

氧乙炔喷涂(焊)技术

周庆生

编 著

江苏科学技术出版社

4.442

TG174.442

9

3

氧乙炔焰喷涂(焊)技术

周庆生 编著

6709/61

江苏科学技术出版社



B 254848

内 容 提 要

本书主要介绍氧乙炔焰喷涂(焊)技术基础知识;各种氧乙炔焰喷涂(焊)的方法,喷涂(焊)材料、设备、工艺和涂(焊)层缺陷的分析;氧乙炔焰喷涂(焊)技术的基础理论研究、涂层的切削加工与检测技术;以及氧乙炔焰喷涂(焊)技术的应用和发展。此外,还介绍了国内外氧乙炔焰喷涂(焊)技术的发展情况和科研成果。

本书可供从事热喷涂(焊)技术工作的技术人员和工人阅读,亦可供从事材料保护、焊接、金属切削加工和设备维修等方面的技术人员和工人在推广应用热喷涂(焊)技术的过程中参考。

氧乙炔焰喷涂(焊)技术

周庆生 编著

出版:江苏科学技术出版社

发行:江苏省新华书店

印刷:泰兴印刷厂

开本787×1092毫米 1/32 印张9.75 字数209,900

1985年9月第1版 1985年9月第1次印刷

印数 1—9,480 册

书号:15196·168 定价:1.64元

责任编辑 孙广能

前 言

氧乙炔焰喷涂(焊)技术是热喷涂(焊)技术中最常用的一种方法。它是以氧乙炔焰作为热源,将喷涂(焊)材料加热到熔化或半熔化状态,并以高速喷射到经过预处理的基体表面上(喷焊要增加重熔过程),从而形成一种具有特殊性能的涂(焊)层。

根据机器零部件表面性能的要求,可选用相应的喷涂(焊)材料进行氧乙炔焰喷涂(焊),从而可以提高机器零部件表面的耐磨损、耐高温、耐腐蚀、抗氧化、抗冲刷、导电、绝缘等性能,以达到提高机器零部件的使用寿命、修复旧件、大量节省钢材和贵金属等目的。氧乙炔焰喷涂(焊)技术具有设备简单、操作方便、应用灵活、投资少、见效快、便于推广应用等优点。目前,在宇航工业、国防工业、机器制造、石油化工机械、矿山机械、冶金机械、机车车辆、电力、设备维修等部门得到了广泛的应用,并取得了很好的技术、经济效益。

氧乙炔焰喷涂(焊)技术在热喷涂(焊)技术中占有很重要的地位。为了进一步推广应用氧乙炔焰喷涂(焊)技术,本人通过调查研究和工作实践,并参考了一些国内外有关资料,编著了《氧乙炔焰喷涂(焊)技术》一书,供从事热喷涂(焊)技术工作的广大技术人员和工人同志参阅。

在编著过程中,得到了煤炭部科学研究院副院长、高级工程师卫国富和王可环工程师、江苏省热喷涂协作组牛澄波工程师等同志的大力支持和帮助。并由卫国富同志审阅了全

书。在此表示感谢。

由于本人水平有限，在编著本书的内容方面，显然不可能完全反映出当前的氧乙炔焰喷涂(焊)技术水平，衷心地希望广大读者批评指正。

周庆生

1984年1月

目 录

第一章 热喷涂(焊)技术概论

第一节 热喷涂(焊)技术的概念及其分类	1
第二节 氧乙炔焰喷涂(焊)技术的概念及其分类	2

第二章 氧乙炔焰基础知识

第一节 氧 气	3
一、氧气的性质	4
二、对氧气纯度的要求	4
三、氧气的储存和运输	5
第二节 乙 炔	9
一、乙炔的性质	9
二、乙炔的制取	13
三、电石的制取和储存	13
四、乙炔发生器	14
五、回火防止器	21
第三节 氧乙炔焰	27
一、氧乙炔焰的种类	27
二、火焰的温度分布	31

第三章 氧乙炔焰丝材喷涂技术

第一节 概 述	32
一、氧乙炔焰丝材喷涂技术的发展过程	32
二、氧乙炔焰丝材喷涂原理	33
三、氧乙炔焰丝材喷涂的特点	33

四、氧乙炔焰丝材喷涂的应用范围	54
第二节 氧乙炔焰丝材喷涂的金属材料	54
一、单元素及其合金丝材料	54
二、复合型丝材料	52
第三节 氧乙炔焰丝材喷涂设备	56
一、氧乙炔焰丝材喷涂设备的组成	56
二、国产 SQP-1 型氧乙炔焰丝材喷枪	58
三、国外氧乙炔焰丝材喷枪的发展情况	61
第四节 氧乙炔焰丝材喷涂工艺	67
一、喷涂前的基体表面预处理	67
二、氧乙炔焰的选择	74
三、氧乙炔焰丝材喷涂工艺参数的选择	75

第四章 氧乙炔焰粉末喷涂技术

第一节 概 述	91
第二节 氧乙炔焰粉末喷涂所用的粉末材料	82
一、过渡层粉末(又称打底层粉末)	82
二、工作层粉末	89
三、一步法涂层粉末(又称自粘结一次喷涂复合粉末)	94
第三节 氧乙炔焰粉末喷涂设备	106
一、对氧乙炔焰粉末喷涂枪的设计要求	106
二、国产氧乙炔焰粉末喷涂枪	106
三、国外氧乙炔焰粉末喷涂枪	122
第四节 氧乙炔焰粉末喷涂工艺	130
一、喷涂前基体表面的预处理	130
二、氧乙炔焰的选择	130
三、喷涂粉末的选择	130
四、喷涂工艺参数的选择	132
第五节 氧乙炔焰粉末喷涂层缺陷的分析	133
一、喷涂层的剥落	133
二、涂层的龟裂	135
三、涂层的致密度低	136

四、涂层的实际使用性能达不到要求	137
------------------------	-----

第五章 氧乙炔焰粉末喷焊技术

第一节 概 述	138
一、氧乙炔焰粉末喷焊原理	138
二、氧乙炔焰粉末喷焊法特点	138
三、氧乙炔焰粉末喷焊层与基体表面的结合机理	139
第二节 氧乙炔焰粉末喷焊所用的粉末材料	
——自熔性合金粉末	140
一、自熔性合金粉末的特点	140
二、硼、硅元素对自熔性合金粉末性能的影响	142
三、自熔性合金粉末的制造工艺	146
四、自熔性合金粉末的分类	152
第三节 氧乙炔焰粉末喷焊设备	168
一、氧乙炔焰粉末喷焊枪的分类	168
二、对氧乙炔焰粉末喷焊枪的设计要求	170
三、国产氧乙炔焰粉末喷焊枪	170
第四节 氧乙炔焰粉末喷焊工艺	178
一、基体表面的预处理	178
二、基体表面的预热及预保护	179
三、两种基本操作工艺方法	181
四、对合金粉末粒度的选择	182
五、喷焊层的冷却处理	183
六、喷焊层的切削加工	183
第五节 氧乙炔焰粉末喷焊层的缺陷分析	184
一、喷焊层的剥落	184
二、喷焊层的裂纹	185
三、喷焊层的夹渣	186
四、喷焊层的气孔	186
五、喷焊过程中出现的“崩眼”和“起球”	186

第六章 氧乙炔焰爆炸喷涂技术

第一节 概 述	188
一、国内外氧乙炔焰爆炸喷涂技术的发展概况	188
二、氧乙炔焰爆炸喷涂原理	188
第二节 氧乙炔焰爆炸喷涂设备	189
一、氧乙炔焰爆炸喷涂的过程	189
二、氧乙炔焰爆炸喷涂设备	189
第三节 氧乙炔焰爆炸喷涂工艺参数	190
一、各种气氛的控制	190
二、爆炸喷涂工艺参数	190
第四节 氧乙炔焰爆炸喷涂涂层的特性	192
一、爆炸喷涂层与基体表面具有高结合强度	192
二、爆炸喷涂层致密度高	193
三、爆炸喷涂后的涂层具有高的表面硬度	193
四、爆炸喷涂后的涂层具有很高的耐磨性能	193
五、爆炸喷涂层具有明显的层状结构	193
六、爆炸喷涂层切削加工后的表面光洁度高	193
七、爆炸喷涂时的基体表面不易受热变形	194

第七章 氧乙炔焰喷涂(焊)技术的基础理论研究

第一节 概 述	195
第二节 氧乙炔焰喷涂(焊)层的结合机理	196
一、研究喷涂(焊)层结合机理的重要性及复杂性	196
二、对涂(焊)层与基体表面结合的研究方法	197
三、涂(焊)层结合机理的实质	197
第三节 对氧乙炔焰喷涂(焊)层形成过程的分析	199
一、喷涂(焊)粉末粒子在结合过程中的相对独立性	199
二、粉末粒子与基体表面结合的过程	200
第四节 涂(焊)层的性质及分类	201
第五节 涂层结构	204

一、涂层层状结构	204
二、涂层的多孔结构	204
三、涂层的各向异性	205
第六节 涂层的内应力	205
一、涂层内应力的形成	205
二、喷涂内外圆表面涂层的内应力	205
三、喷涂平面时的涂层内应力	206
四、降低涂层内应力的措施	206
第七节 涂层厚度的分布规律	207
一、垂直喷涂时涂层厚度的分布规律	207
二、倾斜喷涂时的“遮盘效应”	208

第八章 氧乙炔焰喷涂(焊)层的金属切削加工

第一节 涂层结构与金属切削加工的关系	210
第二节 氧乙炔焰喷涂层的机械切削加工(以车削加工为例)	212
一、机械加工对轴肩及平面交界过渡区域喷涂时的要求	212
二、轴肩涂层过渡区和平面交界涂层过渡区的机械加工方法	213
三、车削加工涂层时的工艺规范	213
第三节 氧乙炔焰喷涂层的磨削加工	218
一、涂层的磨削加工方法	218
二、喷涂层磨削加工时工艺规范的选择	221
第四节 国外喷涂(焊)层金属切削加工发展概况	224
一、涂层的“封孔处理”	224
二、采用高效率氮化硼和金刚石砂轮	224
三、瑞士卡斯托林(Castolin)公司对于氧乙炔焰喷涂(焊)层 金属切削加工工艺规范的选择	226

第九章 氧乙炔焰喷涂层性能检测技术

第一节 氧乙炔焰喷涂层与基体表面的结合强度试验	239
一、定性地检测氧乙炔焰喷涂层与基体表面的结合强度试验方法	239
二、定量地检测氧乙炔焰喷涂层与基体表面的结合强度试验方法	241

三、影响氧乙炔焰喷涂层与基体表面结合强度试验的因素	244
第二节 氧乙炔焰喷涂层本身的粘结强度试验	245
一、涂层本身的法向粘结强度测定法	245
二、涂层本身的切向粘结强度测定法	245
第三节 氧乙炔焰喷涂层孔隙率的测定	248
一、浮力法	249
二、直接称重法	250
三、渗透液体称重法	250
第四节 氧乙炔焰喷涂层的金相组织	251
一、试样的取法	251
二、涂层金相组织分析	251
第五节 氧乙炔焰喷涂层硬度的测定	252
第六节 氧乙炔焰喷涂层的环境试验	252
一、涂层耐磨性能的环境试验	253
二、涂层耐蚀性能的环境试验	255
三、涂层耐热性能的环境试验	256

第十章 氧乙炔焰喷涂(焊)技术的应用

第一节 氧乙炔焰丝材喷涂技术的应用	258
一、锌、铝防腐涂层的应用	258
二、铜、锡、钎、钢丝等涂层的应用	269
第二节 氧乙炔焰粉末喷涂技术的应用	270
一、氧乙炔焰粉末喷涂技术在冶金工业中的应用	270
二、氧乙炔焰粉末喷涂技术在机械工业中的应用	271
三、氧乙炔焰粉末喷涂技术在铁道部门中的应用	279
四、氧乙炔焰粉末喷涂技术在煤炭工业中的应用	281
五、氧乙炔焰粉末喷涂技术在其它工业中的应用	281
第三节 氧乙炔焰粉末喷焊技术的应用	282
一、氧乙炔焰粉末喷焊技术在冶金工业中的应用	282
二、氧乙炔焰粉末喷焊技术在铁道部门中的应用	283
三、氧乙炔焰粉末喷焊技术在机械工业中的应用	284

四、氧乙炔焰粉末喷焊技术在农业机械修理中的应用	285
五、氧乙炔焰粉末喷焊技术在煤炭工业中的应用	287
六、氧乙炔焰粉末喷焊技术在电力工业中的应用	288
七、氧乙炔焰粉末喷焊技术在其它部门中的应用	289
第四节 氧乙炔焰爆炸喷涂技术的应用	290
一、氧乙炔焰爆炸喷涂技术在国外的应用	290
二、氧乙炔焰爆炸喷涂技术在国内的应用	290

第十一章 氧乙炔焰喷涂(焊)技术的发展

第一节 氧乙炔焰喷涂(焊)技术在设备方面的发展	293
一、氧乙炔焰丝材喷涂设备方面的发展	293
二、氧乙炔焰粉末喷涂设备的发展	293
三、氧乙炔焰粉末喷焊设备方面的发展	294
四、氧乙炔焰爆炸喷涂设备方面的发展	295
第二节 氧乙炔焰喷涂(焊)技术在喷涂材料方面的发展	295
一、国外热喷涂材料发展的概况	295
二、氧乙炔焰丝材喷涂技术中丝材的发展	296
三、粉末材料的组合	296
四、镍、钎合金的发展	296
五、复合粉末的发展	296
六、熔融金属电弧喷雾制粉法	297
第三节 氧乙炔焰喷涂(焊)技术在喷涂(焊)工艺和 应用方面的发展	297
一、氧乙炔焰喷涂(焊)技术在喷涂(焊)工艺方面的发展	297
二、氧乙炔焰喷涂(焊)技术在应用方面的发展	298
第四节 氧乙炔焰喷涂(焊)技术在喷涂过程机械化和 自动化方面的发展	298
一、发展喷涂(焊)过程机械化和自动化的重要性	298
二、喷涂(焊)过程机械化和自动化装置	299

第一章 热喷涂（焊）技术概论

第一节 热喷涂（焊）技术 的概念及其分类

1. 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方法。如果将喷涂层再加热重熔，则出现冶金结合，此法称热喷焊方法。

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、机车车辆和电力等部门。

2. 热喷涂（焊）技术在表面保护技术中的地位

随着现代科学技术的不断发展和国民经济机械化、自动化程度的不断提高，人们对机器零部件和构件的表面性能的要求也越来越高，一般的金属材料 and 工程合金材料，在表面的耐磨损、耐腐蚀和耐热抗氧化等方面，已远远不能满足其要求。如果选用特殊的合金材料来制作整体的零部件和构件，则很不经济。另一方面，有些特殊的合金材料虽然能满足其表面性能的要求，但并不一定具有良好的加工工艺性能

(如铸造、焊接、锻造、热处理和切削加工等性能)。因此,采用特殊合金材料来制作机器零部件和构件往往是不适合的。在这种情况下,采用材料表面保护技术来提高机器零部件和构件的表面性能是经济可行的。

在材料表面保护技术中,金属和非金属覆盖层保护技术应用极为广泛。它包括电镀、化学镀、真空蒸镀、离子镀以及热喷涂等方面。在上述方法中,又以热喷涂(焊)技术具有独特的优越性,它不仅能提高机器零部件和构件的表面性能,而且不受零部件和构件大小形状的限制,还可对零件的局部表面进行保护。

3. 热喷涂(焊)技术的分类

热喷涂(焊)技术按照加热喷涂(焊)材料的热源种类分为氧乙炔焰喷涂(焊)法(又称气喷涂法)和电气式喷涂法。

第二节 氧乙炔焰喷涂(焊)

技术的概念及其分类

1. 氧乙炔焰喷涂(焊)技术的概念

氧乙炔焰喷涂(焊)技术是热喷涂(焊)技术中最常用的一种。它是以氧乙炔焰作为加热热源,使喷涂材料加热到熔融或半熔融状态后,以高速喷射到经过预处理的零件表面上(喷焊增加重熔过程),从而形成牢固结合的涂(焊)层。

2. 氧乙炔焰喷涂(焊)技术在热喷涂(焊)技术中的地位

氧乙炔焰喷涂(焊)技术与其它喷涂(焊)技术相比,具有设备简单、操作方便,应用灵活、修复零件速度快、噪声小等优点。因此,在热喷涂(焊)技术中,氧乙炔焰喷涂(焊)技术是应用最广泛的一种方法。但是对于熔点高于

2900℃的喷涂材料，就无法进行喷涂（焊），喷涂速率和热效率比较低，涂层致密度和结合强度也比不上等离子喷涂。

3. 氧乙炔焰喷涂（焊）技术的分类

氧乙炔焰喷涂（焊）技术包括丝材喷涂、棒料喷涂、粉末喷涂、粉末喷焊和爆炸喷涂等五个方面。各种方法性能的比较见表1-1。

表 1-1 氧乙炔焰喷涂（焊）方法的比较

项 目	丝材喷涂	棒料喷涂	粉末喷涂	粉末喷焊	爆炸喷涂
喷 涂 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	熔点低于2900℃的合金和陶瓷材料	自熔性合金粉末	金属、合金、陶瓷等粉末
基体材料	金属、非金属、陶瓷	金属、非金属	金属、非金属、陶瓷	金属	金属、陶瓷
火 焰 温 度	2700℃~3200℃	2700℃~3200℃	2700℃~3200℃	2700℃~3200℃	4000℃
基体表面 温 度	260℃~320℃	260℃~340℃	260℃~320℃	1010℃~1180℃	200℃
微 粒 速 度	65~140米/秒	170米/秒	50~130米/秒	50~130米/秒	700~800米/秒
喷涂速率 (公斤/小时)	2.5~3.0	0.5~1.0	陶瓷 1.5~2.5 金属 3.5~10	3.5~10	
涂层厚度 (毫 米)	0.05~5.0	0.05~0.05	0.10~5.0	0.12~5.0	0.03~0.30
结 合 型 态	机械、物理、化学	机械	机械、物理、化学	冶金结合	显微冶金结合
结合强度 (牛/厘米 ²)	10~30	5~10	30~50	350~400	70~150
孔 隙 度 (%)	<6.0	1~20	<8.0	无孔隙度	<1.0
基体组织 有无变化	无	无	无	有	无
基体有 无变形	无	无	无	有	无

第二章 氧乙炔焰基础知识

第一节 氧 气

一、氧气的性质

氧气是空气中的重要元素，在空气中含有 21% 体积的氧，它是一种无色、无味、无毒的气体，其分子式为 O_2 。氧气比空气略重些，当温度为 0°C 和压力为 1 千克力/厘米² 时，1 立方米氧气重 1.43 千克（空气为 1.29 千克）；当温度降到 -182.96°C 时，气态氧可转变成浅蓝色的、容易蒸发的液态氧；当温度降到 -218°C 时，液态氧就会转变为淡蓝色的固体。

氧气本身是不能燃烧的，但能帮助其它可燃物质发生剧烈的燃烧。氧气是极为活跃的气体，能同许多元素化合生成氧化物。所谓燃烧，也可理解为是一种剧烈的氧化。氧乙炔焰喷涂（焊）技术正是利用氧气和乙炔的燃烧放出的热量作为熔融喷涂材料的热源。当压缩状态的气态氧遇到油脂、炭粉或有机物等时，就有发生燃烧和爆炸的危险。因此，在操作过程中，氧气瓶、瓶嘴、氧气表、氧气管道、喷涂（焊）枪等里面，绝对禁止把上述物质带进去。

二、对氧气纯度的要求

氧气纯度对氧乙炔焰喷涂（焊）的质量及效率有很大的影响。氧气愈纯，燃烧火焰的温度愈高，热效率也高。氧乙炔焰喷涂（焊）用的工业氧气和氧焊、气割用的氧气一样，

一般分为两级。对氧气的纯度要求见表2-1。

一般情况下，由制氧厂和氧气站供给的氧气纯度指标可以满足氧乙炔焰喷涂（焊）的要求。但氧气纯度不应低于98.5%。

表 2-1 对氧气纯度的要求

指 标 名 称	指 标	
	一级品	二级品
氧气(O_2)含量(%)	≥ 99.2	≥ 98.5
水分(H_2O)含量(毫升/瓶)	≤ 10	≤ 10

三、氧气的储存和运输

氧气的储存和运输唯一的方法是采用氧气瓶。氧气瓶是一种高压容器，工业用的氧气均采用气体压缩机压到150大气压后装入氧气瓶中。氧气瓶的结构（图2-1）主要是由瓶体5、瓶阀2、瓶箍3、瓶帽1和防震圈4等组成。

1. 瓶体

氧气瓶的瓶体是由42Mn₂低合金钢锭直接经加热冲压、拔伸、收口而成的圆柱形无任何焊缝和裂纹的瓶体。外表涂以天蓝色，并写有“氧气”黑色字样。瓶底呈圆凹状，使氧气瓶直立时保持平稳。瓶头内壁有14牙/英寸的内螺纹，用以旋上氧气瓶

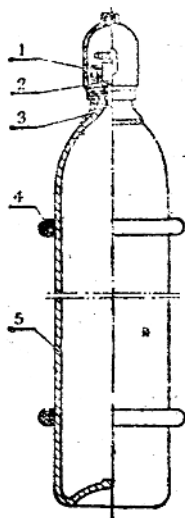


图 2-1 氧气瓶

1—瓶帽；2—瓶阀；3—瓶箍；4—防震圈；5—瓶体