

噴 鍍 技 術

〔日〕蓮 井 淳著

《噴鍍技術》翻譯組譯校

國防工業出版社

内 容 简 介

本书译自日本莲井淳著《喷镀技术》一书。全书共分八章，分别叙述了金属表面处理与喷镀的一般原理、特点；详尽地介绍了各类喷镀方法、喷镀工艺、喷镀材料，以及对喷镀现象的分析；书中还结合实例介绍了喷镀的应用；还单独以一章概括性地对发展喷镀技术需要进一步研究的若干问题作了说明。最后还附有关于试验方法的附录。

本书适用于从事喷镀生产的工人、工艺员、科研人员以及有关专业的教学人员阅读参考。

溶 射 工 学

莲 井 淳

養 賢 堂

*

喷 镀 技 术

〔日〕莲 井 淳著

《喷镀技术》翻译组译校

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

民族印刷厂印装

*

850×1168¹/₃₂ 印张9⁷/₈ 248千字

1978年9月第一版 1978年9月第一次印刷 印数：00,001—35,000册

统一书号：15034·1644 定价：0.97元

目 录

第 1 章 金属的表面处理与喷镀	1
1.1 概述	1
1.2 表面处理方法的种类	2
1.2.1 化学处理(包括电化学处理)	2
1.2.2 物理处理	3
1.2.3 机械处理	4
1.3 喷镀法的特点	5
1.3.1 优点	5
1.3.2 缺点	6
第 2 章 喷镀法	8
2.1 喷镀法的种类	8
2.2 气喷镀法	9
2.2.1 熔线式、熔棒式、粉末式气喷镀	9
2.2.2 气体爆燃式喷镀	13
2.3 电喷镀法	15
2.3.1 电弧喷镀	15
2.3.2 等离子射流喷镀	18
2.3.3 高频感应喷镀法	23
2.4 各种喷镀法的比较	24
2.4.1 气体燃烧焰和等离子射流的温度	25
2.4.2 气体燃烧焰和等离子射流的流速	29
2.4.3 气体燃烧焰和等离子射流的气体组成	30
第 3 章 喷镀工艺	34
3.1 预处理	34
3.1.1 坯料表面的洗涤法	34
3.1.2 坯料表面的粗糙化	35
3.1.3 特殊坯料的预处理	43
3.2 喷镀	44
3.2.1 气喷镀	45

3.2.2 电喷镀	51
3.3 镀后处理	58
3.3.1 涂料涂敷法	58
3.3.2 自熔性合金镀层的熔化处理	60
3.4 精加工	67
3.4.1 碳钢、不锈钢等的镀层	67
3.4.2 自熔性合金镀层	68
3.4.3 陶瓷镀层	69
第4章 喷镀材料	70
4.1 线料	70
4.1.1 锌	70
4.1.2 铝	71
4.1.3 铜	71
4.1.4 锡	71
4.1.5 铅及其合金	71
4.1.6 铜及铜合金	72
4.1.7 镍和镍合金	75
4.1.8 铁和碳钢	76
4.1.9 不锈钢	76
4.1.10 其它	79
4.2 粉末材料	79
4.2.1 金属与合金	81
4.2.2 自熔性合金	84
4.2.3 陶瓷	87
4.2.4 氧化铝	101
4.2.5 氧化锆	102
4.2.6 碳化钨	102
4.3 棒料	103
4.4 塑料	104
4.4.1 热塑塑料	104
4.4.2 热凝塑料	105
第5章 喷镀现象	106
5.1 喷镀材料粉末或微粒的飞行速度	106
5.1.1 飞行速度测定法	106
5.1.2 飞行速度	109
5.2 喷镀微粒的温度	110
5.3 坯料的温度	117

5.4 飞行粉末或微粒的运动	119
5.5 喷镀层	125
5.6 镀层与坯料的边界	130
5.7 自熔性合金镀层的熔化	136
第6章 镀层的性质及其测定法	140
6.1 镀层的粘合性和强度	140
6.1.1 粘合强度的拉伸试验法	141
6.1.2 粘合强度的剪切试验	144
6.1.3 粘合强度的其它试验	146
6.1.4 粘合强度的拉拔试验和使用结合剂的粘合强度试验	147
6.1.5 各种镀层的粘合强度	150
6.2 镀层的抗拉强度	154
6.3 镀层中的气孔与透气性	158
6.3.1 气孔率测定法	158
6.3.2 各种镀层的气孔率与密度	161
6.3.3 各种镀层的透气性	165
6.4 镀层的硬度	167
6.4.1 各种喷镀层的硬度	167
6.4.2 镀层的硬度与喷镀条件	171
6.5 喷镀层中的残余应力	174
6.5.1 残余应力的测定	174
6.5.2 各种镀层的残余应力	177
6.6 镀层的耐磨性与摩擦特性	182
6.6.1 各种镀层的耐磨性	182
6.6.2 各种镀层的摩擦特性	186
6.7 带有喷镀层的坯料的疲劳强度	189
6.7.1 铜镀层	190
6.7.2 钢镀层	190
6.7.3 钨镀层	194
6.8 喷镀层的耐热性与绝热性	197
6.8.1 镀层的耐热性	198
6.8.2 镀层的绝热性	209
6.8.3 镀层表面的热辐射	213
6.9 喷镀层的电性能	217
6.10 喷镀层的耐蚀性	222
6.10.1 大气中的试验	226

6.10.2 海水浸渍试验·····	227
第7章 喷镀的应用·····	229
7.1 人造卫星·····	234
7.2 火箭与喷气式发动机的喷嘴·····	234
7.3 飞机发动机零件·····	237
7.3.1 球面凹坑试验·····	239
7.3.2 粘合强度试验·····	240
7.3.3 组织检查·····	241
7.4 飞机的外板部件·····	251
7.5 轴承·····	253
7.6 涡轮的修补·····	253
7.7 齿轮轴的修补·····	253
7.8 机床导轨面的钢镀层·····	254
7.9 鼓风机的叶片等·····	256
7.10 泵零件·····	256
7.10.1 水底泵套筒·····	256
7.10.2 高扬程泵的密封部分·····	257
7.10.3 泵柱塞的修理·····	257
7.11 机械密封·····	257
7.12 石油化学反应器搅拌机·····	259
7.13 量规·····	259
7.14 高熔点金属挤压加工用的冲模·····	260
7.15 凸缘成形用的冲头·····	261
7.16 弹簧成形用的心轴·····	262
7.17 砖成形机的桥与心轴·····	262
7.18 铸造装置·····	263
7.19 硬质被覆不锈钢薄板·····	263
7.20 高温应变仪的固定·····	264
7.21 电阻加热器·····	265
7.22 电气零件·····	266
7.23 拖船船体·····	266
7.24 高熔点材料的喷镀成形·····	267
第8章 今后的课题·····	271
8.1 坯料的预处理·····	271

8.2 喷镀与喷镀层的性质	272
8.3 喷镀设备的改进与机械化、自动化	273
8.4 开辟在新的工业领域的应用	274
附录	275
锌喷镀制品试验方法	275
铅喷镀制品试验方法	283
铝喷镀制品试验方法	285
金属表面聚乙烯被覆的试验方法	290
对JISK6766-1963 的说明	295
喷砂用的磨料规格表 (SAE 1955) 筛号和筛孔的最高、 最低限度的等级	300
参考文献	301

第 1 章 金属的表面处理与喷镀

1.1 概 述

由于金属具有优越的机械性能,且其性能可长时间保持稳定,所以,从原子能和与空间技术有关的各种仪器、设备,直到化学、金属等工业中的各种机械、设备,船舶、飞机、车辆等运输机械,以及建筑物乃至家庭日常用具等,都是采用金属做为主要材料的。这些机械、设备和器具的构件或零件,要求能够在各种环境条件下保持必要的寿命和应有的性能。主要如建筑物在风雨中的暴露,船舶与海水的接触,各种药品在储存或流动中对化学机械的腐蚀,各种流体或燃烧气体对原动机部件的侵蚀,机械部件相对运动的磨损、成形机械由于在高温高压下金属接触所造成的损伤等,这些影响各种机械器具寿命的因素是很多的,在此不可能一一细举。

随着目前经济的发展以及由于技术革新出现的各种机械设备的的大型化、高速化及高效率,同时其工作环境条件也就越加苛刻。另一方面,如电子器械那样,在各种工业中应用的各种零部件则要求小型化、轻量化、并且具有高性能。

针对这种情况,现在需采用新的处理和制造方法来改进材料性能,发展新型合金和新的材料。另外,为使机械、设备的构件或部件在所处的环境中能保持更长时间的工作寿命,需对其结构材料的表面进行各种处理。比如,象日用品以装饰为主要目的的光泽与色调的各种表面处理那样,在坯料表面上覆盖一层具有高耐腐蚀性、耐磨损性、耐热性、绝热性以及绝缘性能的保护层,即可适应各种工作环境。这样,由于对材料表面进行了处理而增加了产品的使用寿命,从而给社会经济带来了好处。另外,由于

材料表面性能的改进,有更高性能的机械、设备设计和研制出来,其结果促进了各种工业生产的发展和提高。

1.2 表面处理方法的种类

材料的表面处理有许多方法,现将常用的主要方法,按其原理分类如下。

1.2.1 化学处理(包括电化学处理)

1) 电镀 在金属盐的水溶液中,把电解金属板做为阳极,把金属制品做为阴极,通上直流电流,由于电解作用,制品表面便覆盖上一层金属。电解金属可采用铜、镍、铬、锌、镉、锡等。

(1) 镀镍 镀镍的制品表面耐腐蚀性能好,并且坚韧、耐冲击。硬度为 HV140~240,用于制品的表面装饰和修补机械零件的磨损或切削过量部分。

(2) 镀铬 镀铬有软质和硬质(用于工业)两种。软质镀层耐腐蚀性能较好,用于表面装饰;后者硬度为 HV800~1100,耐磨损性能好,多用来提高各种机械、器具、部件的耐磨损性能,修补磨损部分,对树脂或金属板的成形模表面处理。

2) 化学镀 这是一种不需要从外部供给电能,而是把金属盐溶液中的金属离子析出,使其包覆在金属制品表面上的覆盖法。处理时间约在数秒到三分钟之间。虽镀层材料用黄铜、镉、铜、金、镍、锡等金属,但这种方法在工业上应用价值并不大。

3) 化成覆盖法 这是一种把金属制品浸渍在适当的溶液中,使其表面粘合上磷酸盐、草酸盐、氧化物或其它化合物的方法,适用于铝、铜、镁、钢铁(用于钢铁材料时也叫做磷化处理法)等金属材料的防腐、装饰或涂装的底层处理。

4) 阳极氧化法 在适当的电解液中,把金属制品做为阳极电解后,在阳极上便产生游离状态的氧气,这样,金属表面就受到氧化,形成一层坚固的氧化膜包覆在金属表面,适用于铝、

铝等金属材料的表面处理。特别是铝表面的氧化膜，是由 γ 氧化铝生成的，具有坚硬、耐磨等特性，适用于机械等的磨损部件的表面处理。

1.2.2 物理处理

1) 热浸镀(浸镀) 这是一种把金属制品在液态金属中浸渍，使金属制品表面附上一层金属覆盖层的方法。镀层材料采用锌、锡、铝、铅等金属。

(1) 热浸镀铝 把铁浸渍在 680°C 以上的液态铝中，使铝与铁的表层发生反应，生成厚度约为0.1毫米的铝铁合金层。这种合金层抗高温氧化和抗腐蚀性能较好。

(2) 热浸镀锌 把铁浸渍在 450°C 的液态锌中，形成镀层。这种镀层是由纯锌层和数层硬而脆的锌铁合金层组成。

2) 金属浸透镀(扩散镀) 这种方法是把以金属或金属粉末为主要成分的浸透剂，或是把金属或金属化合物的气体与金属制品表面接触后加热，制品表面上形成金属或合金的扩散层，多用于钢铁材料。浸透剂材料用铝(渗铝法)、铬(渗铬法)、锌(渗锌法)、硅(渗硅法)及铈等金属。

(1) 渗铝 把掺有少量氯化氨的金属铝粉末同制品一起放入旋转炉中，在旋转的同时，保持 $850\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 的温度继续加热，制品表面就生成铝铁合金层。这种合金层的抗高温氧化和耐腐蚀性能较好。

(2) 渗铬 把制品连同铬铁合金、碘化氨和高岭土粉末等的混合物同时放入密封炉中，如果是含碳0.3%以下的碳钢，需加热保持在 $950\sim 1100^{\circ}\text{C}$ ；如是高碳钢，则需加热保持在 $800\sim 950^{\circ}\text{C}$ 。前者可用来形成类似铬系不锈钢那样的耐蚀镀层。后者多用于表面硬化处理。

3) 渗硫法 把硫化物放入中性盐、碳酸盐、还原性盐等无机物中，在 600°C 以下的温度作用下，使游离状态的硫分解和扩散而在钢铁材料表面形成一种硫化物层。它可提高制品的耐磨损

性能。

4) 渗碳法 把低碳钢或合金钢的制品放在一氧化碳或是象甲烷那样的含有碳元素的还原性气体中,或是放在木炭、碳酸钠、碳酸钡、碳酸钾等的混合物中加热(900~950℃若干小时,或1050~1100℃一小时以内),使碳元素渗入到制品表面。这种方法用于制品的表面硬化处理。处理层的硬度一般为HV720~850。

5) 氮化法 这是一种把含有铝、铬、钼等成分的钢制品放在氨气中加热(250~500℃, 50~100小时),使制品表面形成氮化物层的方法。氮化层(HV900~1200)可提高制品的耐磨损性、耐腐蚀性及耐疲劳性等。并且,高温时的硬度稳定。

6) 渗碳氮化法 把碳钢制品放在含有百分之几的氨的渗碳气体介质中进行加热(750~900℃)——淬火处理,使其表面渗碳和氮化,这就是渗碳氮化法。可提高制品表面的耐磨损及耐腐蚀性能。

7) 火焰淬火法 用氧-乙炔焰将钢铁制品的表面层迅速加热到淬火温度,然后进行淬火,制品表面便发生马氏体转变而硬化。

8) 表面高频淬火法 这是一种把钢铁制品放在高频线圈中,通过高频电流的集肤效应和邻近效应,只使加热后的表层淬火硬化的方法。可用来增加耐磨损性能。

9) 真空镀(真空蒸镀法) 把金属或化合物放在 $10^{-4}\sim 10^{-5}$ 毫米汞柱的高真空中加热,再使蒸发出来的原子、分子附着在制品表面上,使制品表面形成一层金属或化合物的薄膜。这种方法多用来改善制品表面的金属光泽和提高光学性质。

10) 搪瓷 这是一种在金属制品表面烧附上一层玻璃质的釉子的方法。经这种方法处理过的金属表面可具有耐蚀性、耐热性、耐磨性、绝缘性和美观的特点。

1.2.3 机械处理

1) 层板 用轧制压接、爆炸压接及浇注等方法,把两种以

上的金属进行层状的、全面积的粘合，即可制成层板。粘合的金属有不锈钢、镍、蒙乃尔合金、铜、耐蚀耐热镍基合金以及钛等。可用来增强制品的耐蚀性能。

2) 喷镀 这是一种利用燃烧能或电能，把加热到熔化或接近熔化状态的喷镀材料的微粒喷附在制品表面上而形成保护层的方法。

3) 喷丸硬化 这种方法是把金属的细小微粒高速喷射在金属制品表面上，使表面的薄层加工硬化。其内部组织不发生变化，硬化深度为 0.3~0.5 毫米，可用来增强制品的耐疲劳性能。

1.3 喷镀法的特点

现将上节讲述的各种表面处理方法中的喷镀法的特点从施工和经济的角度做一介绍。有关喷镀层与其它各种表面处理层相比较的每一特性将在后面有关章、节中加以介绍。

1.3.1 优点

1) 喷镀法几乎适用于各种材料的制品，即金属、玻璃、陶瓷、有机材料（包括木材、布、纸）等的表面都易于进行喷镀。而其它的处理方法，除处理对象限定为金属外，还需分别选定有效的镀层材料。

2) 不限定加工件的尺寸，对于大面积的表面也可制成均匀的喷镀层。另外，也可只对大型制品的局部进行喷镀。相比之下，热浸镀、电镀、扩散镀、渗碳氮化等方法，由于镀槽和加热设备容量的关系，加工件的尺寸受到一定限制。因此，在需要对大型坯料的一部分进行覆盖处理时，采用喷镀法是很方便的，而且也经济。

3) 作为用来修补切削过量部分和磨损部分需要较多地增大零件尺寸的一种方法，同堆焊一样都是最有效的。这些均能形成数毫米的表面层。而其他的处理方法，如为提高耐磨性进行镀铬的镀层厚度只有 6~300 μ 。

4) 由于喷镀设备结构简单、重量较轻, 所以, 喷镀法的作业现场移动方便。比如气喷镀法, 只需配备空气压缩机 (也用于坯料表面的喷砂预处理)、喷枪、储气瓶即可。如果有电源, 这些设备还可用来进行电喷镀。

5) 喷镀材料的选用范围广泛, 除金属、合金外, 还有大部分的化合物及其混合物。同时, 如果覆盖上异种材料的镀层, 还可获得具有特殊性能的保护层。

6) 坯料的变形小。

7) 除用于坯料的表面覆盖外, 还可进行机械部件实物本身的成形, 即在成形模表面制成镀层, 再用适当的方法将其从成形模中取出。

8) 操作程序少, 速度快, 所以生产效率高。

1.3.2 缺点

1) 对于较小的制品, 喷镀效率 (指喷镀材料的使用量与实际沉积在制品表面的量的比值) 低, 也不经济。所以, 还是采用电镀法效率高。

2) 在坯料表面预处理时采用较多的喷砂中, 由于喷射材料 (硅砂、氧化铝、钢砂等) 的细微粉末的飞散和在空气中浮游, 所以要注意卫生保护。

3) 在喷镀操作中, 在粉末飞散的同时, 还会发生喷镀材料或其与大气化合物的凝结物质。这些物质对人体是有害的。因此, 需有适当的通风设备。

据上所述, 喷镀法在各种表面处理方法中的地位就很明确了。

在准备对某种制品采用哪种表面处理方法之前, 需切实了解各种处理方法的特点, 并且要认真考虑被加工制品的形状、尺寸精度及所要求的表面特性、设备经费、运转费用、工作环境等, 以确定最好的方案。

以前, 喷镀法的应用范围一直是铁塔、铁桥、钢骨构架、船

舶、水槽、化学及食品工业中各种容器的防锈、防蚀等。目前，在修补各种机械、部件的切削过量和磨损部分及堆焊再生等方面也逐渐有所应用。但这还不能说喷镀法的特性在机械工业中已得到了充分应用。因为这种应用，目前还只不过是十分消极的。

最近，由于喷镀技术的发展以及喷镀材料的改进与增加，人们对于喷镀的认识也提高了。在火箭等的航空工业、原子工业及其它各种较尖端的工业中，喷镀技术正得到独立的发展。

但是，现在更应进一步考虑的是对于某些常用的机械器具的制造，从设计阶段起就应积极地考虑把喷镀法做为零部件表面处理方法之一。

第2章 喷 镀 法

2.1 喷镀法的种类

最早的喷镀法是利用从喷嘴高速喷出的空气或受到加热的气流，把熔化了了的金属分裂成为极细小的金属微粒的方法来进行的(1882年德国专利)，如图2.1⁽¹⁾所示。这种方法莫如说是制造金属粉末较合适，而且已发展成为现在的喷雾器。最早(1910年)的喷镀装置是把低熔点金属的熔液注入到从受到气焰加热的旋管中喷出的高温压缩空气喷流中，以把金属的熔液喷射在坯料表面

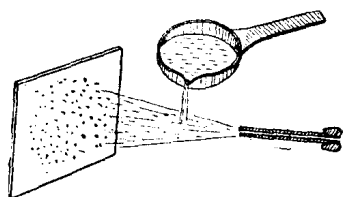


图2.1 粉末熔化法喷镀

上(图2.2)。这尽管有了熔化金属喷镀的基本方式，但装置庞大，并且效率不高。在此期间，对旧喷镀装置的改进，对新的喷镀装置的研制工作一直在不断地进行着，到现在已有很多类型的喷镀装置。今后随着工业水平的提高和工业规模的扩大，喷镀装置的机械化与大型化的发展将得到促进。

最近的喷镀装置，根据加热喷镀材料的热源分类，大致可分为以可燃性气体与氧气的燃烧焰为热源的气喷镀和以电能为热源

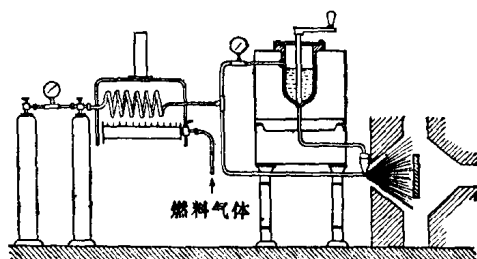


图2.2 金属熔液式喷镀

的电喷镀两种。

气喷镀在喷镀技术的早期就应用了。由于喷镀设备和喷镀材料的改进，最近也逐渐被用于陶瓷等高熔点材料的镀层。另外，镍基或钴基的自溶性合金材料镀层的轻微熔化处理方式也受到重视。

气喷镀还有一种采用乙炔和氧的混合气体的爆燃能量做为热源的特殊形式。这可用于更高熔点材料的喷镀。

在电喷镀中，电弧喷镀从很久以前就沿用着。因为一直都是采用交流电弧，所以有许多缺点。由于现在采用了直流电弧，也就带来了许多优点。

等离子射流与高频感应加热方式，虽仅在数年前才开始应用，但与以往的喷镀方式相比，都有其各自的特点。所以，在各种工业部门都受到重视。

2.2 气 喷 镀 法

气喷镀现在分为以氧气-燃料的燃烧能为热源的熔线式、熔棒式、粉末式等三种形式和采用氧气-燃料气体的爆燃能量为热源的爆燃式。

2.2.1 熔线式、熔棒式、粉末式气喷镀

图 2.3 所示为熔线式气喷镀的原理。熔棒式气喷镀的原理与

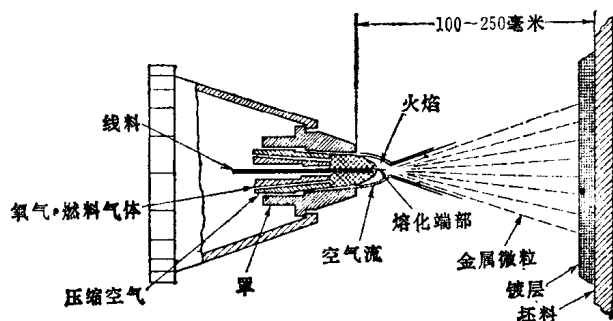


图2.3 熔线式气喷镀

熔线式的相同，都是从喷枪的中心把线状或棒状的喷镀材料送出去，通过氧气-燃料的燃烧加热作用，使喷镀材料熔化，再通过周围压缩空气的喷射，使熔化了了的喷镀材料形成微粒沉积在坯料表面。

线料的输送，是靠喷枪中的空气涡轮（喷镀时用于压缩空气的分流）或马达在一定控制下的旋转，通过减速装置（蜗杆、齿轮等的组合）带动滚轴以一定的喷速进行的。

采用空气涡轮的喷枪，虽进行线料输送速度的细小调节和保持一定的速度是有困难的，但从结构上来说，喷枪重量轻，适于手工喷镀。而马达式的喷镀设备，虽线料的输送速度可以做到细调，并且也能保持稳定速度，但喷枪的重量加大了，一般适用于机械化的喷镀。

喷镀线料，直径一般是3毫米以下，而低熔点材料（铝、锌等）高效操作的大型喷枪用的线料的直径是5~7毫米。

图2.4所示为粉末式气喷镀的原理。喷镀粉末从上方的料斗通过进料口送入输送粉末的气体（氧气与燃料的混合气体）中。粉末由于在喷嘴出口处遇到燃烧气流而被加热，同时喷附在坯料表面上。为使喷镀材料粉末得到加速喷射，粉末式喷枪也可象熔线式那样，向其燃烧焰中吹入压缩空气。

塑料喷镀的原理，如图2.5所示。这种装置是使压缩空气围

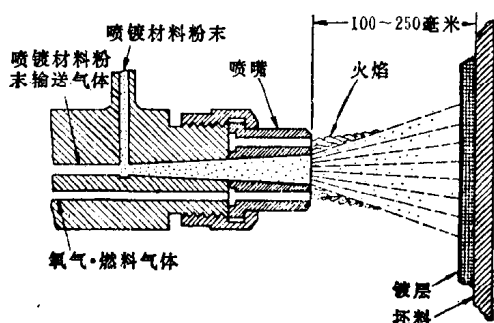


图2.4 粉末式气喷镀