

工程机械修理基础知识丛书



第四分册

旧件修复工艺

(下)

中国建筑工业出版社

工程机械修理基础知识丛书

第四分册

旧件修复工艺(下)

欧南发 仪洁
姚茂莲 谢伯川 编

中国建筑工业出版社

本书主要介绍旧机件修复工艺，内容包括：金属喷涂的原理、喷涂层的结构性能、工艺规范和应用实例等；胶接、胶补、塑料涂敷工艺和应用实例等；镀铬、镀铁和化学镀镍的方法及安全技术；几种常用的金属扣合修复方法。

本书插图较多、通俗易懂，便于自学。

本书可作为工程建设、工业、农业和交通系统从事机械修理的广大职工自学读物，也可作为机械修理技工培训教材。

227066

工程机械修理基础知识丛书

第四分册

旧件修复工艺(下)

欧南发 仪洁 编
姚茂莲 谢伯川

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本：787×1092毫米 1/32 印张：5⁵/₈。字数：125 千字

1986年1月第一版 1986年1月第一次印刷

印数：1—5,800册 定价：0.78 元

统一书号：15040·4809

出版说明

随着我国工业、农业和交通系统机械化程度的提高，各种工程机械日益增多和普及。要使工程机械保持良好的技术状态，充分发挥机械效能，延长使用寿命，做好维修工作是十分重要的。为了适应广大职工自学工程机械修理基础知识和技工培训教材的需要，我们组织编写了这套《工程机械修理基础知识丛书》。

丛书计划出七册：

1. 机械修理基本知识
2. 机械修理共同性工艺
3. 旧件修复工艺(上)
4. 旧件修复工艺(下)
5. 发动机修理
6. 工程机械底盘修理
7. 液压与液力传动装置修理

丛书读者对象主要是具有初中以上文化水平的机械设备修理工人、技术人员和有关管理干部。丛书内容力求简明扼要，文字力求通俗易懂，目的在于自学。

这套丛书由石家庄铁道学院、北京装甲兵技术学院、北京农机学院、西安公路学院、华北水利水电学院等单位的部分同志参加编写。全套丛书由石家庄铁道学院易新乾同志主编。在编写过程中，得到有关单位和个人的大力支持和帮助，我们表示衷心感谢。由于我们水平有限，丛书中的错误

和不当之处在所难免，欢迎广大读者批评、指正。

中国建筑工业出版社编辑部

目 录

第一章 金属喷涂	1
第一节 金属喷涂的原理及特点	1
第二节 金属喷涂层的结构性能及应用范围	3
第三节 金属喷涂设备与材料	10
第四节 金属喷涂工艺规范	17
第五节 金属喷涂的安全技术	25
第六节 应用实例——曲轴的金属喷涂修复	26
第二章 胶接、胶补和塑料涂敷	34
第一节 工艺特点和应用范围	34
第二节 胶接原理	37
第三节 常用的胶粘剂和涂敷用塑料	41
第四节 胶接与胶补工艺	76
第五节 胶接接头的设计	89
第六节 胶接质量的检验	92
第七节 塑料涂敷工艺	96
第八节 应用实例	102
第三章 电镀	109
第一节 概述	109
第二节 镀铬	129
第三节 镀铁	144
第四节 化学镀镍及其他电镀方法	154
第五节 安全技术	162
第四章 金属扣合修复工艺	163
第一节 金属扣合法的特点	163

第二节	波浪键扣合法·····	163
第三节	缀缝栓—波浪键扣合法·····	171
第四节	加强块扣合法·····	172

第一章 金属喷涂

第一节 金属喷涂的原理及特点

一、金属喷涂的基本原理

金属喷涂是利用热能把金属丝熔化，再用压缩空气把熔化的金属吹散成直径为 $0.01\sim 0.015$ 毫米的微小颗粒，喷射到经过准备的零件表面上。颗粒由于撞击而产生变形，附着在零件表面，形成覆盖层。

根据熔化金属方式的不同，喷涂分为金属电喷涂、气喷涂、高频喷涂等。目前应用较多的是金属电喷涂和金属气喷涂。

金属电喷涂的工作原理如图 1-1 所示。两根金属丝由装在喷涂枪壳体內的送丝轮 2 驱动，穿过导管 4 交叉在一起。同时，导管由两根导线连接电源的正极和负极。因此，金属丝在交叉点处产生电弧或相互接触而熔化。在末端熔化了的金屬滴不断的被一股强大的压缩空气吹走。压缩空气是通过装在两导管之间的气喷嘴 3 供给的。

电喷涂时金属的熔化过程

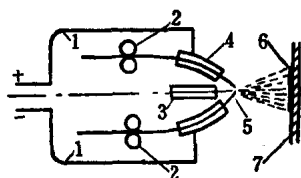


图 1-1 电喷涂的工作原理
1—导线；2—送丝轮；3—气喷嘴；4—导管；5—金属丝；6—喷涂层；7—工件

并不是连续不断的，而是周期性的。其具体过程如图 1-2 所示，包括：燃弧——电弧消失——金属丝端部短路——火花放电。金属丝只有在燃弧和端部短路时才熔化。

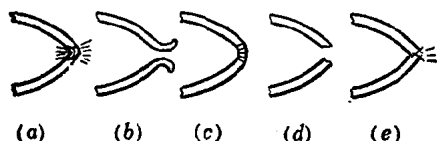


图 1-2 电喷涂的金属熔化过程

(a)燃弧；(b)第一次吹断；(c)端部短路并熔化；(d)第二次吹断；(e)火花放电燃起新电弧

金属气喷涂是用可燃气（常用乙炔），将一根金属丝熔化，由压缩空气流，将熔化了了的金属雾化成极为细小的微粒，与空气流一起撞击到工件表面，形成覆盖层，其工作原理如图1-3所示。

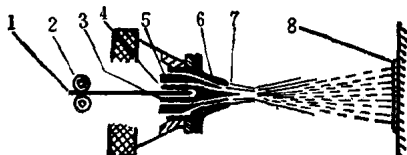


图 1-3 气喷涂的工作原理

1—金属丝；2—送丝轮；3—喷嘴；4—氧—乙炔混合室；5—压缩空气；6—空气帽；7—氧—乙炔火焰；8—喷涂层

二、金属喷涂的特点

(1) 在喷涂过程中，零件表面温度不高，仅 $70\sim 80^{\circ}\text{C}$ 左右，故零件表面的金属组织不会变化，也不会产生热应力而使零件变形。

(2) 喷涂层系由无数细小微粒铺展、堆积而成，是多

孔性涂层，储油能力强。储油体积可达涂层体积的10~15%。

(3) 涂层厚从0.25到10毫米，可供选择的厚度范围较宽。

(4) 可以喷涂在金属、电木、玻璃、瓷器、纸板等多种材质上。喷涂材料不受可焊性的限制。喷涂生产率较高。

(5) 喷涂层与基体结合强度较低，喷涂层本身抗拉强度也低，不能承受较高的点压力和线压力。

(6) 喷涂材料损失较多。由于喷涂是用压缩空气将熔化的金属雾化并喷射到零件表面，就造成部分金属微粒飞溅滑走，不能全部附着于基体上。飞溅损失的金属随各种喷涂材料而异(80号钢丝附着率为86%，飞损14%)。

第二节 金属喷涂层的结构性能及应用范围

一、喷涂层的结构性能

(一) 喷涂层的结构

金属喷涂层是金属颗粒不规则的堆积，是金属颗粒和氧化物的机械混合物，所以金属喷涂层的组织不均匀，而且带有大量的氧化膜夹杂物和微细的孔眼。孔眼分布于整个喷涂层组织，在钢涂层中孔眼数量达到整个覆盖层体积的10%以上。金属喷涂层的结构如图1-4所示。



图 1-4 金属喷涂层的结构

金属喷涂层的化学成分与原始材料的成分有很大区别（见表1-1），这是由于雾化颗粒在压缩空气中急剧氧化以及熔化时夹杂物烧损所致。

喷涂材料中含合金元素的损失

表 1-1

化学 元素	电 喷 涂			气 喷 涂		
	线 材	涂 层	损失(%)	线 材	涂 层	损失(%)
碳	0.72	0.48	33.3	0.72	0.71	1.39
硅	0.22	0.12	45.5	0.22	0.20	9.10
锰	0.23	0.12	47.8	0.23	0.18	22.6
硫	0.02	0.019	5.0	0.02	0.019	5.0
磷	0.016	0.014	12.5	0.016	0.012	25.0

（二）喷涂层的结合强度

喷涂修复零件，是在零件的磨损表面涂敷一覆盖层，以恢复零件原有尺寸。因此，结合强度就成为修复性覆盖层的首要指标。与其他修复工艺比较，金属喷涂层的结合强度最低。

关于喷涂层与基体结合的学说有多种，这里介绍被多数人所接受的“分子机械力”学说。这种学说认为，喷涂的金属颗粒到达零件表面时，一方面靠表面粗糙不平的凸凹、倒刺与不断形成的涂层相互“钩锚”在一起。另一方面，零件表面的金属分子和涂层的金属分子可以产生分子间的结合。产生这种结合的条件是金属分子间的距离要小到 10^{-8} 厘米以下。根据这个理论，在工艺上要采取的措施是制造粗糙的表面，同时尽量减少油脂、灰尘、氧化皮等。所以，喷涂层的结合强度与零件表面状态、喷涂规范和喷涂材料有密切关系。

1. 磨损零件表面变性层的影响

通过对零件表面摩擦磨损过程的研究表明, 金属磨损时, 金属微粒脱离表面, 不仅使零件表面尺寸和几何形状发生变化, 而且由于摩擦表面产生塑性变形, 局部产生高温, 周围空气中的氧和碳向金属中渗散, 在塑性变形层中产生残余应力, 金属组织变化, 表层的硬度也变化很大, 形成一个变性层。变性层厚度在0.10毫米以下, 其中的残余应力会引起涂层脱落。因此, 除掉磨损零件的变性层, 对提高涂层的结合强度是有利的。

2. 零件表面力的作用

金属表面的原子对表面外的气体、液体分子有较强的吸引力。在金属内部, 原子间相互吸引, 受力是平衡的。在金属表面的原子, 由于只和金属内侧原子吸引而处于受力不平衡状态。因此, 新鲜的金属表面有较强的表面力。表面力对涂层结合力有很大影响。按现代液体浸润原理, 落在金属表面的液体颗粒, 在边界处(图1-5中A点)受到三种力的作用。 F_1 是吸附了空气分子后的金属表面力, 它力图使液态颗粒在金属表面铺展。 F_2 是与液态颗粒弧形表面相切的液体表面力, 它力图使液态颗粒缩成表面积最小的球形, 是阻碍液态颗粒在表面铺展的力。 F_3 是吸附了液体分子后的金属表面力, 也阻碍液体颗粒的铺展。三力平衡时, 有:

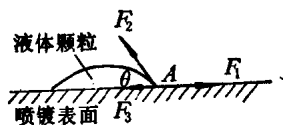


图 1-5 作用在液态颗粒上的力

$$F_1 = F_2 \cos \theta + F_3$$

$$\cos \theta = \frac{F_1 - F_3}{F_2}$$

θ 称为液体颗粒与固体表面的接触角，此角越小，液态颗粒越易在喷涂表面铺展。只有增大 F_1 ，减小 F_2 和 F_3 ，才能使 $\cos \theta$ 得到较大值，使 θ 角减小。

当喷涂表面吸附了灰尘、油脂和氧化物后， F_1 大大降低，液体颗粒不易在金属表面铺展。液态颗粒的表面张力 F_2 ，随温度升高而下降，因此，提高液态颗粒到达零件表面时的温度，对提高涂层结合力是有利的。

零件表面经粗糙加工后，它与液态颗粒的实际接触面积增加， F_1 和 F_3 均相应增大，接触角 θ 将减小。若接触面积增加 K 倍，则 F_1 和 F_3 均增大 K 倍，即 $\cos \theta = \frac{K(F_1 + F_3)}{F_2}$ ，

所以接触角 θ 减小。

3. 涂层收缩力对结合强度的影响

涂层由高温颗粒互相嵌塞和堆积所形成，当它冷却后产生收缩力。这种力对于形状不同的喷涂表面产生不同的影响，如图1-6。

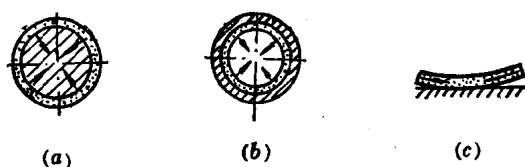


图 1-6 涂层收缩力的影响

(a) 轴颈；(b) 内孔；(c) 平面

圆柱表面涂层冷却后，在圆柱轴心线和半径两个方向收缩。由于欲喷的圆柱表面粗糙不平，凸起部分妨碍涂层收缩，轴向上的收缩在涂层中产生拉应力，而相对应的圆柱表面

被涂层收缩力压紧而产生轴向压应力 $-\sigma_x$ 。涂层径向收缩对圆柱表面产生径向压应力 $-\sigma_r$ 。相反，涂层径向是受的拉应力，如图1-7所示。轴向和径向应力对凸起峰部产生的合力 σ_r 加强了涂层与喷涂表面的结合力。

在内孔喷涂时，径向收缩力反而降低了涂层与喷涂表面的结合力。喷涂平面时，收缩力极易使涂层从边缘处翘起而导致全部脱落。

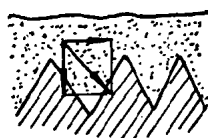


图 1-7 涂层收缩力对表面微观凸起的作用

(三) 疲劳强度

喷涂层冷却收缩后，内部

产生拉应力，因而降低了它的疲劳强度。由于涂层与零件的喷涂表面结合强度较低，它们之间不可能形成一个整体，涂层中的裂纹不会发展到基体中去。因此，对零件疲劳强度起决定性作用的因素是喷涂表面在喷涂前的加工方法，如表1-2所列。

表面处理方法和疲劳强度

表 1-2

项 目	不 喷 涂 件	表 面 处 理 方 法						
		车 皱 皮 螺 纹	车 圆 沟 螺 纹	镍 拉 毛	车 环 状 沟	阳 极 机 械 加 工	喷 钼	喷 砂
疲劳极限值 (公斤/毫米 ²)	25.2	18.8	19.4	21.2	16.5	15		
疲劳极限 增加(+) 减少(-)%	0	-25.4	-23.0	-15.4	-34.5	-40.5	-30.5	+10.5

注：试件材料为45号钢，直径为9.48毫米。

由表1-2可知，除喷砂外，其他表面准备加工方法都使零件的疲劳强度有不同程度的降低。车皱形螺纹、车圆沟螺纹等使零件直径有急剧变化，在各种沟纹产生应力集中，因而使零件的疲劳强度大幅度降低。用阳极机械加工、镍拉毛等电加工方法时，放电过程中的高温在零件表面产生热影响区。在影响区内，金属组织改变所产生的残余应力使零件疲劳强度降低。喷钼法在零件表面覆盖的钼层和零件表面熔合区较大。在钼层中的拉应力可以造成裂纹发展延伸入零件内部。喷砂加工时，砂粒的撞击将零件表面金属压实，产生压应力，这应力可以抵消或减弱零件弯曲变形时表面层中产生的拉应力，从而提高零件的疲劳强度。所以在选择提高结合强度的工艺措施时，必须同时考虑零件对疲劳强度的要求。

（四）喷涂层的硬度

喷涂层因带有密布的孔隙和氧化物，所以很难测得准确的硬度值，在测定时都是根据大范围内的压痕，采取平均硬度的测定方法。这样所测的硬度远低于颗粒本身的硬度。

由于喷涂层中含氧化物及急冷时产生淬火组织，还有先到达零件表面的颗粒受到后到达颗粒的撞击而产生冷作硬化，使涂层的硬度一般较原喷涂材料高。在喷涂方法及喷涂规范相同条件下，涂层的硬度主要取决于喷涂材料的含碳量。涂层的硬度随金属丝的含碳量增加而升高，如表1-3所列。

此外，涂层的硬度也与压缩空气压力和喷枪到工件的距离有关。压缩空气压力低，颗粒飞行速度也低。但压力过高，雾化颗粒尺寸过小，它们撞击表面时的动能小，冷作硬化作用就减弱。喷枪距离大，颗粒的温度、速度就越低，距离过近，涂层温度高，淬火作用减弱，硬度也低。

线材含碳量与涂层硬度的关系

表 1-3

线材中含碳量(%)	线材硬度(HB)	涂层硬度(HB)	硬度增加(%)
0.10	104	192	84
0.45	158	230	45
0.62	194	267	57
0.80	230	318	38

(五) 涂层的耐磨性

金属喷涂层具有较高的耐磨性，主要是由于它的结构具有多孔性，涂层中大量的孔眼能贮存、吸附润滑油，并在零件表面保持一层油膜，使涂层的磨损降低，在液体润滑条件下的耐磨性比原金属有很大的提高。

对淬火钢轴与喷涂钢轴在巴氏合金轴承中以相同的运转条件进行摩擦试验所得的结果，淬火钢轴在停止供油2.5~3小时后，油膜破裂，摩擦系数突然上升，并引起烧伤。而喷涂钢轴停止供油运转22.5小时后才产生烧伤。

二、喷涂层的应用范围

金属喷涂是应用比较广泛的一项工艺，由于它具有前面所述的特点，使该项工艺可以解决一些其他工艺所不能解决的问题。

(一) 修复磨损零件或加工超差的零件

各种尺寸的圆柱体以及平面等许多大型零件或复杂的零件，特别是润滑条件下工作的零件，不适用堆焊法修复时，可采用喷涂修复。

(二) 弥补铸件中的缺陷

大型铸件，往往在将近切削加工完毕时发现砂眼、气孔

等缺陷，使铸件不能使用。用喷涂方法，选择适当材料，可以喷满孔穴和裂缝，经机械加工后使用。

（三）用于防腐蚀

采用喷铝使钢或铸铁零件表面形成一层氧化铝膜，这种薄膜可以减缓高温氧化。暴露在大气或海水中的构件用喷锌或锌铝合金后再涂防锈树脂，可以收到多年不锈蚀的效果。

（四）其他方面的用途

根据不同的目的，金属喷涂还可在喷减磨材料代替整体铸造、静配合面的增厚和非金属材料上喷金属等方面。

第三节 金属喷涂设备与材料

目前应用的金属电喷涂和金属气喷涂设备，除喷枪和熔化金属丝的热源不同外，其他部分大体相同。图1-8和图1-9是金属电喷涂和金属气喷涂的全套设备。

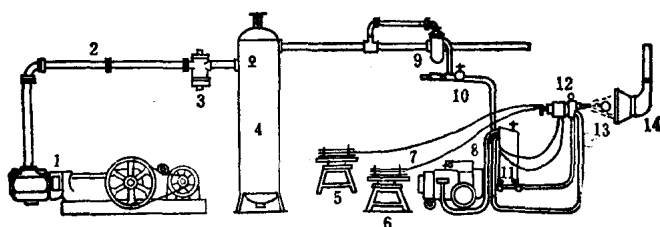


图 1-8 金属电喷涂全套设备

1—空气压缩机；2—输气管；3—油水分离器；4—储气罐；5、6—绕线盘架；7—金属线材；8—电焊机；9—油水分离器；10—空气压力调节器；11—配电盘；12—电喷枪；13—被喷涂零件；14—通风斗