

## 液体喷砂工艺对电喷涂层结合强度的影响<sup>①</sup>

马跃进<sup>②</sup> 籍国宝

(中国农业大学机械工程学院)

**摘要** 应用正交试验方法对液体喷砂工艺参数对喷砂粗化效果的影响进行了试验研究。结果表明,采用优化的工艺参数对钢件表面进行液体喷砂粗化,粗化表面质量接近美国腐蚀工程师协会的标准,可满足高硬度零件热喷涂前的粗化处理要求。

**关键词** 液体喷砂;热喷涂;结合强度;工艺参数

**中图分类号** S232.85

## Study on Influence of Wet Blasting Technology to Arc Spraying Deposit Bond Strength

Ma Yuejin Ji Guobao

(College of Machinery Engineering, CAU)

**Abstract** By means of the orthogonal test method and the variance analysis, systematic research on the influence of wet blasting technologic parameters to roughening result is conducted. It has been shown that the parts' surface roughness obtained by optimized wet blasting technology has been approached to the standard of American National Association of Corrosion Engineers No. 1 and can meet the need of thermal spraying.

**Key words** wet blasting; thermal spraying; bond strength; technologic parameter

液体喷砂是一种新的表面处理技术。作为热喷涂前的粗化处理工艺,液体喷砂较干喷砂有更多的优点,例如粗化能力强、噪声低、粉尘污染少等,应用日趋广泛;但目前对高硬度零件热喷涂前的粗化处理,例如曲轴喷前粗化,仍沿用电拉毛工艺。若能改用喷砂,则可避免常规电拉毛粗化工艺降低零件疲劳强度的弊端<sup>[1]</sup>,同时可在零件表面产生一定的压应力,使其疲劳强度有所改善。本研究旨在为液体喷砂寻求较优的工艺参数及参数组合。

### 1 试验因素的确定

据有关文献<sup>[1~4]</sup>介绍,影响喷砂效果的因素较多,它不但与砂粒的特性、砂粒与零件表面的相互作用,而且与液体压力、砂粒对零件的打击速度等有关,其中主要有喷砂距离,喷砂压力,砂粒的特性、粒度及其配比,以及喷砂量和喷砂角度等。

收稿日期:1996-08-10

①农业部“八五”重点课题

②马跃进,北京清华东路17号中国农业大学(东校区)42信箱,100083

为保证试验结果的重复性,参照对砂粒的硬度、寿命、形状等要求<sup>[3]</sup>,选用北京首钢特殊钢公司生产的 SAE 系列钢砂。它具有硬高度、多角形状、寿命长和工作稳定等优点。对于粒度选 2 种规格,即 SAE G16 和 SAE G14。

液体喷砂距离直接影响打击零件时砂粒的速度,即砂粒作用于零件表面的动能。对于重力式砂粒输送方式,砂粒与高压液流在喷砂枪出口前端汇合,之后沿喷射方向自初速度为零逐渐被加速,随后射出。砂粒打击零件时的速度依喷砂距离而异,根据液体压力的不同和砂粒质量大小的区别,一般喷砂距离以 100~300 mm 为宜。

液体喷砂压力也是影响砂粒打击零件时运动速度的一个重要因素。一般地,喷砂后零件表面的粗糙程度随喷砂压力的增加而提高,但影响幅度以及影响规律有待研究。本试验因受设备限制,压力范围选为 3~5 MPa

喷砂量直接影响砂粒打击在零件表面单位面积上产生的点坑数。在一定条件下,打击零件表面的砂粒越多,坑点越密,喷涂层与基体结合面积越大,结合强度越高;但喷砂量超过一定的限度,零件表面粗糙度因初始打击凸峰被后继砂粒打平而降低,反而使喷涂层与基体的结合强度降低。因而,一定的粗化面积和粗化工艺应有一适宜的喷砂量与之对应。经初步试验,确定喷砂量试验范围为每试件 0.75~1.25 kg。

由于研究对象是轴类高硬度零件,试件亦选用回转体,喷砂角度不易测量,因而参考有关资料,选喷砂角(指砂粒速度方向与砂粒打击点处零件的切线方向之夹角)为  $\pi/2$ 。

## 2 试验方法与步骤

为确定各因素对粗化结果的影响,寻找诸多因素中的主次,获得它们量上的较优组合,选用正交试验方法。

根据上述分析,结合试验条件和现有测试手段,经初步试验,确定出如下试验因素及其取值范围:

喷砂距离/mm	120~200	喷砂粒度	G14,G16
喷砂压力/MPa	5	喷砂量/g	500~1 250

试验指标确定为喷砂后喷涂层与基体的结合强度,以拉断力  $F$  表示。

试件。为使试验具有重复性和可比性,并便于对喷砂粗化后的喷涂层进行抗拉强度测量,将试件制成圆柱形台阶状,大端平面为喷砂、喷涂面,小端为拉断测试时的夹持端,如图 1 所示。试件材料 45 钢,经热处理后,表面硬度为 HRC55 以上。

喷砂试验。以喷砂距离、喷砂量、砂粒粒度为试验因素,选用正交表  $L_9(3^4)$  安排试验,三因素各取 3 个水平进行 9 次组合试验。

试件喷涂。喷砂完毕除去试件上的液体,立即进行喷涂。规范与修复内燃机曲轴相同,喷涂厚度大于 1 mm。喷涂工作在上海喷涂机械厂生产的 LPC-1 型喷涂车床上进行。喷涂完毕后对试件进行保温处理,以便缓冷。

机加工、粘接和拉断测试。为进行喷涂层与基体结合强度的测定,试件冷却后在车床上车

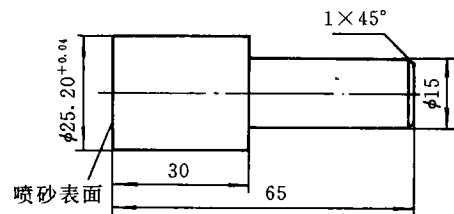


图 1 喷砂喷涂试样

削喷涂端面。为减少切削冲击对涂层结合力的影响,选加工规范为:主轴转速  $248 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ,切削深度  $0.15 \sim 0.20 \text{ mm}$ ;每转进给量  $0.05 \text{ mm}$ ;同时保证加工后涂层厚度大于  $0.8 \text{ mm}$ 。选用 CH-31 胶粘剂,将加工后的试件与未经喷涂的对偶件粘接起来,并进行固化处理。试件粘接固化后,在 WE-10B 型液压万能材料试验机上作拉断测试。

### 3 试验结果与分析

试件液体喷砂正交试验安排及喷涂后拉断测试结论见表 1,方差分析见表 2。

方差分析结果表明:在  $140 \sim 180 \text{ mm}$  范围内,喷砂距离为高度显著,其中以水平 2 为佳;喷砂量在  $500 \sim 1000 \text{ g}$  范围内,对喷涂层结合力有显著影响,其中以水平 3 为好;砂粒粒度在所用水平上对试验指标影响不大,可任取水平 1 或 3。

表 1 正交试验及结果(1)

水平号	喷砂距离 A	砂粒粒度 B	空列	喷砂量 C	F/N
1	1(140)	1(G14)	1	1(500)	3 430.0
2	1	2(G14)	2	2(750)	3 253.6
3	1	3(3:1) <sup>①</sup>	3	3(1 000)	3 841.6
4	2(160)	1	2	3	4 900.0
5	2	2	3	1	3 400.6
6	2	3	1	2	4 057.2
7	3(180)	1	3	2	2 352.0
8	3	2	1	3	3 096.8
9	3	3	2	1	2 420.6
I <sub>j</sub>	10 525.2	10 682.0	10 584.0	9 251.2	
II <sub>j</sub>	12 357.8	9 751.0	10 574.2	9 662.8	
III <sub>j</sub>	7 869.4	10 319.4	9 594.2	11 838.4	
S <sub>j</sub>	3 395 270	146 813	215 577	1 288 472	

①3:1 表示 G14 与 G16 用量之比。

表 2 方差分析(1)

方差来源	偏差平方和	自由度	平均偏差平方和	F <sub>比</sub>	显著性
A	$S_A = S_1 = 3 395 270.13$	2	1 697 635.06	18.74	***
C	$S_C = S_4 = 1 288 472.68$	2	644 236.34	7.11	**
误差 e	$S_e = S_2 + S_3 = 362 391$	4	90 597.75		
	$F_{0.01}(2,4) = 18.0$		$F_{0.05}(2,4) = 6.94$		

根据上述结果,为进一步寻找因素 A 和 C 的最佳值,将因素 A 取值范围缩小至  $150 \sim 170 \text{ mm}$ ,因素 B 选为 G14,因素 C 取值范围为  $750 \sim 1250 \text{ g}$ ,重复进行  $L_9(3^4)$  正交试验,如表 3,方差分析见表 4。

方差分析结果表明:喷砂量在  $750 \sim 1250 \text{ g}$  范围内对结合力有一定的影响,3 个水平取 2 为佳;喷砂距离在所试 3 个水平上影响甚微,可任选其一。

表 3 正交试验及结果(2)

水平号	喷砂距离 A	空列	空列	喷砂量 C	F/N
1	1(150)	1	1	1(750)	3 322.2
2	1	2	2	2(1 000)	4 076.8
3	1	3	3	3(1 250)	2 361.6
4	2(160)	1	2	3	3 371.2
5	2	2	3	1	2 773.4
6	2	3	1	2	5 213.6
7	3(170)	1	3	2	3 577.0
8	3	2	1	3	2 851.8
9	3	3	2	1	3 684.8
I <sub>j</sub>	10 261	10 270	11 388	9 730	
II <sub>j</sub>	11 358	9 702	11 133	12 867	
III <sub>j</sub>	10 114	11 760	9 212	9 085	
S <sub>j</sub>	303 373	753 038	943 070	2 702 586	

表 4 方差分析(2)

方差来源	偏差平方和	自由度	平均偏差平方和	F <sub>比</sub>	显著性
C	$S_C = S_4 = 2\,702\,586.92$	2	1 351 293.46	4.04	*
误差 e	$S_e = S_1 + S_2 + S_3 = 2\,004\,482.76$	6	334 080.46		
	$F_{0.05}(2,6) = 5.14$		$F_{0.10}(2,6) = 3.46$		

## 4 结 论

1)在液体喷砂工艺中,喷砂距离、喷砂量对热喷涂层结合强度均有显著影响;在喷砂压力为 5 MPa、砂粒为 G14 钢砂条件下,喷砂距离以 170 mm 为佳,喷砂量以 1 kg 为宜。

2)在较优组合 170 mm 喷距、G14 钢砂、5 MPa 喷砂压力和 1 kg 喷砂量条件下,所得粗化表面电喷涂后喷涂层与机体结合力平均为 25.6 MPa;粗化表面粗糙度为 12.36  $\mu\text{m}$ ,接近美国国家腐蚀工程师协会提出的 NACE No. 1 要求(13  $\mu\text{m}$ )。

## 参 考 文 献

- 1 于丕涛,金属电弧喷涂,北京:农业出版社,1989.8~9
- 2 中国腐蚀与防护学会主编,高荣发编著.腐蚀与防护全书(热喷涂).北京:化学工业出版社,1991.102~108
- 3 美国焊接学会编.热喷涂原理与应用技术.麻毓璜,贾永昌,刘维祥译.成都:四川科学技术出版社,1987.35~38
- 4 鲍明远,孟凡吉.氧乙炔火焰粉末喷涂和喷焊技术.北京:机械工业出版社,1993.26~28