

# 氧-乙炔金属粉末 喷涂喷焊技术

王家振 编

贵州人民出版社

# 氧 - 乙炔金属粉末喷涂喷焊技术

王家振 编写

贵州人民出版社

1986年12月

责任编辑 杨 帆  
封面设计 胡朝惠  
技术设计 苟新馨

**氧-乙炔金属粉末喷涂喷焊技术**

王家振编写

---

贵州人民出版社出版发行

(贵阳市延安中路5号)

贵州新华印刷厂印刷 贵州省新华书店经销

787×1092毫米 16开本 8.75印张 222千字

印数1—4,000

1987年6月第1版 1987年6月第1次印刷

---

书号: 15115·175 定价: 2.10元

## 内 容 提 要

本书主要介绍氧-乙炔金属粉末喷涂、喷焊新技术的特点、工艺过程、检验方法及为实现该工艺所必需的设备与材料。同时,分析了产生缺陷的原因及防止措施。

本书还收集了目前国内生产的主要粉末牌号及喷枪型号,并列举实例50个,对初学者正确掌握该项技术有一定帮助。

11.0.154

## 前 言

为了适应“四化”建设的需要,进一步推广氧-乙炔金属粉末喷涂、喷焊新技术。从国内现有的喷枪、材料、能源等实际情况出发,在广泛收集资料和总结数年来应用经验的基础上,编写了这本书。

为使读者能较快地掌握并应用这门新技术,本书除了详细叙述工艺过程外,还从实践中总结出一些防止产生缺陷的有效措施。同时,还汇编了目前国内一些主要粉末牌号性能、使用范围、喷枪型号与生产单位,以利使用者能正确选择工具与材料。本书还列举了行之有效的“应用50例介绍”,供读者在初用时参考。

本书通过机理、工艺、材料、设备、检验、防止缺陷产生措施、安全防护的叙述及实例应用介绍,不但能使初学者较系统地理解、掌握该工艺的特点与技术关键;同时,将帮助操作者较快地提高实作技巧与分析产生缺陷的能力。

本书编写过程中得到戚机厂科学技术协会、科学技术研究所、焊接学会、喷涂喷焊小分队等有关单位的帮助与支持,毛洪福、梁何宝工程师和铁道部齐宝善高级工程师对本书进行审定,在此表示衷心的感谢。

由于本人经验不足,水平有限,书中难免存在缺点错误,恳请读者多提宝贵意见。

编 者

1985年11月

于戚墅堰

# 目 录

|                                                                                                                  |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 第一章 氧-乙炔金属粉末喷涂、喷焊技术 .....                                                                                        | (1)  |
| 第一节 概述 .....                                                                                                     | (1)  |
| 一、工业发展的需要 (1) 二、喷涂、喷焊技术概况 (1) 三、新的表面处理技术与修复工艺 (2) 四、国内发展概况 (3)                                                   |      |
| 第二节 氧-乙炔金属粉末喷涂与喷焊 .....                                                                                          | (3)  |
| 一、喷焊简介 (3) 二、喷涂简介 (4)                                                                                            |      |
| 第三节 喷涂、喷焊层的结合机理 .....                                                                                            | (4)  |
| 一、喷焊机理 (4) 二、喷涂机理 (5)                                                                                            |      |
| 第四节 正确选择喷涂、喷焊技术 .....                                                                                            | (6)  |
| 一、零件的服役 (6) 二、零件的涂层厚度 (7) 三、零件的精度 (7)                                                                            |      |
| 第二章 氧-乙炔金属粉末喷焊工艺 .....                                                                                           | (8)  |
| 第一节 喷焊工艺特点 .....                                                                                                 | (8)  |
| 一、喷焊 (8) 二、喷焊特点 (8) 三、喷焊工艺 (9)                                                                                   |      |
| 第二节 喷焊“一步法” .....                                                                                                | (9)  |
| 一、工件准备 (9) 二、工具、材料准备 (9) 三、预热 (9) 四、喷粉 (9) 五、喷焊 (10) 六、零件局部喷焊缺陷的修复 (10) 七、全位置喷焊 (10) 八、冷却及加工 (10) 九、喷焊层上再喷焊 (11) |      |
| 第三节 喷焊“二步法” .....                                                                                                | (11) |
| 第四节 怎样选用喷焊“一步法”与“二步法”工艺 .....                                                                                    | (11) |
| 第五节 喷焊过程注意事项 .....                                                                                               | (11) |
| 一、修复件的特殊表面处理 (11) 二、与基体金属的关系 (12) 三、粉末的颗粒度选择及回收 (12) 四、在喷焊层上再喷焊或重新熔化 (12)                                        |      |
| 第六节 喷焊层的缺陷分析 .....                                                                                               | (13) |
| 一、喷焊层裂纹 (13) 二、喷焊层剥落 (13) 三、喷焊层夹渣 (13) 四、喷焊层气孔 (14) 五、喷焊层流淌 (14)                                                 |      |
| 第三章 氧-乙炔金属粉末喷涂工艺 .....                                                                                           | (15) |
| 第一节 喷涂工艺特点 .....                                                                                                 | (15) |
| 第二节 喷涂前的准备 .....                                                                                                 | (15) |
| 一、工件预处理 (15) 二、设备准备 (15) 三、粉末选择 (16)                                                                             |      |
| 第三节 喷涂工艺 .....                                                                                                   | (17) |
| 一、清洗表面 (17) 二、保护车床 (18) 三、工件装于车床 (18) 四、不喷涂区的保护 (18) 五、预热 (18) 六、车削工件表面 (18) 七、喷涂 (19) 八、加工 (20)                 |      |
| 第四节 缺陷分析与防止措施 .....                                                                                              | (22) |
| 一、脱壳 (22) 二、裂纹 (25)                                                                                              |      |

|                                                                                                                                                                                                                                                                |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>第四章 设备</b> .....                                                                                                                                                                                                                                            | (26) |
| 第一节 喷涂、喷焊设备基本原理.....                                                                                                                                                                                                                                           | (26) |
| 一、喷涂枪基本作用原理 (26)  二、喷焊枪基本作用原理 (28)                                                                                                                                                                                                                             |      |
| 第二节 主要喷枪使用方法.....                                                                                                                                                                                                                                              | (29) |
| 一、喷涂枪 (29)  二、喷焊枪 (30)  三、“二用枪”(大型喷焊、喷涂枪) (30)                                                                                                                                                                                                                 |      |
| 第三节 喷枪介绍.....                                                                                                                                                                                                                                                  | (31) |
| 一、上海机电局喷枪代号介绍 (31)  二、上海焊割工具厂 (31)  三、上海喷涂机械厂 (39)  四、泰兴机械厂 (40)  五、威墅堰机车车辆工厂技校 (41)  六、北京冶金设备设计研究所 (41)  七、喷枪的选择 (41)                                                                                                                                         |      |
| 第四节 其它设备及附件.....                                                                                                                                                                                                                                               | (42) |
| 一、ST198半自动喷焊机 (42)  二、氧气和氧气瓶 (43)  三、乙炔和乙炔瓶及乙炔发生器 (44)  四、干燥器与稳压器 (49)                                                                                                                                                                                         |      |
| <b>第五章 材料</b> .....                                                                                                                                                                                                                                            | (51) |
| 第一节 合金粉末.....                                                                                                                                                                                                                                                  | (51) |
| 一、自熔性合金粉末 (51)  二、合金粉末的制取 (54)                                                                                                                                                                                                                                 |      |
| 第二节 复合粉末.....                                                                                                                                                                                                                                                  | (54) |
| 一、复合粉末简介 (54)  二、复合粉末的选择 (54)  三、复合粉末的制造方法 (55)                                                                                                                                                                                                                |      |
| 第三节 镍包铝复合粉末标准(国标草案).....                                                                                                                                                                                                                                       | (36) |
| 一、技术要求 (56)  二、试验方法和检验规则 (57)                                                                                                                                                                                                                                  |      |
| 第四节 喷涂合金粉末标准(冶金部标准草案).....                                                                                                                                                                                                                                     | (57) |
| 一、技术要求 (57)  二、检验方法 (58)                                                                                                                                                                                                                                       |      |
| 第五节 喷焊合金粉末标准.....                                                                                                                                                                                                                                              | (59) |
| 一、牌号 (59)  二、技术要求 (60)                                                                                                                                                                                                                                         |      |
| 第六节 喷焊合金粉末测试方法(一机部标准草案).....                                                                                                                                                                                                                                   | (60) |
| 一、硬度测定 (60)  二、粒度测定 (60)  三、化学成分分析表 (61)  四、碳量的测定方法 (62)  五、硅量的测定方法 (62)  六、磷量的测定方法 (62)  七、铬量的测定方法 (62)  八、铁量的测定方法 (63)  九、钨量的测定方法 (63)  十、镍量的测定方法 (63)  十一、钴量的测定方法 (63)  十二、锰量的测定方法 (63)  十三、钒量的测定方法 (63)  十四、铜量的测定方法 (63)  十五、钼量的测定方法 (63)  十六、铝量的测定方法 (63) |      |
| 第七节 国内主要粉末生产厂的产品表.....                                                                                                                                                                                                                                         | (64) |
| 一、冶金部钢铁研究总院 (64)  二、冶金工业部矿冶研究总院 (66)  三、浙江省冶金研究所 (69)  四、湖南省钢铁研究所 (69,72~74)  五、上海钢铁研究所 (70)  六、上海跃龙化工厂 (75)  七、上海有色金属焊接材料厂 (75)  八、上海冶炼厂 (77)  九、江苏泰兴口岸合金粉末厂 (78)  十、天津第一机械工业局通用公司计量站 (80)  十一、西南金属制品厂 (84)  十二、丹东市焊条线材厂 (84)  十三、北京宣武电工合金厂 (85)              |      |
| <b>第六章 涂层检验</b> .....                                                                                                                                                                                                                                          | (86) |
| 第一节 喷涂层的抗拉强度.....                                                                                                                                                                                                                                              | (86) |
| 一、试样 (86)  二、试验方法 (86)  三、计算 (86)  四、试验报告 (87)                                                                                                                                                                                                                 |      |

|                                                                                |       |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 第二节 喷涂层的抗剪强度                                                                   | (87)  |
| 一、试样 (87) 二、试验方法 (87) 三、计算 (88) 四、试验报告 (88)                                    |       |
| 第三节 喷涂层的粘附强度                                                                   | (88)  |
| 一、试样 (88) 二、试验方法 (89) 三、计算 (89) 四、试验报告 (90)                                    |       |
| 第四节 喷涂层的抗压强度                                                                   | (90)  |
| 一、试样 (90) 二、试验方法 (91) 三、计算 (91) 四、试验报告 (91)                                    |       |
| 第五节 喷涂层与喷焊层的金相检查                                                               | (91)  |
| 一、金相检查内容 (91) 二、金相检查报告 (92)                                                    |       |
| 第六节 喷涂层与喷焊层硬度检查                                                                | (92)  |
| 一、试验方法 (92) 二、试验报告 (92)                                                        |       |
| 第七节 喷涂层的孔隙率                                                                    | (92)  |
| 一、试验方法 (92) 二、计算 (93) 三、试验报告 (93)                                              |       |
| 第八节 偏心车削试验                                                                     | (93)  |
| 一、试样 (93) 二、试验方法 (94)                                                          |       |
| 第九节 喷涂层的弯曲试验                                                                   | (94)  |
| 一、试样 (94) 二、试验方法 (94)                                                          |       |
| 第十节 喷焊层与基材的结合强度                                                                | (94)  |
| 一、试样 (94) 二、试验方法 (95) 三、计算 (95) 四、试验报告 (95)                                    |       |
| 第十一节 喷焊层的弯曲试验                                                                  | (96)  |
| 一、试样 (96) 二、试验方法 (96)                                                          |       |
| <b>第七章 安全与劳动保护</b>                                                             | (97)  |
| 第一节 易燃、易爆气体、物品介绍                                                               | (97)  |
| 一、氧气 ( $O_2$ ) (97) 二、乙炔 ( $C_2H_2$ ) (97) 三、电石 ( $CaC_2$ ) (98)               |       |
| 第二节 乙炔发生器的安全                                                                   | (99)  |
| 一、乙炔发生器发生爆炸、失火的原因 (99) 二、乙炔发生器防爆、防火措施 (100)                                    |       |
| 三、乙炔发生器的安全使用 (100)                                                             |       |
| 第三节 气瓶的安全                                                                      | (101) |
| 一、氧气瓶 (101) 二、乙炔瓶 (101) 三、气瓶发生爆炸的原因 (101) 四、气瓶的防爆措施 (102)                      |       |
| 第四节 管道安全                                                                       | (103) |
| 一、管道发生燃烧爆炸的原因 (103) 二、管道的防爆措施 (103)                                            |       |
| 第五节 喷涂、喷焊粉尘的防护                                                                 | (107) |
| 一、通风技术措施的要求 (107) 二、通风方式 (107) 三、其它措施 (108)                                    |       |
| <b>第八章 应用</b>                                                                  | (109) |
| 第一节 实例剖析                                                                       | (109) |
| 一、240气门 (奥氏体钢) 阀面采用氧-乙炔金属粉末喷灯修复 (109) 二、10L207曲轴 (球墨铸铁) 轴颈采用氧-乙炔金属粉末喷涂修复 (116) |       |
| 第二节 应用50例介绍                                                                    | (120) |
| 一、例1 10L207 机体主轴承孔喷涂 (121) 二、例2 240 气门阀面喷焊 (121)                               |       |
| 三、例3 罗马尼亚280 曲轴连杆颈喷涂 (122) 四、例4 日本五十铃汽车曲轴喷涂                                    |       |

(122) 五、例5 10L207缸套外径喷涂(123) 六、例6 空压机曲轴喷涂(123)  
 七、例7 6L207曲轴喷涂(124) 八、例8 电机端盖喷涂(124) 九、例9 换气泵  
 叶轮轴喷涂(125) 十、例10 10千瓦电机轴喷涂(125) 十一、例11 球磨机滚轮  
 轴喷涂(126) 十二、例12 6m<sup>3</sup>空压机曲轴喷涂(126) 十三、例13 扁弹簧剪刀  
 片喷焊(127) 十四、例14 抛丸机档板喷焊(127) 十五、例15 牛头刨主轴喷涂  
 (128) 十六、例16 圆弹簧滚刀喷焊(128) 十七、例17 美国立车电机轴喷涂  
 (129) 十八、例18 催化剂芯棒喷焊(129) 十九、例19 平型砂轮模具喷焊  
 (130) 廿、例20 C618车床主轴承档喷涂(130) 廿一、例21 冷冻机曲轴喷涂  
 (131) 廿二、例22 10L207曲轴喷涂(131) 廿三、例23 密封盖喷涂(132)  
 廿四、例24 轴承盖内孔喷涂(132) 廿五、例25 凸轮轴端头喷涂(133) 廿六、  
 例26 油泵齿轮轴喷涂(133) 廿七、例27 叉形接头轴喷涂(134) 廿八、例28 花  
 键轴喷涂(134) 廿九、例29 牵引电机端盖内孔喷涂(135) 卅、例30 轧钢导位板  
 喷焊(135) 卅一、例31 轧钢夹具喷焊(136) 卅二、例32 减震器盖板喷涂(136)  
 卅三、例33 引风机叶轮轴喷涂(137) 卅四、例34 370、175kW电动机转子轴喷  
 涂(137) 卅五、例35 剪刀片座喷焊(138) 卅六、例36 195柴油机连杆模喷焊  
 (138) 卅七、例37 离合器轴喷涂(139) 卅八、例38 C650机床导轨面喷涂  
 (139) 卅九、例39 240空压机内孔喷涂(140) 四十、例40 接头喷焊(140)  
 四十一、例41 解放牌汽车后桥喷涂(141) 四十二、例42 煤矿运输链带喷焊(141)  
 四十三、例43 柴油机机体汽缸孔喷涂(142) 四十四、例44 6110柴油机曲轴连  
 杆颈喷涂(142) 四十五、例45 法兰喷焊(143) 四十六、例46 柴油机轴承盖  
 喷涂(143) 四十七、例47 柴油机垂直传动轴喷涂(144) 四十八、例48 铲土机  
 铲齿喷焊(144) 四十九、例49 鼓风机叶轮轴喷涂(145) 五十、例50 大型电机  
 轴喷涂(145)

# 第一章 氧-乙炔金属粉末喷涂、喷焊技术

## 第一节 概 述

### 一、工业发展的需要

随着工业的不断发展,科学技术的日益创新,对机械设备的综合性能要求也愈高。反映在机械零件的磨损、报废方面也日益严重和增多。据不完全统计,全世界每年报废的机械零件和工具,价值350亿美元以上。特别是先进技术的日益发展,运动体的转速不断提高,载重的增加,以及新钢种、新材料的快速问世,给科技工作者带来一个新的课题,即在进一步研究磨损机理的同时,应迅速提出一项有效的、经济的防磨技术及修复工艺。例如,从铁道系统的牵引动力来看,随着工业的发展,内燃机车、电力机车逐渐增多,车辆专用车、机械保温车、设有空调的客车等,目前在国内外象雨后春笋不断创新并增加。随之而来的,对中、高速柴油机及附件的各重要零件的防磨、防腐、防高温的技术研究及运用后的修复研究提出了课题。

在防磨、防腐及修复等研究中,为减少稀有金属的消耗,一般不选用更高级材料来制造零件,而采用金属表面处理工艺来提高零件表面性能,延长其寿命。常用的金属表面处理方法,如高频和火焰表面淬火、化学(包括电化)处理、涂镀、金属线材喷涂、电弧堆焊等,均有较好效果。合金粉末喷涂、喷焊是新发展起来的一种简便、有效的表面强化技术。由于它可以在必要之处形成耐磨损、耐腐蚀和抗氧化性能兼优的表面焊层,以满足各种需要,因此应用范围极其广泛。

### 二、喷涂、喷焊技术概况

人们很早就知道把喷涂技术应用到工业上去,并作为用来延长零件寿命的一种手段。这种喷涂技术可以追溯到1882年左右,当时德国已正式提出喷涂法。最早的喷涂法是利用从喷嘴高速喷出的空气或受到加热的气流,把熔化了的金属分裂成为极细小的金属微粒的方法。随着工业水平的不断提高和工业规模的扩大,喷涂技术也获得很大的发展。至今,根据加热喷涂材料的热源分类,大致可分为:气喷涂法(熔线式、熔棒式、粉末式、爆燃式)电喷涂法(交流、直流);等离子射流与高频感应等方法。它们都有各自的优缺点。

熔线式(或熔棒式)气喷涂。由于通过氧、乙炔燃烧加热,使喷丝加热熔化,再通过周围压缩空气的喷射,因此,涂层孔隙率大,结合力低。

气体爆燃式喷涂。是把经严格定量的氧气和乙炔送入水冷式的喷枪燃烧部分,然后从另一入口把氧气与喷涂材料粉末混合送入。当粉末在燃烧部浮游时,火花塞点火,产生热与压

波，并把加热的粉末喷射到工件表面，形成涂层。该方法，由于压力波的作用，产生相当大的噪声(140dB)，须把喷涂设备安置在双层墙壁的房间里，为此设备的造价昂贵。

电弧喷涂。它是利用通过从喷枪的上、下两支导管连续输送的两条喷涂线料的端部之间发生的电弧把喷涂材料熔化，再由中间的喷嘴喷出的空气射流，把熔化线材形成粉末，喷射到工件表面。该方法输出功率大，喷涂效率高，但合金元素的烧损严重；往往为了补偿损失的成分，需制造出含有元素补偿量的线材，但其造价约提高三倍。

等离子射流喷涂。将粉末状的喷涂材料，由输送气把它送入具有等离子射流的喷枪内，经熔化喷射到工件表面。该方法具有超高温的特性，射流温度可根据喷嘴的形状调整。由于采用了惰性气体作为工作气，故涂层中的氧化物也少，同时，涂层密度大。但它的效率低，又产生对人体有害的严重噪声与紫外线，设备运转费用也高，且不能随工件场所的需要，跟随搬动。

### 三、新的表面处理技术与修复工艺

伴随着工业发展的喷涂技术，日益被人们重视，并得到了充分的发展。人们针对原来工艺的结合力低，成本高，对产品适应性差等缺陷作了研究和改革，提出了氧-乙炔金属粉末喷涂、喷焊新技术。它吸收了氧、乙炔能源便宜、操作方便之优点，改丝喷为粉喷，并研究成具有较好结合力和具有特殊性能的复合粉末与自熔性合金粉末。

氧-乙炔金属粉末喷涂、喷焊技术，目前作为表面处理的一个领域，引起了国内外一些科技人员的兴趣，从而获得了应用和发展。特别是自熔性合金粉末喷焊技术问世，已获得广大设计师们的重视。例如，不少化工系统的耐腐蚀零件普遍选用  $1Cr_3Si_2$  材料，但在某部位要受高温冲击，这时该零件却适应不了工况需要。如果我们在  $1Cr_3Si_2$  材料承受该特殊工况的表面喷焊一层  $WCrCo$  材料，则该零件就能完全胜任两种不同工况工作。因此该工艺作为耐磨、耐蚀等防护技术，不但广泛用于石油化工、铁道、冶金、矿山、机械、水电、玻璃及造纸工业等部门，同时在航空、国防及其它较尖端的工业中也得到充分的应用。

与此同时，氧、乙炔金属粉末喷涂、喷焊技术，作为一种特殊的修复工艺也日益被人们所接受。特别是在科学技术较发达的国家里，零件的磨损有三高一少的特点，即：零件含碳量及合金元素高；零件自身精度高；零件的价格高；零件的磨损量却很少。因此，仍沿用老工艺，如气焊、电弧焊堆焊等方式来修复这些零件，就满足不了该零件的技术要求。不是合金钢材焊后裂纹或产生堆焊高碳钢件的焊波有毛细裂纹；就是造成零、部件的严重变形而破坏原来精度；或损坏零件表面的预处理而使昂贵零件报废。如10L-207柴油机曲轴，材料为球墨铸铁，过去，在运用后，导向轴颈由于偏磨或不同心而报废甚多。自选用这项喷涂工艺进行修复后，使原要报废的曲轴能再投入使用。几年来，仅此一项就节约20余万元。

加拿大的 Snerritt Gordon 矿业公司，除采用水溶液氢还原法制取纯镍粉、钴粉、铜粉外，还研制和生产了镍包铝、镍包石墨、镍包三氧化铝、钴包碳化钨等近百种复合粉。著名的美国 Metco“404”镍包铝粉，西德 H.C. Starck 公司的“WC”-Co88-12VP和“WC”-Co88-20CP 钴包碳化钨粉都是用这种水溶液氢还原法生产的。

日本福田金属箔粉工业公司所生产的自熔性镍合金粉（代号为FP-C、FP-M），其特点是具高耐磨性，适用于一般碳素钢质的零、部件表面上，采用氧-丙烷喷枪喷焊薄膜，可提

高零件的耐磨性。日本某金属矿山公司曾用100公斤的真空炉，利用氩气保护，熔炼一个半小时，以水喷雾化粉末（水压为50kg/cm<sup>2</sup>，利用两个大型雾化筒交替地雾化7~10分钟，在大气下进行），年产可达100吨。日本东洋渗铝工业公司，采用氧、乙炔（或氢）为热源来喷涂耐蚀、耐热性好的零件或者用以喷焊焊接困难的铸铁件，亦收到良好的效果。

因此，目前世界上不少国家成立专业防腐、修复技术服务公司，为全世界经营零部件的修复，获得很大的经济效益。

瑞士卡斯托林公司(Castolin)就是一家经营防腐、补修为主的跨国公司。它专门从事机械设备零件的抗磨及补修技术已有七十多年历史。该公司在世界各地有42个生产中心，10个研究中心，三万余工作人员，对抗磨、补修技术上碰到的问题进行材料、化学、冶金、力学、结构学、加工、熔焊等技术进行综合研究，并为世界各国服务。据了解，目前已有160余个国家和地区使用它的防腐、焊修技术，并获得极大的经济效果。

#### 四、国内发展概况

我国的金属粉末热喷涂、喷焊技术的发展也同样是在丝喷的基础上，在五十年代时伴随着粉末冶金制品的诞生，和航天技术的发展而得到发展的。六十年代冶金粉末制品获得发展，铜基含油轴承、各种粉末冶金的机械零件以及硬质合金刀具、刃具、不重磨刀具等均得到发展。从而于1965年间在内燃机车气阀阀面上，采用了钴铬钨压制环的等离子喷焊，又于1970年初期改为钴铬钨粉末的堆焊等。此时，国内的镍包铝、镍包碳化钨等粉末着手试制，并陆续拿出不少科研成果。与此同时，焊炬生产厂也相应生产各种喷涂、喷焊工具。目前，国内已初步形成一个材料、设备的生产系统，和全国性的工艺、材料、设备的研制、生产、应用协作机构。至今，国内已能生产十余种复合粉末及数十种配套的自熔性合金粉末，基本上满足了国内喷涂、喷焊工艺的需要。在喷枪研制方面，不但能仿制国外的各类喷涂、喷焊枪，还结合国情生产出低压廉价的喷涂枪，为全国能普及该项新技术起了一定的作用。

虽然如此，但也应该看到，我国在推广、应用这门新工艺上，仍然还处在“幼年时代”，不少技术人员尚未进一步掌握，甚至还不了解该技术。因此有许多工作还得进一步研究、摸索、实践、推广。如结合机理的数理分析；材料、喷枪的标准化、系列化；粉末质量的稳定性；及实物涂层的无损检查等。近年来，国家科委、经委决定，把该项工艺作为全国推广的新技术之一。可以坚信，在我国广大科技人员的辛勤劳动基础上，经过进一步努力，我国的氧-乙炔金属粉末喷涂、喷焊技术必将获得更大的发展。

## 第二节 氧-乙炔金属粉末喷涂与喷焊

### 一、喷焊简介

氧-乙炔金属粉末喷焊工艺（简称喷焊）是粉末喷焊法中的一种。它是将自熔性合金粉末通过氧、乙炔火焰加热喷涂到工件表面，再将喷涂层与基体加热重熔，使之熔焊结合，并在被喷金属零件表面上形成具有特种性能的方法。

喷焊是一种较好的表面处理工艺。它和化学热处理中的氮化法、碳氮共渗或电镀法比

较，不但可以获得厚的喷焊层（达到3mm左右），而且不受部件尺寸的限制。而在焊出较薄的保护层时，其操作时间仅为镀铬时间的几百分之一。

喷焊又是一种很好的修复工艺。以往，采用金属线材喷涂修复工艺。它的缺点是喷涂层与工件之间以机械结合为主，涂层本身较疏松、多孔，内应力也较大。因而结合强度较低，易剥落，仅适于机床轴类加粗，不适于在冲击、振动条件下工作的零、部件。而金属堆焊修复工艺，它的缺点是冲淡率大，热输入高。对调质钢、易淬火锅以及怕变形的零件无法采用；能采用的零件，堆焊后表面不均匀，成形差，花费堆焊材料较多，加工量亦相当大。喷焊是在堆焊与线材喷涂的基础上所发展起来的一种新工艺。由于喷焊的金属粉末具有熔点低的特点，所以它兼有喷涂工艺的灵活性和堆焊工艺的可靠性。弥补了喷涂法和堆焊法所存在的涂层的多孔性，涂层与基体结合力低，以及涂层存在着内应力等缺陷。喷焊层可以做到薄而均匀，焊层表面光滑平整，且可较精确地控制厚度。合金粉末可根据工况需要选择各种成分，使喷焊层成为抗磨损、抗腐蚀、抗氧化、耐热、耐冲击的表面敷层，从而满足各种工况的需要。这就扩大了零、部件的修复范围并可获得更好的经济效益。

## 二、喷涂简介

氧-乙炔金属粉末喷涂工艺（简称喷涂），是将金属粉末通过氧、乙炔火焰加热至熔化或达到高塑性状态后，喷射并沉积到处理过的工件表面，从而形成牢固结合涂层的一种喷涂方法。过去，人们对火焰喷涂有所应用，但都是线材喷涂。因此涂层比较疏松，孔隙率大，结合强度低。为此，人们设想一种喷涂温度很低，对工件变形量极小，但结合力比原线材喷涂有所提高，并能满足产品需要的工艺。通过世界上不少学者的研究，终于研制成功一种放热型的复合粉。这包裹着的放热型复合粉，如镍、氧化铝粉，以及硼等元素在喷出后，可产生2000℃左右的高温。因此在氧、乙炔火焰温度条件下，将这种粉末喷出时，粉末发生化学反应，产生短时间的放热，用以提高喷射到工件表面时的结合温度，因此大大提高了金属粉末喷涂层和基体的结合强度。由于它对工件的输入温度可防止零件的热变形；同时涂层还具有一定的耐磨、抗氧化性；并且喷涂工艺所需设备简单，操作简便，应用灵活，速度快，噪音小，不受工件体积限制，甚至大型金属结构建成后也可喷涂。因此喷涂技术目前在海外被人们日益重视，并得到广泛的应用。

## 第三节 喷涂、喷焊层的结合机理

### 一、喷焊机理

利用自熔性合金粉末在被喷金属表面上熔化形成牢固的保护层结合机理是：被喷焊的基材表面未经熔化，而交界面上的基材被熔化的低熔点自熔性合金在熔解之时，形成了表面合金。它们互相扩散，互相渗透，最后形成牢固的结合。为什么能形成表面合金呢？下面举几个例子来说明。我们知道，普通食盐的熔点为763℃，如果加入熔剂（水），零度以上的水便可使食盐溶化，减少了七百多度。铜的熔点为1080℃，但加热和加入熔剂可将熔点降至

736℃。如将一铜棒放入熔融的磷铜合金里保持736℃，铜棒就会慢慢地熔化，较原来的熔点降低了344℃。从上述例子可以看出，在温度和熔剂的作用下，固体被液体所熔解，这个温度比原来的金属熔点低。又如银的熔点960℃，倘将一铜片夹入两片银片之间，铜片会在780℃的温度下和银的交界面形成新的合金，称为表面合金。合金的结合强度视两种金属的化合亲和力及互相渗透、扩散性能以及湿润特性，如使用焊剂时，视其化学成分如何而定。

喷焊层与基材结合的机理就是根据这个原理发展起来的。自熔性合金粉末熔点比喷焊基材的熔点低，当其熔化时基材金属仍处固态，合金中的硼硅元素与氧的亲合性较高，它们使基材金属表面上的氧化铁和其它金属氧化物引起还原作用，生成氧化硼与氧化硅。氧化硼和氧化硅化合成为一种低熔点的硼硅酸盐类熔渣。 $(Fe_2O_3 + XB + Si \rightarrow ZFe + BxO_y \cdot SiO_y)$  这种化合的氧化硼和氧化硅  $(BxO_y \cdot SiO_y)$  能与其它氧化物一起浮出液体金属的表面形成保护膜，保护金属不被空气中的氧来氧化。由于硼硅的脱氧作用，使熔化的金属紧密接触被清洁的固态基体金属表面，并熔解其表面，形成表面合金。产生相互渗透、相互扩散，形成牢固的结合，实质上就是固态金属被液态金属所熔解而形成结合。

## 二、喷涂机理

一般说来，无论哪一种喷涂方法，涂层形成的机理都是一致的。通过加热使喷涂材料熔化、半熔融或到达高塑性状态，并以微颗粒状高速冲击、碰撞在基体表面上产生变形，形成“片状”形态。后来的微颗粒又碰撞在已经粘附在基体上的微粒上，也成为扁平状并互相镶嵌，逐渐形成涂层。所以，任何一种喷涂方法形成的涂层都具有方向性，且各个方向性能不一样，并具有一定的孔隙度。

另外，在涂层的形成过程中，每个微颗粒因为在碰撞时“冻结”了，所以受到一个抗拉应力，每个颗粒的这些应力是积累的，同时对颗粒产生一些变形。由于这个原因，整个涂层产生了一个有规则的应力，外层承受拉应力，而内层产生压应力。因此，在某种情况下，应力的积累限制了涂层的厚度。

如前所述，选用喷焊工艺，虽然喷焊层与基体金属能形成冶金结合，但在重熔过程中受到较大的热影响，因而不可避免地产生变形和基体金属的组织改变。氧、乙炔金属粉末喷涂工艺，在原有结合机理的基础上，选用了复合粉末，缓和了结合力和变形的矛盾。

通过复合粉末的研究，发现放热型复合粉末如镍铝化合物的涂层与基体间可建立微“冶金”结合。当进行涂层结合性能试验时，发现断裂和剥离的部位是在镍铝化合物涂层的内部或在镍铝化合物涂层与表面的工作涂层的交界面上。这表明镍铝化合物涂层与基体材料的结合比镍铝化合物涂层内部强度及镍铝化合物涂层与工作涂层的结合力强。放热型复合粉末能与基体材料产生良好的结合机理是：

(一) 产生机械结合。一般处理过的表面，放大观察，表面总是凹凸不平的。高温微粒子，高速碰撞到基体表面的凸点，形成机械结合。见图1。



通过结合力的测定证明，光表面比粗糙表面的结合力低。所以，不管任何喷涂工艺，被喷工件表面都应尽可能糙化。

(二) 产生微焊接。基体表面上的冷点，会因高温粒子碰撞而受热。由于镍铝化合物的反应热量大，颗粒温度高，甚至在与基体表面碰撞时刻，还会继续维持几个微秒时间的放热。这样使冷点的温度升高，使其与高温颗粒间有可能熔合在一起，形成微焊接。

(三) 产生金属键力的结合。高速、高温颗粒撞在极其干净的基材表面后，这时颗粒变形与表面密贴，颗粒与表面的距离可能达到原子晶格范围内，这就产生了金属键结合力。产生金属键结合力的最基本条件，就是一定要在极其干净的表面上，同时距离要在晶格距离内才能产生。所以，被喷涂的基体表面一定要做到极其干净。

(四) 产生微扩散结合。放热型的镍铝复合粉在基体表面碰撞时，由于是在紧密接触、变形、高温等条件下，在界面上就可能造成微小的扩散，使颗粒和基体增加结合力。通过涂层的金相及电子显微镜扫描的分析，发现以钢为基体的表面镍铝包复粉的喷涂层结合处，既不同于基体材料，也不同于涂层材料。结合层由Ni-Al-Fe所组成，这一结合层厚度约为 $0.5 \sim 1\mu$ （见图2）。



图2

#### 第四节 正确选择喷涂、喷焊技术

氧-乙炔金属粉末喷涂、喷焊工艺是一对孪生子。它们都以氧、乙炔焰为能源，对机械零部件进行修复或表面处理。但由于机械零件的表面要求及所处的工况条件不一，故不能任意选用喷涂工艺和喷焊工艺。只有正确地选择其中一种，才能获得满意效果，否则事与愿违。为此，如何正确选择喷涂、喷焊工艺是很重要的。下面讲讲选择喷涂或喷焊工艺的原则。

##### 一、零件的服役

(一) 结合强度：一般说，工件表面经氧、乙炔金属粉末喷涂后，涂层和工件间的结合

强度为  $3 \sim 5 \text{ kg/mm}^2$ 。工件表面经氧、乙炔金属粉末喷焊后(“一步法”或“二步法”)焊层和工件之间的结合强度为  $30 \sim 50 \text{ kg/mm}^2$ 。

(二) 受力状态: 由于喷涂的结合力较低, 一般不宜用在受冲击力严重之处而适宜用在静摩擦处。喷焊, 由于它结合力较高, 因此适宜用在冲击、高温、疲劳、严重腐蚀等恶劣工况下工作。

(三) 磨损情况: 一般轴在旋转运动中接触面产生磨损, 这种磨损和正面压力及表面的不平度有关。我们可以认为零件的表面总是不平的, 各点有棱角。如图 3。

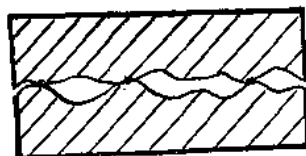


图 3

二零件接触时, 首先各棱角点接触, 这些点产生“熔着作用”。为此, 在两种不同的材料中必须加润滑剂, 达到防磨效果。为了能贮藏润滑剂, 希望该二种不同材料表面多孔隙。喷涂工艺, 由于粉末在喷射到工件表面后无重熔过程, 因此被喷工件表面多孔隙, 这就满足了该工况的要求。对于这种工况下工件的零件表面, 若选用喷涂工艺则对该零件延长使用寿命, 一定会起积极作用。如有二个运动件相互运动时, 中间若有颗粒, 就不是“熔着”磨损, 而是颗粒磨损。这时, 工件表面就要喷焊一层硬又致密的喷焊层。因此除了合理选择粉末的成分外, 同时选择喷焊工艺作为表面防磨处理较好。

## 二、零件的涂层厚度

一般情况下, 喷涂层的厚度控制在  $1 \sim 1.5 \text{ mm}$  左右, 而喷焊层的厚度经过多次喷焊后能达  $3 \text{ mm}$  左右。

## 三、零件的精度

由于喷涂工艺的温度控制得较低, 因此零件喷后变形甚少。故对于一些较高精度的零部件, 局部喷涂后, 不太会影响相邻位置尺寸及精度。喷焊工艺由于焊前预热温度高 ( $300 \sim 500^\circ\text{C}$ ), 同时喷焊过程又需进行重熔, 因此零部件的变形大, 会严重影响尺寸误差和精度。

## 第二章 氧-乙炔金属粉末喷焊工艺

### 第一节 喷焊工艺特点

#### 一、喷焊

金属喷焊方法在工业领域中广泛得到应用。特别用于大型构件的防腐保护,以及用于“改造工程”部件的修复和再生。但在工业上应用线材喷涂时,存在着金属沉积层的三特性。

涂层的气孔;

喷涂沉积层和基材间的粘着力;

涂层的应力。

由于金属喷涂层的密度只有同等材料铸造状的85%左右,所以金属喷涂层的气孔较多。这种气孔,作为对轴类表面的润滑或防腐蚀涂层来说是大为有利的。但是喷涂金属的抗拉强度,尤其是冲击强度和剪切强度与同等材料在铸造状态下的性能相比,大大降低。气孔的存在,使粘着力降低,同时在普通金属喷涂的沉积层中有内应力。这样,线材喷涂层在下列几方面的应用受到限制:

不适合于在受到点和线的滚动轴承应力条件方面的应用,例如轴承垫圈。

不适合于在有载荷下的冲击和振动条件下的应用,例如冲模、冲头、凸轮表面等。

不适用于剪切应力操作条件,例如螺纹、齿轮牙齿等。

不适用于周期热应力部件的条件,因为这样的应力对机械粘着力减弱。

这样,普通线材喷涂层在许多工程方面的应用受到限制,为此,人们研制成一种无孔,均匀的耐磨损和防腐蚀的沉积层。它是线材喷涂和焊接的综合工艺,我们称之为氧、乙炔金属粉末喷焊工艺(俗称热喷,又称喷熔)。它是利用自熔性合金粉末,通过氧、乙炔加热后,喷洒、沉积在金属零件表面上,通过熔化形成具有特种表面敷层的工艺。

#### 二、喷焊特点

喷焊工艺的预热温度比较高,通常为250~300℃。某些抗氧化较好的材料,预热温度可达400℃左右。同时,在喷洒粉末至工件后,还有一重熔过程。这样金属粉末粒子在氧、乙炔(或其它能源作用下)的熔融温度区域内相互熔敷,同时与基体金属形成牢固结合的合金层。