doi：10.3969/j.issn.1001-3849.2019.05.004

喷砂工艺对水性涂装涂层附着力的影响

李宝增,张红恩,苗晓军,范艳艳,林生军
（平高集团有限公司,河南 平顶山 467001）

摘要：水性涂装技术由于涂层与基体的附着力不良成为制约其广泛应用的关键。为了提高水性涂装涂层与基体的附着力,本文通过改变前处理喷砂的方式系统研究了涂层的系列组织与性能。结果表明,喷砂处理后试样粗糙度数值越大,涂层附着力越高,耐腐蚀性能越好。当其粗糙度约为27.9 μm时,涂层附着力最大可达10.6 MPa;当试样喷砂处理后粗糙度介于23.3~24.5 μm之间,涂层附着力最大可达9.3 MPa;而粗糙度数值约为18 μm的涂层附着力最大约为7.6 MPa。

关键词：水性涂料;喷砂;附着力;耐腐蚀
中图分类号：TQ638　　**文献标识码：**A

Effect of Sandblasting Process on Adhesion of Waterborne Coating

LI Baozeng，ZHANG Hongen，MIAO Xiaojun，FAN Yanyan，LIN Shengjun
（Pinggao Group Co.，Pingdingshan 467001，China）

Abstract：The adhesion between coating and substrate prepared by waterborne coating technology is not very good，and it has become the key to restrict its wide application. In this paper，the microstructure and properties of coatings were systematically studied by changing the way of pre-treatment sand blasting. The results showed that the greater the roughness of the sample after sandblasting，the higher the adhesion of the coating and the better the corrosion resistance. When the roughness is about 27.9 μm，the maximum adhesion of the coating could reach 10.6 MPa；When the roughness is about 23.3~24.5 μm，the maximum adhesion of the coating could reach 9.3 MPa；When the roughness is about 18 μm，the maximum adhesion of the coating is about 7.6 MPa.

Keywords：waterborne coating，sandblasting，adhesion；corrosion resistance

目前水性金属防腐涂料在技术以及推广方面仍然存在着很大的挑战,绝大部分水性金属防腐涂料的综合性能远不如溶剂型金属防腐蚀涂料产品[1-3],其主要问题是涂膜附着力与耐腐蚀性能差。尽管水性金属防腐涂料与溶剂型相比还存在一定差距,但是在科研工作者的不懈努力之下,近年来水性金属防腐涂料的研究仍然取得了很大的进步。研究表明影响涂料使用性能的关键问题之一是施工工艺,由于自身成分所限,水性涂料采用常规涂装生产工艺进行施工,如采用化成溶液清洗,然后进行涂装施工并不能得到满足使用要求的涂层[4-5]。而采用电泳、喷砂方式可以有效提高涂层与基体的附着力,但是电泳方式由于作业条件限制,并不能普遍推广使用[6-7]。而对于喷砂来讲,已有文献报道

收稿日期：2018-11-15　　修回日期：2018-12-04

均证实可以提高附着力与耐腐蚀性能,但是具体施工仍旧存在诸多问题,附着力不良,耐腐蚀性能有限。

所以本文针对铝合金基材综合喷砂考虑喷嘴口径、压力、枪口到零部件的距离(简称距离)、砂砾粒径、走枪速度等因素,设计实验方案,以求证现有生产条件下零部件能够达到最佳表面粗糙度的工艺参数。提高涂层与基体的结合力,提高涂层的耐腐蚀性能,为生产提供借鉴。

1 实验部分

1.1 水性涂装体系设计与基材选择

水性涂装体系设计:水性环氧树脂底漆+水性聚氨酯面漆。实验基材为6063基材,试片规格为(100 mm×70 mm×1 mm),原始粗糙度约为1.6 μm。

1.2 前处理施工工艺

综合考虑前期生产与实验结果,选择喷砂施工工艺技术参数:喷嘴口径为0.6 mm,压力为0.4~0.5 MPa,砂砾粒径为100~120目,距离为600 mm与900 mm,走枪速度分别为0.5 m/s与1 m/s。前处理施工工艺如表1所示。

表1 前处理施工工艺

工艺	喷嘴口径/mm	压力/MPa	砂砾粒径/目	距离/mm	走枪速度/(m·s^{-1})	备注
1	0.6	0.4~0.5	100~120	600	0.5	每种工艺测试3个样品,用于验证工艺稳定性。
2					1.0	
3				900	0.5	
4					1.0	

1.3 涂装工艺

工艺过程:底漆→底漆→烘干→面漆→面漆→烘干。

底漆施工:喷孔直径为2~3 mm,空气喷出压力为0.3~0.4 MPa;喷涂两遍,烘干温度为80~100 ℃,烘干时间2 h,控制底漆干膜厚度为30~55 μm。

面漆施工:同底漆,控制漆膜总厚度为80~110 μm。

1.4 性能检测

参考GB4956-2003采用DP-2100膜层测量仪测试厚度,分别测试底漆与面漆;参考GB5120-2006采用DeFelskoAT-A拉拔仪测试涂层结合力;采用Mitutoyo SJ210粗糙度测试仪检测喷砂后试片的表面粗糙度。参考GBT10125-2012采用JST-120盐雾腐蚀实验箱测试漆膜耐腐蚀性能,溶液为5% NaCl,pH值为6.5~7.2,温度35±2 ℃,连续喷雾。涂层耐蚀实验观察周期为100 h。

2 实验结果

2.1 喷砂后试样表面粗糙度测试结果

表2为采用不同的喷砂工艺进行喷砂后试样表面的粗糙度数据。可以看出,采用工艺1~4进行喷砂处理后,样品粗糙度的均值分别达到27.9 μm,23.3 μm,24.5 μm以及18 μm,相较于未喷砂的原始状态试样(粗糙度约为1.6 μm),喷砂处理后试样表面的粗糙度明显增大。比较而言,采用工艺1喷砂之后试样的粗糙度数值最大,采用工艺2、3进行喷砂,试样的粗糙度均值保持在23.3~24.5μm之间,而采用工艺4对试样进行喷砂,其粗糙度数值最小。这是因为采用工艺1进行喷砂时,喷枪与试样的距离为600 mm,距离较近,而走枪速度较小(0.5 m/s),速度较慢,所以砂粒在同一位置停留时间比较长,导致试样表面的粗糙度数值比较大。而对于艺4,喷枪与试样距离较远(900 mm),走枪速度较大(1 m/s),速度较快,所以砂粒在同一位置停留时间比较短,使得试样表面的粗糙度数值比较小。对于工艺2来讲,喷枪距试样之间的距离为600 mm,距离较近,但是其走枪速度较大(1 m/s),速度较快,所以试样最终表面粗糙度数值介于工艺1与4之间。而对于工艺3,喷枪距试样之间的距离为900 mm,距离较远,但是其走枪速度较小(0.5 m/s),速度较慢,所以试样最终表面粗糙度数值同样是介于工艺1与4之间。

从提高涂层与基体的附着力来讲,试样表面的粗糙度数值越大涂装之后附着力越大。从以上测试数据可以看出,采用工艺1进行前处理,粗糙度数值最大,预计能够获得较好的附着力。采用工艺4,其粗糙度数值最小,所以其涂层附着力应该最小。另外通过触摸的方式进行粗糙度感受,结果发现当粗糙度数值约为18 μm时,如采用工艺4进行处理,几乎没有明显的感觉,当粗糙度增加大到23.3~24.5 μm之间,如采用工艺2、工艺3进行处理,

用手进行触摸略有感觉，但是当粗糙度数值增加到27.9 μm时，感觉已经非常明显。对于高电压需要具有绝缘性能的电气产品导体类零部件来讲，粗糙度如果比较高，在电场电势差比较大的时候，容易引起放电行为，实际上是非常不利的。因此统筹考虑电气性能，粗糙度稍低比较适合电气产品使用。如果对于普通零部件并不是应用于高电压环境，粗糙度比较大比较理想。

表2 喷砂后试样表面粗糙度

工艺	试样	距离/mm	走枪速度/($m·s^{-1}$)	粗糙度/μm	粗糙度均值/μm	工艺	试样	距离/mm	走枪速度/($m·s^{-1}$)	粗糙度/μm	粗糙度均值/μm
1	1#	600	0.5	27.9	27.9	3	7#	900	0.5	25.1	24.5
	2#			28.0			8#			24.5	
	3#			27.8			9#			23.9	
2	4#	600	1.0	23.7	23.3	4	10#	900	1.0	18.5	18.0
	5#			23.3			11#			18.0	
	6#			23.0			12#			17.5	

2.2 涂层厚度测试结果

对每一种前处理工艺制备的样品均采用水性涂装工艺进行涂装，经过烘干之后试样底漆厚度均介于32.3~36.7 μm之间，面漆施工烘干后试样整体厚度介于103~108 μm之间，涂层具体厚度测试结果如表3所示。

实验中对每一件试样均测试了3个位置，从表3可以看出，无论是底漆还是面漆，不同位置的厚度均比较接近，表明涂层厚度较为均匀。采用喷砂前处理工艺进行施工之后，对试样进行水性涂料涂装施工，涂层状态良好，表面光滑、厚度均匀，没有漆豆、针孔、橘皮、流挂等缺陷存在，预计获得了质量良好的涂层。且底漆、面漆厚度均匀可以使得后续性能测试更加准确。

表3 涂层厚度测试结果

工艺	试样	涂层	漆膜厚度/μm				工艺	试样	涂层	漆膜厚度/μm			
			位置1	位置2	位置3	平均值				位置1	位置2	位置3	平均值
1	1#	底漆	33	34	37	34.7	3	7#	底漆	30	33	35	32.7
		总厚	103	107	105	105.0			总厚	100	106	103	103.0
	2#	底漆	32	35	37	34.7		8#	底漆	29	34	35	32.7
		总厚	102	109	106	105.7			总厚	99	108	104	103.7
	3#	底漆	34	34	39	35.7		9#	底漆	31	33	37	33.7
		总厚	105	109	103	105.7			总厚	102	108	101	103.7
2	4#	底漆	35	37	38	36.7	4	10#	底漆	32	36	36	34.7
		总厚	110	102	107	106.3			总厚	107	101	105	104.3
	5#	底漆	36	35	32	34.3		11#	底漆	33	34	30	32.3
		总厚	109	107	102	106.0			总厚	106	106	100	104.0
	6#	底漆	35	35	33	34.3		12#	底漆	32	34	31	32.3
		总厚	107	109	108	108.0			总厚	104	108	106	106.0

2.3 附着力

涂层附着力的测试结果如表4所示。采用工艺1前处理后进行涂装，样品涂层的附着力均达到了10 MPa以上，最高值为10.6 MPa；采用工艺2与3

前处理之后进行涂装，样品涂层的附着力均达到了 8.2 MPa 以上，最高可达 9.3 MPa；采用工艺 4 前处理之后进行涂装，样品涂层的附着力均达到了 7.2 MPa，最高约为 7.6 MPa。结合粗糙度的测试结果可以看出，前处理后试样的粗糙度越大，其涂层的附着力越大，相反，前处理过程试样的粗糙度越小，其涂层的附着力也越小[8-9]。附着力大，涂层与基体结合较好是保证涂层具有良好性能的一个关键，因此采用工艺 1 前处理后再进行涂装所得的涂层的耐腐蚀性能预计会比较理想，但是考虑到涂层的耐压性能，对于电气产品，尤其是工作于高压环境中的零部件，不能以附着力作为唯一标准，还要参考粗糙度的影响进行工艺选择。但对于没有耐压要求的零部件，粗糙度越大、涂层附着力越大越为理想。

2.4　腐蚀性能测试

实验中对于涂层底漆与面漆分别进行了耐腐蚀性能测试，实验结果如表 5 所示，耐蚀性测试的样品外观图如图 1 所示。可以看出，采用工艺 1 前处理之后进行涂装，无论是底漆、还是底漆+面漆其耐腐蚀性能均比较理想。单独的底漆涂层在 700 h 之后开始起泡，其底漆+面漆直到实验结束时，即达到 1500 h 后，涂层才略有气泡。但是采用工艺 4 前处理之后进行涂装，无论是底漆、还是底漆+面漆其耐腐蚀性能均比较差。单独的底漆涂层在 500 h 之后开始出现起泡，底漆+面漆复合涂层到 1200 h 出现气泡与红锈。而采用工艺 2 与 3 前处理后进行涂装，试样的耐腐蚀性能均处于工艺 1 与 4 之间，其底漆开始出现气泡的实验时间均为 600 h，底漆+面漆复合涂层均到 1500 h 出现气泡与红锈。

综合粗糙度和附着力的实验结果，可以看出，试样的粗糙度数值越大，涂层附着力越大，涂层的耐腐蚀性能越好，反之，试样的粗糙度数值越小，涂层附着力越小，其耐腐蚀性越差。考虑到应用范围，如果用于高电压环境，我们首先推荐采用工艺 2 与工艺 3 进行零部件前处理，如果应用一般的腐蚀环境，则推荐采用工艺 1 进行前处理。

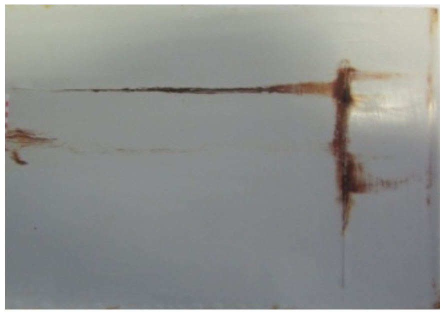
表 4　涂层结合力

工艺	试样	涂层结合力/MPa					
		位置 1	位置 2	位置 3	位置 4	位置 5	平均
1	1#	10.10	10.40	10.20	10.20	10.00	10.18
	2#	10.40	10.50	10.60	10.60	10.40	10.50
	3#	10.20	10.30	10.40	10.40	10.30	10.32
2	4#	8.80	9.10	8.90	8.90	8.70	8.88
	5#	9.10	9.20	9.30	9.30	9.10	9.20
	6#	8.70	8.80	8.90	8.90	8.80	8.82
3	7#	8.30	8.60	8.40	8.40	8.20	8.38
	8#	8.30	8.40	8.50	8.50	8.30	8.40
	9#	8.30	8.40	8.50	8.50	8.40	8.42
4	10#	7.30	7.60	7.40	7.40	7.20	7.38
	11#	7.30	7.40	7.50	7.50	7.30	7.40
	12#	7.30	7.40	7.50	7.50	7.40	7.42

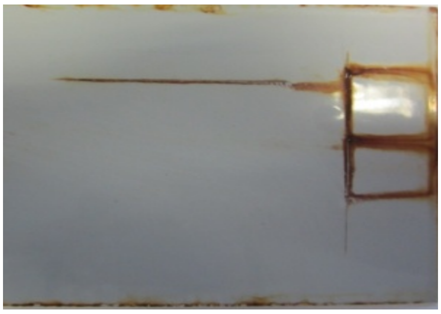
表 5　漆膜划线中性盐雾腐蚀实验统计结果

<table>
<tr><th rowspan="2">工艺</th><th rowspan="2">漆层</th><th colspan="11">测试时间/h</th></tr>
<tr><th>300</th><th>—</th><th>500</th><th>600</th><th>700</th><th>800</th><th>—</th><th>1100</th><th>1200</th><th>…</th><th>1500</th></tr>
<tr><td rowspan="2">1</td><td>底漆</td><td colspan="4">无起皮、无气泡</td><td>气泡</td><td colspan="6">—</td></tr>
<tr><td>底漆＋面漆</td><td colspan="10">无起皮、无气泡</td><td>略有气泡</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2</td><td>底漆</td><td colspan="3">无起皮、无气泡</td><td>气泡</td><td colspan="7">—</td></tr>
<tr><td>底漆＋面漆</td><td colspan="10">无起皮、无气泡</td><td>气泡，红锈</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3</td><td>底漆</td><td colspan="3">无起皮、无气泡</td><td>气泡</td><td colspan="7">—</td></tr>
<tr><td>底漆＋面漆</td><td colspan="10">无起皮、无气泡</td><td>气泡，红锈</td></tr>
<tr><td rowspan="2">4</td><td>底漆</td><td colspan="2">无起皮、无气泡</td><td>气泡</td><td colspan="8">—</td></tr>
<tr><td>底漆＋面漆</td><td colspan="8">无起皮、无气泡</td><td>气泡，红锈</td><td colspan="2">…</td></tr>
</table>

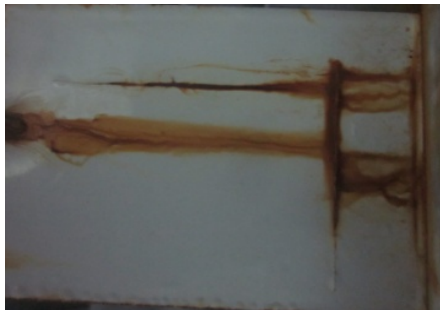
（a） 工艺1



（b） 工艺2



（c） 工艺3



（d） 工艺4

图1 腐蚀性能测试1500 h后的样品外观

3 结 论

为提高水性涂装技术涂层与基体的附着力，本文采用喷砂技术对试样进行前处理，然后制备了水性环氧树脂底漆+水性聚氨酯面漆涂层，并进行漆膜厚度与耐腐蚀性能等一系列的测试，结论如下：

（1）经过喷砂处理后试样获得的粗糙度约介于18~28 μm之间，涂层附着力介于7.38~10.5 MPa之间。

（2）当喷砂处理后试样的粗糙度约为27.9 μm时，对应附着力最高可达10.6 MPa，耐腐蚀性能最佳，适用于一般腐蚀环境；当喷砂处理后试样的粗糙度在23.3~24.5 μm的范围时，对应附着力最高可达9.3 MPa，耐腐蚀性能优良，适用于高压电场环境中。当喷砂处理后试样粗糙度约为18 μm时，其附着力最高约为7.6 MPa，耐腐蚀性能有限。

参考文献

[1] 李卓麟，梁亮，江建东，等. 水性仿金属塑料漆的研制[J]. 电镀与涂饰，2016(6)：295-299.

[2] 祝宝英，胡中，庄振宇. 自增稠丙烯酸乳液在塑料件用双组分水性金属闪光涂料中的应用[J]. 涂料技术与文摘，2015，36(5)：26-31.

[3] 胡中，许飞，庄振宇，等. 基于自增稠型羟基丙烯酸乳液的水性珠光涂料的制备[J]. 涂料工业，2017，47(5)：11-16.

[4] 张柳丽，李宝增，林生军，等. 不锈钢涂装前处理工艺实践[J]. 电镀与精饰，2014，36(10)：32-35.

[5] 张柳丽，林生军，李宝增，等. 前处理方法对不锈钢涂装性能的影响[J]. 电镀与精饰，2016，38(9)：31-35.

[6] 孙超，吴金鹏. 低温固化阴极电泳涂料的合成与涂装研究[J]. 电镀与精饰，2015，37(1)：29-31.

[7] 向丽琴，邢汶平，吴吉霞. 薄膜前处理技术在汽车涂装中的应用[J]. 电镀与涂饰，2015，34(10)：569-573.

[8] 王传忠，张磊，曹志刚，等. 浅析表面粗糙度对涂装的影响[J]. 现代涂料与涂装，2011，14(5)：66-67.

[9] 修梁，张欣宇. 表面涂层与基体间的界面结合强度及其测定[J]. 电镀与环保，2004，24：6-11.