doi: 10.3969/j.issn.1007–9289.2010.04.018

航空发动机压气机叶片表面清洗技术研究

王 坚，黄选民，幸泽宽，刘 智，胡桂英
（成都航利集团，成都 611936）

摘 要：针对飞机压气机叶片服后的油污、锈蚀，研究出不损伤叶片表面渗铝层和硅酸盐涂层的高效清洗剂。试验表明，研究的多功能清洗剂表现出较优的除油、除锈效果，稳定性能高。与原酸洗方法除锈工艺相比，保护了叶片表面的渗铝层；可以满足航空发动机压气机叶片表面清洗的要求。

关键词：除油；除锈；压气机；清洗剂
中图分类号：TG174.43 **文献标识码**：A **文章编号**：1007–9289(2010)04–0078–04

The Research on Cleaning Technique for Aero–engine Compressor Blade

WANG Jian, HUANG Xuan–Min, XING Ze–Kuan, LIU Zhi, HU Gui–Ying
(Chengdu Holy Group, Chengdu 611936)

Abstract: According to the effect of degrease, derust and wiping off deposit–carbon, this article ascertain the multifunctional detergent's component concentration of acid, surfactants, corrosion inhibitors, chelators by soaking. The prescription of multifunctional detergent is ascertained by optimizing the parameters through orthogonal experiment design. The detergent shows a good stability performance when testing. After carrying the multifunctional detergent on actual blade, the conclusion that this detergent could meet the aero–engine compressor blade surface cleaning requirements could be obtained.

Key words: degrease；derust；compressor；detergent

0 引 言

某型航空发动机压气机叶片（图1）表面增加了渗铝层（图2）以及硅酸盐涂层，以增加叶片的抗腐蚀性与抗高温氧化性。装配好后对叶片进行油封处理，叶片表面沾满油污。服役后，叶片表面油污受热，油污转化为碳黑（积碳）。在恶劣工作条件下，尽管叶片表面有渗铝层与硅酸盐涂层保护，仍有些部位还是发生了锈蚀。修理时，需把叶片表面清洗干净。清洗时要求尽可能不破坏表面的渗铝层与硅酸盐涂层。去除锈蚀，需用酸性物质，而酸性物质又对叶片渗铝层有影响。因此，寻求一种多功能清洗技术，在酸中通过添加适量缓蚀剂、表面活性剂、渗透性等其它物质，达到清洗压气机叶片表面油污、积碳、锈蚀的目的。文中在航空零件精密腐蚀溶液的基础上研究酸性二合一

图1 叶片实物
Fig.1 The blade

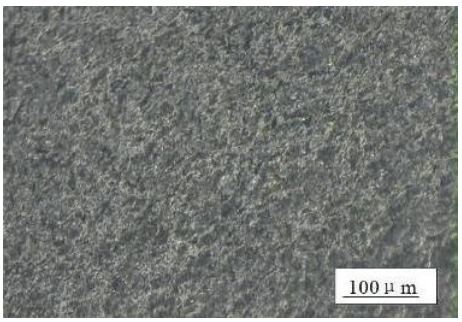

图2 渗铝后表面微观组织
Fig.2 Alumetized surface microstructure

收稿日期：2010–01–06；修回日期：2010–03–31
作者简介：王坚(1966—)，男(汉)，四川彭县人，高级经济师。

清洗剂。通过正交设计，得出二合一清洗剂，除油、除锈一步到位。

1　试　验

1.1　试片的制备及预处理

压气机报废叶片（清洗效果验证用）要求表面带有渗铝层与硅酸盐涂层，且表面油污需较重，部分区域有锈蚀。铝试片(LY)尺寸为50 mm×25 mm×3 mm，(腐蚀检测、缓蚀效果对比试验用）45钢尺寸为50 mm×25 mm×4 mm，(除锈、除油效果试验用)。

人造油污试片的制备：根据HB5227，按照配方(质量分数)羊毛脂镁皂15 %；石油磺酸钡15 %；凡士林30 %；20号机械油25 %；Al_2O_3粉末15 %，将计算量的20号机械油加热，并倒入羊毛脂镁皂和石油磺酸钡，搅拌溶解。温度不得超过130 ℃。待全部溶解后，停止加热。加入凡士林和氧化铝粉末，搅拌均匀。冷却至室温，最后将油污涂在45钢试片上，油污覆量控制在0.25～0.3 g。

1.2　化学试剂及仪器

试剂中酸类有盐酸（密度为1.17g/cm^3)、硫酸（密度为1.84 g/cm^3)、磷酸（密度为1.7 g/cm^3)；表面活性剂有十二烷基磺酸钠、LD、LF、OP–10、平平加、Lan–826、重铬酸钠、氟化氢铵等。

用美国SmartScopeZIP250三维图像分析仪分析零件表面微观组织，用FA2004N天平(精度0.0001g）测量试片的腐蚀失重，用日本Olympus金相显微镜观察腐蚀试样组织及形貌。

1.3　试验方案

(1）酸的种类及其浓度的选择

无机酸中盐酸、硫酸以及磷酸常作为除锈用，在同浓度同温度下，盐酸的化学溶解能力最大，较硫酸大1.5至2倍，而机械剥落的能力则不如硫酸[1-3]。磷酸常作为精密腐蚀槽液成分。由于基底材料为不锈钢，应尽量避免其和氯离子接触。磷酸根离子能在基体表面形成一层粘膜，对基底腐蚀性小，故试验时选取磷酸作为除锈酸质成分。

在不同浓度下，采取浸泡方式，时间60 min，通过锈蚀试片表面锈蚀除去率（90 %）判断除锈效果；在不同浓度下，采取浸泡方式，时间60 min，通过失重法检测对铝的腐蚀情况。

(2）增溶剂的选择

增效助剂在清洗剂中可以溶解油污、碱性缓冲、提高协同活性剂性能、增加清洗液对表面污物的分散性等。金属零部件清洗中常用的增溶剂有多有机醇类、酮类、醚类、硅酸盐、硼酸盐等具有乳化作用的物质。这些增溶剂的有效复合，加强了清洗剂对油污的乳化作用，可以成倍地提高活性剂的清洗性能。试验拟定选用酒精作为增溶剂。

(3）缓蚀剂的选择

在磷酸（10 %）条件下，可以选择铬酸盐，重铬酸盐，氟化氢铵，以及Lan–826对铝的缓蚀效果[4,7]。通过浸泡方式，时间60 min，通过失重法检测在不同缓蚀条件下磷酸对铝的腐蚀情况。

(4）表面活性剂的选择

为使混合酸洗液具有除油功能，可加入0.5 %～1.5 %的非离子型缓蚀剂如硅酸钠乳化剂、十二烷基磺酸钠、平平加、LD、LW、OP表面活性剂。通过浸泡与超声波相结合方式（时间60 min)，考察不同表面活性剂对油污的清洗效果。

(5）络合剂的选择

络合剂选用柠檬酸钠[5]，该络合剂在酸性介质下与Fe^{2+}、Fe^{3+}的络合稳定常数很高，如$K_{Fe^{2+}}=10^{26.1}$，$K_{Fe}^{3+}=10^{14.32}$。只要有铁离子，就能保证它生成稳定的络离子，其用量根据锈的多少和酸的浓度不同而有所不同，一般控制在0.5 %～1 %。

(6）渗透剂的选择

在除锈过程中，为了在较短时间内对锈蚀的去除，可采用添加适当的渗透剂[6]，增加H^+对锈蚀的反应面积，缩短清洗溶液与零件的反应时间，减少清洗溶液对渗铝层的破坏。二合一清洗剂选用的渗透剂为含氟表面活性剂。

2　结果与讨论

2.1　磷酸浓度的影响

采取浸泡方式，不同浓度H_3PO_4对铝试片的腐蚀以及对锈蚀试片的除锈效果如图 4 所示。腐蚀时间为 60 min）。

浓度越大，除锈效果就越好，但对铝的腐蚀就越严重。从图 4 可以看出，在浸泡时间 60 min 内，磷酸浓度小于 6 %时，磷酸对铝试片腐蚀较小，此时铝试片表面的氧化薄膜还能抗得住磷酸的浸蚀。试验发现，当磷酸浓度为 10 %，溶液中冒出了大

量的汽泡。此时为铝和磷酸发生了化学反应，产生了氢气。

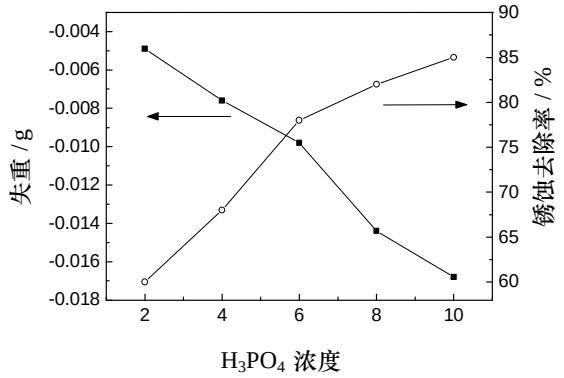

图 3 磷酸浓度对铝和锈蚀的影响

Fig.3 The effect of phosphoric acid concentration on aluminum and corrosion

2.2 不同缓蚀剂的作用效果

铬酸盐（浓度 1 %），重铬酸盐（浓度 1 %），氟化氢铵（浓度 1 %），以及 Lan–826（浓度 0.3 %）在磷酸（浓度 5 %）条件下铝的腐蚀失重结果如表 1 所示。

表 1 不同缓蚀剂下铝的腐蚀失重（g）

Table 1 Aluminium weight lost in different inhibitors (g)

缓蚀剂名称	2 h	6 h	48 h
硝酸铁	0.0231	0.0311	0.5905
铬酸	0.0036	0.0060	0.1881
重铬酸钾	0.0018	0.0075	0.0993
氟化氢铵	0.3311	0.1405	1.0825
Lan–826	0.0128	0.0150	0.4362

不同缓蚀剂在磷酸条件下，表现出不同的缓蚀效果，其中重铬酸钾和铬酸表现出优异的缓蚀效果，氟化氢铵效果最差。经分析认为，重铬酸钾与铬酸在酸性条件下，一边腐蚀铝基体，一边又形成新的氧化膜[7]。通过试验不难发现，铝试片在含有重铬酸钾与铬酸的磷酸溶液中浸泡，试片表面生成了一层黑色氧化物。氟化氢铵在对钢铁零件酸洗时有缓蚀作用[8]，对铝的缓蚀作用不大。Lan–826缓蚀剂，作为一种多功能缓蚀剂，不含Cr^{3+} 、Cr^{6+}离子，具有较好的环境适用性[9]。在本配方研究中选用Lan–826作为缓蚀剂。其含量为0.3 %。

2.3 不同表面活性剂除油效果

用人造油污试片进行试验，分别检测 LF、LD、十二烷基磺酸钠、TX–10 、OP–10 的除油能力。结果如表 2 所示。

从表2可以看出，LD、LW表面活性剂对油污以及表面轻微积碳去除效果较好。十二烷基磺酸钠在去除试片表面油污方面效果较差。LF、LD在形成过程中经过高效表面活性剂、增效剂、添加紧剂的互配，形成了对油污的梯度溶解，渗透性好，乳化能力强[10]。故在清洗配方中选中LD、作为表面活性剂。

表 2 不同表面活性剂的除油效果

Table 2 Different degreasing effects of surfactant

表面活性剂	含量/%	去除效果
LF	1	较好
LD	1	好
十二烷基磺酸钠	0.5	差
TX–10	1	好
OP–10	1	一般

2.2 配方的筛选

在观察叶片表面清洁度、锈蚀、油污去除情况以及对渗铝铝层破坏程度后，通过正交试验方法，对参数进行优化（见表3），清洁度要求叶片表面水膜10 s 不破裂为合格；渗铝层破坏程度通过观测其表面白色区域多少来衡量（如图4)。（注：有渗铝层时，外观为深色，白色为叶片基体颜色）根据航标HB 5227，清洗剂对铝的腐蚀量应小于2 mg为合格。

表 3 参数及水平因子 (%)

Table 3 Factors and levels (%)

参数	磷酸	酒精	LD	柠檬酸钠
1	3	5	0.2	0.2
2	6	10	0.4	0.4
3	9	15	0.6	0.6

（其中：含氟表面活性剂 0.1 % 、Lan–826 缓蚀剂 0.3 %、常温、时间 60 min）

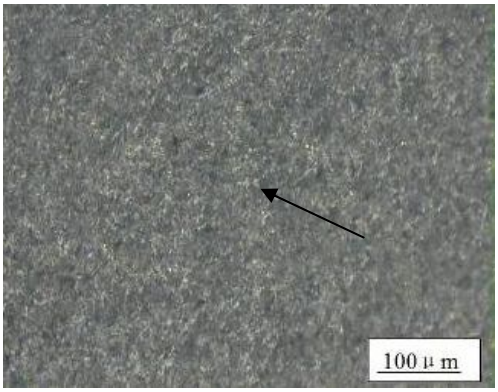

图 4 渗铝层部分被破坏

Fig.4 Aluminized layer was partially destroyed

3　结果及分析

正交试验结果（表面清洗质量优异程度，以 10 为最佳）见表 4。

表 4 正交试验结果

Table 4　Orthogonal experimental results

试验	磷酸/%	酒精/%	柠檬酸钠/%	LD/%	清洗结果	腐蚀量/mg
1	3	5	0.2	0.3	7.0	0.0065
2	3	10	0.4	0.6	7.4	0.0071
3	3	15	0.6	0.9	7.8	0.0076
4	6	5	0.4	0.9	8.2	0.0092
5	6	10	0.6	0.3	8.8	0.0104
6	6	15	0.2	0.6	8.0	0.0112
7	10	5	0.6	0.6	8.4	0.0241
8	10	10	0.2	0.9	8.7	0.0273
9	10	15	0.4	0.3	8.5	0.0266
均值 1	7.400	8.067	7.900	7.900		
均值 2	8.333	8.100	8.233	7.933		
均值 3	8.533	8.100	8.133	8.433		
极差	1.133	0.033	0.333	0.533		

从表格中可以得出，当酸性浓度大时，清洗效果好。除油、除锈效果最佳。但酸性浓度大时，铝的腐蚀量也变大。酒精的含量在其中对腐蚀重量也有一定影响，分析认为可能是因为酒精增加后，对表面油污以及试片基体表面“溶解量”更大，引起试片重量失重量变大[11]。表面活性剂在所选范围内对整个清洗的质量影响不大。从极差值分析，清洗成份中酸为主要影响因子，其次是表面活性剂。综合分析认为，可选用试验 4 和 5 参数。试验 4 中，酒精含量少于试验 5，从环保与能源节约上选择试验 4 的参数比。

4　清洗剂对渗铝层的影响

采用浸泡方式，检测清洗剂对只有渗铝层的表面和有渗铝及硅配盐涂层铝的表面影响的结果如表 5、图 5 所示。

从表 5 中可以看出，表面只有渗铝层的基体

表 5 清洗剂对渗层的影响

Table 5　The impact of cleaning agents on layer

时间/min	渗铝层厚度/ mm	
	渗铝层	渗铝层和硅酸盐涂层
空白 (0)	0.012	0.010
60	0.011	0.008
90	0.010	0.009
120	0.008	0.010

注：厚度数据为同一试片测试三个点的平均值；其中厚度 120 min 的数据为图 5 中试样的平均值。

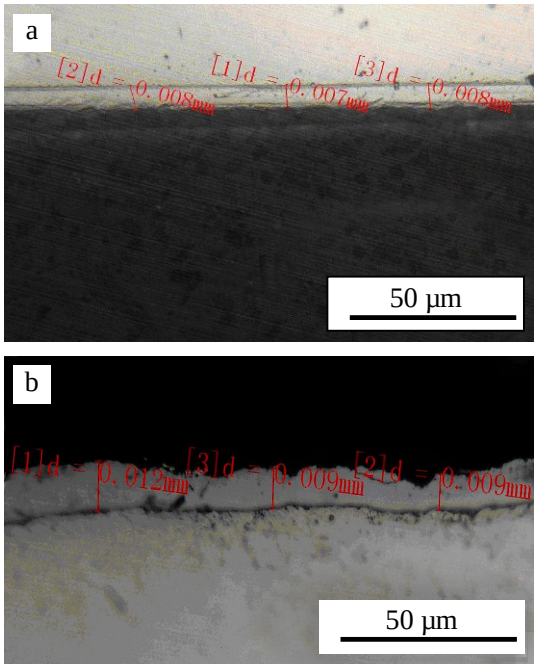

图 5 表面只有渗铝层(a)和有渗铝层与硅酸盐(b)试片的金相图

Fig.5 Metallographic diagram of specimens which have only aluminized layer (a) or aluminized layer and silicate (b)

(下转第 86 页)