

# 铝合金构件的原位快速表面处理方法研究

曾竟成 邢素丽 肖加余

(国防科技大学航天与材料工程学院,长沙 410073)

**文 摘** 着重探讨了在外场操作条件下,对航空铝材进行原位、快速表面处理的几种方法以及不同表面处理对粘接效果的影响。结果表明:对受损的通用航空铝合金(LY12-CZ)表面,采用自行研制的酸膏进行氧化处理,能造就具有一定特征形貌的铝合金表面氧化层,从而使粘接强度提高76.0%,并可实现对构件表面的快速、原位处理,能满足装备构件外场修复的基本要求。

**关键词** 表面处理,铝合金,原位,酸膏,外场修复

## Study on Rapid In-site Surface Treatments for Aluminium Alloy Components

Zeng Jingcheng Xing Suli Xiao Jiayu

(College of Aerospace and Material Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073)

**Abstract** The paper mainly discusses the surface treatment methods including rapid in-site treatment for damaged aerial aluminium alloy components in the field and influence of these treatments on shearing strength. Experimental results indicate that by acid unguent oxidizing treatment the characteristic oxidized surface of aluminum alloy is formed, and the shearing strength increases by 76%. This treatment is rapid in-site and could satisfy the spot repair needs.

**Key words** Surface treatment, Aluminium alloy, In-site, Acid unguent, Spot repair

### 1 引言

近年来,随着复合材料的开发和应用,高性能复合材料由于其自身的优越性能已逐步被用作修补铝合金机体的原材料<sup>[1~3]</sup>,它能更好地满足外场条件原位、快速的修复要求。在此修复工艺中,铝合金和胶粘剂的胶接性能在很大程度上影响着修复的效果,因此对构件表面进行处理,改变或造就具有一定特征形貌的铝合金表面氧化层,改善和调节金属和高聚物胶粘剂界面粘附的能力和效果,从而为铝合金与聚合物之间的界面粘附奠定了化学作用和物理作用的基础<sup>[4]</sup>。对于铝合金的表面处理,很多人已经开展过这方面的研究,并且已经取得了很好的效果。但是在外场条件下,操作环境恶劣,损伤构件如

机翼、机身等,因体积较大、拆卸不方便,传统的处理方法如阳极氧化法<sup>[5]</sup>难以完成对飞机金属结构的表面快速处理。本论文就是在这样的实际应用背景下开展铝合金构件的原位快速表面处理方法研究。

### 2 实验

#### 2.1 主要原材料

##### (1) 胶粘剂

SY-23B(双组分),000201批,北京航空材料研究院。

##### (2) 铝合金板

铝合金板(厚度为0.3mm~2.5mm)由空军十九厂提供,以飞机构件中使用了较多、强度较大的LY12-CZ作为处理对象,其性能见表1。

收稿日期:2003-10-27;修回日期:2004-03-30

曾竟成,1962年出生,副研究员,主要从事聚合物基复合材料的研究工作  
宇航材料工艺 2004年第5期

表1 铝合金板的基本性能

Tab.1 Mechanical properties of aluminium alloy plate

$\sigma_{0.2}$ /MPa	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_{10}$ /%
275	415	13

## 2.2 拉伸剪切试样

为避免拉伸过程中偏心导致部分剥离破坏,本实验所做试样参考 GB7124—86 和 ASTM. D2339 两标准而制作。试样结构和尺寸如图 1 所示。

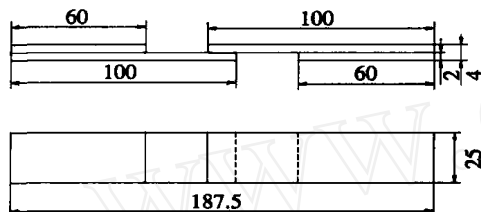


图1 拉伸试样

Fig.1 Tensile specimen

## 2.3 表面处理

在外场操作中,铝合金的表面处理方法需遵循以下原则:能进行表面涂敷处理,与表面的贴敷性好,处理充分;处理速度快,效果显著;处理工艺方法简单、易于实施;附加条件如温度、电力等易于实现。

根据以上原则,采取 6 种铝合金表面处理方法。方法 1~4,选择的表面处理剂配方见表 2,最终配成的处理剂呈膏状,以实现其与金属表面的贴敷处理,使处理件无需浸泡在槽液里甚至无需拆卸即可实现对表面的处理,处理过程见表 3。方法 5 为 2%偶联剂(KH550)处理,方法 6 为只进行表面细打磨。

表2 表面处理剂配方

Tab.2 Formulations for surface treatment agent

方法	表面处理剂配方						
	磷酸	氟化钠	氯化铵	水	添加剂 A	氧化铬	添加剂 B
	/g	/g	/g	/g	/g	/g	
1	-	0.8	-	100	3.5	4	适量
2	10	2	-	100	-	2	适量
3	-	-	0.8	100	3.5	4	适量
4	-	-	2	100	-	2	适量

表3 铝合金表面处理工序及条件

Tab.3 Surface treatment process and conditions for aluminum alloy

工序	所用试剂及操作	处理时间/min
溶剂脱脂	丙酮清洗	3
机械打磨	系列砂纸	5
溶剂脱脂	丙酮清洗	5
处理剂处理	所配制的处理液	3~10
吹风机吹干或烘干	-	5

## 3 结果和讨论

### 3.1 不同表面处理方法对铝合金拉剪性能的影响

从表 4 可以很清楚地看出,经方法 3 处理过的铝合金拉剪强度最高,比仅进行打磨处理的提高了 76.0%;方法 1 和方法 4 分别提高了 11.6%和 64.4%;而方法 5,仅用偶联剂处理拉剪强度提高了 15.8%。方法 3 和方法 4 均取得了较好的处理效果。

表4 不同表面处理方法对铝合金拉剪性能的影响

Tab.4 Effect of different treatment processes on shear property

方法	最佳处理时间 /min	拉剪强度 /MPa	比打磨处理提高比率 /%
1	21	16.3	11.6
2	25	13.1	- 10.3
3	25	25.7	76.0
4	28	24.0	64.4
5	23	16.9	15.8
6	-	14.6	-

### 3.2 表面处理前后铝合金的表面形态及元素分析

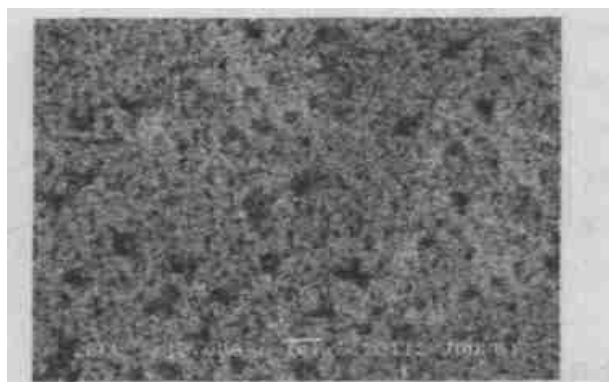
图 2 为铝合金经四种表面处理后的微观形貌。可以看出:经过几种化学方法处理后,铝合金的表面形貌发生了很大的变化。相对于打磨处理的试样而言,方法 2 处理后的铝合金表面出

现了大量长度和宽度分别为  $10\ \mu\text{m}$  和  $1\ \mu\text{m}$  左右的微裂纹;方法 3 处理过的铝合金表面则出现了大量形状均匀、尺寸约  $1\ \mu\text{m}$  的凹凸坑;方法 4 处理后表面微观形貌与其他几种又有所区别,处理后的表面氧化层呈现出龟裂的沟壑或微裂纹,其微裂纹的长度和宽度分别为  $20\ \mu\text{m} \sim 30\ \mu\text{m}$  和  $1\ \mu\text{m} \sim 4\ \mu\text{m}$ ,而且方法 4 处理后的铝合金的表面出现分层现象,底层中也出现了大量的细微龟裂纹。另外,从不同方法处理后铝合金表面能谱图不难看出,经几种方法处理后铝合金表面基体相与弥散相的成分出现了不同程度的变化(图 3 ~ 图 5)。其中,方法 2 处理后,铝合金表面基体相中增加了 P、Cr 等元素,氧元素的含量也明显增大;经方法 3 处理后,基体相中元素变化不大;而

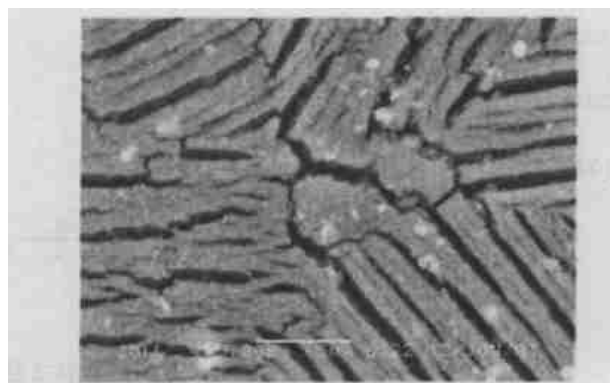
经方法 4 处理后,在深层微裂纹区基体相成分都出现了很大变化,增加了 P、Cr、Ca 和 O 等元素。结合前节所述,虽然方法 2 和方法 4 处理后铝合金表面粘接强度有很大的提高,但在粘接强度提高的同时,不仅很大程度地改变了铝合金表面的形貌,可能引起材料本身的强度下降,而且由于引入了处理剂中的元素,改变了材料表面层的元素组成,对铝合金构件造成了化学污染。因此从这两个方面讲,方法 3(本文称之为酸膏氧化法)处理铝合金,处理速度较快(25 min),处理后铝合金表面出现尺寸均匀的凹凸,一定程度上增加了其粘接的表面积,因此此方法比较适合于铝合金构件的外场表面处理。



(a) 打磨处理



(b) 方法 2 处理



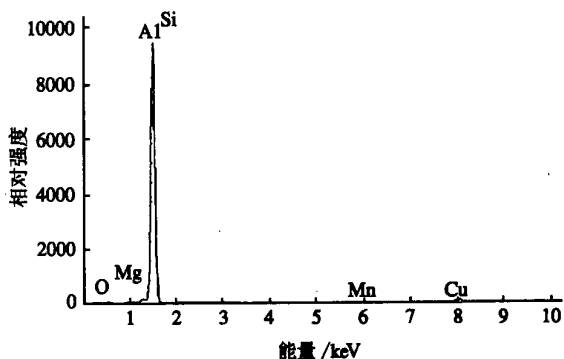
(c) 方法 3 处理



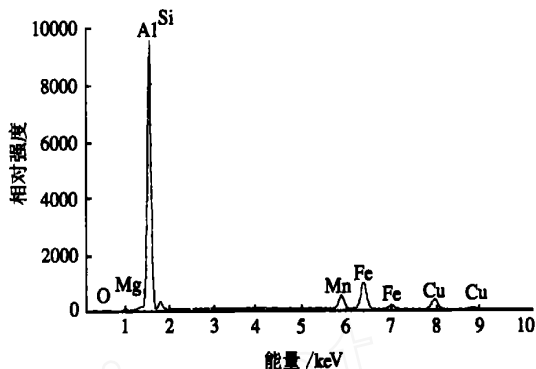
(d) 方法 4 处理

图 2 铝合金分别经四种表面处理后的微观形貌  $5\ 000\times$

Fig. 2 SEM images of aluminum alloy after four treatments  
白色为弥散相;黑色为基体相。



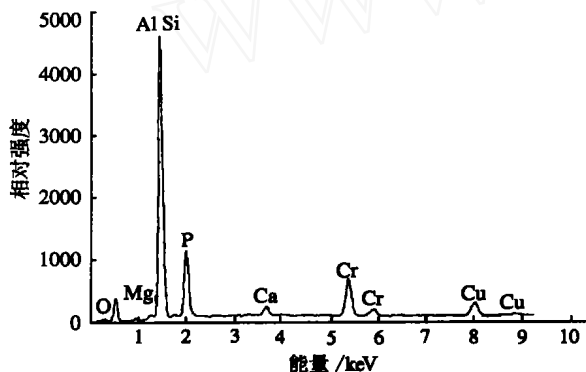
(a) 基体相



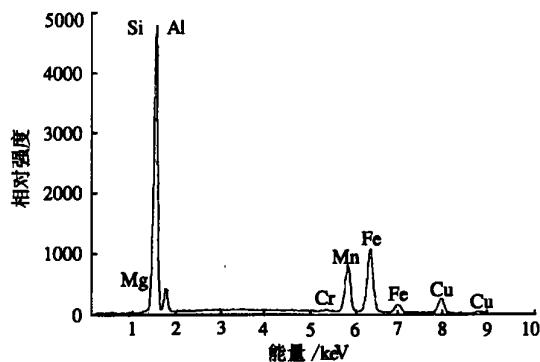
(b) 弥散相

图3 未经处理的LY12-CZ铝合金能谱

Fig.3 Energy spectra of untreated aluminium alloy



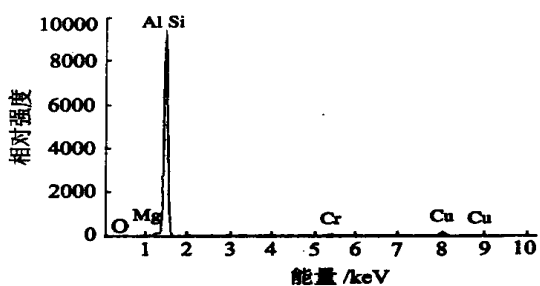
(a) 基体相



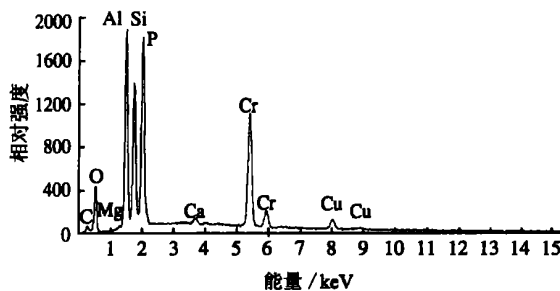
(b) 弥散相

图4 经方法2处理后铝合金表面能谱

Fig.4 Energy spectra of aluminium alloy treated with second process



(a) 方法3



(b) 方法4

图5 经方法3及4处理后铝合金表面基体相能谱

Fig.5 Energy spectrum of aluminium alloy treated with third & fourth process

#### 4 结论

对受损的铝合金装备构件,采用自行研制的酸膏氧化法对受损构件进行表面处理,使铝合金表面

出现了细微且尺寸均匀的表面氧化层,增大了其相对表面积,改善和调节了金属和高聚物胶粘剂界面粘附的能力和效果,提高了铝合金与聚合物之间的

反应活性,从而使铝合金和复合材料之间的粘接强度得到很大的提高(76.0%),且该化学处理方法对被修复构件没有造成化学污染,不用拆卸工件,可实施原位快速处理,能满足装备损伤构件现场快速原位修复时对其表面处理的要求。

### 参考文献

1 Baker A A. Fiber composite repair of cracked metallic aircraft component-practical and basic aspects. *Composites*,1987;18(4):293~307

2 Sandow F A. Composite repair of cracked aluminum alloy aircraft structure. AD - A190514

3 Sun C T, Klug J, Arendt C. Analysis of cracked aluminum plates repaired with bonded composite patches. *AIAA Journal*,1996;34(2):369~374

4 益小苏.叠层胶粘复合材料概论.长春:吉林科学技术出版社,1991

5 盖布 D R.金属表面处理与防护原理.北京:机械工业出版社,1986

(编辑 李洪泉)

(上接第 48 页)

### 5 结论

(1)靶材的厚度和组织结构对靶材的宏观损伤行为有很大的影响。在半无限靶中,靶材的硬度越高弹坑深度越小。而在中厚靶中,靶材的组织结构对靶材的破坏方式起着重要作用。对于 TC4 合金来说,材料  $b_x$  的值对撞击过程中发生冲塞破坏的倾向性有很大影响, $b_x$  的值越大撞击时越不容易发生冲塞。

(2)靶材的组织结构影响了材料生成绝热剪切带的敏感性。固溶时效处理后的组织具有更高的绝热剪切带的敏感性,从而在撞击过程中发生了绝热冲塞,塞块与基体相交处是由带有裂纹的绝热剪切带构成。

(3)靶材的微观损伤形式基本相同,都是由绝热剪切带以及微裂纹、微孔洞组成。微裂纹与微孔洞位于绝热剪切带内部。微孔洞在绝热剪切带形成后期形核、长大并最终形成微裂纹。

### 参考文献

1 李文平.钛合金的应用现状及发展前景.轻合金加工,2002;30(5):53

2 李强,徐永波,白以龙等.钛合金(Ti-17)的动力学

性能和损伤特性.金属学报,1999;35(5):491

3 禹金强,周惠华,沈天乐等.Ti-55合金中的热塑绝热剪切带.金属学报,1999;35(4):379

4 胡八一,董庆东,韩长生等.TC4钛合金及40Cr钢破片中绝热剪切带的TEM分析.高压物理学报,1996;10(1):37

5 Timothy S P, Hutchings I M. The structure of Adiabatic shear bands in a titanium alloy. *Acta Metall*, 1985; 33(4): 667

6 Feldman J B. Volume-energy relation from shaped charge jet penetration. In: Proceeding of 4<sup>th</sup> Symposium on Hypervelocity Impact, Elgin Air Force Base, Fla. April, 1960: 26

7 陈立,李永池,王礼立.长杆弹对钛合金靶的冲塞实验研究.爆炸与冲击,1994;14(3):217

8 Cho Kyung Mox, Lee SungHak, Nutt S R et al. Adiabatic shear band formation during dynamic torsional deformation of an HY-100 steel. *Acta Metall. Mater*, 1993; 41(3): 923

9 Timothy S P. The Structure of adiabatic shear bands in metals: a critical review. *Acta Metall*, 1987; 37(2): 301

10 Xue Q, Meyers M A, Nesterenko V F. Self-organization of shear bands in titanium and Ti-6Al-4V alloy. *Acta Mater*, 2002; 50(3): 575

(编辑 李洪泉)