

# 冷轧板表面粗糙度与薄膜前处理效果的关系研究

王金星<sup>1</sup>, 阮国庆<sup>1</sup>, 郭翰铭<sup>1</sup>, 王瑛喆<sup>2</sup>, 张蕾<sup>2</sup>, 田润生<sup>2</sup>

(1.鞍钢股份有限公司冷轧厂, 辽宁鞍山 114021; 2.沈阳帕卡瀚精有限公司, 沈阳 110042)

**摘要:** 主要研究了冷轧板表面粗糙度差异对后续涂装工艺的影响。通过对冷轧板粗糙度、微观形貌进行分析, 并结合前处理、电泳涂装对样板膜重、电泳机械性能以及防腐性能等多种项目的考察, 验证了冷轧板粗糙度差异与前处理、电泳的涂装效果的关系。

**关键词:** 涂装; 粗糙度; 薄膜前处理; 盐雾试验

中图分类号: TQ639 文献标志码: B 文章编号: 1007-9548(2025)02-0019-04

## Research on the Relationship between Surface Roughness of Cold Rolled Sheet and the Effect of Film Pretreatment

WANG Jin-xing<sup>1</sup>, RUAN Guo-qing<sup>1</sup>, GUO Han-ming<sup>1</sup>, WANG Ying-zhe<sup>2</sup>, ZHANG Lei<sup>2</sup>, TIAN Run-sheng<sup>2</sup>

(1.Cold Rolled Strip Steel Mill of Angang Steel Co., Ltd., Anshan 114021, Liaoning, China;

2.Shenyang Parkerizing Co., Ltd., Shenyang 110042, China)

**Abstract:** In this paper, the influence of surface roughness difference of cold rolled plate on the subsequent coating process is explored. In the process of the experiment, the roughness and micro-morphology of the cold-rolled sheet and the coating effect of the pre-treatment and electrophoresis was verified by investigation of various items such as the thickness of the sample film, the mechanical properties of electrophoresis and the corrosion resistance.

**Key words:** coating; roughness; thin film pre-treatment; salt spray test

## 0 引言

以往在汽车车身的选材方面, 一般优先考虑所选板材的力学性能, 即所选材料是否具有所需要的强度及延展性等, 忽略了材料在涂装环节的重要性。而随着汽车工业的发展, 汽车主机厂在车身防腐方面愈发关注, 因此对于涂装工艺的要求也就愈发严格。

在钢卷的轧制过程中, 轧辊磨损会导致轧制的板材粗糙度逐渐升高, 而粗糙度的差异又会对后续涂装工艺产生影响; 为研究粗糙度对涂装工艺的影响, 摸索出合理的前处理工艺参数范围, 开展相关试验研究。

收稿日期: 2024-01-11

作者简介: 王金星(1970—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事冷轧板、镀锌板、彩涂板表面质量、微观形貌研究和轧辊、工艺辊、轧制油等关键工具及原材料的研究工作。E-mail: wjx19702000@163.com。

当前汽车涂装中磷化处理仍广泛应用, 区别于传统磷化处理工艺, 薄膜前处理工艺以其不含重金属及磷酸盐、可以常温处理、废渣量大幅减少且处理效果与传统磷化处理基本相当等众多特点, 成为替代磷化的绿色环保技术, 并逐步得到推广应用。考虑到薄膜前处理工艺在未来汽车产业中的巨大潜能, 本次开展的试验中, 前处理工艺的选择也聚焦于薄膜前处理。

## 1 试验考察项目

### 1.1 薄膜前处理微观形貌及膜重考察

薄膜前处理技术的反应机理, 主要是氟锆酸在水中电离产生氟锆酸根并为槽液提供酸性环境, 当金属基材浸入槽液中发生刻蚀反应并在其表面生成氧化锆及氢氧化锆的化学成膜过程。通常来说检验样板的成膜情况是检验前处理工艺效果的重要指标, 因此除检验薄膜反应后的皮膜外观是否生锈、外观均匀以外, 还可以通过仪器测定样板表面的微观形貌和皮膜膜重。

### 1.1.1 薄膜微观形貌分析

SEM(扫描电子显微镜)是一种利用高能聚焦电子束扫描样品表面,从而获得样品信息的电子显微镜。电镜中的电子束具有一定能量,通过入射电子释放能量,产生各种携带样品特征的物理信号,扫描电镜成像如同电视机一样,利用电子束扫描功能实现。

1)使用 SEM 分析不同粗糙度的样板薄膜处理后的微观形貌

首先对粗糙度为  $1.35\ \mu\text{m}$  的冷轧板进行薄膜处理,使用 SEM 分析其微观形貌,结果见图 1 所示。

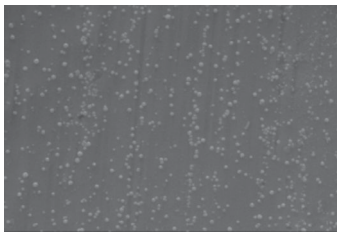


图 1 薄膜处理后样板的微观形貌 - 高粗糙度(5 000 倍)

然后对粗糙度为  $0.954\ \mu\text{m}$  的冷轧板进行薄膜处理,使用 SEM 分析其微观形貌,结果见图 2 所示。

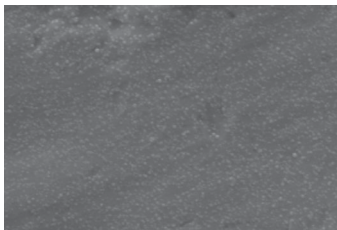


图 2 薄膜处理后样板的微观形貌 - 低粗糙度(5 000 倍)

两种粗糙度不同的样板经过相同条件的薄膜处理后,微观形貌也略有差异,具体表现为:在相同倍数下,粗糙度低的样板成膜更加致密。

2)使用 SEM 分析同种粗糙度的样板在不同前处理条件下的微观形貌

使用 SEM 分析粗糙度为  $1.35\ \mu\text{m}$  的冷轧板磷化处理后的微观形貌,结果见图 3 所示。

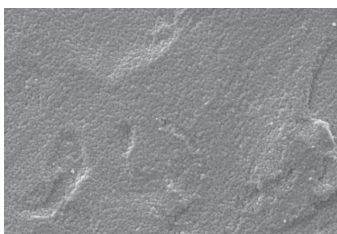


图 3 磷化处理后样板的微观形貌 - 高粗糙度(1 000 倍)

使用 SEM 分析粗糙度为  $1.35\ \mu\text{m}$  的冷轧板薄膜处理后的微观形貌,结果见图 4 所示。

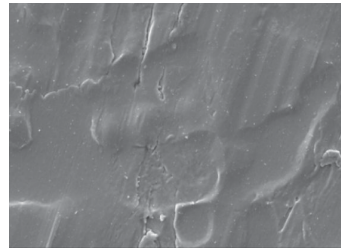


图 4 薄膜处理后样板的微观形貌 - 高粗糙度(1 000 倍)

同种粗糙度的样板经过薄膜处理与磷化处理后微观形貌上的区别:在低倍数放大观测下,薄膜处理后的样板成膜情况不如传统磷化看起来更为直观,是因为薄膜处理形成的皮膜较薄,但在该条件下进行观测,也能更好地发现板材成膜情况是明显受到基材本身粗糙度影响的。

### 1.1.2 薄膜膜重检测

检测样板表面皮膜膜重的仪器为 X 荧光光谱仪,是对样品进行元素分析的系统,高压(50 kV)作用于 X 射线管,由靶材产生初级 X 射线。在定性分析中,初级激发被测样品,从样品中激发出各元素的特征 X 射线(又叫 X 射线荧光),之所以叫做特征射线是因为不同元素所放出的 X 射线具有特定的能量特性或波长特性,随后将这些放射出来的特征 X 射线使用探测系统测量其能量或波长,被探测到的元素其原子受到高能辐射激发从而引起其原子内层电子的跃迁,同时发射出与其他射线特性不同的波长的 X 射线,简单来说,只要测出 X 射线荧光的波长或能量,就可以知道元素的种类;而在定量分析中,通过测角器进行光谱分光,可以测定各谱线的强度。

结合薄膜前处理的成膜机理,需要使用 X 荧光光谱仪对薄膜处理后的样板表面进行 Zr 元素的 X 荧光射线强度测定,所测得的数据单位为  $\text{mg}/\text{m}^2$ ,指在单位面积上 Zr 元素成膜的质量,简称为膜重。

## 1.2 电泳外观及机械性能考察

车身完成电泳处理后涂装前处理对电泳漆涂层质量有较大影响,板材表面的油污、氧化皮锈蚀、固体附着物都会对电泳效果产生较大影响。

综上所述,电泳后样板的外观及附着力情况同样是对前处理工艺效果的重要反馈。本次试验中为检验电泳后样板的涂层质量,分别进行了百格验证、杯突验证及冲击验证。

## 1.3 盐雾效果考察

盐雾试验的主要目的是考核金属材料的耐盐雾腐蚀性能,在汽车行业当中也一直将盐雾试验结果视为对产品质量的判定,同时中性盐雾试验的结果是现在大多数汽车行业对涂装工艺质量的重要判断依据。本

文按照 GB/T 10125—2012《人造气氛腐蚀试验盐雾试验》进行盐雾试验。

中性盐雾试验条件:温度要求在 $(35\pm 2)$  °C之间,氯化钠溶液浓度要求在 $(50.0\pm 0.5)$  g/L,pH要求在6.5~7.2之间,试验周期为1 000 h。

综上所述,为验证板材粗糙度对前处理及后续涂装的影响并摸索出最佳的前处理工艺条件,本次试验共计设立5项考察内容,见表1所列。

表1 试验考察项目

验证项目	验证内容
薄膜前处理外观	验证冷轧板薄膜前处理后的外观情况 (是否有生锈、是否成膜均匀)
前处理膜重	标准:20~100 mg/m <sup>2</sup> ; 验证前处理后膜重是否在范围内
电泳外观	验证电泳漆膜外观状态、膜重及粗糙度 (是否有颗粒等)
机械性能	验证百格、杯突、冲击
防腐性能	验证1 000 h的盐雾效果

## 2 试验条件

### 2.1 试验板材

试验板材为两种粗糙度不同的冷轧板。在冷轧板样板选取过程中,钢厂方面考虑验证轧辊磨损对板材的影响,因此在更换新轧辊时选取一部分钢卷作为试验用样板A,随着钢卷生产、轧辊磨损后选取一部分钢卷作为试验用样板B;经测定试验用样板A的粗糙度为1.35 μm;试验用样板B的粗糙度为0.954 μm。

### 2.2 前处理药剂

本次试验中脱脂剂控制参数包括游离碱、处理温度及处理时间;薄膜处理剂控制参数包括pH、游离氟浓度、Zr浓度、处理时间及处理温度。具体的前处理药剂控制指标见表2所列。

表2 前处理药剂控制指标

试验药剂	指标名称	参数范围
脱脂剂	游离碱/pt	12~15
	处理温度/°C	45~50
	处理时间/min	3
薄膜处理剂	pH	4.0~4.5
	FF/( $\times 10^{-6}$ )	20~40
	Zr浓度/( $\times 10^{-6}$ )	10~20
	处理时间/min	2~3
	处理温度/°C	25~35

### 2.3 电泳漆及电泳参数

本次试验选用配套薄膜高泳透力电泳漆,已排除干扰试验的风险,电泳漆的控制参数及电泳施工条件具体见表3所列。

表3 电泳主要参数

电泳漆名称	指标名称/施工条件	参数范围
配套薄膜 高泳透力电泳漆	固体分/%	19~24
	灰分/%	14~21
	pH	5.2~6.6
	电导率/( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	1 300~2 400
	MEQ值	20~30
	电泳电压/V	200~350
	电泳温度/°C	28~30
	电泳时间/s	150~240
	烘烤条件	$(170\pm 2)$ °C $\times 20$ min

## 3 试验过程

### 3.1 前处理

观察两款样板表面,均有少量油污及固体附着物等,为达到最佳前处理效果,按照下列流程开展试验。首先固定脱脂条件,使其能够充分除去样板表面油污及各种附着物,随后固定水洗工序,再工业水冲洗,清洗净样板表面残留脱脂剂后,再用纯水二次冲洗,洗去样板表面残留工水,接着进行薄膜化成。在化成过程中,设计三组试验条件,使处理后样板的膜重分别处于低、中、高的水平。化成后再进行工水冲洗接着用纯水二次冲洗,然后进行电泳处理。具体的前处理流程为:脱脂→工水洗→纯水洗→化成→工水洗→纯水洗→电泳。

#### 3.1.1 脱脂

配置8 L脱脂剂,升温至46 °C并开启循环,检测脱脂剂游离碱含量为 $1.5\times 10^{-5}$ ,脱脂处理时间控制在3 min,所有参数均在控制范围内,同时在脱脂处理时,使用无纺布擦拭样板表面,彻底清洗样板表面油污及各种附着物。

经过脱脂处理后,两种粗糙度的样板表面均无油污及其他附着物,表面光滑整洁

#### 3.1.2 薄膜处理

由于薄膜处理药剂使用纯水配置,为保证槽液电导率的稳定性,脱脂后除了用工业水清洗样板表面残留脱脂剂后,还需要用纯水再次冲洗。为摸索出最佳处理方案,本次试验中共采取了3种薄膜处理条件,对游离氟浓度,反应时间及反应温度有不同程度的调整,分别使处理后的样板膜重处于低、中、高3个级别。具体的薄膜处理条件见表4所列。

表4 薄膜处理条件

编号	pH	FF/ ( $\times 10^{-6}$ )	Zr 浓度/ ( $\times 10^{-6}$ )	反应时间/ min	反应温度/ ℃	膜重级别
1	4.2	35	14	2	26	低膜重
2	4.2	30	14	3	30	中膜重
3	4.2	20	14	3	30	高膜重

每组板材按照表4中的化成条件进行制板试验,在外观表现方面,各组样板均外观良好,样板表面呈均匀的金黄色或蓝色,无生锈情况;随后对各组样板进行粗糙度及膜重检测,结果见表5所列。

表5 样板粗糙度及膜重

板材与条件	粗糙度 Ra/ $\mu\text{m}$	膜重 1/ ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$ )	膜重 2/ ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$ )	平均膜重/ ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$ )
A 板材高膜重	1.377	48.75	55.21	51.98
B 板材高膜重	0.969	58.19	67.78	62.99
A 板材中膜重	1.358	48.35	44.52	46.44
B 板材中膜重	0.971	45.87	43.34	44.61
A 板材低膜重	1.365	39.72	40.08	39.90
B 板材低膜重	0.960	33.65	35.28	34.47

对于两组板材来说,高膜重范围在  $50\sim 60\text{ mg/m}^2$ ,中膜重为  $45\text{ mg/m}^2$  左右,低膜重则在  $30\sim 40\text{ mg/m}^2$  之间;而对于粗糙度来说,每种试验条件之间区别不大。

### 3.2 电泳

为避免工序间生锈、保证电泳质量,化成后两道水洗完毕直接湿膜电泳,同时采用控制变量法,试验过程中始终保持3组试验板材电泳条件一致,电泳电压为270 V,电泳时间3 min,电泳温度保持在30℃。电泳后将样板放置于烘箱中175℃烘干20 min。

#### 3.2.1 电泳后样板状态

烘干后的样板冷却至室温,观察电泳后样板表面状态,外观良好,无颗粒、印痕等问题,随后对各组样板的电泳膜厚及粗糙度进行测定,具体的电泳条件及样板情况见表6所列。

表6 电泳条件及样板情况

试验组	电泳电压/ V	电泳时间/ min	电泳温度/ ℃	电泳膜厚/ $\mu\text{m}$	粗糙度 Ra/ $\mu\text{m}$
A、B 板 高膜重	270	3	30	18~19	A:0.317 6 B:0.246 5
A、B 板 中膜重	270	3	30	16~18	A:0.321 1 B:0.243 8
A、B 板 低膜重	270	3	30	17~19	A:0.313 5 B:0.239 6

### 3.2.2 机械性能测试

对样板进行机械性能测试,包括3项测试项目:百格、冲击和杯突,机械性能测试标准见表7所列。

表7 机械性能测试标准

项目	百格标准	耐冲击标准	杯突标准
标准号	ISO 2409—2007	GB/T 1732—1993	GB/T 9753—2007
标准内容	0级:划格范围内无任何脱落现象且切割边缘光滑整齐	50 cm 条件下,3次试验均未观察到裂纹、皱纹及剥落现象	压陷深度6 mm 漆膜仍未开裂

按照上述标准对样板进行检测,测试结果为各组样板均能顺利通过3项机械性能测试,具体测试结果见表8所列。

表8 机械性能测试结果

试验组	附着力 (百格 1 mm×1 mm)/级	耐冲击测试 (50 cm)	杯突测试/ mm
A、B 高膜重	0	通过	6
A、B 中膜重	0	通过	6
A、B 低膜重	0	通过	6

### 3.2.3 盐雾试验

根据 GB/T 10125—2012 对处理后的样板进行盐雾试验,每组条件每种板材各取3块板,按标准进行包边及划线处理,随后进行1 000 h的盐雾试验。

### 3.3 试验结果

1 000 h 盐雾试验后取出样板,为减少腐蚀产物的脱落,样板在清洗前放在室内自然干燥1 h,然后用自来水轻轻清洗样板以除去表面残留的盐雾溶液,同时用裁纸刀轻轻剥去表面浮锈,接着用吹风机快速吹干,考察样板表面扩蚀情况,具体结果见表9所列。

表9 盐雾试验结果

试验组	1 000 h 盐雾扩蚀/mm			平均值/mm
A 低膜重	2.29	2.37	2.18	2.28
A 中膜重	1.63	1.77	1.97	1.79
A 高膜重	1.62	1.85	1.69	1.72
B 低膜重	1.75	1.99	2.02	1.92
B 中膜重	2.23	2.16	2.12	2.17
B 高膜重	1.95	1.90	1.91	1.92

## 4 试验结果

经过以上试验验证,结论如下:

1)不同前处理条件配套的冷轧板(下转第25页)