

# AlCl<sub>3</sub> 雾态气体放电下碳钢中低温渗铝

张弋飞<sup>1, 2</sup> 张昕辉<sup>2</sup>

1 北京坚润表面材料研究所 北京 100034 2 上海领异金属表面材料有限公司 上海 200431

摘要：根据三氯化铝 AlCl<sub>3</sub> 化合物物态变化的性质，低压下生成雾态气体 AlCl<sub>3</sub>；在成雾态气体放电物理及化学作用下，10 钢和 45 钢在 620℃ 温度得到数十 μm 渗铝层。

关键词：雾气体放电 渗铝 AlCl<sub>3</sub>

## Low Carbon Steel Aluminizing at Lower Temperature by Mist Gas Discharge

Zhang Yifei<sup>1</sup>

Zhang Xinhui<sup>2</sup>

(1、Beijing Tough& Lubricating Inst. Beijing 100034)

(2、Shanghai Innovation surface Material Co., Ltd Shanghai 200431)

**Abstract:** The mist gas of aluminum chloride (AlCl<sub>3</sub>) was produced by the pressure and temperature adjustment in vacuum chamber. The mist gas composes chiefly micro/nanometer solid state particles, liquid state particles and pure gas. The novel mist gas discharge generate in the mist gas of low pressure chamber by DC or pulse power, and dozens micron of the aluminizing layer of carbon steels were obtained through physical-chemical reaction under temperature of 620℃

**Keywords:** mist gas discharge Aluminizing AlCl<sub>3</sub>

渗铝可以提高金属的抗氧化性及耐蚀性，且能增加离子渗氮的速度及渗氮层的厚度。渗铝方法众多，在工业上主要应用的方法有两种—固体粉末渗铝和热浸法渗铝法。固体粉末法渗铝在 780℃ 以上<sup>[1]</sup>，而热浸铝的铝液温度<sup>[2]</sup>是 680℃ 至 710℃；也有报道采用辉光等离子体渗铝。<sup>[3]</sup> 本文介绍一种在真空特定环境中生成 AlCl<sub>3</sub> 雾态气体，在 AlCl<sub>3</sub> 雾气中实施气体放电，对碳钢表面低温快速渗铝的新方法。雾态气体放电有别于单纯气体在电场中的放电。

### 1. 雾态气体 A (m) 的产生原理

渗铝介质 AlCl<sub>3</sub> 在温度 T<sub>0</sub>=96.7℃ 时，饱和蒸汽压 P<sub>0</sub>=133Pa；当温度 T<sub>0</sub> 不变，容器内压力小于 P<sub>0</sub> 或当压力 P<sub>0</sub> 不变，容器内温度大于 T<sub>0</sub> 时，A 均为气体状态。

真空容器内，使容器压力 P 保持在 P<sub>0</sub>，当容器内温度 T 小于 T<sub>0</sub>，或温度 T<sub>0</sub> 保持不变，压力 P 小于 P<sub>0</sub>，部分气态 A (g) 转变为微纳米液态 A (l) 或固态 A (s)；微纳米液态 A (l) 或固态 A (s) 悬浮在气体 A (g) 中，形成雾态气体 A (m)；

### 2. 雾态气体放电渗铝方法及设备

渗铝设备如图 1，真空容器 (1) 中，基体材料 10 钢和 45 钢 (试样尺寸 20×14×6) 放在阴极 (2) 上，启动真空泵 (11) 及控制仪表等 (12) 组成的压力系统使真空容器成负压；通入预处理气体氮气，由压力系统 (11) (12) 使容器保持在 5~50Pa，启动直流或脉冲直流电源，在阴、阳极间产生 300~1200 伏的电压，对 10 钢、45 钢进行辉光放电预处理。

理。

真空容器中有加热装置 (8) 及控制仪表等 (9) 使容器升温并保持 100℃，即 T<sub>0</sub>=100℃

AlCl<sub>3</sub> 放在第二容器 (22) 中，启动此容器中的加热装置 (23) 及控制仪表 (24) 使 AlCl<sub>3</sub> 达到并保持 120℃。AlCl<sub>3</sub> 气化进入真空容器致使容器压力加大，压力系统 (11) (12) 使容器保持 133Pa。这样氮气逐步减少，最后容器中只有 AlCl<sub>3</sub> 气。

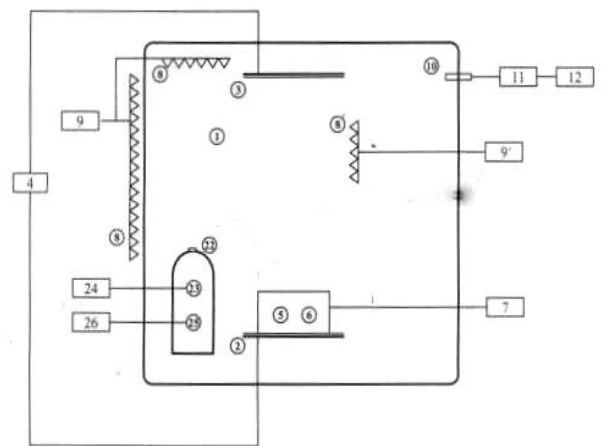


图 1 AlCl<sub>3</sub> 雾气放电渗铝设备示意

Fig1 Sketch map of mist gas discharge aluminizing equipment

启动容器区域温度系统，即真空容器外壳附近的加热装置 (8') 及控制仪表等 (9') 使基体材料附近或真空室外壳温度达 80℃ 小于 T<sub>0</sub>，部分气态 A (g) 转变为微纳米液态 A (l) 或固态 A (s)，悬浮在气体 A 中，形成雾态气体 A (m)

即 P = P<sub>0</sub>，T < T<sub>0</sub> 时，A (g) → A (s, l) + A (g)

→ A (m)。

启动 化合物温度系统 (22) (23)、化合物压力系统 (24) (25) 及容器温度系统 (8) (9)、容器压力系统 (11) (12), 使真空容器中的化合物  $\text{AlCl}_3$  按工艺要求保持一定浓度。

启动高压电源系统 (4), 电压 350~1500 伏, 随渗层要求来调节, 在电场作用下, 电极间产生雾态火花、弧光放电, 过程数分钟至数十分钟。

启动 (6) (7) (8) (9) (11) (12) 调节容器压力、温度及碳钢温度。并调节电源系统 (4) 的两极间电压、电流, 雾态火花、弧光放电转为雾态辉光放电, 基体材料温度不断上升并保持在  $620^\circ\text{C}$ , 保温 40 分钟。

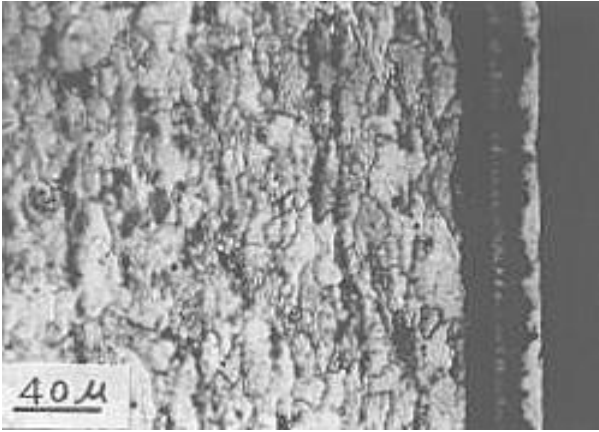


图 2 10 钢渗铝层截面金相

Fig2 Cross-section micrograph of aluminizing layer with 10 steel

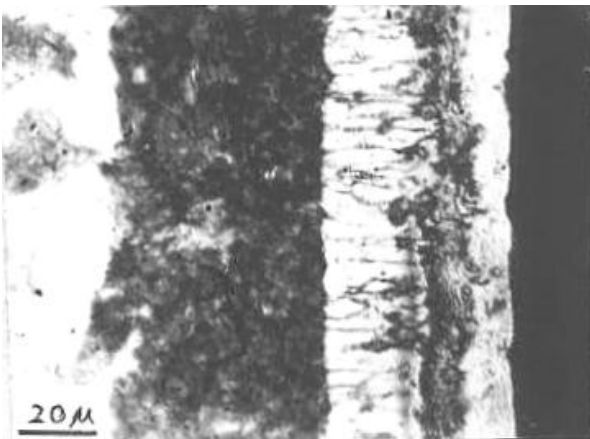


图 3 45 钢渗铝层截面金相

Fig3 Cross-section micrograph of aluminizing layer with 45 steel

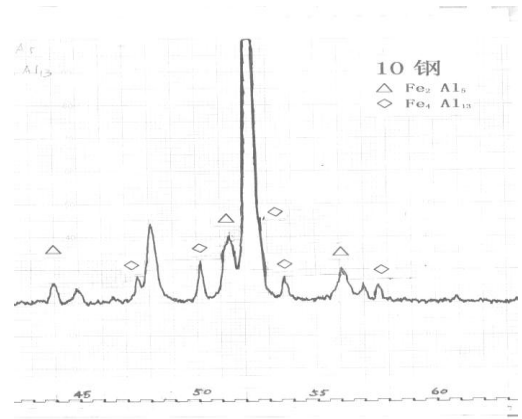


图 4 10 钢渗铝 XRD 分析图

Fig4. XRD analyzing of aluminizing layer with 10 steel

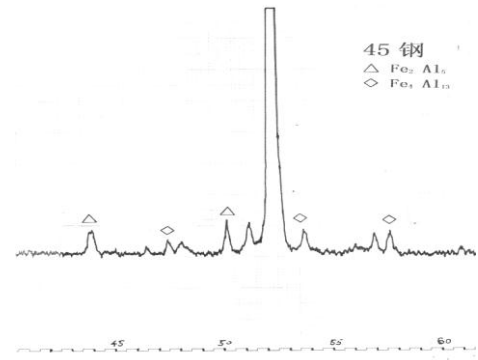


图 5 45 钢渗铝 XRD 分析图

Fig5 XRD analyzing of aluminizing layer with 45 steel

雾态放电的作用下, 雾态  $\text{AlCl}_3$  在  $620^\circ\text{C}$  钢附近分解:  
 $2\text{AlCl}_3 \rightarrow 2\text{Al} + 3\text{Cl}_2$ ;

单位体积雾态气体中化合物、Al 离子、Cl 离子浓度远高于单位体积的气体, 在较低温度下快速与表面的 Fe 产生化学反应, 形成渗铝层。

图 2, 图 3 是 10 钢、45 钢渗铝剖面金相。图 4, 图 5 是 10 钢、45 钢渗铝表面的 x 射线衍射分析。可以看到 10 钢的渗铝层为  $35\ \mu$ 。45 钢的渗铝层为  $90\ \mu$ 。由  $\text{Fe}_2\text{Al}_5$   $\text{Fe}_4\text{Al}_{13}$  等组成

### 3. 结语

- 1、依照化合物  $\text{AlCl}_3$  物态变化的规律, 在低压下得到雾态气体。
- 2、在电场作用下进行  $\text{AlCl}_3$  雾态气体放电
- 3、相同条件下, 雾态气体中化合物浓度高于普通气体。
- 4、阴极上的 10 钢、45 钢在  $620^\circ\text{C}$  温度下保温 40 分钟得到几十  $\mu$  的渗铝层。

参考文献

- [1] 刘世永 孟德等 低碳钢渗铝加离子渗氮的表面硬化处理  
[J]金属热处理 2004 29 (4) 41-43
- [2] 刘连涛 孙勇 镀液合金元素对钢镀铝界面组织的影响  
[J]金属热处理 2009 34 (2) 25-29
- [3] 段良辉; 刘亚萍等 Ti6Al4V 辉光等离子渗铝摩擦磨损性能  
研究[J]表面技术 2007 36 (1) 5-7