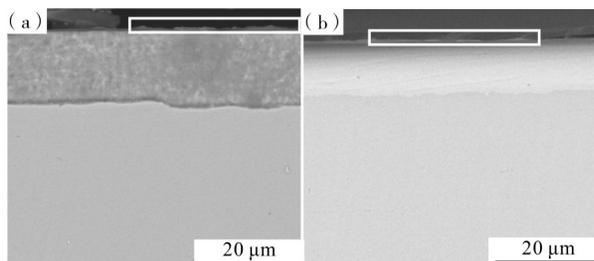


图4 不同表面处理工艺下制备的耐中温憎水涂层粗糙度对比

Figure 4 Comparing with roughness for the 4 kinds of medium temperature hydrophobic coatings

2.1.3 截面形貌

在涂料为LY-J1及喷涂涂料工艺参数相同的条件下,可推测涂层的截面形貌也应基本一致。以电镀层Cu及磷化层PT的涂层为例进行截面形貌分析,结果如图5所示。从图5可见,形成的耐中温憎水涂层的厚度非常薄约为3—5 μm。该结果与采用千分尺测试结果基本一致。



(a)—电镀Cu;(b)—磷化。
(a)—Cu plating;(b)—phosphating.

图5 不同表面处理工艺下涂层截面的形貌图

Figure 5 SEM cross-section morphology of coating samples prepared by different surface treat processes

涂层薄的原因主要有以下几方面:(1)由于航空发动机对部件的缝隙、尺寸等要求非常严苛,所以涂覆的涂料厚度要低;(2)涂覆薄涂层更能摸索出4种表面处理工艺对耐中温憎水涂层性能的影响规律,如果涂覆涂料太厚就会严重掩盖表面处理状态,造成数据不准确;(3)航空发动机典型部位只要达到憎水性即可,涂覆厚和薄对憎水性能影响不大;(4)发动机对减重要求十分苛刻,对采纳厚涂层实现憎水目标而牺牲减重这一技术方案应慎重考虑。

综上所述,涂覆薄的涂层可一定程度提高金属材料的憎水能力,保护基体不受微量水液滴粘附所造成的薄液膜、多量雨水的侵蚀与腐蚀。

2.2 性能分析与评价

2.2.1 接触角分析

为评价涂层憎水性能,将4种制备态涂层及经受热状态后涂层的水接触角进行统计分析,结果如图6所示。从图6可见,4种涂层的水接触角差别不大,其中镀Ag的涂层接触角仅稍优于其他3种涂层,即镀Ag的涂层更为优良。水接触角可一定程度反应涂层的憎水性能,但憎水性能与耐腐蚀性能没有完全一致的对应量化关系,憎水性与耐腐蚀性并不能互相代替。

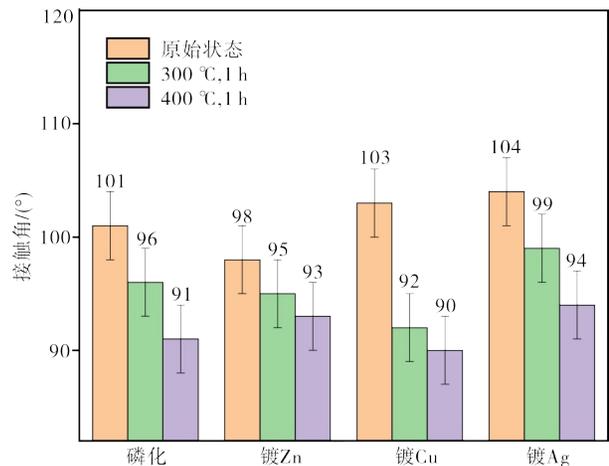
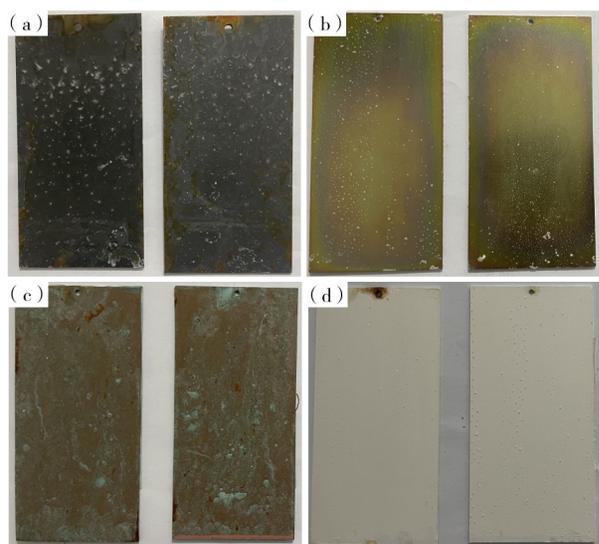


图6 涂层经历不同环境后的水接触角比较

Figure 6 Comparison of water contact angle of coatings after different environment

2.2.2 中性盐雾腐蚀性能分析

为深入研究涂层耐腐蚀性能,将4种镀层/涂层进行192 h的中性盐雾腐蚀试验,涂层腐蚀后的形貌对比结果如图7所示。从图7可见:镀Cu的涂层腐蚀程度最严重,并且Cu锈多;而磷化PT和镀Zn涂层表面开始出现腐蚀痕迹、流挂、颜色色差现象,但并未发生严重腐蚀;镀Ag涂层的腐蚀程度最轻,其颜色依然为亮白色。该现象与接触角规律相一致,因此宏观性能与接触角性能均证明了镀Cu涂层的耐腐蚀性能最差,其次为镀Zn和磷化PT涂层,最佳的为镀Ag涂层。由于憎水涂层物理厚度有限,薄涂层内腐蚀介质Cl⁻和H₂O也有一定的传输能力,因此最终4种类涂层终将发生腐蚀。尽管如此,本研究目的也已达到,即明确探索到4类表面处理抗腐蚀能力大小。

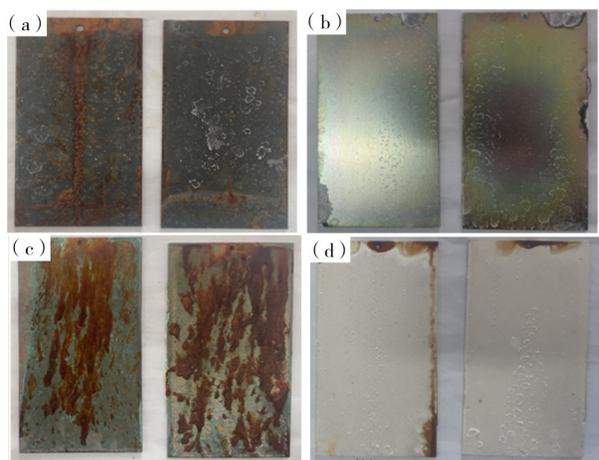


(a)—磷化;(b)—镀 Zn;(c)—镀 Cu;(d)—镀 Ag。
(a)—phosphating;(b)—Zn plating;(c)—Cu plating;(d)—Ag plating.

图7 涂层经192 h腐蚀后的宏观形貌

Figure 7 Macroscopic morphology of coatings after 192 h corrosion

图8为经576 h后涂层的腐蚀形貌。从图8明显可见,镀 Ag涂层的耐腐蚀性能效果最好,而镀 Cu涂层的耐腐蚀性能最差。



(a)—磷化;(b)—镀 Zn;(c)—镀 Cu;(d)—镀 Ag。
(a)—phosphating;(b)—Zn plating;(c)—Cu plating;(d)—Ag plating.

图8 镀层经576 h腐蚀后的宏观形貌

Figure 8 Macroscopic morphology of electroplating coatings after 576 h corrosion

根据 GB/T 1766—2008 色漆和清漆涂层老化的评级方法,考虑到涂层的变色、粉化、开裂、起泡、长霉、生锈、剥落7种情况,综合考核并给予等级评价,结果如图9所示。从图9可见,4种憎水涂层在经历1 h的300、400 °C热环境后,依然保持良好的耐腐蚀性能,其中镀 Ag涂层的效果最佳。表明,镀 Ag/憎水涂层组合效果最优。

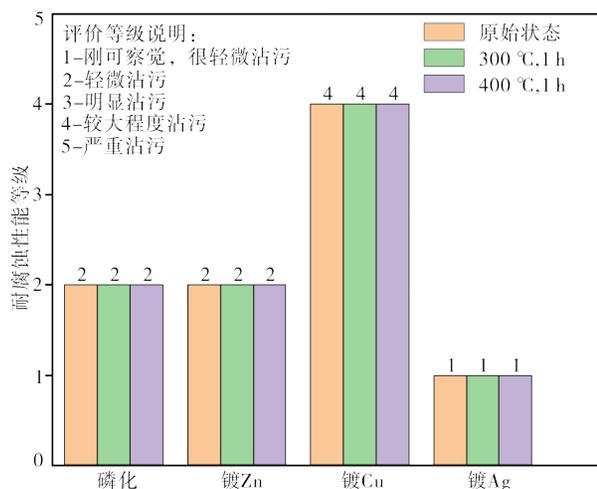


图9 4种憎水涂层体系不同热环境后的腐蚀性能等级统计分析

Figure 9 Statistical analysis of corrosion performance levels of 4 hydrophobic coating systems in different environments

2.2.3 电化学机理分析

电化学测试是评价材料耐腐蚀性能好坏的常用工具之一,通过对4种表面处理涂层体系的交流阻抗测试,结果表明镀 Ag涂层的阻抗半径最大,而磷化PT涂层的阻抗半径最小(见图10)。根据交流阻抗原理判定^[21],4种表面处理涂层的耐腐蚀性能排序为镀 Ag涂层>镀 Zn涂层>磷化PT涂层>镀 Cu涂层。

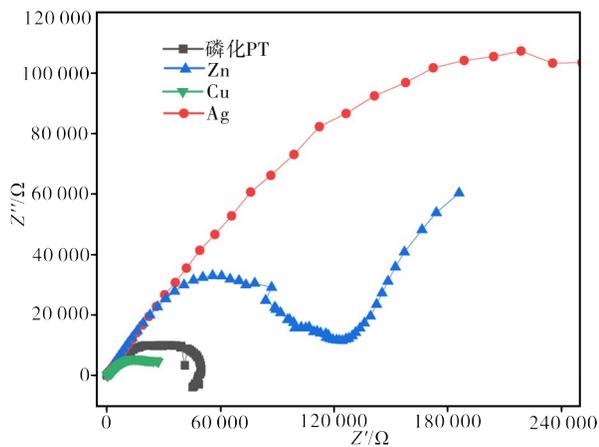


图10 耐中温憎水涂层的电化学曲线

Figure 10 Electrochemical curves of intermediate temperature resistant hydrophobic coatings

2.2.4 电阻率机理分析

采用面电阻率参数对涂层的导电性能进行分析,通常涂层的电阻率越大导电性能越差,其防腐性能就越好。因此,对4种表面处理/LY-T1涂层的电阻率进行了研究,结果如图11所示。从图11可见,镀 Ag涂层性能优良,主要来源于该体系的电阻率

较大。说明,镀Ag能促使LY-T1涂层与基材之间的导电性变差,因此防腐性能随之提高。

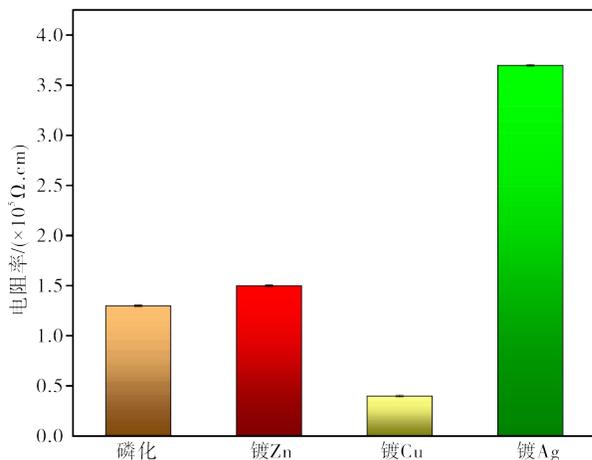


图 11 4种表面处理/耐中温憎水涂层的电阻率对比

Figure 11 Comparison of resistivity of four surface treatments /medium temperature hydrophobic coatings

将本研究数据与参考文献[22-23]对比发现,本研究采用的基体材料、表面处理工艺、憎水涂料条件与参考文献的不完全相同,因此接触角、耐中性盐雾性能等数据与参考文献中的数据有一定差异,表明对比各研制涂层性能优劣意义不大。但是,本研究在涂料合成、憎水、防腐功能方面又与参考文献有诸多类似之处,因此本研究的结论可作为憎水、自清洁功能涂料等研究成果的补充,为今后研究作参考。

3 结论

对1Cr11Ni2W2MoV基体采取了磷化PT、电镀Zn、电镀Cu、电镀Ag处理后,用相同工艺制备了耐中温憎水涂层,并对涂层系统的宏微观形貌、粗糙度、耐腐蚀性及水接触角等进行了对比研究。

(1)4种涂层的宏微观结构基本一致。

(2)耐中性盐雾、疏水能力强弱排序镀Ag涂层>镀Zn涂层>磷化PT涂层>镀Cu涂层。

(3)电阻率及交流阻抗值大小排序镀Ag涂层>镀Zn涂层>磷化PT涂层>镀Cu涂层。

(4)4种镀层经历1h的300、400℃热环境后,疏水性能、耐盐雾性能基本保持不变。

(5)镀Ag/憎水涂层的组合方式较磷化PT/憎水涂层、镀Zn/憎水涂层、镀Cu/憎水涂层的方式更好,这源于镀Ag后涂层的电阻率及交流阻抗值更大。

参考文献:

[1] CHO E C, CHANG-JIAN C W, CHEN H C, et al. Robust multifunctional superhydrophobic coatings with

enhanced water/oil separation, self-cleaning, anti-corrosion, and anti-biological adhesion [J]. Chemical Engineering Journal, 2017, 314: 347-57.

[2] CHEN H, WANG F, FAN H, et al. Construction of MOF-based superhydrophobic composite coating with excellent abrasion resistance and durability for self-cleaning, corrosion resistance, anti-icing, and loading-increasing research [J]. Chemical Engineering Journal, 2021, 408: 127343.

[3] QIANG F, HU L L, GONG L X, et al. Facile synthesis of super-hydrophobic, electrically conductive and mechanically flexible functionalized graphene nanoribbon/polyurethane sponge for efficient oil/water separation at static and dynamic states [J]. Chemical Engineering Journal, 2018, 334: 2154-66.

[4] SUN Y, LIN H, HU X, et al. Refractive-tunable and hydrophobic antireflective coatings by PMHS-modification assisted sol-gel method [J]. Materials Letters, 2017, 186: 123-126.

[5] JEONG C Y, CHOI C H. Single-step direct fabrication of pillar-on-pore hybrid nanostructures in anodizing aluminum for superior superhydrophobic efficiency [J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2012, 4(2): 842-848.

[6] LI Y, LI L, SUN J Q. Bioinspired self-healing superhydrophobic coatings [J]. Angewandte Chemie-International Edition, 2010, 49(35): 6129-6133.

[7] SU F H, YAO K. Facile fabrication of superhydrophobic surface with excellent mechanical abrasion and corrosion resistance on copper substrate by a novel method [J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2014, 6(11): 8762-8770.

[8] 徐飞鹏. 海洋用仿生疏水复合涂层的制备及其减阻性能研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.

[9] 辛景博. 高稳定性氟化SiO₂-环氧树脂超疏水涂层的制备及其防护性能的研究[D]. 南宁: 广西大学, 2016.

[10] WANG C, YANG H, CHEN F, et al. Influences of VTMS/SiO₂ ratios on the contact angle and morphology of modified super-hydrophobic silicon dioxide material by vinyl trimethoxy silane [J]. Results in Physics, 2018, 10: 891-902.

[11] VIDALK, GÓMEZ E, GOITANDIA A M, et al. The synthesis of a superhydrophobic and thermal stable silica coating via sol-gel process [J]. Coatings, 2019, 9(627): 1-13.

[12] 冯明. MoCu30表面镀银工艺研究[J]. 电镀与精饰, 2018, 40(8): 24-27.

[13] 张骐, 张安琴, 骆晨, 等. 电流密度对5,5-二甲基乙内酰胺体系电镀银的影响[J]. 电镀与涂饰, 2021, 40(3): 183-186.

[14] 陈国诗, 张硕, 刘洋, 等. 铝合金发动机缸套表面镀锌处理及应用研究[C]. 济南: 中国机械工程学会铸

- 造分会, 2013: 1-4.
- [15] 王斌. 铝合金表面改性及其对电镀铜层性能的影响 [D]. 广东: 广东工业大学, 2020.
- [16] 冯楠, 朱巍峰, 陈正华. 锌合金电镀在智能门锁面板中的应用[J]. 科技风, 2019, 20: 172, 177.
- [17] 吕芳, 谷娜. 化工管道连接法兰磷化工艺条件优化及磷化膜的耐蚀性[J]. 电镀与精饰, 2022, 44(3): 59-63.
- [18] 董放, 卜伟华, 刘金莲, 等. 磷化底漆在车架识别码防腐工艺上的应用[J]. 现代涂料与涂装, 2022, 25(2): 1-3.
- [19] CARLOS M S. V, JOÃO F, LUÍS R. Effect of protective coatings on the water absorption and mechanical properties of 3D printed PLA [J]. Frattura Ed Integrità Strutturale, 2019, 48: 748-756.
- [20] JI W G, HU J M, ZHANG J Q, et al. Reducing the water absorption in epoxy coatings by silane monomer incorporation [J]. Corrosion Science, 2006, 48(11): 3731-3739.
- [21] 曹楚南. 腐蚀电化学原理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [22] 赖心翹, 尚小琴, 范钰莹, 等. 高防护性复合有机硅树脂涂层的制备及性能研究[J]. 材料研究与应用, 2022, 16(2): 234-242.
- [23] 朱艺顺, 李家平, 马雯波. 深海集矿车履齿自清洁及稳定性研究[J]. 材料研究与应用, 2022, 16(2): 297-302.

Study on the Influence of Surface Treatment on the Properties of Medium Temperature Hydrophobic Coatings

JIN Lei^{1,2}, ZHUO Linyang³, ZHEN Xiansheng², DAN Liling², LIU Dong⁴, LIN Jun⁴, LUO Wenfei⁴

(1. Aviation Key Laboratory of Science and Technology on Advanced Surface Engineering, AVIC Manufacturing Technology Institute, Beijing 100024, China; 2. Technology Research Center, Liyang Aero Power Co., Ltd., AECC, Guiyang 550014, China; 3. Haizhuang Guangzhou Bureau, Guangzhou 510000, China; 4. General Technology Research Department, Guiyang Engine Design and Research Institute, AECC, Guiyang 550001, China)

Abstract: The temperature of the back-end casing of the current aero-engine can reach 400°C, where the coating has higher requirements for heat resistance and hydrophobicity. If the temperature resistance of the hydrophobic coating is lower than 400 °C, the coating will be ablated or melted, leaving behind complex colors such as yellow, black and gray, which not only cause poor appearance, but also poor anti-corrosion performance, and lead to rust of parts after a long time. In the maintenance process, it is also difficult to distinguish the original matrix material (cracks, pits and other defects) and cause greater trouble. Currently, China has made some progress in the field of water-repellent coatings in the middle temperature segment, but mainly in the development of water-repellent coatings materials. As we know, in addition to improving coatings, other significant factors in the field of coating protection, such as the surface treatment of parts. But the research on how to treat parts before coating is still limited, usually the surface treatment of parts isn't the focus of research papers. However, this is precisely the content of the factory of aero-engine and application units. Therefore, this study took 1Cr11Ni2W2MoV substrate as the research object in engine parts, and then the effect of four surface treatments on the macro and micro morphology, electrochemical and environmental resistance of the medium-temperature hydrophobic coating system was studied. The results show that Ag plating has the best match with the medium temperature resistant water-repellent coating among the four surface treatments, photostating, Zn plating, Cu plating and Ag plating. The surface of Ag plating coating system is smooth (roughness R_a is about 1.2 μm), the water contact angle is about 120°, and the life of neutral salt spray resistance is about 576 h. The contact angle of the coating is only reduced by about 10°, and the resistance to neutral salt spray is still maintained at about 576 h even the coating has experienced 300 °C (1 h) and 400 °C (1 h), indicating that the system of Ag plating/medium temperature resistant hydrophobic coating is relatively stable. Therefore, electroplating Ag/medium temperature resistance hydrophobic coating has the best effect among the four surface treatment methods in this study, which can be considered as the surface protection of the heated parts, such as the rear end shell of the engine, fasteners and other parts, and this system has high engineering value in the application unit.

Keywords: medium temperature resistant water-repellent coating; surface treatment; Zn plating; Cu plating; Ag plating; photostating; performance; engineering application

(学术编辑: 常成)