

# 国产氧化铝-铝粉包埋渗铝 及其防护效果

熊季远 徐建平 梁尚云

## 一、前言

为防止高温氧化和热腐蚀,金属材料表面渗铝是沿用已久的方法。迄今为止,工艺繁多,但广为应用的仍是“固体粉末包埋渗铝”工艺(简称包埋渗铝)。国内主要采用铝铁合金粉末包埋渗铝。但由于铝铁合金粉末在球磨制备时须反复过筛,渗铝剂在使用过程中要多次清理,从而对工作环境造成严重污染。

目前,国外采用包埋渗铝工艺时,主要用氧化铝-铝粉末渗铝剂。除了具有一般粉末包埋渗铝工艺的优点外,由于使用了廉价的工业煅烧氧化铝粉末作为渗铝剂的主要原料,为渗层质量更加稳定提供了可靠保证,同时也简化了渗铝剂的清理工作,改善了劳动条件;渗铝剂中铝粉含量可调范围大,渗铝速度比铝铁合金粉末快得多,相应地降低了渗铝温度,减少了对基体材料性能的影响。因而英美各国的航空工业已广泛采用。

我国引进的202型斯贝发动机涡轮叶片等热端部件要求采用包埋渗铝工艺,其渗铝剂为氧化铝-铝粉。目前,我国航线上飞行的三叉戟飞机的512型斯贝发动机,其涡轮叶片等热端部件也规定用此类渗铝剂进行渗铝返修。我们根据工厂提供的有关资料对进口渗铝剂的特性进行了一系列试验,选择出用国产原料配制成渗铝剂。工艺质量稳定,防热腐蚀和高温氧化效果都较好。现作简要介绍以供参考。

## 二、氧化铝-铝粉包埋 渗铝工艺

氧化铝-铝粉包埋渗铝工艺的工序流程与铝铁合金粉无多大差别。氧化铝-铝粉渗铝剂的主要组成有:

1. 稀释剂:氧化铝粉,其含量占渗铝剂的90%以上;
2. 铝源:铝粉,含量一般为1~3%;
3. 活化剂:主要是卤化物,可以是多种的,也可以是单一的,在渗铝剂中含量甚微。

现在国内一些工厂使用的几种氧化铝-铝粉渗铝剂配方和工艺规范见表1。

表1 氧化铝-铝粉渗铝剂配方及工艺规范

配方, 规范		渗 铝 剂 编 号			
		I	II	III	IV
渗 铝 剂 配 方 %,	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	余 量	余 量	余 量	余 量
	Al 粉	1.2~1.4	1.4~1.7	1.7~2.1	1.3~1.7
	NaF	0.8~1.2	0.8~1.2	0.8~1.2	—
	AlF <sub>3</sub>	—	—	—	1.3~1.7
	KHF <sub>2</sub>	0.05~ 0.15	0.05~ 0.15	0.05~ 0.15	
	NH <sub>4</sub> Cl	0.1~0.2	0.1~0.2	0.1~0.2	0.05~ 0.15
工 艺 规 范		890~ 900°C 7.5小时	890~ 900°C 7.5小时	890~ 900°C 5.5小时	860~ 890°C 5.5小时
使 用 合 金		Mar— M002 或K002	NI 118  NI 108	N 75	C 1023
渗层厚度,微米		20~38	20~38	20~50	20~38
渗层铝浓度,%		38	40	37	40

### 三、渗铝层的防护效果

一般说来,氧化铝-铝粉渗铝工艺的渗铝速度要比铝铁合金粉的快,因此渗铝层可望获得较高的铝浓度,如K002镍基高温合金用I号渗铝剂渗铝,渗层铝浓度可高达38%。这种高浓度渗铝层,具有较好的抗高温腐蚀特性,能在恶劣环境下对基体合金起良好的保护作用。

我们对K002镍基高温合金采用所选择的国产原料配制I号渗铝剂,按上述工艺规范进行渗铝,渗层的外观质量、组织形态、厚度及铝浓度都达到斯贝202型发动机一级涡轮叶片渗铝层的检验标准。同时,还将国产渗铝剂与英国进口渗铝剂在实验室条件下进行了渗铝层防护效果的评定。

在不同温度下的静态抗氧化试验表明,渗铝层在900℃下长期使用时组织是稳定的,在1000℃下会出现部份分解,在高达1100℃时渗铝层不断分解,但比其他类型的单铝渗层分解速度要慢些。在K002合金上国产渗铝剂与英国渗铝剂的渗层在高温下都有较好的热稳定性,在1100℃以下渗铝层的分解速度是一致的。

热盐腐蚀试验表明,在900℃下的燃气热腐蚀试验,无论是国产渗铝剂或英国渗铝剂的渗层对K002合金都具有很好的防护效果,未渗铝的试样在试验条件下腐蚀非常严重,而有渗铝层的基本完好。特别值得指出的是这种高铝浓度的渗铝层,在防止K002合金免遭苛刻的钒蚀作用时,也表现出具有一定的防护能力。在900℃下喷钒盐后加速氧化试验表明,K002合金在钒盐的热腐蚀作用下,表面迅速出现坑状腐蚀,加速氧化非常严重,而经国产渗铝剂或英国渗铝剂渗铝后,则该合金上的渗铝层具有一定的抗钒蚀作用,这有利于提高地面涡轮上叶片材料的使用寿命。

下列的表格及照片,主要以K002合金为例,说明经国产渗铝剂渗铝后,渗铝层的铝浓度、组织形态、抗氧化性能、热盐腐蚀性能与

英国渗铝剂渗铝层及基体合金的对比情况。

表2 K002合金渗铝层铝浓度平均值%

状 态	资料提供数据	英国渗铝剂 渗层	国产渗铝剂 渗层
渗 态	38	39	38
扩 散 后	27	28	27

注:资料数据是指英国罗·罗公司用的Mar-M002合金上的渗层数据。

表3 K002合金及渗铝层在1100℃静态抗氧化增重值

时间,小时	未 渗	英国渗铝剂 渗层	国产渗铝剂 渗层
	增 重 值, 克/米 <sup>2</sup>		
100	16.5	10.3	7.9
500	21.7	17.4	13.4

表4 K002合金及渗铝层在900℃下燃气热腐蚀结果

状 态	未 渗	英国渗铝剂 渗层	国产渗铝剂 渗层
减重值, 克/米 <sup>2</sup>	253*~565*	78~135	48~150
外 观	绿色脱落	深灰色	深灰色

试验条件:喷油量0.2升/小时,海盐20ppm,油气比1:45。

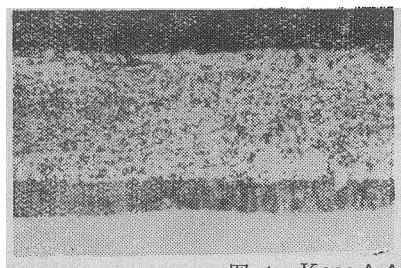
\* 为100小时结果,其他为200小时结果。

表5 K002合金及渗铝层在900℃下钒盐热腐蚀结果

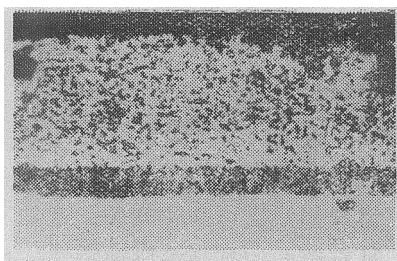
状 态	未 渗	英国渗铝剂 渗层	国产渗铝剂 渗层
增 重 值 克/米 <sup>2</sup>	48	1	1
外 观	绿色,脱落	绿灰色	绿灰色

试验条件:一次喷盐量1毫克/厘米<sup>2</sup>,钒盐为主的成分包括V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+NaCl。  
数据为100小时的试验结果。

综上所述,为了立足国内生产这类渗铝剂,对其各种成分材料的选择,以及所得渗铝层性能等进行试验研究很有必要。试验证明,采用国产原材料配制的氧化铝-铝粉渗铝剂,成本低,性能好,渗铝工艺稳定,渗铝层质量完全达到英国的渗铝剂水平,值得在国内推广应用。



a—国产渗铝剂的渗层

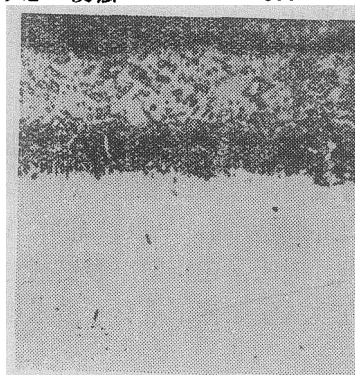


b—英国渗铝剂的渗层

图 1 K002合金上的渗铝层组织形态 浸蚀 × 500

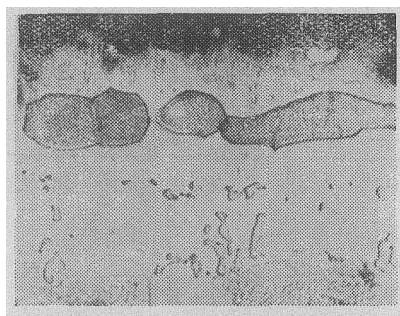


a—未渗试样  
经100小时试  
验后, 腐蚀  
严重  
× 100



b—渗铝试样经  
200小时试验后  
仍有渗层  
× 500

图 2 K002合金及国产渗铝剂的渗铝层在900°C下燃气热腐蚀试验后横断面形态



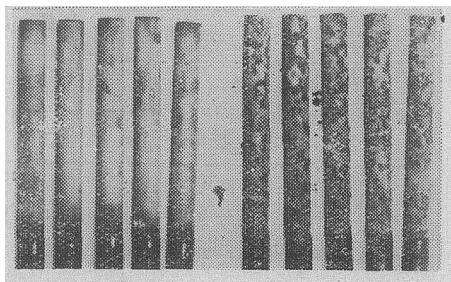
a—国产渗铝剂的渗层



b—英国渗铝剂的渗层

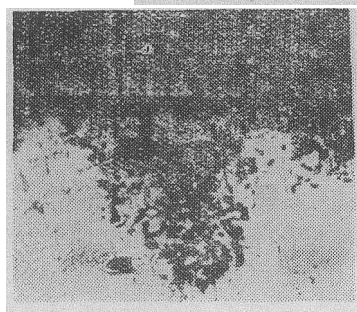
图 3 K002合金渗铝层在1100°C下静态抗氧化500小时后分解情况 浸蚀 × 500

a—渗铝试样

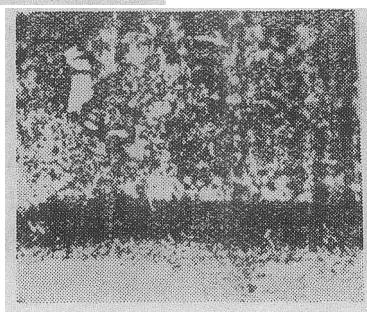


b—未渗试样

图 4 K002合金及国产渗铝剂的渗铝层在900°C下燃气热腐蚀试验后的外观



a



b

图 5 K 002 合金及国产渗铝剂的渗铝层在900°C下钒蚀试验 100小时后的横断面形态 × 500

a—未渗试样;  
b—渗铝试样。