

水溶性料浆法渗铝

六二一所高温防护组

为了提高燃气涡轮发动机中涡轮部件在高温、长时间及腐蚀性气氛中工作的性能，国内外广泛采用渗铝防护的方法来提高耐热合金零件的抗高温氧化及抗燃气腐蚀能力。渗铝所用的工艺过去大多采用“固渗法”，是粉尘作业，劳动条件很差，生产效率也较低，而且不容易在零件的选择部位进行局部渗铝。为此，普遍开展了改进渗铝工艺的研究。新的渗铝方法很多，如料浆法、电泳法、真空蒸镀法、汽渗法、熔融铝液浸法、熔融盐电解法等等。其中应用比较广泛的是料浆法，它是将渗剂（如铝粉等）加上粘结剂和溶剂，调制成浆液，用喷、浸、刷等方法涂敷到零件欲渗部位的表面，干燥后在一定的保护性气氛下进行高温扩散处理来实现的。它显著地改进了“固渗法”的上述缺点。但是，至今国内外在料浆法中采用的溶剂都是挥发性的有机溶剂，如丙酮、苯、二甲苯、信那水等，它们不但有味、有毒，而且价格也较贵，因此在劳动条件、经济性等方面也还存在一定的缺点。

为了走出我国自己发展工业的道路，我们试验了一种以水为溶剂的料浆渗铝工艺，初步获得成功。由于改用水作溶剂，使用方便，无毒无味，既节约了大量有机溶剂，又进一步改善了劳动条件，在工厂生产实践中还具有工艺简单、易于操作等特点，受到工厂的好评。这种工艺方法可以根据各种合金材料的特点及其不同的防护要求，适当地调整料浆的成份配比和扩散工艺制度来获得所需要的渗铝层。我们也用这种工艺方法进行了铝-铬、铝-硅等多元素共渗的试验，均取得较好的结果。

在水溶性料浆渗铝工艺中，渗剂是由纯铝粉、氧化铝粉及微量氯化铵组成；粘结剂用聚乙烯醇胶液；溶剂是水。详细的工艺过程介绍如下：

1. 准备渗剂

在10~50%（重量）铝，50~90%（重量）氧化铝的范围内，按需要的成份配比称取铝粉和氧化铝粉，放在球磨筒内进行球磨混料，混料的时间依粉末数量而定，约6~10小时。充分混匀后的粉末应妥善保存，以便随时取用。铝粉粒度要求在-100目以上，越细越好，片状或球状均可。氧化铝粉要求呈中性，工业纯即可，粒度在-100目以上，越细越好。

2. 制备粘结剂

按140克聚乙烯醇加1立升水的比例称取，将二者同盛于三角烧瓶或其他容器中，然后隔水煮沸4小时左右。中间常常加以搅拌，至瓶内溶液成透明状胶液便可使用。粘结剂需妥善保存以便随时取用。曾用不同聚合度的聚乙烯醇制成粘结剂进行试验，发现对渗铝结果没有影响。但聚合度高的，在阳光作用下容易自行固化，不宜长期贮存，故推荐用聚合度800左右的聚乙烯醇。

3. 调制料浆

称取一定量的混合粉，再加入0.5%（重量）氯化铵，然后按下述比例配成料浆：

粉末量：粘结剂量：水量 = 2（克）：1（毫升）：2（毫升）

其中水量可适当增减，以使料浆适于喷涂为宜。配成的料浆稍加研磨或球磨使其混匀便可使用。

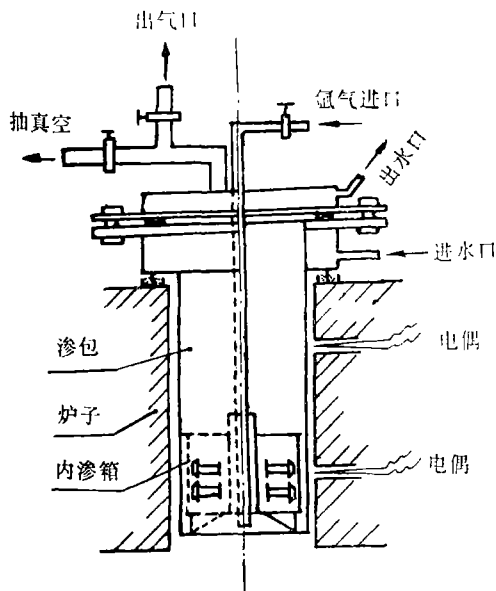
4. 喷涂

零件先经除油、洗净并烘干，用喷枪将料浆分数次较均匀地喷在零件欲渗部位的表面。喷涂压力为2~4公斤/厘米²。每次喷涂后零件需用烘箱（温度为80~100℃）或红外灯烘干，反复数次至零件上的料浆达一定厚度为止。此厚度根据料浆中铝含量的多少以及所采用的扩散制度而定。

试验证明，在料浆成份和扩散制度选定以后，零件上所喷涂的料浆量在超过一定厚度之后对渗铝结果（渗铝层厚度等）没有什么影响，而喷得厚些有利于确保质量。经喷涂的零件烘干后，其料浆层有很好的粘结性，不易脱落。如果料浆层因故发生局部剥落，则可在该处进行补喷，当然也可用水洗掉所有的料浆后再重新喷涂。

5. 扩散处理

扩散用的设备如下图所示。涂有料浆的零件干燥后放在带盖的内渗箱内，然后一起装入渗包中。将渗包密封后抽真空（约 10^{-1} 毫米汞



柱)排去渗包内的空气，然后通入氩气，待氩气充满后便可将渗包送入高温炉内，在选定的

扩散温度下保温一定的时间后出炉冷却。整个过程中必须保持氩气不断流通，其流量视渗包大小而定。渗包冷至400℃左右关闭氩气。冷至200℃以下便可开包取出零件，用水刷洗掉零件上的粉末后将零件擦干即可。扩散制度（温度、保温时间及冷却速度等）根据不同的防护要求及零件基体材料的热处理制度而定。

用这种工艺方法获得的渗铝层的组织结构与固渗法基本一样，厚度均匀（见下图），具有很好的抗高温氧化及抗高温腐蚀性能。同时表面质量也与固渗法相近，仅色泽稍暗些，并随料浆中铝含量的不同，表面颜色有所差别。此外，渗剂中用的粉末越细，则零件的表面光



洁度也越高。渗铝层的厚度可通过工艺进行控制，即随料浆中铝含量的增加、扩散温度的提高以及保温时间的延长而增厚。倘若发现渗铝层厚度不够，则可按原工艺重复再渗，第二次渗后增加的厚度比第一次渗的厚度要小。若将料浆中渗铝的渗剂改换成适当比例的铝、铬、硅等多种金属粉末的渗剂，则可进行铝-铬、铝-硅等多元素共渗，其工艺方法基本相同。

水溶性料浆法渗铝工艺作为一种新工艺，也存在不足之处有待改进，主要有：

1. 由于用水作溶剂，水份蒸发缓慢，因此在喷涂中间必须进行烘烤，喷涂工艺也必须重复数次才能完成。这对大型零件可能比较麻烦。

2. 如果所用的氧化铝粉或水呈弱碱性时，配成的料浆会发生起泡现象，（下转第24页）

表 4

材 料	喷丸前 部份的光度	喷丸 时间 秒	喷丸表面 的残余应力 σ_r 公斤/毫米 ²	备注
45#	▽7	90	—10	尺寸 完全 相同
50CrVA	▽7	90	—92	
50CrVA	▽7	120	—98.4	

喷丸前零件表面的光度对喷丸强化的表面残余应力和疲劳强度基本上无影响，而影响零件表面残余应力和疲劳强度的是喷丸工艺参数和零件的材料及热处理状态。

喷丸强化处理能大大增加零件表面残余应力，提高其疲劳强度。

4) 关于弹丸的运动速度

从喷丸机喷嘴射出的弹丸的速度大小，直接影响喷丸表面的强化效果。对气喷式喷丸机来说，压缩空气压力的波动，直接影响弹丸运动速度的增减，因而直接影响零件表面强化层的均匀性，为保证弹丸运动速度的稳定，必须安装稳压装置。

(1) 弹丸运动速度与动能之间的关系

$$Q = \frac{1}{2} M V^2, \quad M_1 = M_2 = \text{常数}$$

$$\text{设 } \frac{V_2^2}{V_1^2} = A, \text{ 若 } V_1 = 60 \text{ 米/秒}, V_2 = 40 \text{ 米/秒},$$

$$\text{则 } A\% = \frac{40^2}{60^2} \times 100\% = 44.5\%$$

从以上计算可知，当速度减小 $\frac{1}{3}$ ，则动能损失55.5%。

(2) 弹丸喷到零件表面上的最大速度

我们选择：弹丸 $\phi = 0.8$ 毫米；

压力 $F = 6$ 个大气压；

距离 $S = 140$ 毫米；

$$\text{作用在弹丸上的力 } F = \frac{6}{100} \times \frac{\pi 0.8^2}{4} = 31 \text{ 克；}$$

$$\text{弹丸体积 } \nabla = \frac{4}{3} \pi V^3 = 0.524 \times 0.8^3$$

$$= 0.268 \text{ 毫米}^3;$$

$$\text{则弹丸重 } Q = 0.268 \times 7.8 \times 10^{-3} = 2.1 \times 10^{-3} \text{ 克 (忽略重力) }。$$

$$a = \frac{F}{M} = \frac{31}{2.1 \times 10^{-3}} = 144.5 \times 10^3 \text{ 米/秒}^2$$

$$t = \sqrt{\frac{2S}{a}} = \sqrt{\frac{2 \times 140 \times 10^{-3}}{144.5 \times 10^3}} \approx 1.4 \times 10^{-3} \text{ 秒}$$

$$\text{则 } V = at = 144.5 \times 10^3 \times 1.4 \times 10^{-3} \approx 200 \text{ 米/秒, 也就是弹丸喷到零件上的最大速度 } V_{\max} \approx 200 \text{ 米/秒。}$$

五、软轴喷丸后轴颈尺寸和跳动的变化

1. 我们加工的各种弹性轴，其轴颈直径 $\phi 7 \sim 12$ 毫米，轴颈长 $L = 193.5 \sim 261.5$ 毫米。喷丸在F-147-0喷丸机上，按生产说明书进行，喷丸处理以后，轴颈尺寸普遍比喷丸前尺寸增大 $0.02 \sim 0.04$ 毫米，轴颈跳动比喷丸处理前增大 0.04 毫米。

2. 轴颈尺寸和跳动的变化与喷丸时弹丸的速度和喷丸时间成正比。

3. 轴颈的跳动和轴颈大小成反比，和轴颈长度成正比。

× × ×

(上接第13页) 这样的料浆只适合喷涂而不适于浸涂或刷涂。料浆也不能长时间存放，只能在需用时现配，而且还不能盛放在玻璃容器中。

经过一系列试验发现，在配制料浆时加入30~40%乙醇(工业纯)可以基本上消除起泡现象，使料浆也能适于浸涂和刷涂。由于乙醇加快了溶剂的挥发速度，因此在喷涂时可以增加每次的喷料量，从而减少喷涂工艺的反复次数。在浸涂或刷涂时还可以免去烘烤。无论采用喷、浸或刷，其渗铝结果都一样。

显然，上述的缺点和不足之处，通过进一步的工作是可以不断改进和克服的。总的来看，水溶性料浆法渗铝工艺具有显著的优点，是一项有发展前途的新工艺。