

氧化时间对 7A04 铝合金微弧氧化膜层组织与性能的影响

杨晓禹¹ 张立君¹ 杨晓杰² 刘 凯¹ 朱礼德² 谭锁奎¹
(1.中国兵器科学研究院宁波分院; 2.山东核电设备制造有限公司)

摘 要 在硅酸盐与铝酸盐混合电解液体系下,在 7A04 铝合金表面制备了微弧氧化陶瓷膜层,通过对膜层的厚度均匀性、电化学特性、物相组成以及表面形貌进行分析,研究了氧化时间对陶瓷膜层厚度、电化学耐蚀性、物相组成与表面形貌的影响。结果表明,膜层微观表面凹凸不平,呈火山喷口状形貌,微弧氧化时间不会改变膜层物相种类,主要由 γ - Al_2O_3 和 α - Al_2O_3 组成;微弧氧化时间是决定微弧氧化膜层性能的关键因素,氧化时间为 25 min 时,膜层厚度均匀性最好,方差为 0.69,腐蚀电位为 -0.482 1 V,腐蚀电流密度为 3.75×10^{-7} A/cm²,极化电阻为 4.63×10^6 $\Omega\cdot\text{cm}^2$;氧化时间为 35 min 时,交流阻抗性能最好。

关键词 氧化时间;铝合金;微弧氧化;均匀性

中图分类号 TG146.21;TG214.6

文献标志码 A

DOI:10.15980/j.tzzz.2023.010.011

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of Oxidation Time on Microstructure and Properties of Microarc
Oxide Film of 7A04 Aluminum Alloy

Yang Xiaoyu¹, Zhang Lijun¹, Yang Xiaojie², Liu Kai¹, Zhu Lide², Tan Suokui¹
(1.Ningbo Branch of Chinese Academy of Ordance Science; 2.Shandong Nuclear Power
Equipment Manufacturing Co., Ltd.)

Abstract: The micro-arc oxidation ceramic film was prepared on the surface of 7A04 aluminum alloy in the mixed electrolytic liquid system of silicate and aluminate. The effects of oxidation time on thickness, electrochemical characteristics, phase composition and surface morphology of the film were investigated. The results indicate that the micro-surface of film is uneven and presents volcanic spout. The phase type is hardly changed by micro-arc oxidation time, which is mainly composed of γ - Al_2O_3 and α - Al_2O_3 . Microarc oxidation time is a key factor determining the properties of microarc oxidation films. When the oxidation time is 25 min, the optimal variance of thickness uniformity, maximum corrosion potential, minimum corrosion current and the maximum polarization resistance are 0.69, -0.482 1 V, 3.75×10^{-7} A/cm², and 4.63×10^6 $\Omega\cdot\text{cm}^2$, respectively. When the oxidation time is 35 min, the AC impedance performance is desirable.

Key Words: Oxidation Time, Aluminum Alloy, Microarc Oxidation, Uniformity

收稿日期:2022-10-27;修改稿收到日期:2023-04-23

基金项目:宁波市江北区关键核心技术攻关资助项目(202201A09);宁波市自然科学基金资助项目(202003N4339)

第一作者简介:杨晓禹,男,1989 年出生,副研究员,浙江宁波(315103),E-mail:yangxiaoyuguoying@foxmail.com

引用格式:杨晓禹,张立君,杨晓杰,等.氧化时间对 7A04 铝合金微弧氧化膜层组织与性能的影响[J].特种铸造及有色合金,2023,43(10):1 390-1 394.
YANG X Y, ZHANG L J, YANG X J, et al. Effects of oxidation time on microstructure and properties of microarc oxide film of 7A04 aluminum alloy[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2023, 43(10):1 390-1 394.

提下,适当增加保压压力可提高铸件质量。

参 考 文 献

[1] 朱江峰,周华明,赵斌.一种电动振动台低失真动圈骨架结构:中国, CN202020425461.4[P].2023-07-19.
[2] LIU S G, CAO F Y, ZHAO X Y, et al. Characteristics of mold filling and entrainment of oxide film in low pressure casting of A356alloy[J]. Mater. Sci. Eng., 2015, A626: 159-164.
[3] 单嘉立,尹家新,徐志锋,等.低压铸造 ZL114A 铝合金舱段壳体铸件工艺研究[J].特种铸造及有色合金, 2018, 38(8): 856-859.
[4] 王晓磊,孙少纯,李燕杰.低压铸造船用铝合金电气箱工艺研究[J].特种铸造及有色合金, 2021, 41(7): 913-917.
[5] 张娜,刘颖卓,吴琪,等.AC7A 铝镁合金动圈骨架夹渣和缩松缺陷的解决措施[J].热加工工艺, 2016, 45(13): 113-116.
[6] 苏大为,赵玉涛.低压铸造铝合金轮毂充型和凝固过程模拟分析[J].特种铸造及有色合金, 2007, 27(9): 682-684, 653.

[7] 杨闯,苏小平,周大双,等.铝合金悬架摆臂低压铸造数值模拟与工艺优化[J].铸造技术, 2021, 42(5): 371-374.
[8] 朱慧明,苏小平,昂飞.铝合金制动器卡钳低压铸造工艺设计及优化[J].热加工工艺, 2022, 51(21): 54-56, 60.
[9] 黄志豪.铝合金机匣低压铸造过程数值模拟及工艺研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2020.
[10] KERMANPUR A, MAHMOUDI S, HAJIPOUR A. Numerical simulation of metal flow and solidification in the multi-cavity casting moulds of automotive components[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2008, 206(1-3): 62-68.
[11] VISWANATH A, MANU M V, SAVITHRI S, et al. Numerical simulation and experimental validation of free surface flows during low pressure casting process[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2017, 244: 320-330.
[12] 姜不居.铸造手册(第 6 卷):特种铸造[M].北京:机械工业出版社, 2010.
[13] 邱孟书,王小平. 低压铸造实用技术[M]. 北京:机械工业出版社, 2011.

(编辑:张正贺)

随着工业的发展,对轻量化的需求越来越高,铝合金被广泛应用于兵工、航空航天以及船舶等领域^[1-2]。其中,7A04 合金具有超高强度,并且由于其优良的性能成为航天航空等领域不可或缺的结构材料^[3-6],但其表面的磨损性能与耐蚀性能较差^[7],无法完全满足航空航天等领域对铝合金的性能要求。因此,提高 7A04 铝合金的耐磨以及耐蚀性能成为研究的重点。

微弧氧化技术作为一种性价比极高的表面处理工艺,可以在铝合金表面形成较厚的陶瓷涂层,被广泛应用于提高铝合金表面的耐磨与耐蚀性能^[8-14]。尽管目前研究铝合金微弧氧化的报道较多^[14-15],但是针对 7A04 高强铝合金的微弧氧化报道较少^[10,16-20]。曾舟等^[16]采用铝酸盐制备了较高结合力的陶瓷膜层,获得膜基失效临界载荷为 15.78 N,并讨论了微弧氧化时间对 7A04 铝合金微弧氧化陶瓷层结构及性能的影响。发现随着时间的延长微弧氧化膜层的厚度不断增加,氧化时间为 50 min 的膜层达到最高硬度 (HV_{0.1}) 为 1 210,也有研究采用硅酸盐同样可以获得较好的效果^[17-19]。这些研究讨论了微弧氧化膜层的各种性能,但是对于最终的微弧氧化的应用要求不足,如微弧氧化膜层的均匀性等。因此,本研究通过选用硅酸盐与铝酸盐混合体系电解液在 7A04 铝合金表面制备微弧氧化陶瓷膜层,分析了膜层厚度的均匀性、电化学特性、膜层物相以及表面形貌等,以期为其实际应用提供参考。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

采用 7A04 铝合金作为基体材料,其化学成分见表 1。微弧氧化试样尺寸见图 1,试验前将试样采用不同型号的砂纸进行打磨,并用超声波进行清洗。

表 1 7A04 铝合金的化学成分

Tab.1 Chemical composition of 7A04 aluminum alloy %								
w/B								
Cu	Mg	Zn	Mn	Si	Cr	Ti	Fe	Al
1.4~2.0	1.8~2.8	5.0~7.0	0.20~0.6	≤0.50	0.10~0.25	≤0.10	0~0.50	余量

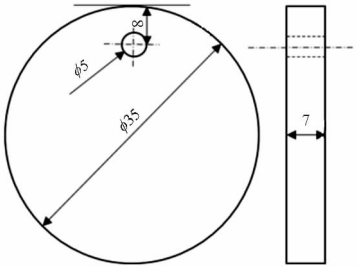


图 1 微弧氧化试样尺寸示意图

Fig.1 Dimension diagram of micro-arc oxidation specimen

1.2 试验方法

根据 7 系铝合金成分特性,采用硅酸盐与铝酸盐混合电解液:15 g/L 的 Na₂SiO₃,1 g/L 的 Na₂B₄O₇,1 g/L 的 NaOH,0.5 g/L 的 Na₃AlO₃;微弧氧化电源采用双极非对称脉冲电源,参数设置:正电压为 450 V,负电压为 250 V,正负占空比均为 15%,频率为 500 Hz,而氧化时间设置为参数变量,见表 2。

表 2 不同试样与氧化时间变量对应关系

Tab.2 Corresponding relationship between different specimens and oxidation time variables

试样编号	时间/min
1	10
2	15
3	25
4	35
5	45

采用 Mini Test 4100 涂层测厚仪测量铝合金试样微弧氧化膜层的厚度。由于在微弧氧化过程中电场分布不均匀,导致铝合金表面形成的膜层厚度不均匀。为了减小试验数据的偶然性和检测微弧氧化膜层均匀性,按照图 2 设置膜厚测量位置①~④,每个位置检测 3 次取平均值。电化学试验采用 CHI760E 系列电化学工作站进行测量,工作面积为 1 cm²,试验溶液为 50 g/L 的 NaCl(pH 值为 6.5~7.2),试验采用三电极进行测试,扫描范围为-1.2~0.2 V,扫描速度为 0.005 V/s。在 0.1~10 Hz 的频率内正弦 10 mV 的范围下进行电化学阻抗的测量。采用 Bruker D8-ADVANCE X 射线衍射仪、FEI Quanta 250 型场发射扫描电镜对微弧氧化膜层进行物相与表面形貌分析。

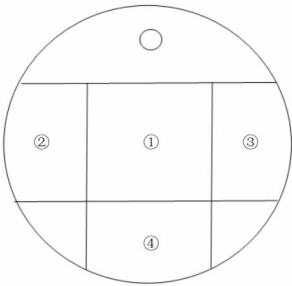


图 2 试验膜厚测量位置图

Fig.2 Position of film thickness measuring

2 试验结果与讨论

2.1 氧化时间对微弧氧化膜层厚度与均匀性的影响

根据膜层厚度分析方法,对①~④位置膜厚进行测量,对 1~5 号试样的膜层厚度取平均值计算,见图 3。可以看出,试样位置①~④膜层厚度均随着时间延长而增加。但在 10~15 min 过程中膜层生长较为缓慢,

15~25 min、25~35 min 两个过程的膜层生长速率较高,而在 35~45 min 过程中微弧氧化膜层厚度增加较少且趋于平缓,但①处在 35~45 min 过程中存在下降趋势,是由于取不同试样不同位置的平均值而产生了误差导致的。

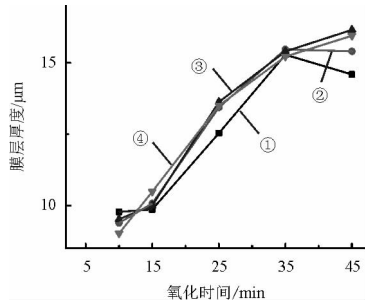


图 3 氧化时间对试样不同位置平均膜厚的影响
Fig.3 Effect of oxidation time on average film thickness at different locations

图 4 为试样①~④位置的膜厚进行求解方差与标准差。可以发现,各个膜层的均匀一致性相差较大,方差最高可达 5.37,最低为 0.69,说明膜层的均匀性较差,所以膜层需要做进一步改善,膜层均匀性最好是氧化时间为 25 min 的。

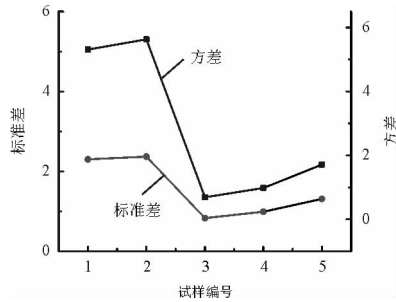


图 4 不同氧化时间试样不同位置的膜厚的方差与标准差计算
Fig.4 Calculation of variance and standard deviation of film thickness at different positions with different oxidation times

2.2 氧化时间对微弧氧化膜层电化学性能的影响

图 5 为氧化时间对微弧氧化膜层极化曲线性能的影响

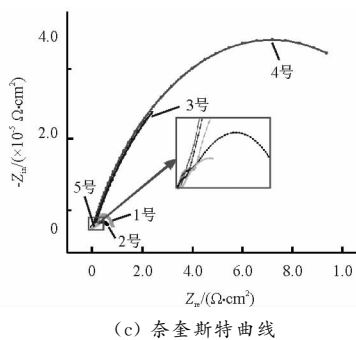
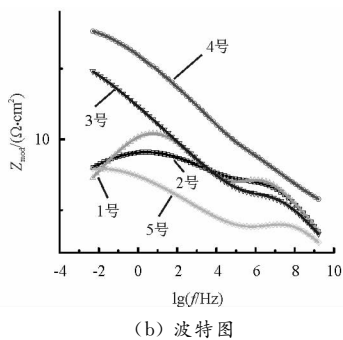
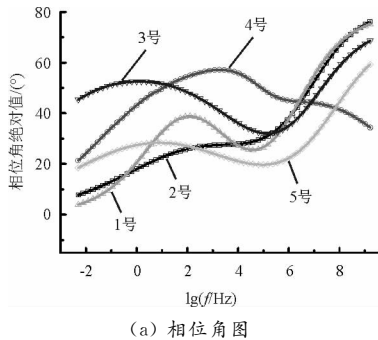


图 6 氧化时间对膜层交流阻抗性能的影响
Fig.6 Effect of oxidation time on the AC impedance properties of the film

影响,极化电阻(R_p)通过式(1)求得:

$$R_p = \frac{\beta_a \beta_c}{2.3 J_{corr} (\beta_a + \beta_c)}$$

式中, β_a 为阳极 Tafel 区斜率, β_c 为阴极 Tafel 区斜率,表 3 为极化曲线拟合数据表。可以看出,随着时间延长,腐蚀电位(E_{corr})逐渐正移,在 25 min 时,腐蚀电位最大为 -0.4821 V,腐蚀电流密度(J_{corr})最小为 3.75×10^{-7} A/cm²,腐蚀电阻最大为 4.63×10^6 Ω·cm²,当氧化时间为 45 min 时,性能急剧下降,这与膜层的均匀性规律一致,这也说明在氧化时间为 25 min 时,膜层不仅均匀而且致密。

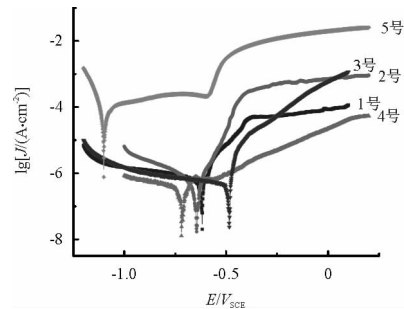


图 5 不同氧化时间微弧氧化膜层极化曲线
Fig.5 Polarization curves of microarc oxidation film with different oxidation time

表 3 极化曲线拟合数据表

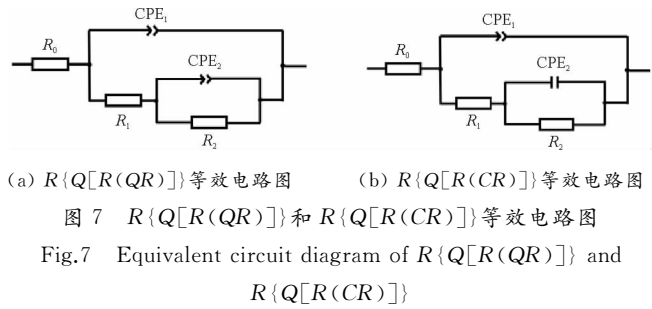
试样编号	$E_{corr}/$ V	$J_{corr}/$ (A·cm ⁻²)	$\beta_a/$ (V·dec ⁻¹)	$\beta_c/$ (V·dec ⁻¹)	$R_p/$ (Ω·cm ²)
1 号	-0.661 4	1.22×10^{-6}	2.035	11.871	6.21×10^5
2 号	-0.634 2	6.23×10^{-7}	5.180	11.482	4.14×10^6
3 号	-0.482 1	3.75×10^{-7}	2.566	25.636	4.63×10^6
4 号	-0.713 4	1.02×10^{-6}	1.657	5.036	5.34×10^5
5 号	-1.087 1	1.27×10^{-4}	11.145	1.525	4.61×10^3

图 6 为氧化时间对微弧氧化膜层交流阻抗的影响。可以看出,所有微弧氧化膜层都有两个波峰,氧化时间为 35 min 时阻抗最大。根据 MAO 膜的微结构及其阻抗特性,拟合微弧氧化膜层腐蚀的等效电路图,见图 7,表 4 为交流阻抗曲线拟合数据,其中, R_0 为溶液电阻; CPE_1 为微弧氧化层电容; R_1 为微弧氧化陶瓷

表 4 交流阻抗拟合数据
Tab.4 AC impedance fitting data

试样	$R_0/(\Omega \cdot \text{cm}^2)$	$\text{CPE}_1/(\Omega^{-1} \cdot \text{s}^n \cdot \text{cm}^2)$	n_1	$R_1/(\Omega \cdot \text{cm}^2)$	$R_2/(\Omega \cdot \text{cm}^2)$	n_2	$\text{CPE}_2/(\Omega^{-1} \cdot \text{s}^n \cdot \text{cm}^2)$	等效模型
1 号	2.887×10^{-6}	6.551×10^{-8}	0.881 1	1.208×10^4	7.279×10^4	0.803 1	1.655×10^{-6}	$R\{Q[R(QR)]\}$
2 号	6.602×10^{-5}	4.759×10^{-8}	0.91	8.230×10^3	6.236×10^4	0.523 3	5.084×10^{-6}	$R\{Q[R(QR)]\}$
3 号	7.07×10^{-6}	1.066×10^{-7}	0.839 8	6.534×10^3	1.328×10^6	0.644 7	3.315×10^{-6}	$R\{Q[R(QR)]\}$
4 号	1.115×10^{-3}	5.664×10^{-7}	0.618 6	5.709×10^4	1.395×10^6	—	2.130×10^{-8}	$R\{Q[R(CR)]\}$
5 号	7.613×10^{-4}	1.674×10^{-7}	0.811 8	2.600×10^3	3.725×10^4	0.503 1	2.838×10^{-5}	$R\{Q[R(QR)]\}$

层微孔电阻; CPE_2 为陶瓷层/铝合金基底界面处的双电层电容; R_2 为铝合金基底腐蚀反应极化电阻。从表 4 与图 6 可以看出,氧化时间在 25、35 min 时交流阻抗弧最大, R_0 随着时间延长先减小后增大,在氧化 25 min 时最小($7.07 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$),同时 R_2 随着时间延长先增大后减小,氧化 35 min 时最大 ($1.395 \times 10^6 \Omega \cdot \text{cm}^2$),而 R_1 规律与 R_0 相同,随着时间的延长先减小后增大,在氧化 25 min 时最小 ($6.534 \times 10^3 \Omega \cdot \text{cm}^2$)。氧化 35 min 的交流阻抗等效电路见图 7b,所有的交流阻抗中为性能最好。



2.3 氧化时间对微弧氧化膜层物相的影响

图 8 为不同氧化时间下微弧氧化膜层的 XRD 图谱。可以看出,不同氧化时间的膜层的物相主要由 Al、

$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 和 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 组成,其中 Al 为 7A04 铝合金基体,说明陶瓷层是在 Al 的基体上原位生长的^[21], $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 含量高于 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$,这与刘停等^[10]的研究结论一致。当等离子体放电温度达 3 000 ~ 10 000 K, $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 向 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 转变^[22-23],而 Zn 含量较高降低了该反应的发生几率,最终膜层中 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 含量较低^[24]。

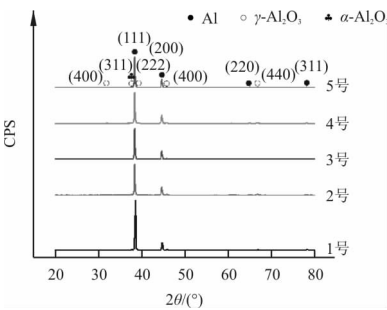


图 8 不同氧化时间对陶瓷氧化膜相组成的影响
Fig.8 Effects of different oxidation time on the phase composition of ceramic oxidation film

2.4 氧化时间对微弧氧化膜层表面形貌的影响

图 9 为不同氧化时间下微弧氧化膜层表面形貌。可以看出,膜层微观表面凹凸不平,呈火山喷口状形貌,氧化 10 min 后主要由大孔洞以及很多细小孔洞组成;

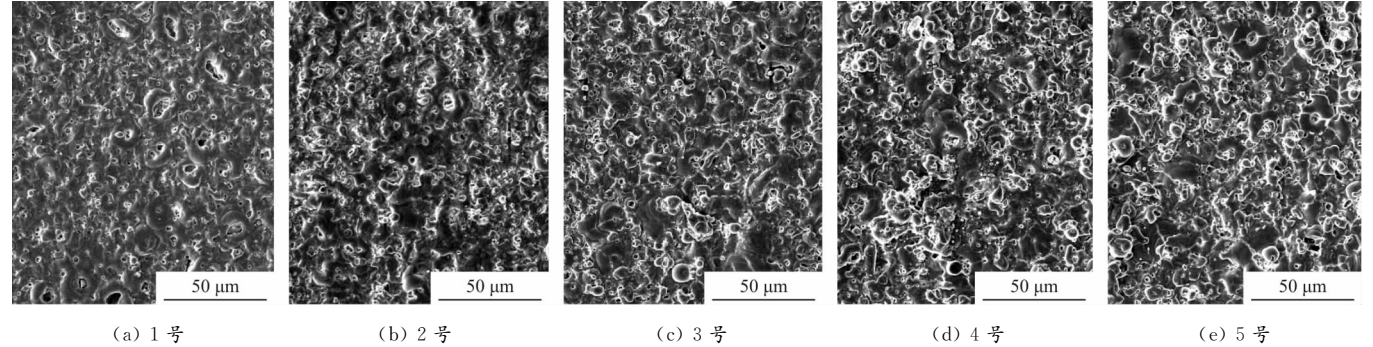


图 9 氧化时间对微弧氧化膜层表面形貌影响
Fig.9 Effect of oxidation time on surface morphologies of micro-arc oxide film

随着氧化时间延长,膜层逐渐变厚,大的孔洞开始消失,逐渐变为小孔;氧化 25 min 后大孔洞完全消失,小孔也相对前两个阶段有所减少,因此性能表现最好;而微弧氧化 35 min 开始出现微裂纹,因此性能开始下降,而经过微弧氧化 45 min 后,膜层出现较多的微裂纹,从而导致性能急剧下降。

3 结 论

(1)随着氧化时间延长,7A04 合金微弧氧化膜层厚度逐渐延长,均匀性(方差与标准差)先降低后增加,在 25 min 时,膜层的均匀性最好。

(2)微弧氧化时间是决定微弧氧化膜层性能的关键

因素,氧化时间为 25 min 时,膜层厚度均匀性最好,方差为 0.69,腐蚀电位最大,为 -0.482 V ,腐蚀电流密度最小,为 $3.75 \times 10^{-7}\text{ A/cm}^2$,腐蚀电阻最大,为 $4.63 \times 10^6\ \Omega \cdot \text{cm}^2$;氧化时间为 35 min 时,交流阻抗性能最好。

(3)氧化时间不能改变微弧氧化膜层物相的种类,膜层主要由 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 和 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 组成。

(4)膜层微观表面凹凸不平,呈火山喷口状形貌,在 25 min 时膜层孔洞最小。

参 考 文 献

- [1] 任建平,刘敏,邓春明,等.在 高强铝合金基体上采用超音速火焰喷涂 WC-CoO₂ 涂层性能的研究[J].材料研究与应用,2010,4(2): 95-99.
- [2] 宋仁国.高强度铝合金的研究现状及发展趋势[J].材料导报,2000,14(1): 20-21.
- [3] 王洪斌,黄进峰,杨滨,等. Al-Zn-Mg-Cu 系超高强度铝合金的研究现状与发展趋势[J].材料导报,2003,17(9): 1-4.
- [4] 张新明,刘胜胆.航空铝合金及其材料加工[J].中国材料进展,2013,32(1): 39-55.
- [5] 赵立华.超高强度铝合金研究现状及发展趋势[J].四川兵工学报,2011,32(10): 147-150.
- [6] 曲明洋.热变形对 7A04 铝合金组织和性能的影响[D].太原:中北大学,2010.
- [7] PUCHI-CABRERA E S, STAIA M H, SANTANA Y Y, et al. Fatigue behavior of AA7075-T6 aluminum alloy coated with a WC-10Co-4Cr cermet by HVOF thermal spray[J]. Surface & Coatings Technology, 2013, 220: 122-130.
- [8] 李廷取,刘祥玲,刘文昇.不同占空比对 6061 铝合金微弧氧化着色及性能的影响研究[J].电镀与精饰,2022,44(9): 20-24.
- [9] MG G F, LI H, LIU Z Y, et al. High temperature oxidation properties of microarc oxidation film on 2A12 aluminum alloy[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2022, 51(9): 3 166-3 171.
- [10] 刘停,刘春忠,卢天倪,等.Na₂SiO₃ 浓度对铝锂合金微弧氧化膜组织与性能的影响[J].热加工工艺 2023, 52(4): 90-94.
- [11] 陈庚,苗景国,方琴,等.铝酸钠对铝合金微弧氧化膜层组织性能的影响[J].兵器材料科学与工程,2022,45(5): 42-50.
- [12] 赵雪柔,武上焜,李斌,等.电压对 6061 铝合金微弧氧化陶瓷膜性能的影响[J].电镀与涂饰,2022,41(12): 833-839.
- [13] 王占营,马颖,梁志龙,等.电解质及其交互作用对 A356 铝合金微弧氧化膜耐蚀性的影响[J].中国有色金属学报,2023,33(2): 549-564.
- [14] 赵华星,孙晓峰,宋巍,等.添加剂在铝合金微弧氧化中的应用综述[J].材料保护,2022,55(1): 187-192.
- [15] 雷欣,林乃明,邹娇娟,等.铝合金微弧氧化的研究进展[J].表面技术,2019,48(12): 10-22.
- [16] 曾舟,肖峰,苗景国,等.基于划痕试验的超硬铝 7A04 微弧氧化膜基结合力的测试与评定[J].材料保护,2017,50(11): 93-96.
- [17] 卜海涛,姜兆华,姚忠平.工艺参数对 Q235 钢微弧氧化膜层厚度及粗糙度的影响[J].金属热处理,2015,40(5): 107-112.
- [18] 胡冬生. 高强铝合金复合温挤压成形与微弧氧化处理工艺研究[D].广州:华南理工大学,2013.
- [19] 胡冬生,张大童.7A04 铝合金微弧氧化膜的制备及其抗热震性研究[J].特种铸造及有色合金,2013,33(1): 76-80.
- [20] 翟文杰,朱宝全,刘莲芳.典型介质中 7A04 微弧氧化膜的摩擦电行为[J].材料科学与工艺,2010,18(3): 373-377.
- [21] 吴振东,姜兆华,姚忠平,等.反应时间对 LY12 铝合金微弧氧化膜层组织及性能的影响[J].无机材料学报,2007,22(3): 555-559.
- [22] LIU R, WU J, XUE W, et al. Discharge behaviors during plasma electrolytic oxidation on aluminum alloy[J]. Materials Chemistry and Physics, 2014, 148: 284-292.
- [23] JOVOVIC J, STOJADINOVIC S, SISOVIC N M, et al. Spectroscopic characterization of plasma during electrolytic oxidation (PEO) of aluminium [J]. Surface & Coatings Technology, 2011, 206: 24-28.
- [24] TILLOUS K, TOLT D T, BAUER G E, et al. Microstructure and phase composition of microarc oxidation surface layers formed on aluminum and its alloys 2214-T6 and 7050-T74[J]. Surface & Coatings Technology, 2009, 203: 2 969-2 973.

(编辑:栗万仲)

增材制造超大尺寸铜合金产品取得进展

近日,首都航天机械有限公司在火箭发动机金属 3D 打印制造方面取得重要进展,成功实现某型发动机推力室身部内壁试验件的增材制造。该产品直径为 600 mm,高度为 850 mm,是大尺寸增材制造铜合金身部产品。该项技术的突破填补了国内增材制造技术领域的空白,将助力发动机生产技术的创新发展。

推力室是为火箭发动机提供强劲推动力的核心组件,是典型复杂精密构件。推力室身部结构生产涉及的工序繁杂,以往制造周期至少为 6 个月,且生产成本较高。为适应高强密度发射的新形势,逐步实现提质降本增效,增强竞争优势,推力室身部的增材制造技术攻关被提上日程,激光选区熔化技术成形精度高,是复杂结构推力室身部增材制造的“不二之选”。

从 2020 年起,在前期近 7 年的技术经验积累下,首都航天机械有限公司增材团队针对某型发动机,开展铬锆铜合金推力室身部零件技术调研与方案制订等工作,并深入开展工艺攻关,逐步形成了整体结构优化设计的新思路,为日后的技术突破奠定了基础。铬锆铜合金材料制备推力室身部具有显著优势,但这种材料对激光反射率高,热传导快,激光选区熔化成形难度大,国内增材制造行业内暂无成熟的专用设备,实现超大尺寸铜合金产品的高效增材制造难度极大。

经过 3 年的不懈努力,研发团队先后完成了铜合金粉末质量控制、铜合金激光选区成形工艺优化等一整套技术研究,在国内率先实现了铬锆铜合金激光选区熔化增材制造的技术突破。采用该技术制造的产品,性能较设计指标提高 50% 以上,成形零件尺寸精度大幅提升,且生产周期缩短至 15~20 天,成本较传统生产模式明显降低。

(摘自中国有色网)