

氧乙炔火焰粉末喷涂和喷焊技术

鲍明远 孟凡吉 编著



机械工业出版社

序

热喷涂技术是材料表面强化和表面保护的新技术，是表面工程技术的重要组成部分。随着现代科学技术的发展，对材料与设备的性能的要求也愈来愈高，如果整体铸造或锻造比较昂贵的金属材料，造价很高，而采用热喷涂方法在普通材料的表面上喷涂保护层、强化层和装饰层等各种功能涂层，使其实现防腐、耐磨、减磨、抗高温、耐氧化、隔热、绝缘、导电和防微波辐射等一系列功能特性，使报废了的机械部件“起死回生”，使新设备“益寿延年”。因此热喷涂技术是节约能源、节约材料的一项新技术，在国民经济各部门有着广阔的应用前景。为此，国家在“六五”、“七五”、“八五”连续三个五年计划中都把它列为重点推广项目，现已广泛地应用于国民经济各部门，取得了很大的经济效益。

在诸多种热喷涂方法中，氧乙炔火焰粉末喷涂技术是倍受人们重视和广泛应用的一项技术。因为该技术设备简单，操作方便，投资少上马快，在一般工厂只要有氧乙炔火焰焊接装置，再购置特制喷枪，操作者经过短期培训就可上马。因此，氧乙炔火焰粉末喷涂技术已经成为目前国内应用的重要的喷涂方法。

本书作者鲍明远高级工程师等从70年代初就从事氧乙炔火焰粉末喷涂技术的研究和开发工作，对氧乙炔火焰粉末喷涂和喷焊技术从原理、设备、材料、工艺到涂层性能、涂层设计以及涂层后加工技术都做了系统全面的研究，结合自己的工作实践，全面总结了北京特种车辆研究所在研究、开发这项技术的经验，并吸取了国内有关这项技术的有益部分，写成此书。全书内容已经在举办过的数十期培训班中应用，证明适用可靠，理论联系实际，

适用范围广。它既是一本好的培训教材，又可作为从事热喷涂等表面工程技术人员以及有关院校有关专业师生的参考用书。

全国热喷涂协作组组长 郑宝臣 高级工程师
北京矿冶研究总院副院长
全国热喷涂协作组办公室 刘广海 高级工程师

1993年5月

前 言

编写这本书是考虑到以下两个方面的需要，一是近年来作为热喷涂技术的主要方法之一的氧乙炔火焰粉末喷涂和喷焊技术在国内得到了很大发展，取得了显著的经济效益和社会效益。当前国内普及应用的形势仍在发展，实在需要一本比较适用的技术培训教材。二是虽然氧乙炔火焰粉末喷涂和喷焊技术在国内已应用的比较普遍，但仍有很多单位未能很好地掌握这项技术，致使影响了它的应用效果，所以很需要氧乙炔火焰粉末喷涂和喷焊的指导性技术资料。

该书主要内容是根据北京特种车辆研究所十五年来对氧乙炔火焰粉末喷涂和喷焊技术的研究、应用经验，并在吸取了国内有关部门较为成熟的技术和经验的基础上编写的。从理论上和实践上较全面地介绍了氧乙炔火焰粉末喷涂和喷焊的原理、设备、材料、工艺、质量控制、涂层设计以及涂层后加工等有关内容。考虑到读者的实际需要，本书附录了包括国内绝大部分厂家和国外有关热喷涂公司的设备、材料等综合附表。

本书共十章，第一章至第九章由鲍明远高级工程师编写。第十章由孟凡吉高级工程师编写。

由于作者水平有限，编写中难免出现错误，敬请读者批评谅解。

作者

1993年5月

目 录

序

前言

第一章 绪论	(1)
第一节 表面工程技术及金属表面强化和防护的主要方法	(1)
一、机件表面强化和防护的意义	(1)
二、表面工程技术及金属表面强化和防护的主要方法	(1)
第二节 热喷涂及其基本原理	(3)
一、基本定义	(3)
二、喷涂层的形成及其结合特性	(4)
三、喷焊层的形成及其结合特性	(5)
第三节, 热喷涂的主要方法	(6)
一、电弧喷涂	(7)
二、等离子喷涂	(8)
三、气体火焰喷涂	(10)
第二章 氧乙炔火焰	(14)
第一节 氧乙炔火焰的燃烧过程	(14)
第二节 氧乙炔火焰种类	(15)
一、中性焰	(16)
二、氧化焰	(16)
三、碳化焰	(17)
第三章 氧乙炔火焰粉末喷涂和喷焊设备	(18)
第一节 气源设备	(18)
一、氧气瓶	(18)
二、乙炔发生器或乙炔气瓶	(19)
第二节 喷枪	(20)

一、喷涂喷焊两用枪	(20)
二、喷焊炬	(23)
三、重熔炬	(23)
第三节 近年引进的氧乙炔火焰粉末喷涂和喷焊设备	(24)
第四节 辅助装置	(26)
一、喷砂装置	(26)
二、工件转台	(27)
三、控制柜	(27)
第五节 工具、机具	(28)
第四章 氧乙炔火焰粉末喷涂和喷焊材料	(29)
第一节 氧乙炔火焰粉末喷涂和喷焊材料的分类	(29)
第二节 自熔合金粉末及其基本特性	(29)
一、自熔合金粉末的基本特性	(29)
二、对粉末的基本要求	(32)
第三节 喷焊用合金粉末	(33)
一、镍基喷焊粉末	(33)
二、钴基喷焊粉末	(35)
三、铁基喷焊粉末	(35)
四、碳化钨弥散型喷焊粉末	(38)
第四节 喷涂用粉末	(39)
一、底层(结合层)粉末	(39)
二、工作层粉末	(42)
三、自粘结功能型粉末	(45)
第五章 氧乙炔火焰粉末喷涂工艺	(47)
第一节 工件的表面准备	(47)
一、工件的清洗、除油	(48)
二、待喷涂表面的预加工	(48)
三、待喷涂表面的喷砂	(49)
第二节 喷涂参数及其选择	(50)
一、氧乙炔火焰功率参数	(52)
二、送粉参数	(54)
三、喷涂距离	(56)

四、工件温度	(57)
第三节 对工件非喷涂部位的保护	(58)
一、罩板保护	(58)
二、捆扎保护	(58)
三、涂药保护	(58)
第四节 几种典型部位的喷涂要点	(58)
一、轴类的外圆表面	(58)
二、曲轴轴颈	(59)
三、平面	(59)
四、止口部位	(59)
五、内孔	(59)
六、局部严重损坏的表面	(60)
第五节 喷涂层常见缺陷及克服办法	(60)
一、涂层疏松、多孔	(60)
二、涂层剥落	(60)
第六节 巴氏合金粉末的喷涂技术	(61)
一、对轴瓦材料的基本性能要求	(61)
二、常用的轴瓦材料种类	(62)
三、锡基轴瓦合金特性	(63)
四、巴氏合金粉末喷涂	(64)
第六章 氧乙炔火焰喷焊工艺	(66)
第一节 工件的表面准备	(66)
一、工件的清洗、除油	(66)
二、喷焊表面的预加工	(67)
第二节 一步法喷焊	(67)
一、预热工件	(67)
二、边喷边熔	(67)
三、一步法喷焊参数	(68)
第三节 两步法喷焊	(68)
一、预热工件	(68)
二、喷撒粉末	(68)
三、重熔操作	(68)

四、两步法喷焊参数	(69)
五、重熔热源	(69)
六、多层重熔的工艺要求	(70)
第四节 喷焊炬功率的选择及粉末粒度的选用	(70)
第五节 喷焊后工件的冷却	(71)
第六节 几种典型部位的喷焊要点	(72)
第七节 铸铁件的喷焊修补	(72)
第八节 喷焊层常见缺陷及克服办法	(73)
一、喷焊层剥落	(73)
二、喷焊层裂纹	(73)
三、喷焊层气孔和翻泡	(74)
四、喷焊层夹渣	(74)
第七章 喷层的质量检验	(76)
第一节 喷层质量定性检验的常用方法	(76)
一、喷涂层、喷焊层的偏车削检验	(76)
二、喷涂层的弯曲检验	(77)
三、喷涂层的敲击疲劳检验	(78)
第二节 喷层质量的实验室检验	(78)
一、喷涂层结合强度的测定	(78)
二、喷涂层、喷焊层抗剪强度的测定	(80)
三、喷涂层自身抗拉强度的测定	(82)
四、喷焊层的弯曲检验	(83)
五、喷涂层、喷焊层的硬度检验	(84)
六、喷涂层、喷焊层的金相检验	(84)
第八章 涂层设计	(86)
第一节 分析及判断	(86)
一、工作条件分析	(86)
二、失效分析	(87)
第二节 加工方法的选择	(89)
一、采用喷涂方法的一般条件	(89)
二、采用堆焊方法的一般条件	(90)

三、采用电镀方法的一般条件	(90)
四、采用冷粘补方法的一般条件	(90)
第三节 采用喷涂方法时, 涂层类别和粉末种类的选择	(91)
一、底层种类及材料的选择	(91)
二、耐磨涂层及材料的选择	(91)
三、防腐涂层及材料的选择	(92)
四、抗高温和抗氧化涂层及材料的选择	(92)
五、热障涂层及材料的选择	(92)
第四节 喷层厚度的确定及用粉量的计算	(93)
一、喷层厚度的确定	(93)
二、用粉量的计算	(94)
第五节 正确认识合理应用氧乙炔火焰粉末喷涂技术	(95)
第六节 高质量的喷涂氧乙炔火焰粉末喷涂层的“二十四字诀”	(96)
第九章 氧乙炔火焰粉末喷涂和喷焊的操作安全	(98)
第一节 设备的操作安全要求	(98)
一、氧气瓶和乙炔气瓶的操作安全要求	(98)
二、乙炔发生器的操作安全要求	(98)
三、回火防止器的操作安全要求	(99)
四、火焰喷枪的操作安全要求	(99)
五、喷砂机及压缩空气系统的使用安全要求	(99)
第二节 防火及防护要求	(100)
第三节 人身安全要求	(100)
第四节 现场通风要求	(101)
第十章 喷涂层和喷焊层的机械加工	(102)
第一节 喷涂层和喷焊层的机械加工特性	(102)
一、喷涂层的机械加工特性	(102)
二、喷焊层的机械加工特性	(102)
第二节 用新牌号硬质合金刀具切削	(103)
一、刀具牌号的选择	(103)
二、车削刀具几何参数的选择	(103)
三、车削的切削用量	(104)

四、铣削与刨削	(106)
五、刀具磨损限度	(106)
第三节 用绿色碳化硅特制砂轮磨削	(107)
一、砂轮的选用	(107)
二、磨削用量	(108)
第四节 用人造金刚石砂轮磨削	(110)
一、金刚石砂轮特性	(110)
二、金刚石砂轮磨削用量	(111)
三、使用金刚石砂轮应注意的几个问题	(112)
第五节 用复合立方氮化硼刀具车削	(112)
第六节 用金刚石电解磨削	(113)
第七节 喷涂层和喷焊层的机械加工实例	(114)
附表1 国内各主要厂家生产的镍基合金粉末	(117)
附表2 国内各主要厂家生产的铁基合金粉末	(130)
附表3 国内各主要厂家生产的钴基合金粉末	(136)
附表4 国内各主要厂家生产的铜基合金粉末	(140)
附表5 国内各主要厂家生产的碳化钨弥散型喷焊粉末	(142)
附表6 国内各主要厂家生产的自粘结功能型喷涂用复合粉末	(145)
附表7 国内各主要厂家生产的镍-铝包复粉末	(147)
附表8 美国美科(METCO)公司火焰喷涂粉末材料	(149)
附表9 瑞士卡斯特林-厄特蒂公司火焰喷涂粉末材料	(156)
附表10 各种硬度值对照表	(160)
主要参考资料	(161)

第一章 绪 论

第一节 表面工程技术及金属表面强化和防护的主要方法

一、机件表面强化和防护的意义

由于各种机器零件在机械运转中的磨损以及机械构件在各种不同介质中工作的腐蚀,会使机件表面性能和尺寸发生变化,并因此导致机器工作效率降低,甚至使整个设备丧失工作能力。这种状况随着工业的发展将会日趋严重。据发达国家统计,每年因腐蚀损失的钢材约占钢材总产量的10%,损失金额相当于国民经济总产值的2%~4%,所以这是必须引起人们重视和解决的一个实际问题。

不难看出,机件的失效大都是从机件的表面开始,有的甚至仅仅表现在机件表面上,所以提高机件的表面性能,对机件表面进行必要的防护以防止腐蚀,对机件表面进行必要的强化以防止磨损,实在是一项有重大意义的工作。

一般金属材料在经过表面强化处理后,在很多场合可以替代贵重的金属材料,甚至由于表面性能的提高延长机件的使用寿命。现代技术的发展,使许多机件都不仅需要承受磨损,同时还要承受各种介质的腐蚀。在这种情况下,即使选用优质材料制造机件也仍然不能满足产品的要求,而这只有采用表面工程的各种方法来提高机件的表面性能才能解决这个问题。

二、表面工程技术及金属表面强化和防护的主要方法

表面工程技术是各种表面防护和表面强化技术的统称。它包

含了所有表面处理、表面改性、表面涂层和表面加工等许多内容。表面工程技术就是利用各种不同的表面处理方法，来达到机件表面所要求的特殊工程性能的各种技术的统称。

概括起来，当前阶段所涉及到的表面处理方法有以下几种：

- (1)表面热处理和表面化学处理。
- (2)表面物理及化学沉积。
- (3)表面高能密度处理。
- (4)表面机械打击。
- (5)表面装饰。
- (6)热喷涂。
- (7)电镀。
- (8)堆焊。
- (9)冷粘补……

采用上述各种处理方法可以得到下列各种工程特性的特殊表面层。

- (1)耐各种腐蚀特性的表面层。
- (2)耐各种磨损特性的表面层。
- (3)耐高温特性的表面层。
- (4)抗氧化特性的表面层。
- (5)抗辐射特性的表面层。
- (6)抗疲劳特性的表面层。
- (7)提高导电、导磁和绝缘特性的表面层……

从学科上看，表面工程既涉及到物理学、化学等基础学科，又涉及到材料学、冶金学、金属物理学、电子学、测试学以及机械工程和维修工程等极其广泛的专业学科。这些学科在具体的表面加工制作中的综合运用，就发展成为当今的表面工程专业技术。

表面工程技术的主要任务是分析研究机件在各种工作条件下的表面状况和失效机理。研制各种表面加工设备和装置。研究制

作各种表面层的工艺方法。研究制造各种表层所需要的材料以及研究表面层质量的检测方法等。

在上述涉及到范围极广泛的各种表面加工方法中,对机件表面防护、表面强化以及旧件修复上最具有实用意义的要属热喷涂、电镀、堆焊和冷粘补等四种。而热喷涂技术又是近年来使用效果好、经济效益高、方便适用的一种方法。

由于以下四个方面的原因,表面工程技术将会成为一项最有发展前途的实用性工程技术。

(1)表面工程抓住了机件的核心部位——表面,通过表面强化提高机件的表面性能,而不必整个零件的改换材质,这就可以显著地节省材料。

(2)通过表面加工方法可以在机件表面上得到制作整体机件无法得到的特殊组织、组分和结构。如超细晶粒、超饱和固溶体、非晶态和多层结构等,这些特殊的组织、结构的性能绝非一般材料可比。

(3)由于表面层可以制作得很薄,用料甚少,这样为了提高表面性能,就可以大胆地选用贵重材料和稀有材料,使其更易于得到理想的表面工程特性要求。

(4)表面加工方法是旧件修复的最理想途径,特别有助于进口设备机件的国产化。

第二节 热喷涂及其基本原理

一、基本定义

1. 热喷涂

热喷涂是利用热源加热喷涂材料,将熔化或接近熔化状态的粒子雾化、喷射并沉积到基材表面上,形成特殊表面层的方法。

目前阶段,喷涂使用的热源主要有三种:一是电弧热源,二是等离子焰热源,三是燃气热源。并由此可以把热喷涂方法分为

电弧喷涂、等离子喷涂和火焰喷涂三大类。

2. 喷焊(或称喷熔)

喷焊是利用热源将材料加热,喷射到基材表面上,并进而将其熔化到基材表面上,形成特殊表面层的方法。

现阶段,喷焊时采用的热源主要是氧乙炔火焰。

二、喷涂层的形成及其结合特性

喷涂时,被加热至熔化或接近熔化的粉末材料,或者被加热熔化并被雾化的丝材颗粒在气流的带动下撞击到基材表面上,产生变形、流散并冷凝成盘状,镶嵌、咬接和填塞到基材表面上。随后喷来的粒子以同样方式连续不断地叠落,从而形成喷涂层。喷涂层结构见图1-1。

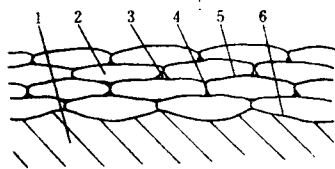


图1-1 喷涂层结构示意图

1—基材 2—变形的颗粒 3—孔隙或疏松
4—颗粒间界面 5—颗粒层间界面 6—涂层与基材界面

从喷涂层的形成过程可以看出,涂层形成时,实际上包括了颗粒与基材表面的相互作用,以及颗粒同已喷着的涂层颗粒表面的相互作用。这首先就是具有较高温度的颗粒在动能的作用下,撞击到基材表面时产生变形,流散成为片状,使其镶嵌、冷凝到基材表面上所表现出来的机械物理结合形态。其次是颗粒中大量受热激发的原子同基材中的原子发生接触,如果这时基材原子得到某些能量,也会发生激发活化,即颗粒中被激发的原子与基材中被激发活化了的原子就会发生原子间的化学键结合。同时颗粒中的各种元素和基材中的化学元素在一定条件下发生相互间的扩散作用,从而提高了涂层的结合能力。

但还必须看到,在喷涂层的形成过程中,各颗粒的实际结合点都不会充满颗粒的整个接触面。同时,焰流中心区与边缘区的温度和热量分布又很不均匀,致使各颗粒受热情况也不相同。另外加上各颗粒不可能具有相同的热学和力学状态,所以颗粒接合处便不可避免地出现气孔或疏松,这就必然会影晌涂层的结合性能。如果再加上喷涂过程中形成的热应力的影响,那么喷涂层的结合能力是有一定限度的。

综合前面的分析,可以把喷涂层的结合形态归纳为以下四种。

1.机械结合

这是主要形态,即熔化或接近熔化的颗粒在喷打撞击下产生变形、镶嵌、咬合和填塞,最后冷凝收缩,贴合到基材表面上所形成的结合。

2.较微弱的非价键相互作用力(范德华力)

即在洁净的表面上,颗粒与基材接触处的原子间距达到了原子、分子距离产生的力。

3.化学键结合

即接触面上的原子距离达到原子晶格常数的数值时,原子激活能超过键能,形成涂层原子与基材原子的化学键结合。

4.微扩散结合

即喷涂颗粒中的元素与基材中的元素在一定条件下的相互扩散作用,有时甚至会由这些扩散元素形成结合层。

我们通常把上述四种结合形态中的第一种称为机械结合,它是喷涂层结合的主要形态。而后三种结合形态被称为冶金结合。总的讲,后三种结合形态是微弱的,它是喷涂层结合的次要形态。

三、喷焊层的形成及其结合特性

喷焊层的形成大致有以下三个过程:

- (1)将喷焊材料(一般为合金粉末)加热到一定温度。
- (2)将喷焊材料喷撒到基材表面上。
- (3)加热喷焊材料,使其熔化到基材表面上。

从上述三个过程看，喷焊的核心在于熔化(或称重熔)过程。

在喷焊过程中，喷焊材料将被完全熔化，而基材基本上未被熔化，我们将喷焊的结合形态称为冶金结合。这是由于喷焊时粉末和基材接触界面上熔融的合金粉末与基材在高温下发生化学反应，使固态的基材表面为熔化的液态合金所溶解，形成一层新的表层合金，这层合金熔点较低，促进了喷焊层和基材的相互扩散、渗透。冷凝时，熔化的合金粉末与基材的互熔区与喷焊合金一起，以不完全相同的成分和组织重新结晶，所以形成的结合层是冶金结合形态。喷焊层结构见图1-2。

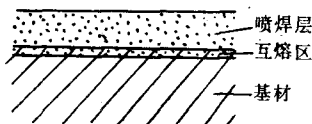


图1-2 喷焊层结构示意图

必须说明，喷焊与堆焊是有很区别的，它们的主要区别在于喷焊时只有合金粉层熔化，基材并不熔化，或者基本不熔化，它仍保持在固态状态而不产生熔池。基材向熔化的喷焊层的扩散也是很有限的，其过渡层较薄。喷焊时基材表面无熔化变形，喷焊层光滑平整、薄而均匀。而堆焊则完全不同，堆焊是堆焊材料与熔化的基材表面形成熔池，完全地熔融在一起，使大量基材成分能充分地向堆焊层扩散。堆焊时由于基材熔化，发生显著变形，所以堆焊层表面比较粗糙且不平整。

从喷焊层与基材的结合能力来讲，由于上面提到的结合特点，可以看出，喷焊层与基材虽属冶金结合形态，但其结合能力远不及堆焊。

第三节 热喷涂的主要方法

根据热喷涂使用的热源不同和喷涂材料状态的区别，可以把

热喷涂简单地分为三大类八种方法,见图1-3。

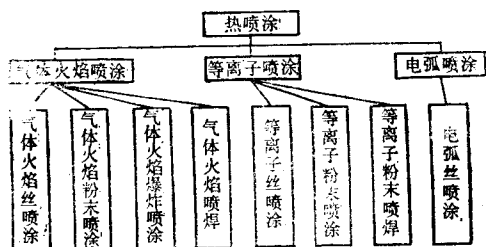


图1-3 喷涂方法分类

一、电弧喷涂

电弧喷涂是在两根分别接电源正极及负极的不断送进的金属丝材间产生电弧,加热的熔融部分被压缩空气射流使其雾化,喷射到基体上形成涂层的方法。其喷涂过程见图1-4。

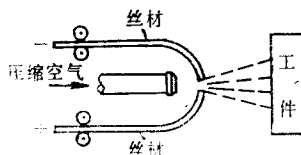


图1-4 电弧丝喷涂

由于这种方法只适于喷涂丝材,所以又称为电弧丝喷涂。

1. 特点

- (1)喷涂材料必须是导电材料。
- (2)电弧温度低于等离子体的温度,但高于氧乙炔火焰温度。雾化丝材的压缩空气压力可以较高,所以喷涂层比较致密。
- (3)由于两根金属丝同时送进,所以喷涂效率高。

2. 用途

适用于大型轴类、滚筒的喷涂以及用于大型结构件的长效防护。