

大面积防腐施工中电弧喷涂工艺优化

张志军,曹露春

(徐州工程学院,江苏 徐州 221008)

[摘要] 为保证在大面积防腐施工中超音速电弧喷涂铝涂层质量的稳定性,用正交试验方法对喷铝工艺参数进行了优化设计,优化后的工艺参数为:喷砂角度为 45° ,喷涂电流150A,喷涂电压34V,空气压力0.7MPa,喷涂距离150mm。在此条件下得到的涂层结合强度为25MPa,比一般的电弧喷涂层结合强度提高了40%。

[关键词] 超音速电弧喷涂;电弧喷铝;预处理;工艺参数

[中图分类号] TG174.44

[文献标识码] A

[文章编号] 1001-3660(2008)01-0054-02

The Technology Optimization of Supersonic Arc Spray Aluminium in Large-scale Anticorrosion Construction

ZHANG Zhi-jun, CAO Lu-chun

(Xuzhou Institute of Technology, Xuzhou 221008, China)

[Abstract] Aiming at the coat quality unstable problems of arc spray aluminium in large-scale production, the technological parameter of supersonic arc spray aluminium was optimized with orthogonal testing, the optimized parameter were: 45° spray grit angles, 150A spray electric current, 34V spray voltages, 0.7Mpa pressure of air, 150mm spray distance. In this condition combined strength of the coat was 25Mpa, strength increased 40% compared with ordinary arc spray aluminium.

[Key words] Supersonic arc spraying; Arc spray aluminium; Pretreatment; Technological parameter

0 引言

随着超音速电弧喷涂设备的研制成功,电弧喷涂的涂层结合强度、孔隙率、耐磨性能、表面硬度等多项指标取得了较大的进展^[1],国内外有关超音速电弧喷涂设备、工艺、涂层的研究也越来越多。由于超音速电弧喷涂具有涂层性能好、高效、低成本、节能、经济、安全等特性,从而其应用也越来越广泛,特别是在大面积防腐施工中,更是显示出其独特的优越性。近年来,大型桥梁、大型反应釜、大型水工闸门等设施越来越多地使用电弧喷涂进行防护,但其施工工艺一直依赖现场工作人员的经验,没有进行过系统的研究^[2]。

超音速电弧喷涂的技术要求高,特别是喷涂铝,容易发生断弧,稍有疏忽,常导致前功尽弃、涂层报废。笔者结合在实际工程中的现场施工经验,研究了在大规模施工过程中,如何优化超音速电弧喷涂工艺,保证电弧喷涂的稳定性、可控性,得出了电弧喷涂表面预处理、电压、电流等因素对涂层的性能和结合强度的影响规律。在涂层的各项性能指标中,涂层的结合强度是决定涂层使用寿命的最重要的指标。影响喷涂层和基体结合强度的因素有很多,如压缩空气的压力、被喷涂工件表面预处理程度、喷枪喷嘴相对工件的距离、喷枪电极电弧上的电压等^[3]。

1 喷砂预处理

涂层要与基材结合良好,基材的表面必须是清洁的,并且要有一定的粗糙度。因此,在喷涂之前,基材要喷涂的表面必须经过净化和粗化加工处理,使表面清洁、粗糙。这一步骤称为表面预处理,是涂层制备工艺过程中非常重要的一步,其处理质量直接影响到涂层质量^[4]。

喷砂是热喷涂技术中最常用的预处理方法。在喷砂处理的过程中,喷到试样表面的砂粒能量主要消耗在2个方面:一是用来切削试样表面材料;二是用来使试样表面发生塑性变形。飞行的砂粒与试件表面之间的夹角不同,能量损耗中用于切削的分量和用于使材料发生塑性变形的分量也不同。因此,采用不同的喷砂角度处理的试样表面形貌也有所不同,从而导致以机械结合为主要结合方式的电弧喷涂涂层的结合强度有所差异。为此,研究了选用不同的喷砂角度对试样进行处理^[5]。

选择的喷砂角度分别为 30° 、 45° 、 60° 、 75° 、 80° 、 90° 六种角度。喷砂处理的工艺参数见表1。

表1 喷砂工艺参数

Table 1 Technological parameter of spray grit

| 砂料 | 粒度/目 | 送砂方式 | 喷砂距离 /mm | 喷砂压力 /MPa | 喷砂时间 /s |
|------|------|------|-------------|--------------|------------|
| 棕刚玉砂 | 25 | 压送式 | 200 | 0.7 | 10 |

试样材料为16Mn钢。结合强度的测定参照国家标准GB9796-88进行,采用对偶试样拉伸法,每一角度下的对偶试件喷5组,计算其平均值。试样形状如图1所示。

[收稿日期] 2007-09-14

[作者简介] 张志军(1968-),男,江苏丰县人,高级工程师,硕士,主要从事材料的开发与检测工作。

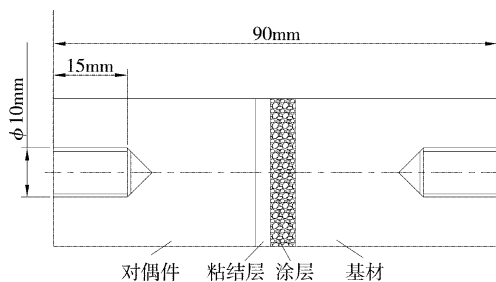


图 1 拉伸试样形状

Figure 1 Shape of pulling sample

电弧喷涂的工艺参数为:电压 32V, 电流 160A, 雾化压力为 0.7MPa, 喷涂距离 200mm, 喷涂材料为 $\phi 3\text{mm}$ 纯铝丝, 涂层厚度为 $200\mu\text{m}$ 。

在选定的喷涂工艺方法下, 不同喷砂角度试样的平均结合强度见图 2。喷砂角度为 30° 时, 涂层结合强度较小, 在 23.4 MPa 左右; 喷砂角度为 45° 时, 结合强度达到最大值 32.6 MPa。随着喷砂角度的进一步增大, 结合强度值呈下降趋势, 90° 时最低, 45° 时的结合强度较 90° 时高出约 50%。

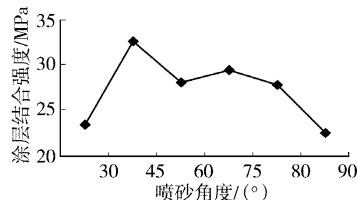


图 2 喷砂角度与涂层结合强度之间的关系

Figure 2 Relations between combined strength and angle of spray grit

2 试验设备与条件

对于电弧喷涂设备, 我们采用装甲兵工程学院最新研制的高速电弧喷涂机。当喷涂材料一定时, 影响电弧喷涂层性能的主要因素有喷涂电流、喷涂电压、喷涂距离、喷涂气压等。喷涂电流与送丝速度有关, 二者是相关参数, 通常使送丝速度与工作电流得到最佳配合。由于电弧电流有很强的自调节性能, 随着送丝速度的增减, 电弧电流自行增减, 使电弧功率和喷涂功率处于平衡状态。一般把喷涂电流作为二者的综合因素来讨论^[6]。

根据 GB9793-1997 第 7.2 条规定, 涂层表面质量合格的标准为: 涂层外观应均匀一致, 不允许有起皮、鼓泡、大颗粒、裂纹、基体过热及其它影响涂层使用寿命的质量问题。再考察涂层的结合力, 结合强度的测定方法与确定喷砂角度时相同。正常工作情况的电弧喷涂应该是电弧以一定形态稳定燃烧, 无断弧现象, 无熔滴飞溅^[7]。由于新型的电弧喷涂系统采用逆变电源, 并对喷涂电流进行模糊控制, 使喷涂时电压和电流的波动幅度大大降低, 喷涂时, 喷枪垂直于试件, 喷涂前基材表面经砂轮打磨边缘和刚玉砂喷砂处理^[8], 表面粗糙度 R_a 为 $6.8\mu\text{m}$ 。

3 电弧喷涂工艺试验

为了得到电弧喷涂的最佳工艺条件, 为实际生产的工艺设计提供科学的工艺参数和理论依据, 我们针对电弧喷涂铝涂层

工艺中的压缩空气压力、喷涂电流、喷涂距离、喷涂电压等因素的影响进行了正交试验研究, 总结出了各种因素对涂层结合强度的影响规律^[9]。

正交试验选用 4 因素 3 水平的 $L_9(3^4)$ 正交表, 4 种因素分别为喷涂电压、喷涂电流、喷涂压力和喷涂距离, 各种因素的 3 个位级如表 2 所示。

表 2 正交试验表

Table 2 Orthogonal testing table

| 位级 | 喷涂电压/V | 喷涂电流/A | 喷涂压力/MPa | 喷涂距离/mm |
|----|--------|--------|----------|---------|
| 1 | 36 | 200 | 0.7 | 200 |
| 2 | 34 | 150 | 0.6 | 150 |
| 3 | 32 | 100 | 0.5 | 100 |

4 试验结果与分析

不同喷涂工艺参数下的结合强度试验结果见表 3。

表 3 喷涂工艺及结合强度试验结果

Table 3 The testing result of spray technology parameter and combined strength

| 试验号 | 喷涂电压 /V | 喷涂电流 /A | 喷涂压力 /MPa | 喷涂距离 /mm | 结合强度 /MPa |
|-----------|------------|------------|--------------|-------------|------------------------|
| 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 23.0 |
| 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 27.4 |
| 3 | 3 | 1 | 2 | 3 | 24.3 |
| 4 | 1 | 2 | 2 | 1 | 27.7 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 3 | 25.9 |
| 6 | 3 | 2 | 1 | 2 | 30.1 |
| 7 | 1 | 3 | 1 | 3 | 26.8 |
| 8 | 2 | 3 | 2 | 2 | 25.2 |
| 9 | 3 | 3 | 3 | 1 | 22.3 |
| K_I | 77.5 | 74.7 | 84.3 | 77.4 | 总和 = K_I |
| K_{II} | 78.5 | 83.7 | 77.2 | 78.3 | + K_{II} + K_{III} |
| K_{III} | 76.7 | 74.3 | 71.2 | 77.0 | = 232.7 |
| 极差 R | 1.8 | 9.4 | 13.1 | 1.3 | |

由极差分析可知 $R_{\text{电压}} = 1.8$, $R_{\text{电流}} = 9.4$, $R_{\text{压力}} = 13.1$, $R_{\text{距离}} = 1.3$, 即 $R_{\text{压力}} > R_{\text{电流}} > R_{\text{电压}} > R_{\text{距离}}$, 表明在本试验中对涂层的结合强度影响最大的是喷涂压力和喷涂电流, 喷涂电压和喷涂距离虽然对涂层强度有一定影响, 但影响不是太显著。

当雾化压缩空气的压力较大 (0.7MPa) 时, 熔融线材被雾化的效果好, 且雾化粒子的加速度大, 因而所获得涂层的结合强度最高; 当雾化压缩空气压力较小时, 所雾化粒子的颗粒粗大, 获得的涂层粗糙度较大, 影响喷涂质量。因此, 在不影响热源稳定性及雾化粒子温度的情况下, 应尽量选用较高的雾化压缩空气压力^[10]。

由表 3 可以看出, 当电流过低时, 电弧功率不够, 喷涂颗粒不能充分熔化, 导致结合强度低。当电流达到 150A 时, 随着电流的增加, 送丝速度也增大, 单位时间内铝熔化量增加, 液态铝的温度也较高, 雾化效果好, 所以涂层结合强度高。当电流达到

(下转第 61 页)

样加热到 100℃ 并保温 1h, 之后将试样取出在室温置放 1h, 如此反复 4 次, 镀层不起皮, 不脱落, 由此表明: 镀层与基体的结合力良好。

3.3 化学镀镍后的表面形貌

图 4 是 SLA 原型经过化学镀镍后在扫描电子显微镜下放大 2000 倍的表面形貌图像。图中呈“小葡萄”形状的微粒为 Ni-P 化学镀合金微粒, 由图可知, 镀层结晶细致, 镀层完好, 不存在裂纹或漏镀现象。

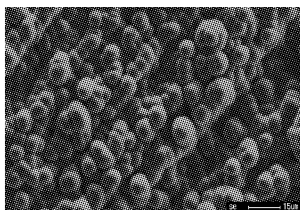


图 4 SLA 原型化学镀镍后的 SEM 照片 2000 ×

Figure 4 SEM image of SLA surface after chemical Ni plating 2000 ×

(上接第 55 页)

200A 左右时, 铝熔化量进一步增加, 液态铝滴变大, 由于压缩气压力不变, 雾化效果就会变差, 喷出液铝颗粒度变大, 和工件表面结合不好, 且产生溅射现象, 进一步影响结合强度。继续增加电流, 还会使熔融金属温度过高, 氧化现象严重, 产生烟尘, 涂层疏松、粗糙, 并伴有大量氧化物颗粒, 涂层强度进一步降低。

从表 3 还可以看出, 电压对涂层结合强度影响较小。喷涂电压直接反映 2 根喷涂丝熔化的端部距离 (即电弧长度), 它维持恒定才能保证雾化条件的恒定。电压过高时, 电弧长度及弧柱直径增大, 电弧温度升高, 金属熔滴张力相对减小, 因此容易雾化形成太细的颗粒, 微细的金属颗粒携带的热能少, 未到达试件表面已固化, 以金属粉末的形式喷向试件表面, 降低了结合强度; 同时, 电压过高, 不仅浪费电能, 加速导电嘴的烧损, 而且会造成喷涂颗粒的严重氧化, 影响涂层质量。电压过低时则不易起弧, 起弧后的电弧温度也低, 喷涂材料熔化不完全, 喷涂过程变得不连续, 时而发生短路。故电弧喷铝时的最佳喷涂电压为 34V 左右。

表 3 还说明, 采用适中的喷涂距离可获得最大的结合强度。因为喷涂距离的大小直接影响被雾化粒子的温度和速度, 以及基材表面粒子的氧化程度。合适的喷涂距离能获得最高的粒子温度和速度, 最小的氧化程度, 从而得到最大的结合强度。喷涂距离是喷涂的颗粒飞行的距离, 在颗粒的飞行过程中, 其温度和速度都要发生变化。颗粒飞行速度先是加速, 而后是减速; 颗粒温度随距离的增加而降低。因此, 当喷涂距离过大时, 由于打击基材表面的颗粒的温度和动能不够, 不能产生足够的变形, 不仅会降低涂层结合强度, 还会造成更多的颗粒反弹散失而降低沉积效率; 同时因更多地受周围大气影响, 氧化趋于严重, 造成涂层氧化物夹渣增多。喷涂距离过小, 颗粒在热源中停留时间过短, 不能受到充分加热和加速, 同时喷距较近时, 熔滴来不及充分雾化就喷射到试件表面上, 形成溅射, 降低了涂层结合强度,

4 结 论

1) 经本工艺处理的 SLA 原型件化学镀镍后结合力良好, 镀层光亮致密。

2) 在敏化、活化过程中, 温度必须严格控制。温度低时, 敏化、活化效果不好, 镀层质量差且不均匀, 或者产生漏镀现象。敏化、活化过程温度应控制在 17 ~ 30℃ 为宜。

[参 考 文 献]

- [1] 梁志杰. 现代表面镀覆技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005. 209-219
- [2] 白永兰. ABS 塑料上 Ni-SiC 复合电镀工艺研究[D]. 广州: 华南师范大学, 2004. 43-48
- [3] 杨世莹, 贺子凯, 黄鑫. ABS 化学镀镍前处理工艺的改进[J]. 电镀与涂饰, 2006, 25 (4): 16-18

距离越近, 雾化越差, 溅射现象越严重, 结合强度也就越低。

5 结 论

由正交试验结果可以得出电弧喷铝的最佳工艺条件为: 喷涂电压 34V, 喷涂电流 150A, 喷涂压力 0.7MPa, 喷涂距离 150mm。所得涂层的结合力在 25 MPa 以上, 比一般电弧喷铝的涂层结合力 (18MPa) 提高 40% 左右。

[参 考 文 献]

- [1] 靖长财, 张宝林. 超音速电弧喷涂技术在发电厂锅炉中的应用[J]. 广东电力, 2004, 17(1): 58-61
- [2] 田峰, 李秉忠, 张海成. 电弧喷涂工艺参数对 Zn-Al 伪合金制模涂层性能的影响[J]. 材料保护, 2006, 39(9): 34-36
- [3] 赵素青, 董立先, 陈玉华, 等. 电弧喷涂铝涂层工艺参数优化和涂层结构分析[J]. 新技术新工艺, 2006, (2): 92-94
- [4] 刘雪峰, 刘春和, 张仕念, 等. 多功能超音速火焰喷涂粒子特性的数值模拟[J]. 表面技术, 2007, 36(3): 25-27
- [5] 李玉刚. 热喷涂技术在钢桥防腐中的应用[J]. 表面技术, 2007, 36(1): 87-89
- [6] 李平, 乔生儒, 王汉功. 钛-铝双丝超音速电弧喷涂过程中熔滴粒子几何特性研究[J]. 表面技术, 2007, 36(1): 84-86
- [7] 邱华, 张宗明, 冉洪武, 等. 正交试验方法在防腐涂料研究中的应用[J]. 表面技术, 2006, 35(6): 67-68
- [8] 张忠礼, 李德元, 张楠楠. 电弧喷涂铝青铜涂层的力学性能[J]. 表面技术, 2006, 35(2): 10-12
- [9] 尹技虎, 闫伟. 超音速电弧喷涂技术在 440t/h CFB 锅炉上的应用[J]. 表面技术, 2004, 33(6): 77-79
- [10] 路炜. 提高发动机铝合金件耐磨性的表面处理工艺[J]. 电镀与精饰, 2007, 29(3): 25-26