

# 喷粉前处理采用免水洗碱性硅烷工艺应用研究

肖相鹏, 李志军, 王晓丽, 秦友玉

(青岛海尔智慧厨房电器有限公司, 山东 青岛 266500)

**摘要:** 针对家电产品的五金喷涂工件在生产及使用过程中所遇到的生锈爆粉问题, 通过对常规酸性硅烷与免水洗碱性硅烷的成膜原理分析, 两种工艺处理后的工件防锈能力试验及实践比对, 结果表明在碱性硅烷前处理环境下, 工件防锈能力比酸性硅烷环境下大大提升, 更能解决工件易生锈爆粉问题。同时免水洗碱性硅烷工艺可在硅烷后取消水洗工序, 前处理工序由9道减少至6道, 节能降耗。故使用免水洗碱性硅烷可帮助企业优化喷涂工艺及成本改善。

**关键词:** 喷涂工艺; 酸性硅烷; 免水洗碱性硅烷; 前处理; 成本改善

中图分类号: TQ639 文献标志码: B 文章编号: 1007-9548(2024)03-0052-04

## Study on the Application of Water-free Washing Alkaline Silane Pretreatment before Powder Spraying

XIAO Xiang-peng, LI Zhi-jun, WANG Xiao-li, QIN You-yu

(Qingdao Haier Intelligent Cooking Appliances Co., Ltd., Qingdao 266500, Shandong, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of rusting and peeling in household appliances sprayed metal parts during production and use, through the analysis of the film forming principle of conventional acidic silane and water-free alkaline silane, the anti-rust ability test and practice comparison of the workpieces treated by the two processes. The results show that in the alkaline silane pretreatment environment, the anti-rust ability of the workpiece was greatly improved compared with that in the acidic silane environment, which can better solve the problem of easy rust and powder explosion of the workpiece. At the same time, the water-free alkaline silane process can spare the washing process after silane, and the workpiece pre-treatment process is reduced from 9 processes to 6 processes, saving energy and reducing consumption. Therefore, the use of water-free alkaline silane can help enterprises optimize the spraying process and improve the cost.

**Key words:** spraying technology; acid silane; water-free washing alkaline silane; pretreatment; cost improvement

### 0 引言

随着时代进步, 人们追求更高的物质生活水平, 家家户户都拥有空调、冰箱、烟机、灶具等家用电器。喷涂是当前家用电器外表面装饰及防锈、防潮以延长使用寿命的主要手段之一, 主要有塑胶部件的喷漆、真空电镀, 钣金部件的喷漆、喷粉、电泳、电镀等。其中钣金件

的喷粉工艺, 因其实用性及经济性, 被家电制造企业广泛采用, 但其制造过程中易生锈及涂层生锈后带来的爆粉等问题, 影响电器外观及性能, 成为急需解决的问题。家用电器钣金部件的涂层防锈性能, 除了涂料本身的防锈性能外, 前处理清洗后的工件防锈性也很关键。本文以 H 公司的喷粉生产为例, 对喷粉前处理免水洗碱性硅烷工艺进行研究, 并与常规酸性硅烷前处理工艺的防锈能力作对比, 找寻可使部件防锈能力提升及更有效、更经济的工件防锈、防爆粉问题解决方案。

### 1 喷粉前处理的作用

家用电器的钣金部件在加工成型及运输过程中,

收稿日期: 2023-10-23

作者简介: 肖相鹏(1965—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事家用厨房电器类产品的技术改善及管理研究工作。E-mail: xxp@haier.com。

往往会带有油污、灰尘、铁锈等影响喷粉涂层附着力的污物,尤其是冷板件,为了防生锈,通常会在板材表面涂上防锈油,甚至在其加工成型等过程中涂上拉伸油,而喷粉前处理的主要作用就是在钣金部件喷涂之前,去除其表面的油污、锈蚀及其他杂质等,以改善部件表面质量,提高表面涂膜的附着力。

常见的喷粉前处理工艺分喷淋和浸泡方式,主要有水洗、脱脂及成膜等9个工序,喷粉前处理工艺流程:热水洗→预脱脂→主脱脂→水洗1→水洗2→成膜(陶化或硅烷)→水洗3→水洗4→纯水洗。

## 2 喷粉常见的问题

对于家用电器的喷粉钣金件,市场典型抱怨问题为部件涂层爆粉,而涂层爆粉的主要原因为钣金件生锈。钣金件生锈爆粉,在企业生产过程中往往不易发现,通常是产品到了市场或用户家中才暴露问题,而且一旦发生便是批量问题,这也会给企业的质量口碑及成本带来损失隐患。因此,喷粉前处理除了要提高除油去污能力,还要防止部件生锈,以减少质量不良及其他损失隐患。

## 3 喷粉工件生锈因素分析

以H公司喷粉生产为例,对喷粉工件生锈因素进行分析,主要存在以下5种情况:1)钣金毛坯本身上挂前已生锈;2)工件前处理脱脂清洗后至成膜期间,钣金件水洗时在高温、高湿环境下生锈;3)工件成膜后至烘干前生锈;4)工件从检件处取下未及时返工,放

置时间过久生锈;5)异常情况,前处理及炉子内掉落工件产生生锈。

## 4 喷粉前处理工件生锈试验分析

目前H公司喷粉前处理采用的是常规无磷成膜(酸性硅烷)工艺,在夏季高温高湿环境下,工件经前处理后容易生锈,导致材料成本损失高。

根据金属铁与酸反应快,与碱反应慢的化学性质,钣金工件在现酸性硅烷条件下,同时又在高温高湿环境中,铁金属活性较大,极易生锈。而在碱性条件下,在相同的环境中,铁金属的活性相对较低,则不易生锈。基于这个原理,对前处理成膜剂配方进行更改,采用碱性硅烷新工艺来处理钣金材质工件,并对改后工件前处理清洗后生锈情况及喷粉后的喷粉涂层性能与现酸性硅烷工艺做对比试验,来验证新工艺的可行性。试验从工件前处理脱脂清洗后至成膜前生锈、工件前处理成膜后至烘干前生锈、工件前处理后从检件处取下放置时间过久生锈、工件喷粉后经过一段时间涂层爆粉(市场抱怨)等几个方面进行。

### 4.1 工件前处理后生锈模拟试验

前处理湿热环境下工件生锈时间分别用现酸性硅烷工艺与新前处理免水洗碱性硅烷工艺进行对比试验(试验1),结果如下:1)现酸性硅烷工艺,在脱脂3min后开始生锈,成膜后5min开始生锈,时间对比分析见表1。2)新前处理免水洗碱性硅烷工艺,在脱脂清洗6min后开始生锈,成膜10min后开始生锈。

表1 现酸性硅烷工艺脱脂与成膜时间对比

项目	酸性硅烷-脱脂与成膜生锈时间		酸性硅烷-成膜后再增加水洗后生锈时间		
	脱脂	成膜	成膜+水洗1	成膜+水洗1+水洗2	成膜+水洗1+水洗2+纯水洗
开始生锈时间/min	3	5	9	9	10

试验对比结论:在湿热环境中(模拟前处理棚体内环境),新免水洗碱性硅烷工艺防锈能力最好,临时停线5min以内基本不会生锈,能解决工件前处理生锈问题。

### 4.2 工件前处理烘干后生锈试验

工件前处理清洗并烘干后,从检件处取下,未及时返修,放置时间过久生锈。两种工艺前处理烘干后,对喷粉工件生锈时间进行对比(试验2),结果免水洗碱性硅烷工艺处理后的工件抗生锈时间最长,达到2500min不生锈(见表2)。

### 4.3 工件喷粉后盐雾试验

工件喷粉过一段时间后涂层爆粉,对喷粉样板进行潮态盐雾试验(试验3),结果见表2。

表2 烘干及盐雾试验生锈时间对比

项目	烘干未生锈时长/min	盐雾未生锈时长/h	对比结果
现酸性硅烷工艺	940	120	差
新免水洗碱性硅烷工艺	2500	240	优

### 4.4 试验结果

1)工件前处理脱脂清洗后至成膜前间距约23m,按线速6.5m/min算,工件脱脂后到成膜至少需要3.5min时间,通过试验1可知,现工艺脱脂后3min后生锈,新工艺6min后生锈,故该区域工件生锈概率最大,现工艺易生锈,新工艺能更好地满足要求。

2)工件前处理成膜后至烘干前间距约60m,工件成膜后到进烘干炉的时间约9.2min,通过试验1可

知,现工艺成膜后再经3道水洗10 min后生锈,新工艺10 min后生锈,故该区域工件生锈概率也存在,现工艺和新工艺都满足要求。

3)工件从检件处取下未喷粉放置,通过试验2可知,现工艺工件在940 min后开始生锈,而新工艺工件在2 500 min后才开始生锈,新工艺耐生锈时间最长,避免工件因没及时返工而生锈。

4)工件喷粉后经过一段时间涂层爆粉(市场抱怨问题),通过试验3可知,只有新工艺的喷粉样板耐盐雾能达到240 h以上,可大大降低市场烟机部件爆粉

风险。

综上所述,通过试验验证,工件在前处理免水洗碱性硅烷处理后,工件耐生锈能力比现工艺强,且满足喷粉各项性能要求,用于生产是可行的,同时能有效解决工件易生锈问题及市场产品部件爆粉问题。

## 5 前处理工艺改善实施

### 5.1 免水洗碱性硅烷前处理工艺对比

对锆系、普通硅烷、免水洗碱性硅烷的工艺进行比较,锆系、普通酸性硅烷前处理工艺见图1,免水洗碱性硅烷工艺见图2。

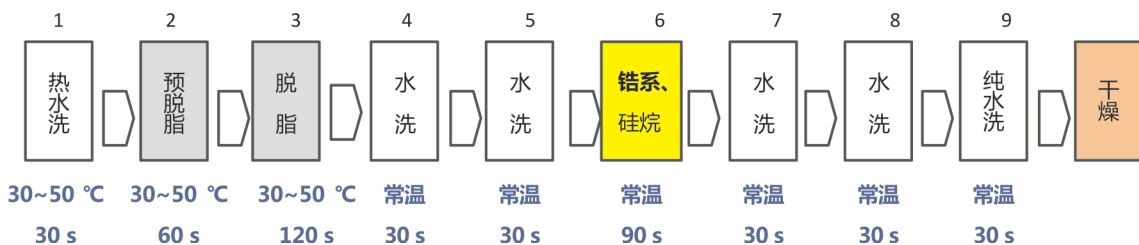


图1 普通酸性硅烷前处理工艺

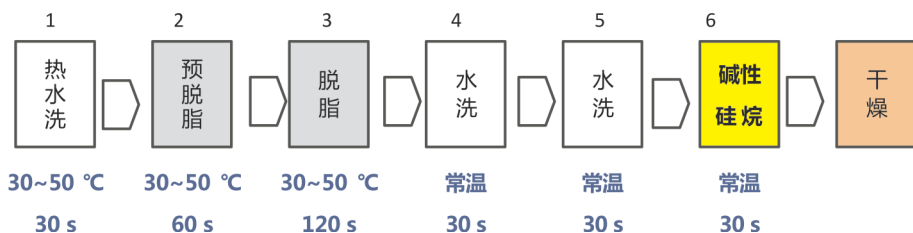


图2 碱性硅烷前处理工艺

### 5.2 成膜原理

1)锆系成膜原理:硝酸盐在氟锆酸的作用下,与基材反应生成锆酸盐沉积。

2)普通硅烷成膜原理:硝酸盐在氟锆酸的作用下,与基材反应生成锆酸盐沉积,同时有机物与基材以氢键的方式填充了无机膜的部分空隙。

3)免水洗碱性硅烷成膜原理:硅烷水解后通过其SiOH基团与金属表面MeOH基团(M表示金属)的缩水反应而快速吸附于金属表面;一方面硅烷在金属界面上形成Si—O—Me共价键;剩余的硅烷分子通过SiOH基团之间的缩聚反应在金属表面形成具有Si—O—Si三维网状结构的硅烷膜。该硅烷膜在烘干过程中和后道的电泳漆或喷粉通过交联反应结合在一起,形成牢固的化学键。这样,基材、硅烷和油漆(粉末)之间可以通过化学键形成稳固的膜层结构。

### 5.3 碱性硅烷产品特性及优点

1)碱性硅烷处理剂在常温下不会与工件发生反应,只有在高温烘干过程中才反应成膜,所以工件经碱

性硅烷处理后建议尽快烘干。

2)由于碱性硅烷处理剂在常温下不会与工件发生反应,所以在生产过程中工件并没有因为反应而消耗药剂,只是会带走药剂,因此减少带液量,才能更好节省成本。

3)碱性硅烷产品的优点:首先免水洗碱性硅烷成膜后工件可裸膜放置1~15 d不锈,且适合所有金属共线处理;其次非反应性成膜,低消耗,主要为带液消耗,缩短了整个前处理工艺,真正做到完全无渣,减少维护成本;再者不含重金属(铅、锌、镍、锰)、无磷,检测方法简单,只检测槽液中的pH,可实现在线实时监控自动加药,同时能免水洗、常温处理,节水、节能,傻瓜式工艺,操作简单。

### 5.4 两种工艺综合分析

1)工艺对比:新前处理免水洗碱性硅烷工艺比现酸性硅烷工艺少3道工序,月底开槽时可节省4~5 h的换水时间。

2)质量对比:新前处理免水洗碱性硅烷工艺处理

后,工件比现工艺更耐生锈及耐 240 h 潮态盐雾,有利于降低家电产品因部件爆粉生锈造成的损失,质量对比见表 3。

表 3 质量对比分析

项目	停线生锈测试		潮态盐雾	
	旧工艺	新工艺	旧工艺	新工艺
耐生锈时间	1 min	10 min	180 h	240 h
结论	差	优	差	优

3) 药剂成本对比:前处理免水洗碱性硅烷工艺比现工艺单位面积成本下降约 0.1 元/m<sup>2</sup>,按年喷粉 200 万 m<sup>2</sup> 计算,降低成本约 20 万元。

### 5.5 应用结果及收益

H 公司喷粉线前处理切换免水洗碱性硅烷工艺已正常运行超 2 年,期间喷粉前处理工件清洗生锈问题得到避免,市场未出现批量产品部件喷粉涂层生锈及爆粉抱怨,大大改善企业产品的质量及市场口碑。现喷粉前处理免水洗碱性硅烷工艺流程及参数控制见图 3。



图 3 前处理免水洗碱性硅烷工艺流程及参数

工艺改善后的经济收益:

1) 每年水电费用可节省 22 万元,其中少用成膜槽、水洗 4 和纯水洗槽 3 个水槽,共停用 4 个水泵电机,单个电机功率为 11 kW,年节省电费约 21 万元;同时年可节省用水 21 t,年节省用水费及污水处理费用约 1 万元。

2) 药剂用量减少,原材料成本降低约 20 万元。

3) H 公司喷粉前处理升级为免水洗碱性硅烷新工艺,仅水电及药剂节省费用,年总收益约 42 万元。

## 6 结语

以上试验所有数据取自 H 公司,行业中各厂家会有不同,可根据实际情况做适当调整。关于是否切换免水洗碱性硅烷工艺,应以各厂家产品的实际情况来进行推动,目前 H 公司所属集团已有多家工厂使用该工艺。

### 参考文献:

[1] 李萍,李拉练,李伟青.钢铁表面处理工艺问题探讨[J].现代

涂料与涂装,2008(8):46-47.

[2] 中国国家标准化管理委员会.GB/T 1771—2007 色漆与清漆耐中性盐雾性能的测试[S].北京:中国标准出版社,2007.

[3] 冯世芳.新颁化工行业标准 HG/T 2006—2006《热固性粉末涂料》与被代替标准的主要差异[J].中国涂料,2007(7):9-12.

[4] 张玉,亓海滨,刘娥,等.涂装前硅烷化处理工艺研究[J].现代制造技术与装备,2021(6):97-99. ◆

## 勘 误

2024 年第 1 期第 49 页右下倒数第 4 行“保证室温到 9 °C……”应为“保证室温到 90 °C……”,特此更正!