

热喷涂(焊)技术 在汽车修理中的应用

李亚男 编著

人民交通出版社



U 472.14
L 38

364123

REPENTU(HAN) JISHU ZAI
QICHE XIULI ZHONG DE
YINGYONG

**热喷涂(焊)技术在汽车
修理中的应用**

李亚男 编著

人民交通出版社

(京)新登字091号

热喷涂(焊)技术在汽车修理中的应用

李亚男 编著

插图设计: 佘文利 正文设计: 崔凤莲 责任校对: 张捷

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

北京市飞龙印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 5.375 插页: 1 字数: 125 千

1992年11月 第1版

1992年11月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—4000册 定价: 5.30元

ISBN 7-114-01480-5

U·00989

内 容 摘 要

本书主要介绍了汽车维修行业中常用的热喷涂技术的基础知识，即丝材喷涂技术，氧乙炔焰粉末喷涂技术和氧乙炔焰喷焊技术，并列举了一部分应用实例，对涂层的检测技术也作了必要的介绍。

本书可供从事热喷涂工作的技术人员和工人阅读，尤其适合于汽车拖拉机维修人员参阅。

DV21/01

前 言

热喷涂技术是金属表面强化的一种新技术，近年来发展较快，引起国内外人们的关注。美、英、日本、德国、原苏联、瑞士等国家已广泛应用，成为强化机器零件表面，提高使用寿命的重要手段之一，尤其应用在旧件修复上，可取得良好的经济效益，已被列为国家重点推广的新技术之一。

为了使热喷涂技术在汽车修理中广泛应用和普及热喷涂技术的基本知识，特编写本书，以供从事热喷涂（焊）工作的技术人员、工人及从事汽车维修的人员参阅。

本书从实际应用出发，介绍了几种常用的适合用于汽车零件修复的热喷涂（焊）方法，对这些方法的基本原理、设备、材料、工艺等都作了较详细的介绍，并提供了典型零件的应用实例。

在本书编写过程中，承蒙西安公路学院周允教授及机械系陈文威副教授的大力支持和帮助（陈文威同志审阅了全书），在此表示感谢。

由于编者水平所限，再加上这项技术尚在不断发展中，很难完全反映出当前的技术水平，错误和不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 热喷涂概论.....	1
第一节 热喷涂（焊）技术的概念及其分类.....	1
一、热喷涂（焊）技术的概念.....	1
二、热喷涂（焊）技术的分类与特征.....	1
第二节 热喷涂技术对汽车零件修复的意义.....	4
第三节 国内外热喷涂技术发展概况.....	6
一、国外热喷涂发展概况.....	6
二、我国热喷涂技术发展概况.....	8
第二章 丝材喷涂技术.....	10
第一节 丝材喷涂的原理、特点及应用.....	10
一、丝材喷涂的基本原理.....	10
二、丝材喷涂的特点及应用.....	12
第二节 电喷涂设备.....	12
一、电喷涂枪.....	13
二、空气供给系统.....	14
三、电源.....	17
四、控制箱.....	17
五、喷涂机床.....	17
六、吸尘装置.....	18
七、喷涂前工件预处理设备.....	18

第三节 电喷涂工艺	21
一、零件喷涂前的表面准备	21
二、喷涂	24
三、喷后加工	27
第四节 喷涂层的结构与性能	28
一、喷涂层的结构	28
二、喷涂层的性能	29
第五节 涂层质量事故分析	32
一、涂层碎裂	32
二、涂层脱壳	32
三、涂层分层	33
四、涂层不耐磨	33
五、圆角疏松(夹灰)和产生硬环	33
第六节 丝材喷涂的安全技术	33
第三章 氧乙炔焰粉末喷涂	35
第一节 基本原理	35
一、概述	35
二、涂层的形成	36
三、影响喷涂层结合强度的因素	38
四、镍铝复合粉末的应用	39
五、涂层的内应力	40
第二节 喷涂设备	42
一、对喷涂枪的基本要求	42
二、国产喷枪的型号和性能	42
三、QSH—4型喷涂枪	42
四、SPH—E型喷枪	45
第三节 喷涂粉末	47
一、打底层粉末	47

二、工作层粉末	51
三、一步法涂层粉末	53
第四节 喷涂工艺	55
一、工艺过程	55
二、喷涂工艺参数的选择	60
第五节 喷涂层性能	63
一、硬度	63
二、耐磨性	64
三、涂层与基材的结合强度	64
四、对零件疲劳强度的影响	65
第六节 氧乙炔焰粉末喷涂在汽车零件修复中 的应用	66
一、曲轴	66
二、缸体	67
三、转向节	68
四、变速器轴承座孔	69
五、飞轮	69
六、气门导管	70
第七节 喷涂层缺陷分析	70
一、喷涂层剥落	70
二、涂层龟裂	72
三、涂层的致密度低	72
四、涂层的实际使用性能达不到要求	73
第四章 氧乙炔焰粉末喷焊	74
第一节 喷焊的原理和特点	74
一、基本原理	74
二、喷焊的特点	76
第二节 喷焊设备	77

一、氧乙炔焰喷焊枪的分类	77
二、对喷焊枪的要求	78
三、国产喷焊枪的牌号与性能	78
四、喷焊枪的构造和工作原理	78
五、重熔枪	80
第三节 喷焊粉末	81
一、对喷焊用合金粉末的基本要求	81
二、几种常用的合金粉末	83
第四节 喷焊工艺	88
一、工件表面准备	89
二、预热	90
三、喷焊操作	91
四、喷焊层的冷却和加工	92
第五节 喷焊层的加工	93
一、喷焊层的车削加工	93
二、喷焊层的磨削加工	100
第六节 喷焊层性能及检测	101
一、硬度及耐磨性	102
二、结合强度	104
第七节 氧乙炔焰喷焊在汽车修理中的应用	107
一、排气门密封面的修复	107
二、传动轴花键轴	108
三、变速器齿轮	109
四、变速器换档拨叉	109
五、万向节十字轴	109
六、凸轮轴	110
第八节 喷焊层常见的缺陷及预防	110

一、喷焊层剥落	111
二、喷焊层裂纹	111
三、喷焊层夹渣	112
四、针孔与气泡	113
五、喷焊层“露底”	113
第九节 氧乙炔焰喷涂（焊）的安全技术	113
第五章 喷涂层质量检测	115
第一节 喷涂层与基体的结合强度试验	115
一、定性检验	116
二、定量检验	117
第二节 喷涂层自身强度试验	120
一、喷涂层抗拉强度的试验	120
二、喷涂层抗压强度的试验	121
第三节 喷涂层的硬度测定	122
第四节 喷涂层的金相检查	124
附 录	126
一、氧乙炔焰喷涂用镍包铝复合粉末对照表	126
二、镍基合金粉末对照表	127
三、钴基合金粉末对照表	142
四、铁基合金粉末对照表	147
五、铜基合金粉末对照表	156
六、合金粉末氧乙炔焰喷涂喷焊炬一览表	159
七、其它工具、仪表	160

第一章 热喷涂概论

第一节 热喷涂(焊)技术的概念及其分类

一、热喷涂(焊)技术的概念

热喷涂技术是采用气体、液体燃料或电弧、等离子弧作热源,使金属、合金、金属陶瓷等材料加热到熔融或半熔融状态,并以高速喷向经过预处理的工件表面而形成附着牢固的表面层的方法。如果将喷涂层再加热重熔,则出现冶金结合,此法称之为喷焊。

采用热喷涂(焊)技术不仅能使零件表面获得各种不同的性能,而且在许多材料(金属、合金、塑料、木材等)表面上都能进行喷涂。目前,热喷涂(焊)技术已广泛应用于宇航、国防、机械、冶金、石油、化工、交通和电力等部门。

二、热喷涂(焊)技术的分类与特征

热喷涂技术,根据所用的热源及材料,可有多种方法,以下介绍几种常用的热喷涂方法及其分类。

1. 按照所用的热源来分类

1) 电弧喷涂

将两根丝材同时送进,经过喷枪内的两个电极,通以直流电,使丝的尖端产生电弧而熔化,熔化的微粒被压缩空气加速,沉积于工件表面上形成涂层,便是电弧喷涂。也简称为电喷涂。

2) 气喷涂(火焰喷涂)

用氧乙炔火焰来熔化金属（丝材、棒材、粉末），并以高速将熔化的或半熔化的金属微粒喷敷在工件表面上，形成涂层。这种方法叫做气喷涂或称之为火焰喷涂。

3) 等离子喷涂

等离子弧可获得12000~16000℃的高温，用以进行金属、陶瓷等材料的喷涂。因其喷射出的微粒温度、速度都很高，所以可喷难熔材料，得到比其它喷涂法结合强度高、质量好的涂层，并可不受基体材料和喷涂材料的限制。但其工艺装备复杂，价格较贵，通常需要惰性气体保护；施喷时，工件受工作台限制，操作不够机动灵活。

4) 爆炸喷涂

是将粉末从爆炸装置中喷出，以高达700米/秒的速度喷着于工件表面，涂层光滑致密，与基体结合强度高。但该方法噪声大（达到150分贝），操作者需要在专门设计的隔音防爆间进行。

2. 按照喷涂材料的形状来分类

1) 丝材喷涂

所喷涂的材料是丝材。可以用等离子弧、电弧、氧乙炔火焰来熔化，进行喷涂。

2) 粉末喷涂（焊）

所喷涂的材料是金属或合金粉末、陶瓷粉末、塑料粉末等。可用氧乙炔火焰，等离子弧来加热熔化，进行喷涂。

将合金粉末喷涂层再加热熔化，形成致密的焊层，这一工艺就称之为喷焊。

3) 棒材喷涂

所喷涂的材料制成尺寸为 $\phi 6 \times 600\text{mm}$ 的棒材，可用氧乙炔火焰或等离子弧来加热熔化，进行喷涂。

几种常用的热喷涂方法比较列于表1-1。

热喷涂(焊)方法的比较

表 1-1

项 目	氧 乙 炔 焰		
	丝材喷涂	棒材喷涂	粉末喷涂
喷涂焊用材料	熔点低于2900℃的金属或复合材料	熔点低于2900℃的陶瓷材料	不易氧化的金属合金和熔点低于2900℃的陶瓷材料
适合喷涂的工件材质	几乎所有的金属和陶瓷	几乎所有的金属和陶瓷	几乎所有的金属和陶瓷
工件表面处理	喷砂、切螺纹	喷砂	喷砂、切螺纹
火焰温度	2760~3260℃	2760~3260℃	2760~3260℃
工件表面温度	260~315℃	260~315℃	260~315℃
微粒速度(m/s)	180~240	180~240	45~120
喷涂速率(kg/h)	2.5~30	0.5~1.0	陶瓷1.5~2.3 金属3.5~10
涂层厚度(mm)	0.05~5.0	0.025~0.05	0.12~5.0
涂层允许公差(mm)	无数据	无数据	±0.075
结合型态	机械、物理、化学	机械结合	机械、物理、化学
结合强度(MPa)	10~30	5~10	30~50
涂层孔隙度(%)	<6.0	1~20	<8.0
工件组织有无变化	无	无	无
工件有无变形问题	无	无	无
项 目	氧乙炔焰	电弧丝材喷涂	等离子喷涂
	粉末喷焊		
喷涂焊用材料	自熔合金	金属材料	金属、合金、陶瓷、塑料、各种化合物
适合喷涂的工件材质	接近自熔合金熔点的金属材料	绝大多数金属	几乎所有的固体材料
工件表面处理	表面去油除锈	喷砂、切螺纹	喷砂、切螺纹
火焰温度	2760~3260℃	7400℃	12000~16000℃
工件表面温度	1010~1180℃	无数据	一般<120℃ 最高250℃
微粒速度(m/s)	45~120	180~240	180~480 陶瓷6~7.5 金属3.5~10
喷涂速率(kg/h)	3.5~10	5~55	

续上表

项 目	氧乙炔焰	电弧丝材喷涂	等离子喷涂
	粉末喷焊		
涂层厚度(mm)	0.12~5.0	0.05~5.0	0.05~2.5
涂层允许公差 (mm)	±0.12	无数据	±0.025
结合型态	冶金结合	机械、物理、化学	机械、物理、化学
结合强度(MPa)	350~400	10~30	40~80
深层孔隙度(%)	无孔隙	<6.0	<5.0
工件组织有无改变	有	无	无
工件有无变形问题	有	无	无

第二节 热喷涂技术对汽车 零件修复的意义

随着汽车工业的发展,对零部件的性能提出了愈来愈高的要求,零件的使用寿命亦成为突出的问题,修理工作的作用不单是消极地将损坏了的零件恢复到新品的技术性能,而且还可以用比较经济的手段使零件修复后的性能超过新品。

延长汽车使用寿命的主要障碍,是零件因磨蚀早期失效,磨蚀失效的特点与零件的断裂破坏或过量变形失效不同,后者多造成整个零件报废,其原因常常是由于零件本身材料的机械性能差、或设计不合理、以及制造工艺选择不当所致。这需从材料、设计、工艺等方面进行解决。而零件磨蚀却只是表面层的损坏及尺寸超限,就其本身而言,仍有继续使用的可能,仅需将表面磨蚀部分修复,使之在尺寸和性能上恢复到原来的状态。对于价格昂贵的重要零件,尤应注意修复,不能只靠更换配件。特别是进口汽车,由于零件

品种多，标准不统一，组织配件生产困难较多，有些零件少量配制经济上也不尽合理，因而修复强化的意义更大。

通常采用耐磨蚀材料覆盖磨蚀表面，修复旧件，这样不但可以使失效零件迅速恢复使用，而且可以成倍提高寿命。一般金属材料经过表面强化处理以后，在很多场合可以代替贵重的优质材料，甚至性能和工艺性方面较后者更优越。现代汽车日益向高速、高压、大功率发展，汽车零件的使用工况更加恶劣，在此情况下，只有更多的利用各种表面强化技术，提高零件的表面性能才能解决这一问题。

热喷涂技术正是适应这种需要的一种金属表面强化技术。应用热喷涂技术在零件表面喷涂各种性能的材料（例如镍基、铁基、铜基合金以及铝、铝、锌等金属、或陶瓷等材料），就可以使零件表面具有一些特殊性能如耐磨、耐蚀、抗氧化、绝热、导电、绝缘、密封等。这样可以简便地、大幅度地改善零件表面的工作性能。例如曲轴是汽车发动机的重要零件，当曲轴主轴颈及连杆轴颈磨损超过允许的极限时，就不能再用修理尺寸法修复了，此时如果采用喷涂法修复，不仅可以恢复原来的尺寸，而且其耐磨性还远远大于新曲轴。这不仅可以为国家节约大量钢材，并能提高社会的经济效益，特别是对于某些进口车辆的曲轴，经济效益就更为显著。汽车发动机排气门是一种用量大、易损耗的零件，也是保证发动机工作的可靠性和耐久性的零件之一。其失效形式是磨损、斑腐蚀和局部烧伤等，致使气门关闭不严，发动机动力性下降，油耗增加。目前国产汽车发动机的排气门多采用 $4\text{Cr}_9\text{Si}_2$ 、 $4\text{Cr}_{10}\text{Si}_2\text{Mo}$ 、 $5\text{Cr}_{21}\text{Ni}_4\text{Mn}_9\text{N}$ （即21—4N）等钢材制作，这些耐热钢材、有些是要靠进口来供给的。为此，排气门的修复是很重要的。排气门的密封面采用氧乙炔焰喷焊后，其表面就可以获得一层耐高温，耐氧化、耐腐蚀

的性能，使用寿命将大大超过新件，根据我们试验，经喷焊修复后的排气门，装车使用行驶90000km的里程后，阀面仍然完好。

实践证明，热喷涂技术具有独特的优越性，在汽车修理方面有广阔的应用前景。除上述所列举的曲轴、排气门的修复之外，还有象汽车上的轴类零件、汽缸体、齿轮、键槽等都可以用热喷涂（焊）技术修复，以提高零件的使用寿命。

第三节 国内外热喷涂技术发展概况

一、国外热喷涂发展概况

在热喷涂技术中，丝材喷涂技术是比较老的喷涂方法，50年代以前的热喷涂基本上都是丝材喷涂（电喷涂或氧乙炔焰喷涂），美国在30年代开始用丝材喷涂来修复机器零件和作为钢铁结构件的防腐涂层。丝材喷涂在国外一直是耗用金属最多的一种喷涂技术。生产的棒材、丝材的种类很多，各种丝材达近百种、棒材也有数十种。这种喷涂在现在和将来都将发挥其重要作用。近年来，美国的Metec公司生产的R型“生产式”电弧喷枪，性能稳定，喷涂效率高，喷锌时可达53.4kg/h。该公司生产的2R型“移动式”电弧喷涂设备，把喷枪、控制柜、电源连成一体，这样就可以任意移动，变换工作场地。日本化工机械公司研制成一种角线式电弧喷枪，采用带状材料来代替普通的线材进行喷涂，这种喷枪喷涂时电功率大、喷涂速率高，可达138kg/h（喷锌）。为了解决电弧喷涂中合金元素的氧化烧损问题，德国的Euroflamm公司建立了一套可控气氛的低压电弧喷涂装置，以获得合金元素烧损少、含氧量低的涂层。

50年代期间已经有了相当完善的氧乙炔焰喷涂枪，尤其

是自溶性合金粉末和复合粉末的研制成功，使热喷涂（焊）技术得到了飞跃的发展，在此期间，由于空间工程急需高温绝热保护层，利用氧乙炔焰棒材喷涂枪喷涂氧化铝和氧化锆成为这一时期热喷涂的特点。

50年代末期研制出等离子喷涂枪，对热喷涂技术作出了重大贡献。至此任何高熔点材料都可以进行喷涂，使热喷涂技术应用更为广泛。60年代末期，继氧乙炔火焰粉末爆炸喷涂枪发明以后，日本又研制出脉冲放电丝材爆炸喷涂装置。

70年代以来，国外研制成功自粘一次复合粉和组合粉末，它吸取了自溶性合金粉末和放热性复合粉末的特点，大大简化了喷涂工艺过程。近年来，在氧乙炔焰喷涂设备方面的重大突破是超音速火焰喷枪的出现，美国在这方面已取得了很大进展。这种喷枪有许多独特的优点，涂层的结合强度高，涂层致密光滑，孔隙度低于2%，气孔小于 $10\mu\text{m}$ ，涂层硬度高、基体受热变形小，可用来喷金属、合金、难熔金属、碳化物、氧化物等。被喷涂的基材也不受限制。因此，这种设备的出现是对长期保持专利的爆炸喷涂设备及其费用昂贵的等离子喷涂设备的严重挑战。对提高氧乙炔焰喷涂技术的竞争能力和扩大其应用范围起重要作用。

在氧乙炔焰粉末喷焊过程中，重熔过程是直接影响到喷焊层质量的主要因素之一。近年来，国外采用了激光重熔技术，已经在齿轮、轴类、汽缸内套、阀面与阀座等零件中得到应用。

另外，在等离子喷涂方面，目前主要是向高能高速发展，近年来，美国、瑞士、英国的许多公司都研制成功了低压等离子喷涂设备，使用这种设备所获得的涂层、在涂层致密度、涂层与基体的结合强度、粉末沉积率等方面是大气条件下的等离子喷涂所无法得到的，而且使用这种设备，由于