

# 料浆渗铝工艺, 渗层结构 及其性能的研究\*

王素英

(郑州工学院机械系)

**摘 要:** 在实验室条件下进行了料浆渗铝, 渗层结构及其性能的研究。一系列的料浆渗铝工艺用来获得不同的渗层。X射线衍射、金相、机械性能和电化学等试验方法用来探明渗层的结构和性能。结果表明, 本工艺的所有渗层结构均为铝在 $\alpha$ -Fe中的单相固溶体, 因而延展性较好、不易剥落和开裂。碳钢经料浆渗铝后, 抗蚀性显著提高。根据实验结果, 找出最佳渗铝工艺。另外, 由于本工艺简单, 处理后工件表面非常光洁, 且不受零件形状限制, 料浆渗铝将是提高碳钢抗蚀性的有效途径。

**关键词:** 料浆渗铝, 渗层结构, 单相固溶体, 耐热性, 耐蚀性

**中国图书分类号:** TS913·7

扩散渗铝表面与基体间是冶金结合, 结合强度高, 且具有一定的延展性, 其耐高温, 耐 $H_2S$ 腐蚀性特别好, 自1927年苏联学者明克维奇<sup>[1]</sup>提出后, 立即引起人们的广泛注意。

几十年来, 世界各国做了很多工作, 发展了很多渗铝工艺<sup>[2, 3, 4]</sup>, 但这些工艺都存在这样, 那样的缺点, 所以应用并不普遍<sup>[5]</sup>。

如喷射法和沉积法所得铝镀层, 与基体间扩散程度小, 结合力小, 易产生剥落, 而且设备和成本较高。熔融镀法形成的铝镀层为表面纯铝层与扩散层的复合结构, 但表面往往会出现夹渣, 气孔等缺陷, 而且需要容器和特殊加热炉, 工艺复杂。相比之下, 扩散渗透法是形成铝扩散层较好的方法。

扩散渗透法包括粉末法、气体法、料浆法等。气体法渗铝效率低; 粉末法虽应用广泛, 但其表面往往出现铝粉粘结, 影响表面光洁度。且渗铝剂利用率不高。

料浆法目前在国内研究还不太多、应用也很少, 但它操作简单, 可大大节省铝粉的用量, 表面光洁度也高<sup>[7]</sup>, 而且可进行局部扩散渗透处理, 不受工件形状的限制, 所以是最有前途的渗铝工艺。

本工作在总结前人粉末渗铝和料浆渗铝的基础上, 改进配方, 经过试验筛选, 以求完

\* 收稿日期: 1990.09.10

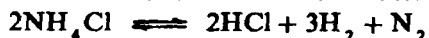
善和发展料浆渗铝工艺,为推广应用提供参考。

## 1 实验方法

### 1.1 料浆渗铝原理

料浆渗铝是在粉末装箱法的基础上发展起来的一种新工艺。

料浆渗铝时,当加热到一定温度,氯化铵开始分解,其具体反应如下:



反应的结果是析出活性铝,随即扩散进入钢内,形成表面合金层。

### 1.2 渗剂的组成

本文试验了三种渗剂: No.1、No.3号渗剂由铝粉(供铝剂)、氧化铝(松散剂)和活性剂组成。No.2号渗剂由铝粉(供铝剂)和活化剂组成。

把以下渗剂充分混合均匀后,加入粘结剂、均匀调和,即成料浆。为了保证渗铝层中铝含量适当,且使渗层具有较好的韧性,料浆中各组分的配比一定要适当。

### 1.3 渗铝材料和试样

试验采用 20<sup>#</sup>碳钢,试样加工成  $\Phi 15 \times 10\text{mm}$  圆柱。

### 1.4 渗铝工艺

渗前清理:试样经 0 号砂纸研磨后—除油—水洗—干燥,并测量尺寸,然后准备进行扩散渗铝处理。

浸浆:将料浆喷涂,浸涂在试样表面,在挂浆时一定要掌握好料浆的粘度。

干燥:试样挂浆后,先经自然干燥,然后再置于干燥箱中烘干,烘干温度一般在  $70^\circ\text{C} \sim 80^\circ\text{C}$ 。

装箱:将烘干试样装箱后密封,放入箱式加热炉中,加热到所需温度,保温一段时间后出炉—带箱水冷—开箱—水洗试样表面—用 6 号金相砂纸将试样轻轻研磨,以除去残留的渗剂及氧化皮。

### 1.5 渗层组织,结构和机械性能分析

用光学金相显微镜观察渗铝试样的显微组织并测量渗层厚度。

用显微硬度计测量渗铝层硬度。

用 X 线衍射仪测定了各种条件下的渗层相结构。

渗铝试样和未渗铝试样在慢应变速率试验机上测定机械性能。

1.6 将未渗铝钢和在不同条件下的渗铝钢试样分别放在  $700^\circ\text{C}$ 、 $800^\circ\text{C}$ 、 $900^\circ\text{C}$ 、 $1000^\circ\text{C}$  温度下保温 10 小时,用分析天平通过增重法测定了渗铝钢在大气环境中的热稳定性。

1.7 把渗铝钢和未渗铝钢试样分别浸入 3.5% NaCl 和 4.0%  $\text{NH}_4\text{Cl}$  溶液中浸泡 72 小时后,用分析天平通过失重法测定了腐蚀速率。

用恒电位仪测定了渗铝和未渗铝钢在 3.5% NaCl 溶液中的腐蚀电位。

## 2 实验结果及分析

### 2.1 渗剂效果比较

三种渗剂渗铝效果列于表 1 中。

表 1 渗剂效果比较

渗 剂	料浆厚度 (mm)	渗铝温度 (℃)	渗铝时间 (h)	渗铝厚度 ( $\mu\text{m}$ )	显微硬度 (Hm)	耐热性 <sup>*</sup> $\text{g}/\text{m}^2\text{h}$	表面状况
No.1	4	950	6	170	289	0.67	一般
No.2	4	950	6	145	289	0.21	有渗剂粘 结剥落
No.3	4	950	6	165	289	0.18	光亮

\* 900℃ 增重。

从表 1 可以看出, 在渗铝时间和温度相同条件下, No.3 渗剂与前两种渗剂在渗层厚度和显微硬度上区别都不大, 但耐热性比 No.1 高得多, 比 No.2 稍好, 但从表面状况来看, No.3 效果最佳。下面主要以 No.3 渗铝剂进行渗铝工艺及渗层结构及性能的探讨。

### 2.2 渗铝温度和时间对渗层的影响

渗铝温度对渗层厚度的影响见图 1。

渗铝时间对渗层厚度的影响见图 2。

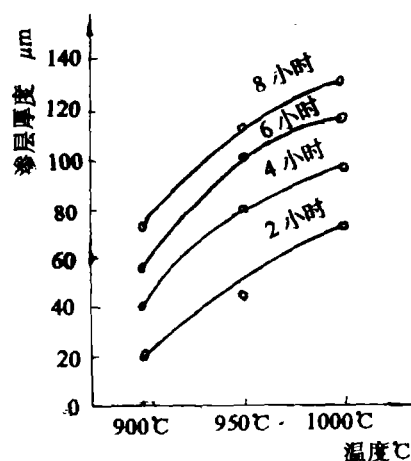


图 1 渗铝温度对渗层厚度的影响

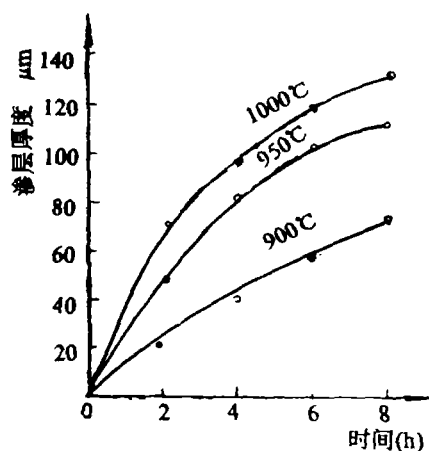


图 2 渗铝时间对渗层厚度的影响

2.2.1 可以看出: 碳钢渗铝时, 其渗铝厚度随温度的提高而增厚。这是因为铝与铁形成置换固溶体, 铝在铁中的扩散速度很慢, 随着渗铝温度的升高, 其渗铝扩散速度增加。加速渗铝似应采用高的渗铝温度。但温度太高会使钢件心部晶粒强烈粗化, 而导致机械性能大大降低, 另外还会给工艺上带来麻烦。温度太低, 渗铝速度减慢, 影响渗层

厚度<sup>(7)</sup>。我们认为以 950℃ 渗铝较适宜。

2.2.2 渗铝厚度随渗铝时间的增加而增加。开初较快, 4 小时后逐渐趋于平缓。虽然延长渗铝时间能提高铝层的厚度, 但它的效果远没有提高温度那显著。因为在保温一定时间后, 零件表面的铝已开始达到饱和状态, 此时渗铝层的厚度将完全取决于铝的扩散速率, 延长时间, 渗铝层厚度增加较慢<sup>(2)</sup>。

### 2.2.3 渗层结构和机械性能

对不同条件下渗铝钢都进行了 x-线结构分析, 分析结果见图 3, 其渗层表面组织均为铝在铁中的  $\alpha$  固溶体。它和 20 钢的衍射峰近似, 说明渗层含铝量在 35% 以下。这与铁铝状态图完全吻合。从金相照片上也可以看出渗层为单相柱状晶, 没有表面脆性相存在 (图 4)。这和 x-线结构分析是相一致的。

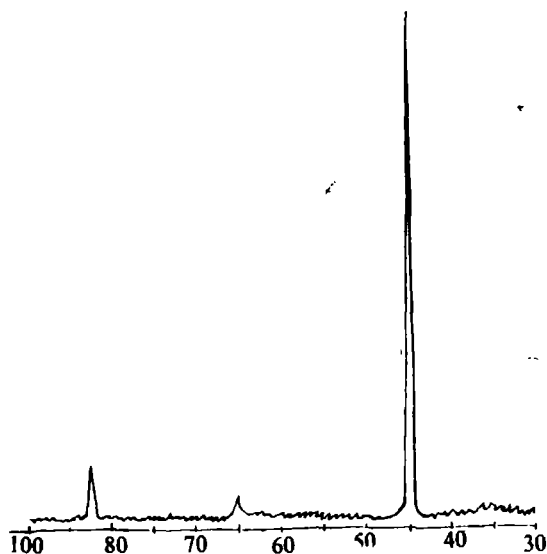


图3 渗铝层 X-线衍射图形

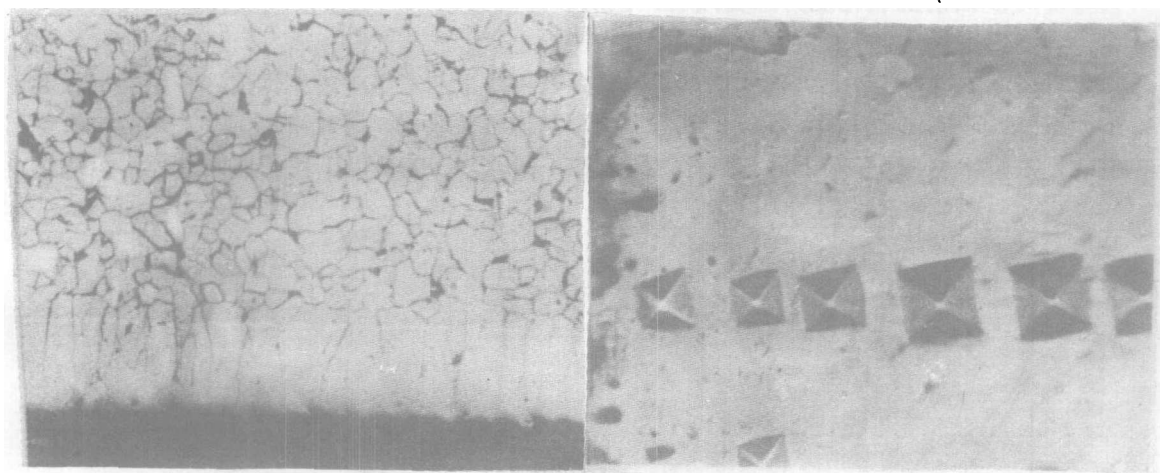


图4 渗铝层的显微组织 100X

图5 渗铝钢的显微硬度变化

金相照片(950℃ × 4h) 100X

渗铝钢的显微硬度见图 5 和图 6。显微硬度由高到低均匀过渡。其最高 Hm 为 304, 这和 x-线衍射仪分析结果一致, 当铝含量为 35% 以下时, 渗层为单相  $\alpha$  固溶体, 其硬度不超过 Hm 300<sup>(4)</sup>。

料浆渗铝钢对机械性能的影响见图 7。从拉伸曲线上可以看出, 渗铝钢和未渗铝钢  $\sigma_s$  大致相同,  $\sigma_b$  略有升高, 延伸率 ( $\delta\%$ ) 略有降低, 表明碳钢经渗铝后, 对其机械性能无显著影响。

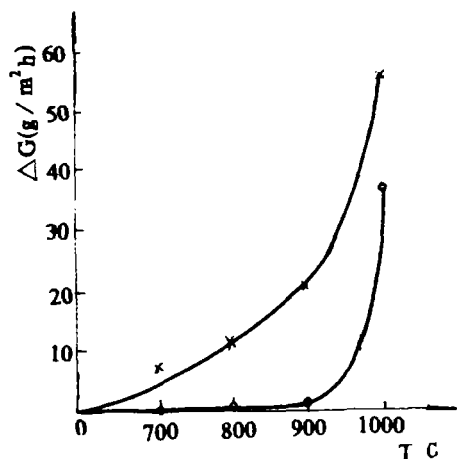
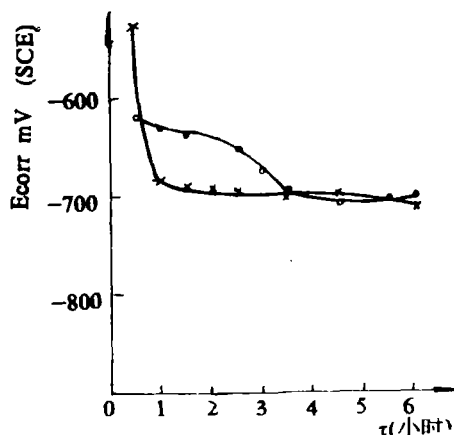


图6 渗铝钢的显微硬度变化曲线图

图7 渗铝钢和未渗铝钢  $\sigma$ - $\epsilon$  曲线图

## 2.4 抗高温氧化性

渗铝钢具有很好的耐热性能已被大家公认, 图8是渗铝钢和未渗铝钢高温氧化对比曲线。

从图8中不难看出, 渗铝钢在700℃保温10小时后, 渗铝钢无增重,  $\Delta G=0$ , 而未渗铝钢 $\Delta G=7.16\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ , 在800℃和900℃时的抗高温氧化性约是未渗铝钢的11倍, 在1000℃时渗铝钢抗氧化能力急骤减弱, 但从表面观察结果, 未渗铝钢氧化膜穿透破碎严重, 而渗铝钢氧化膜依然完好。

这是因为钢件渗铝后, 表面层的铝铁合金在高温下与空气中的氧作用, 在钢件表面形成一种致密的氧化铝薄膜, 能有效地保护内部基体不被氧化, 因此渗铝钢具有高的抗氧化性能。渗铝碳钢在800℃下具有很好的耐热性, 800℃~900℃以下使用也能胜任, 但使用温度再升高则其耐热性能大大降低。

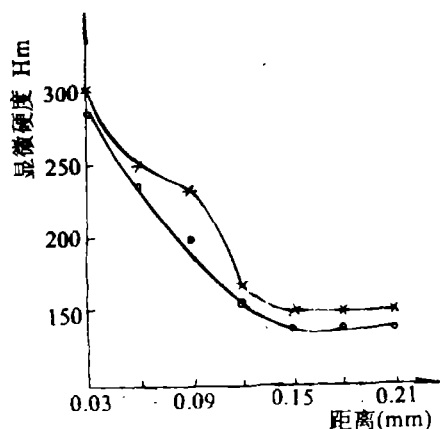


图8 渗铝钢和未渗铝钢高温氧化对比曲线

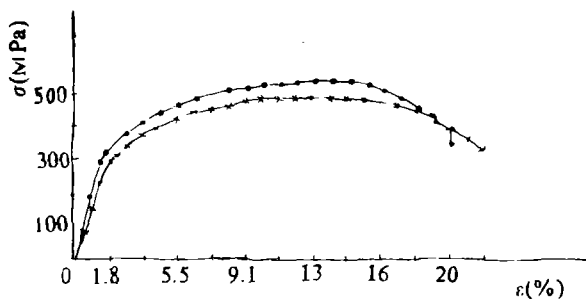


图9 渗铝钢和未渗铝钢的腐蚀电位

## 2.5 耐蚀性

本试验测定了渗铝钢在3.5% NaCl溶液中的腐蚀电位, 见图9, 由图可知渗铝钢和

未渗铝钢的腐蚀电位相差不大。

渗铝钢在很多腐蚀介质中具有良好的耐蚀性, 并在金属防腐蚀方面取得明显的效果, 由于时间有限, 我们仅在 3.5% NaCl 和 40%  $\text{NH}_4\text{Cl}$  溶液中用渗铝钢和未渗铝钢做了对比试验, 其实验结果见图 10 和图 11。

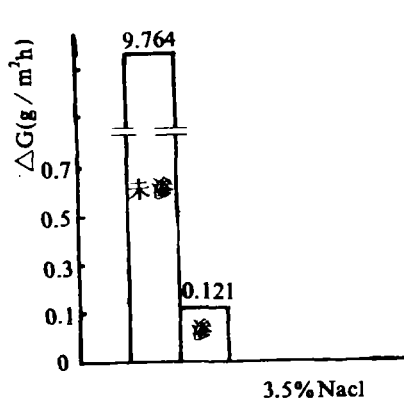


图 10 渗铝钢和未渗铝钢在 3.5% NaCl 溶液中的腐蚀失重对照示意图

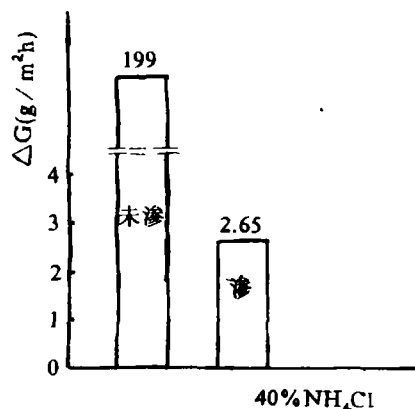


图 11 渗和未渗铝钢在 40%  $\text{NH}_4\text{Cl}$  溶液中的腐蚀失重对照示意图

以上试验数据证明渗铝钢无论是在 NaCl 介质中还是在  $\text{NH}_4\text{Cl}$  介质中都显示了很好地耐蚀性, 由此说明, 渗铝钢优良的耐蚀性能可以广泛地应用在海洋及含氯离子介质中工作的各种构件或管道等。文献<sup>[6]</sup>指出, 钢中含铝量达 8% 时可在表面形成连续致密的耐蚀性优良的氧化膜, 所以渗铝钢的优良的耐蚀性不是靠它的阴极保护作用, 而是靠其表面形成致密氧化膜的结果, 本实验结果和文献完全相吻合的。

### 3 结 论

综上所述, 可以引出以下结论:

- 3.1 本试验提出的三种渗铝剂, 渗铝效果 (渗层深度和质量) 都不错, 其中尤以 No.3 渗剂最佳, 不仅渗层深、均匀致密, 热稳定性好, 而且表面光洁, 易于清理, 具有推广价值。
- 3.2 本实验获得的渗层组织为单相富铝的固溶体, 含铝量不超过 35%, 无脆性层, 延展性好, 结合力强, 不易剥落, 对基体材料的机械性能无不利影响。
- 3.3 经本法扩散渗铝的 20 钢在 900℃ 以下工作耐热性优良, 可以长期使用, 1000℃ 以上耐热性下降。
- 3.4 经本法扩散渗铝的 20 钢耐蚀性好, 在 3.5% NaCl 水溶液中, 腐蚀速率降低 80.66 倍, 在 40%  $\text{NH}_4\text{Cl}$  水溶液中, 腐蚀速率降低 75 倍。

## 参 考 文 献

- (1) 明克维奇. 钢的化学热处理. 机械工业出版社, 1956
- (2) [苏] И·С利亚霍维奇主编, 孙一唐等译. 金属和合金的化学热处理手册. 上海科技出版社, 1986
- (3) 户燕平, 于福州合编. 渗镀. 1985
- (4) 化学热处理. 黑龙江人民出版社, 1981
- (5) [苏] Н·Н基金等著. 金属与合金的电化学热处理. 机械工业出版社, 1987
- (6) 顾国成, 吴文森. 钢铁材料的防腐涂层, 1987
- (7) 金相分析技术. 上海科技文献出版社, 1988
- (8) 高红霞. 料浆渗铝对奥氏氏不锈钢应力腐蚀断裂的影响. 郑州工学院研究生毕业论文, 1990

## An Investigation of Processes, Constitution and Properties of Paste Aluminising

Wang Suying

(Zhengzhou Institute of Technology)

**Abstract:** An investigation of processes, constitution and properties of paste aluminising has been performed under conditions of laboratory. A range of processes of paste aluminising was used to obtain various superficial layer and X-ray diffraction, metallographic, mechanical, electrochemical method, ect were used to clarify the constitution and properties of paste aluminising. The results show that all of the present paste aluminising layer of carbon steel are  $\alpha$ -Fe solid solution of monophase where aluminum is solved in, so it is possessed of greater elongation, not easy to peel off and crack. The resistance to corrosion of carbon steel is markedly increased by paste aluminising. In accordance with experimental data, the best process was found. In addition, for the process is simple and the surface of treated carbon steels is quite smooth as well as it is not limited to the shape of parts, paste aluminising may be a effective way of improving the resistance to corrosion of carbon steels.

**Keywords:** Paste aluminising, constitution of aluminising layer, solid solution of monophase, resistance to heat, resistance to corrosion