

液体喷砂和电拉毛粗化处理对热喷涂曲轴疲劳强度影响的研究

马跃进 刘淑霞 刘占良 张建华 籍国宝
(河北农业大学) (中国农业大学)

提 要 分析了影响热喷涂曲轴疲劳强度的主要因素,测定了液体喷砂和电拉毛粗化处理试件表面的应力状态和两种处理试件喷涂层与其体的结合强度,并对喷涂层结合面的金相组织进行了分析。结果表明,喷砂后喷涂层与基体的结合强度不低于电拉毛后喷涂层与基体的结合强度,喷砂处理表面应力状况确明显优于电拉毛处理表面。

关键词 热喷涂 残余应力 电拉毛粗化 曲轴 液体喷砂粗化

Study of the Influence on Fatigue Strength of Thermal Spraying Crankshaft Roughening by Wet Blasting and Arc

Ma Yue-jin Liu Shu-xia Liu Zhan-liang Zhang Jian-hua
(Agricultural University of Hebei, Baoding)

Ji Guo-bao
(China Agricultural University)

Abstract The main influence factors on fatigue strength of thermal spraying crankshaft were analyzed. The stress case on the surface of test parts by wet blasting roughening and arc roughening were measured, and bond strength between coating and base were tested, the metallurgical structure of the coating was also observed. Results show that the bond strengths of the coating treated by two kinds of roughening method are almost equal and the stress case on the surface of the parts after wet blasting is more significantly excellent than that by arc roughening.

Key words Thermal spraying Residual stress Arc roughening Crankshaft Wet blasting

1 引 言

曲轴是内燃机重要而昂贵的易损零件之一,传统修复方法通常为镀铁、堆焊等^[1],但在使用中都存在各自的缺陷而受到一定的限制,故修复一直是维修行业的研究热点。近十几年来,热喷涂工艺发展较为迅速,该工艺在维修工程方面的应用也有了实质的进展。目前,用于

收稿日期:1997-10-15

马跃进,副教授,保定市 河北农业大学机电工程学院,071001

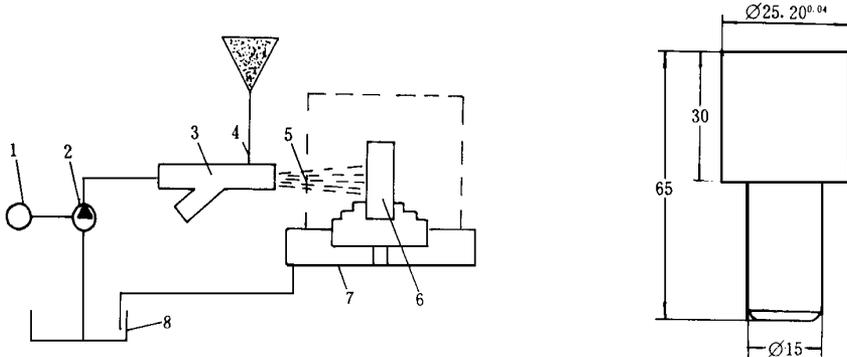
修复曲轴的热喷涂方法主要是电弧喷涂和等离子喷涂。文献[1]表明,金属喷涂与堆焊等其它工艺相比,曲轴修复后疲劳强度降低最少,约为14%,喷涂修复曲轴的疲劳性能主要取决于表面准备方法,但是,不同准备方法对喷涂表面的性能影响以及喷涂后涂层与基体结合面状态之不同,尚需进行探讨。本研究旨在保证喷涂层与基体结合强度的条件下,从不同表面处理后的残余应力的方向和大小、不同处理后喷涂层与基体的结合状况及金相组织分析,对比得出液体喷砂和电拉毛处理工艺的优劣结论。

2 试验研究方法

2.1 试验设备、试件和材料

业已证明,在热喷涂高硬度零件(如曲轴)的表面准备工艺中,液体喷砂是一种可行的表面加工工艺^[2],它的粗化能力强、噪声低、粉尘污染小,同时有望处理后在零件表面产生较大的残余压应力,从而改善喷涂后曲轴的疲劳强度。

试验采用F9型电拉毛机,自制PSY-1型液体喷砂机,SCPP-3型电喷涂枪,3E型电喷涂电源,WE-10B型液压万能材料试验机,日产MSF-2M型X射线应力分析仪及Z-15/7-1型无油润滑空气压缩机。液体喷砂机组成及工作原理见图1。



1. 电动机 2. 高压泵 3. 喷砂枪 4. 进砂管
5. 遮蔽罩 6. 试件 7. 工作台 8. 水箱

图1 液体喷砂机简图

为使试件表面性能与曲轴有可比性,试件材料选45号优质碳素钢,加工后经淬火和低温回火处理,表面硬度为HRc55~60。形状及加工精度见图2。

根据文献[3]介绍,表面处理选用G14激冷钢砂。该砂为多角形,硬度HRc60,性能稳定,使用寿命可达100次。电拉毛选用30mm×3mm的高纯度镍板。电喷涂层材料为70碳钢丝,直径Φ1.6mm。

2.2 试验方法及工艺参数

本试验目的在于比较电拉毛和液体喷砂两种工艺处理高硬度试件表面,所获表面状态之不同以及喷涂结合面的差异,因素单一,故而试验采用对比法。

电喷涂工艺参数:工作电压35~40V,工作电流135~150A,喷涂距离175~185mm,空气压力0.539~0.588MPa,试件转速20r/min,喷涂枪工作升降速度121mm/min。液体喷砂工艺参数:喷砂距离170mm,喷砂液体压力4.5~5MPa,钢砂G14,喷砂量1kg(园

柱试件)和 4 kg (环状试件)。

为保证实验的有效性,首先进行液体喷砂—电喷涂和电拉毛—电喷涂两种涂层结合强度对比试验。其次,进行表面残余应力对比试验,分析液体喷砂与电拉毛处理后试件表面的残余应力状态。最后,通过金相显微分析,了解液体喷砂—电喷涂和电拉毛—电喷涂后,喷涂层与基体的结合状况,以弥补单纯依靠应力分析难以对喷涂层与基体结合面状态进行描述之不足。

3 试验结果分析

3.1 结合强度对比试验

取十个试件分为两组,每组五只,分别采用液体喷砂和电拉毛表面处理,之后按电喷涂工艺要求对十个试件进行喷涂,然后通过机械加工修整喷涂层。整形完毕后,再选十个未经表面处理和电喷涂的试件,与加工后的十个电喷涂试件进行对偶粘接,见图 3。按胶接工艺经干燥固化后,置于液压万能材料试验机上进行拉断试验,记录拉断力 F , 计算结合强度 σ 及其均值 $\bar{\sigma}$ 和变异系数 C_{σ} 。电拉毛后 $\bar{\sigma}=25.0\text{MPa}$, $C_{\sigma}=1.93$; 液体喷砂后 $\bar{\sigma}=25.6\text{MPa}$, $C_{\sigma}=2.00$ (列表略), 无明显差距。即从喷涂层结合强度考虑,液体喷砂工艺可以取代电拉毛工艺。

3.2 残余应力对比试验

零件表面的状况,尤其是形状、光洁度、应力性质和大小是决定其疲劳强度的重要因素。因此考察零件表面的应力状况是十分重要的。

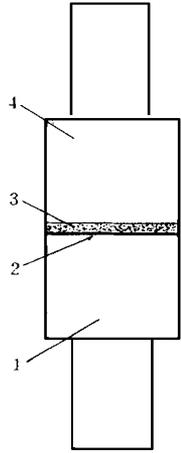
为全面了解不同处理方法在不同表面上产生的后效,设计了两次试验。一次为环形试件圆柱侧面残余应力对比试验,一次为圆柱形试件端面残余应力对比试验。试件上残余应力测点分别为处理表面的中部和边部,见图 4。

电拉毛电压 9 V, 按常规操作。试验及测试结果见表 1 和表 2。

从表中数据可以看出,不论是环状试件的侧表面还是圆柱试件的端面,经喷砂处理后表面残余应力均为负值,即为压应力。而且喷砂处理表面残余应力数值均在 270MPa 以上,最高达 494MPa; 电拉毛处理表面残余应力基本均为正值,即拉应力,而且其值绝大多数都在 100MPa 以上,最高达 333MPa。

3.3 喷涂层—基体结合面微观结构分析

为进一步了解两种处理方法所获喷涂层与基体结合面处的微观结构特点,对典型液体喷砂—电喷涂及电拉毛—电喷涂试件分别切取金相试样,按照电喷涂试件金相试样制备工艺制取金相试样,在金相显微镜下进行观察,获得两种处理条件下电喷涂层与基体结合面处金相照片如图 5 和图 6。



1 对偶试件
2 胶层 3 喷涂层
4 喷涂试件

图 3 拉断试验胶粘简图

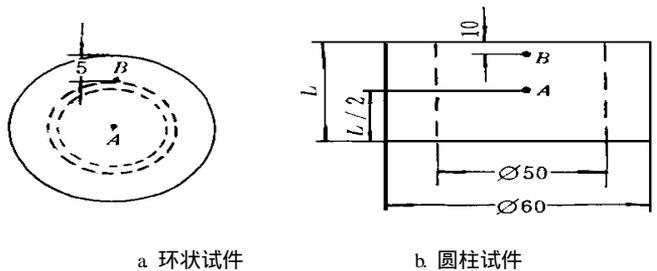


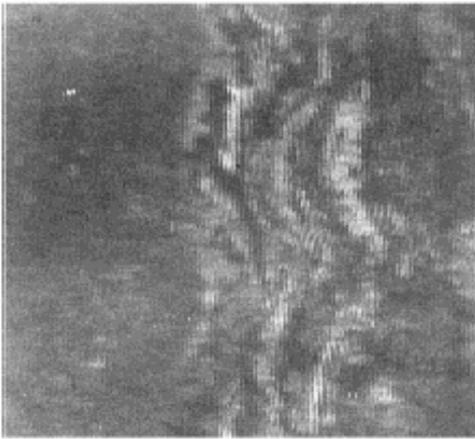
图 4 应力测试测点简图

表 1 环状试件残余应力试验结果

试件号及测点		处理 方法	轴向应力 σ / MPa	切向应力 σ / MPa
32#	A	液体喷砂	- 419	- 494
	B		- 468	- 448
34#	A		- 370	- 465
	B		- 370	- 421
17#	A	电拉毛	+ 206	+ 333
	B		+ 333	+ 137
23#	A		+ 206	+ 108
	B		+ 245	- 235

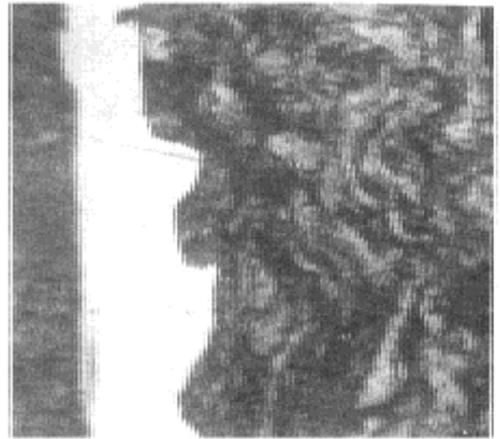
表 2 圆柱试件残余应力试验结果

试件号及测点		处理 方法	轴向应力 σ / MPa	切向应力 σ / MPa
16#	A	液体喷砂	- 257	- 280
	B		- 300	- 280
17#	A		- 274	- 280
	B		- 332	- 332
30#	A	- 310	- 321	
	B	- 338	- 362	
29#	A	电拉毛	+ 255	+ 137
	B		+ 167	+ 216
31#	A		- 29	+ 78
	B		+ 98	+ 108
40#	A	+ 127	+ 167	
	B	+ 196	+ 137	



250 X

图 5 液体喷砂—电喷涂涂层



250 X

图 6 电拉毛—电喷涂涂层

图 5 为液体喷砂—电喷涂涂层纵截面金相照片。左侧为喷涂层, 为扁平波浪状, 灰黑白三色相间。喷涂层组织组成为白色波浪 α —固溶体(铁素体)+ 灰色珠光体(α —固溶体+ 渗碳体)+ 黑色氧化物与孔洞(条纹状, 圆形)。右侧为试件原淬火低温回火组织。喷涂层与基体结合面轮廓不十分明显。显微观察表明, 喷涂层与基体结合良好, 二者没有清晰的边缘界限。涂层组织与标准图谱无异。

图 6 为电拉毛—电喷涂涂层纵截面金相照片。左侧为喷涂层, 其形状、组织组成物与前者相同。右侧为基体, 仍为试件原淬火低温回火组织。中间白色亮区为镍拉毛底层。从图中可以看出, 镍拉毛底层与喷涂层和基体边界明显, 结合良好。

4 结 论

1) 液体喷砂作为一种新型表面处理技术, 粗化后获得的电喷涂层与基体具有较好的结

合能力,与目前生产中常采用的电拉毛粗化后所得喷涂层与基体的结合强度相当。因而可以替代电拉毛法。

2) 作为表面处理工艺,液体喷砂后零件表面的残余应力为压应力,有利于疲劳强度之提高,电拉毛处理后零件表面为残余拉应力,而且两种方法处理后的应力之差高达 $400\sim 700\text{ MPa}$ 。因此,液体喷砂工艺较之电拉毛处理,更适合于电喷涂曲轴类零件。

3) 液体喷砂较之传统(干式)喷砂,在环境保护及改善劳动条件方面具有显著优势。

参 考 文 献

- 1 东北农学院 机器维修工程学 北京: 农业出版社 1990 280~ 283
- 2 马跃进, 籍国宝 液体喷砂工艺对电喷涂层结合强度的影响 中国农业大学学报, 1997, 2(2): 60~ 63
- 3 美国焊接学会编 热喷涂原理与应用技术 麻毓璜等译 成都: 四川科学技术出版社, 1987. 35~ 38