

# 7A04 铝合金壳体阳极氧化表面黑斑成因分析

张涛 马彦东 凌翎 郭俐 颜明礼

(首都航天机械公司, 北京 100076)



**摘要:** 7A04 壳体零件表面阳极氧化处理后, 模锻表面存在黑斑现象。本文采用 S-3700N 扫描电子显微镜 (SEM)、能谱分析仪 (EDS) 等对表面黑斑进行成因分析。结果表明: 模锻表面粗糙, 存在大量凹坑, 模锻过程中的润滑剂或氧化皮等外来物残留于凹坑处, 影响阳极氧化膜层的生成而形成表面黑斑; 黑斑底部阳极氧化膜层均连续, 厚度比正常区域薄, 仍可以起到一定的防护作用。在系统分析基础上, 提出通过严格控制表面质量和模锻工艺, 可以避免此类问题的产生。

**关键词:** 阳极氧化; 黑斑; 表面凹坑; 外来物

## Causes for the Black Flecks in Surface of 7A04 Aluminum Alloys Shell after Anodic Oxidation

Zhang Tao Ma Yandong Ling Ling Guo Li Yan Mingli

(Capital Aerospace Machinery Company, Beijing 100076)

**Abstract:** The black flecks were present in die-forging surface of 7A04 aluminum alloys shell after anodic oxidation. In this paper, the causes for the black flecks were analyzed by means of SEM and EDS. The results show that the die-forging surface was rough and with lots of pits. The black flecks resulted from foreign objects such as lubricant and oxide scale residuing in surface pits, which affected the anodizing film in die forging process. The oxide film at the bottom of black flecks was continual but thinner than normal, still playing some protection. On the base of systemic analysis, the matter can be avoided by controlling the surface quality and die forging process seriously.

**Key words:** anodic oxidation; black flecks; surface pits; foreign objects

### 1 引言

铝合金零件在成型后, 为防止零件表面发生腐蚀, 提高表面耐蚀性和外观质量, 一般须对其进行表面处理。阳极氧化、电镀或化学镀和有机聚合物涂层是常用的表面保护手段, 其中应用最广泛的是阳极氧化处理, 即通过在铝合金表面发生电化学反应, 生成硬度高、耐蚀性和耐磨性良好的阳极氧化膜, 从而使铝合金表面获得良好的保护和外观质量<sup>[1]</sup>。7A04 壳体零件由模锻成型, 采用机加工车制各接口处螺纹, 零

件成品后进行表面酸洗和阳极氧化保护处理。生产车间在对零件进行表面检查时发现, 大约近 30% 的零件其模锻表面阳极氧化后存在不同程度的黑斑现象。

为彻底查明表面黑斑的形成原因, 尤其是弄清黑斑底部阳极氧化膜层的生成情况, 以及黑斑的存在对零件性能的影响, 本文选取两典型黑斑壳体, 分别编号为 1<sup>#</sup>壳体和 2<sup>#</sup>壳体, 通过宏微观检查、扫描电子显微镜观察、X 射线能谱成分分析等技术, 对表面黑斑成因进行系统分析。

作者简介: 张涛 (1980-), 工程师, 材料科学与工程专业; 研究方向: 航天机械产品失效分析与预防。

收稿日期: 2010-01-27

## 2 试验结果

### 2.1 宏观观察

目视观察，1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>壳体原始模锻表面均较粗糙，见图1、图2。图1为1<sup>#</sup>壳体黑斑形貌，壳体表面相邻位置有两个近圆形黑斑，黑斑周围可见明显的液体干涸痕迹；图2为2<sup>#</sup>壳体黑斑形貌，黑斑呈长条凹坑状，与周围分界明显。

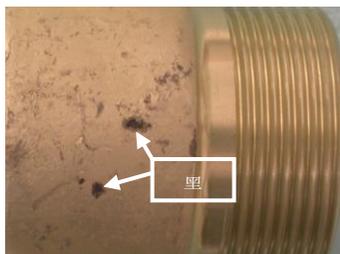


图1 1<sup>#</sup>壳体表面黑斑

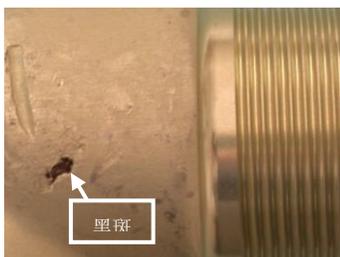


图2 2<sup>#</sup>壳体表面黑斑

### 2.2 微观检查

扫描电镜下的1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>壳体表面黑斑形貌，见图3、图4。1<sup>#</sup>黑斑处存在明显放电现象，黑斑底部附着大量絮状堆积物；2<sup>#</sup>黑斑为一长条状凹坑，凹坑底部可见大量颗粒物。沿壳体黑斑处剖切，磨制高倍试样进行检查，结果见图5~图7。1<sup>#</sup>壳体黑斑处有许多圆形小凹坑，凹坑深约0.1mm，底部附着堆积物；2<sup>#</sup>壳体黑斑处凹坑深约0.4mm，底部存在大量颗粒物，超声波清洗后，颗粒物明显脱落。1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>壳体表面黑斑底部阳极氧化膜层均连续，厚度约为5 $\mu$ m，比正常表面阳极氧化膜层厚度（约10 $\mu$ m）稍薄。

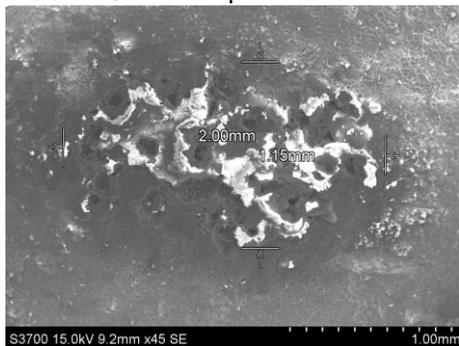


图3 1<sup>#</sup>表面黑斑形貌

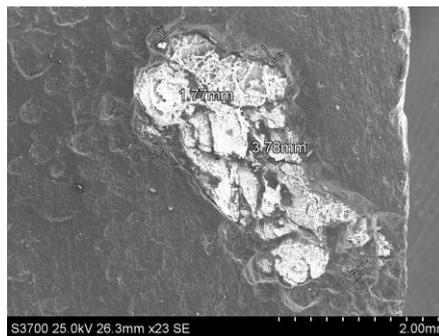


图4 2<sup>#</sup>表面黑斑形貌

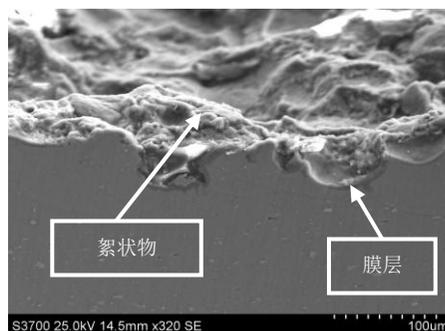


图5 1<sup>#</sup>表面黑斑处横截面形貌

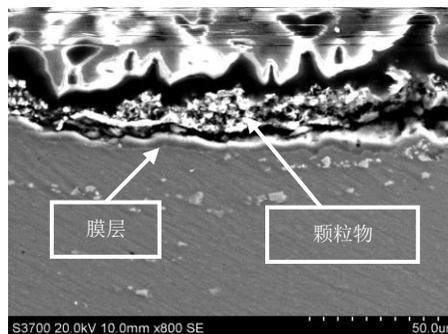


图6 2<sup>#</sup>表面黑斑处横截面形貌

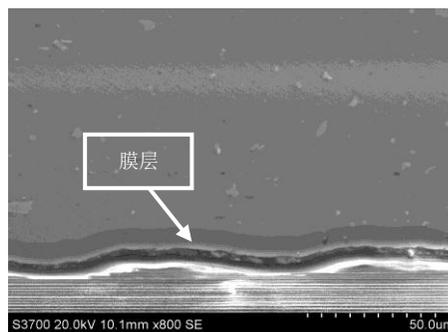


图7 正常表面阳极氧化膜层形貌

### 2.3 能谱分析

对1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>壳体黑斑区和正常表面阳极氧化膜层分别进行X射线能谱成分分析，结果见表1。正常表面阳极氧化膜层主要含有Al、O及少量S，见图8；1<sup>#</sup>壳体黑斑处絮状物除含有正常阳极化膜层成分外，还含有较多的C，见图9；2<sup>#</sup>壳体黑斑处凹坑底部颗粒

物主要含有 Fe、O，见图 10。

表 1 X 射线能谱成分分析结果

wt%

试样	能 谱 成 分							
	C	O	Al	Mg	Cu	Fe	Si	S
1#絮状物	25.24	47.42	24.01	1.88	1.45	—	—	—
2#颗粒物	—	25.64	2.63	—	—	70.56	1.17	—
正常阳极氧化膜层	—	66.34	30.39	—	—	—	—	3.27

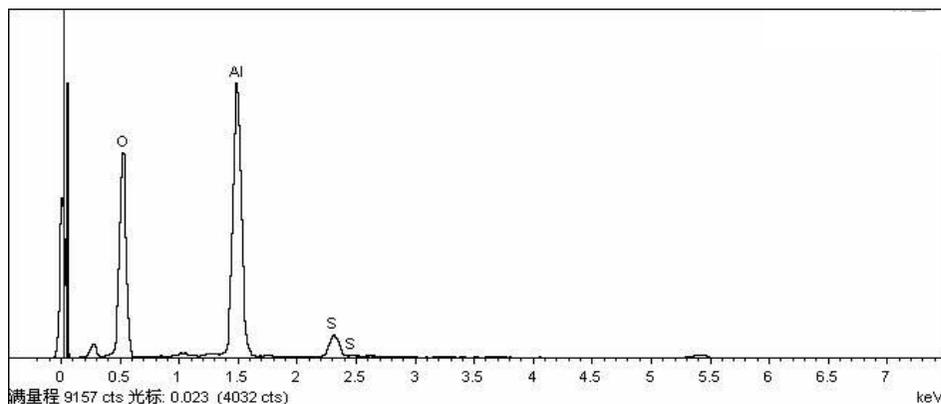


图 8 正常表面阳极氧化膜层能谱成分分析结果

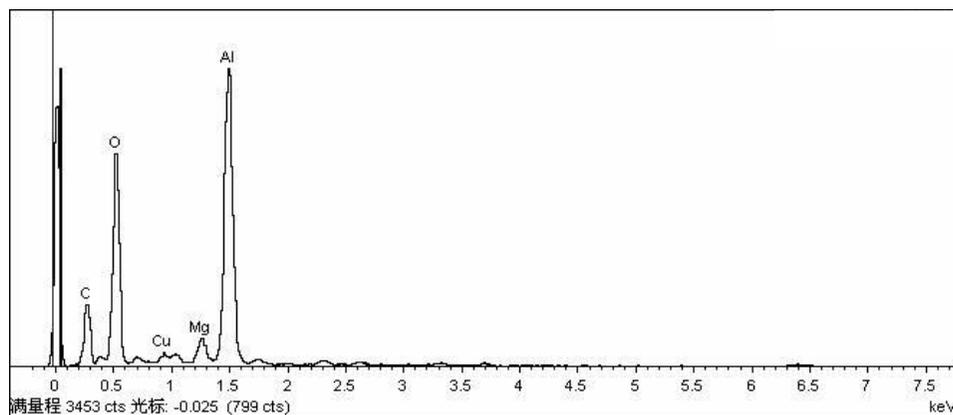


图 9 1#壳体表面黑斑絮状物能谱成分分析结果

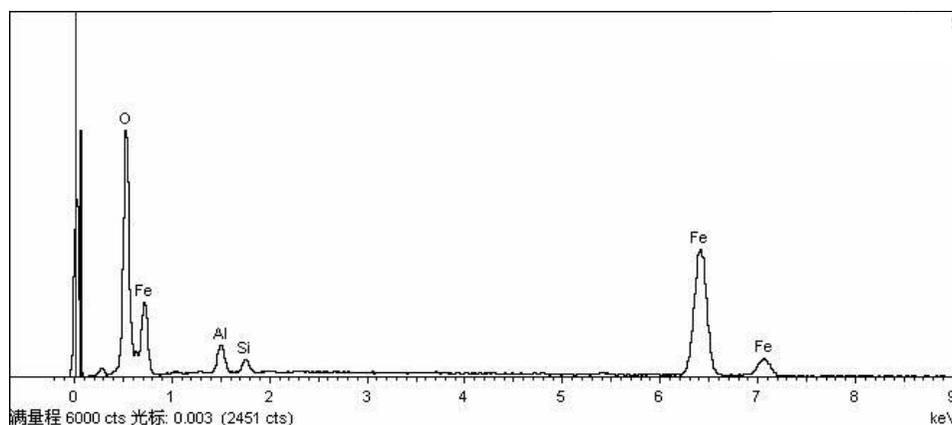


图 10 2#壳体黑斑处凹坑底部颗粒物能谱成分分析结果

### 3 分析与讨论

#### 3.1 黑斑性质分析

X射线能谱分析结果表明:1#壳体黑斑底部絮状堆积物为有机物;2#壳体黑斑底部颗粒为氧化铁皮,超声波清洗后颗粒物明显脱落,说明其为外来物附着物。

#### 3.2 黑斑成因分析

本批壳体零件阳极氧化处理采用硫酸阳极氧化工艺,工艺成熟稳定。通过对1#和2#壳体阳极氧化膜的剖切检查,结果发现正常表面阳极氧化膜层连续,厚度均匀,由此可以排除阳极氧化工艺参数不当造成表面黑斑的可能性,黑斑的形成应与零件表面状态差异有关。

壳体零件采用7A04材料,经模锻成型,除机加工各接口处螺纹外,其他表面均为原始模锻面,未进行任何机加工。在模锻铝合金时,模腔内必须进行润滑,常用的润滑剂为油剂石墨、气缸油和动物脂等<sup>[2]</sup>,主要成分为有机物。模锻过程中,如果模腔表面不干净、润滑剂不干净或涂抹过多,会残存在锻件表面,影响表面质量,乃至蚀洗后锻件表面呈现出不同程度的蚀洗深度<sup>[3]</sup>。因此,在模锻工序之间、终锻后以及交付验收之前,铝合金模锻件表面必须进行清理,以便清除表面残留的润滑剂、氧化皮,及暴露在表面上的缺陷,清理后的铝合金应呈无光泽的颜色。

由本文分析的1#、2#壳体表面状态可以看出,原始模锻表面粗糙,局部存在许多大小不一的凹坑,使阳极氧化前预处理过程中凹坑处难以清洗干净,阳极

氧化时凹坑处残留的润滑剂或表面氧化皮,妨碍表面阳极氧化反应,影响氧化膜层的生成,迫使氧化反应仅能沿凹坑底部基体表面进行,在底部形成较薄的连续膜层,而在凹坑处形成表面黑斑。黑斑底部阳极氧化膜层厚度虽稍薄,但均匀连续,仍可以起到一定的保护作用。

#### 3.3 预防和改进措施

a. 提高模锻表面粗糙度,最好保证模膛表面粗糙度在 $R_a0.16$ 以下;

b. 锻造前彻底清除坯料表面的氧化皮,清洗模腔内壁,确保无外来物黏附于表面;

c. 模锻时,润滑剂不要涂抹过多,避免锻后残存于锻件表面,影响表面阳极氧化反应。

### 4 结束语

a. 1#、2#壳体表面黑斑均为阳极氧化前处理不净,使外来物残留于基体表面,从而影响表面阳极氧化膜层的生成而形成的;

b. 1#、2#壳体表面黑斑底部阳极氧化膜层均连续,可以起到一定的保护作用。

#### 参考文献

- 1 朱祖芳. 铝合金阳极氧化工艺技术应用手册[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2007
- 2 孙绍华, 孙庆华. 铝合金模锻操作中各因素对锻件产生折叠的影响[J]. 轻合金加工技术, 2006, 34(12): 35~37
- 3 吕炎, 等. 锻件组织性能控制[M]. 北京: 国防工业出版社, 1988

(上接第7页)

通过对伺服齿轮试件的加工试验, 得出以下结论:

a. 不同的装卡位置影响齿轮导向槽加工精度;

b. 试件渗氮前应进行时效处理, 可将试件变形量控制在最小范围;

c. 渗氮后选择轨迹磨床磨削能满足齿轮导向槽尺寸精度及各面形位公差精度要求。

### 5 结束语

通过对伺服齿轮加工工艺路线的研究, 摸索出伺服齿轮在切削加工和热处理中的变形规律, 得出了一套合理的工艺加工方法, 解决了伺服齿轮渗氮后精密加工工艺难题, 并应用到实际生产当中, 取得了很好的效果。

#### 参考文献

- 1 成大先. 机械设计手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002
- 2 徐灏. 机械设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1991
- 3 陆剑中, 孙家宁. 金属切削原理与刀具[M]. 北京: 机械工业出版社, 1994