

国家应用型创新人才培养规划教材

www.jccbs.com
免费课件下载

电镀工艺学

任广军 ◎ 主编

中国建材工业出版社

国家应用型创新人才培养规划教材

电 镀 工 艺 学

任广军 主 编

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

电镀工艺学 / 任广军主编. --北京 : 中国建材工业出版社, 2016. 12

国家应用型创新人才培养规划教材

ISBN 978-7-5160-1714-2

I. ①电… II. ①任… III. ①电镀—工艺学
IV. ①TQ153

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 277784 号

内 容 简 介

本书主要介绍了金属电沉积的基本原理、镀前处理和电镀工艺, 工艺部分包括单金属和合金、特种镀膜技术、非金属材料电镀方法、黑色和有色金属的转化膜处理。在当前高校向应用型人才培养模式转型的背景下, 本书以培养学生具有从事电镀工艺开发和生产的工作能力为主, 理论讲解以必须够用为准, 着重与工艺实践的紧密结合。

本书可作为高等学校应用化学专业及相关材料类、化学类专业的教材, 也可供相关专业领域科技人员参考。本书配有电子课件, 可登陆我社网站免费下载。

电镀工艺学

任广军 主编

出版发行: **中国建材工业出版社**

地 址: 北京市海淀区三里河路 1 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京雁林吉兆印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 18.25

字 数: 430 千字

版、次: 2016 年 12 月第 1 版

印 次: 2016 年 12 月第 1 次

定 价: **46.00 元**

本社网址: www.jccbs.com 微信公众号: [zgjcycbs](https://www.weixin.com/qz/jcgcycbs)

本书如出现印装质量问题, 由我社市场营销部负责调换。电话: (010)88386906

前言

电镀是一种表面加工技术，经过电镀可以提高和改善材料的耐蚀、装饰、耐磨、焊接、导电等物理化学性能。随着科学技术的发展和工业需求的增加，电镀技术也不断更新并受到进一步的重视。如今，电镀已广泛进入各种工业生产及科技发展的领域，在机械、电子、仪器仪表、化工、轻工、建材、交通运输、兵器、航空、航天、原子能等领域发挥着极其重要的作用。

电镀是一门应用性很强的学科。为了培养学生具有从事电镀工艺开发和生产的工作能力，本书内容的选取立足于生产实践，系统而详细地介绍了金属电沉积的基本原理、镀前处理方法、工业上应用的各金属镀种和转化膜处理工艺，并着重分析了镀液成分的作用和镀层质量控制，对近几年发展起来的新工艺新技术也进行了解介绍。书中每章都列有复习思考题，以利于学生加深理解。本书既可作为高等学校应用化学专业及材料类、化学类相关专业的教材，也可作为相关专业领域科技人员的参考书。

全书共 15 章，由沈阳理工大学老师编写，其中第 1、2、7、10 章由任广军编写，第 3、8 章由刘秀晨编写，第 4 章由王昕编写，第 5、6 章由孙海静编写，第 9 章由郝建军、刘秀晨、任广军共同编写，第 11、15 章由张爱黎编写，第 12、13 章由郝建军编写，第 14 章由孙海静、张爱黎、王昕共同编写。全书由任广军主编。

由于编者学识水平有限，书中缺点、错误在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2016 年 11 月



中国建材工业出版社
China Building Materials Press

我们提供

图书出版、图书广告宣传、企业/个人定向出版、设计业务、企业内刊等外包、
代选代购图书、团体用书、会议、培训，其他深度合作等优质高效服务。

编辑部
010-88364778

出版咨询
010-68343948

市场销售
010-68001605

门市销售
010-88386906

邮箱：jccbs-zbs@163.com

网址：www.jccbs.com

发展出版传媒 服务经济建设

传播科技进步 满足社会需求

(版权专有，盗版必究。未经出版者预先书面许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。举报电话：010-68343948)

1 绪 论	1
1.1 电镀在国民经济中的意义	1
1.2 电镀层的分类及选用原则	2
1.2.1 电镀层的分类	2
1.2.2 电镀层选择原则	5
1.2.3 镀层应具备的基本条件	5
1.3 电镀工业的发展概况及展望	6
2 金属的电沉积	8
2.1 电镀溶液	8
2.1.1 电镀溶液的组成	8
2.1.2 电镀溶液的类型	9
2.2 金属沉积的电极过程	11
2.2.1 金属电沉积的基本过程	11
2.2.2 单盐镀液中金属电沉积过程	12
2.2.3 络盐镀液中金属电沉积过程	13
2.3 金属的电结晶	14
2.3.1 表面扩散和并入晶格	15
2.3.2 晶核的形成与长大	15
2.3.3 螺旋位错生长机理	17
2.4 镀层的组织和结构	18
2.4.1 不同晶面上的沉积速度	18
2.4.2 外延生长	18
2.4.3 织 构	19
2.4.4 镀层的组织形态	19
2.4.5 镀层组织结构与其性能的关系	20
2.5 电解液对沉积层结构的影响	21
2.5.1 单盐电解液	21
2.5.2 络合物电解液	23
2.5.3 有机添加剂对镀层结构的影响	24
2.6 电解规范对沉积层结构的影响	33

2.6.1	电流密度的影响	33
2.6.2	温度的影响	33
2.6.3	搅拌的影响	34
2.6.4	电流波形的影响	34
2.7	析氢对镀层的影响	35
2.8	阳极过程	36
2.8.1	阳极过程的特点	36
2.8.2	阳极溶解过程	36
2.8.3	阳极钝化	37
2.8.4	阳极的类型	37

3 电解液的分散能力 39

3.1	基本概念	39
3.2	电解液分散能力的数学表达式	39
3.2.1	初次电流分布	41
3.2.2	二次电流分布	41
3.3	影响电流和金属在阴极表面分布的因素	43
3.3.1	几何因素的影响	43
3.3.2	电化学因素的影响	45
3.4	电解液分散能力的测量	46
3.4.1	远近阴极法	46
3.4.2	弯曲阴极法	47
3.4.3	梯形槽(赫尔槽)法	48
3.5	电解液的覆盖能力	48
3.5.1	影响覆盖能力的因素	48
3.5.2	改善覆盖能力的途径	49
3.5.3	覆盖能力的测定方法	50
3.6	赫尔槽和特纳槽试验	51
3.6.1	赫尔槽试验的应用	51
3.6.2	赫尔槽的结构	51
3.6.3	赫尔槽阴极上的电流分布	52
3.6.4	赫尔槽试验	53
3.6.5	特纳槽	54

4 金属制件的镀前处理 56

4.1	镀前预处理的重要性	56
4.1.1	金属制件镀前的表面性质、状态	56
4.1.2	镀层与基体的结合力	57
4.1.3	镀前表面处理的几个方面	57

4.2 粗糙表面的整平	58
4.2.1 磨光	58
4.2.2 机械抛光	58
4.2.3 滚光	59
4.2.4 喷砂	60
4.3 除油	60
4.3.1 有机溶剂除油	60
4.3.2 碱性化学除油	61
4.3.3 电化学除油	63
4.3.4 表面活性剂清洗剂	64
4.3.5 超声波除油	64
4.4 浸蚀	65
4.4.1 化学浸蚀	65
4.4.2 电化学浸蚀	69
4.4.3 弱浸蚀	70
4.5 抛光	70
4.5.1 电化学抛光	70
4.5.2 化学抛光	73
4.6 制定表面预处理工艺流程的原则	73
4.7 难镀基体金属材料的镀前预处理	74
4.7.1 不锈钢的镀前预处理	74
4.7.2 锌合金压铸件的镀前预处理	75

5 镀锌

79

5.1 概述	79
5.1.1 镀锌层的性质及应用	79
5.1.2 镀锌电解液的类型	79
5.2 氰化物镀锌	80
5.2.1 镀液成分及工艺条件	80
5.2.2 镀液中各成分的作用及影响	80
5.2.3 操作条件分析	81
5.2.4 镀液中杂质的影响及排除	82
5.3 锌酸盐镀锌	82
5.3.1 镀液成分及工艺条件	82
5.3.2 溶液配制方法	83
5.3.3 络合平衡与电极反应	83
5.3.4 各成分的作用及其影响	84
5.3.5 镀液维护	84
5.4 氯化钾(钠)镀锌	85

5.4.1	氯化钾镀锌的特点	85
5.4.2	氯化钾(钠)镀锌液配方及工艺条件	85
5.4.3	各成分的作用	86
5.4.4	操作条件分析	87
5.4.5	镀液中杂质的影响及排除	88
5.5	镀锌层的镀后处理	88
5.5.1	除氢处理	88
5.5.2	出光处理	89
5.5.3	钝化处理	89

6 镀铜

96

6.1	概述	96
6.2	氰化物镀铜	96
6.2.1	镀液成分与工艺条件	97
6.2.2	镀液的组成及电极反应	97
6.2.3	镀液成分的作用	98
6.2.4	工艺条件的影响	99
6.2.5	镀液的维护及故障处理	99
6.3	硫酸盐镀铜	100
6.3.1	镀液成分和工艺条件	101
6.3.2	电极反应	101
6.3.3	镀液中各成分的作用	102
6.3.4	工艺条件的影响	104
6.3.5	镀液维护和故障处理	104
6.3.6	光亮酸性硫酸盐镀铜的预镀问题	105
6.4	焦磷酸盐镀铜	106
6.4.1	镀液成分和工艺条件	106
6.4.2	络合平衡及电极反应	107
6.4.3	焦磷酸盐镀铜与基体的结合力	108
6.4.4	镀液中各成分的作用	108
6.4.5	工艺条件的影响	109
6.5	无氰镀铜	109
6.5.1	柠檬酸-酒石酸盐镀铜(一步法无氰镀铜)	109
6.5.2	羟基乙叉二膦酸盐镀铜(简称 HEDP 镀铜)	111

7 镀镍

112

7.1	概述	112
7.2	镀暗镍	113
7.2.1	镀液成分和工艺条件	113

7.2.2	电极反应	114
7.2.3	镀液成分的作用	115
7.2.4	工艺条件的影响	116
7.2.5	镀液维护和故障处理	117
7.3	镀光亮镍	118
7.3.1	镀液成分和工艺条件	118
7.3.2	镀光亮镍所用的添加剂	119
7.3.3	工艺条件的影响	122
7.3.4	镀液维护和故障处理	122
7.4	镀多层镍	123
7.4.1	多层镍的耐蚀机理	123
7.4.2	镀双层镍	124
7.4.3	镀三层镍	126
7.5	镀缎面镍、黑镍和枪色镍	129
7.5.1	镀缎面镍	129
7.5.2	镀黑镍	130
7.5.3	镀枪色镍	131

8 镀铬

133

8.1	概 述	133
8.1.1	铬镀层的性质及应用	133
8.1.2	镀铬过程的特点	134
8.2	镀铬原理	134
8.2.1	镀铬电解液	134
8.2.2	镀铬的阴极过程	135
8.2.3	镀铬的阳极过程	137
8.3	镀铬电解液成分和工艺条件	138
8.3.1	镀铬电解液的类型	138
8.3.2	镀铬溶液中各成分的作用	139
8.3.3	工艺条件的影响	142
8.4	镀铬工艺	143
8.4.1	装饰性镀铬	143
8.4.2	耐磨镀铬	144
8.4.3	特殊镀铬层	146
8.4.4	特殊镀铬液	148
8.5	镀铬溶液的杂质影响及维护	150
8.5.1	镀铬液中的杂质	150
8.5.2	镀液的日常维护	151

9 镀 锡

153

9.1 概 述	153
9.2 碱性镀锡	154
9.2.1 镀液成分及工艺条件	154
9.2.2 镀液中成分作用及工艺条件的影响	154
9.2.3 碱性镀锡的电极反应	156
9.2.4 操作时的控制	157
9.3 硫酸盐光亮镀锡	157
9.3.1 镀液成分及工艺条件	157
9.3.2 酸性镀锡液添加剂的选择	158
9.3.3 镀液中各成分作用及工艺条件的影响	159

10 镀银和镀金

162

10.1 镀 银	162
10.1.1 镀银预处理	162
10.1.2 氰化物镀银	164
10.1.3 硫代硫酸盐镀银	166
10.1.4 防止银镀层变色的措施	167
10.1.5 不合格银层的退除和银的回收	169
10.2 镀 金	169
10.2.1 氰化物镀金	169
10.2.2 亚硫酸盐镀金	172
10.2.3 不合格镀层的退除和金的回收	173

11 电镀合金

175

11.1 概 述	175
11.2 电镀合金原理	176
11.2.1 合金共沉积理论需要解决的问题	176
11.2.2 金属共沉积的条件	176
11.2.3 合金共沉积类型及合金的相特点	177
11.2.4 影响合金共沉积的因素	180
11.2.5 电镀合金的阳极	182
11.3 电镀铜锡合金	182
11.3.1 镀液的成分及工艺条件	183
11.3.2 镀液成分及工艺参数对合金成分的影响	184
11.4 电镀铜锌合金	188
11.4.1 镀液成分及工艺条件	189
11.4.2 镀液中主要成分的作用及工艺条件的影响	189

11.4.3	仿金电镀	191
11.5	电镀其他合金	192
11.5.1	电镀镍铁合金	192
11.5.2	电镀铅锡合金	192
11.5.3	电镀锡镍合金	193
11.5.4	电镀锌镍合金	193
11.5.5	电镀镍钴合金	194
11.5.6	电镀高熔点金属的合金	194
11.5.7	电镀三元合金	195

12 特种镀膜技术 196

12.1	复合镀	196
12.1.1	复合镀的形成机理	196
12.1.2	常见的几类复合镀层及其应用	197
12.1.3	镀覆方法	199
12.2	脉冲电镀	201
12.2.1	简单原理	201
12.2.2	脉冲电镀参数选择	203
12.2.3	脉冲电镀的应用	205
12.3	刷 镀	207
12.3.1	简单原理	208
12.3.2	刷镀设备	208
12.3.3	刷镀溶液	210
12.3.4	刷镀工艺	214

13 化学镀及非金属材料电镀 216

13.1	化学镀镍	216
13.1.1	次磷酸盐型化学镀镍	217
13.1.2	其他型还原剂化学镀镍	223
13.2	化学镀铜	225
13.2.1	甲醛还原铜的机理	225
13.2.2	化学镀铜液的特点及组成	227
13.2.3	工艺条件的影响	228
13.2.4	化学镀铜的不稳定因素及镀液维护	229
13.3	非金属材料电镀	230
13.3.1	去应力	230
13.3.2	除 油	230
13.3.3	表面粗化	231
13.3.4	敏化、活化与还原处理	232

13.3.5 胶体钡活化法	234
---------------------	-----

14 轻金属的表面处理 236

14.1 铝及其合金阳极氧化	236
14.1.1 铝及其合金阳极氧化膜的性质和用途	236
14.1.2 铝及其合金阳极氧化的机理	238
14.1.3 铝及其合金阳极氧化工艺	241
14.1.4 阳极氧化膜的着色与封闭	248
14.1.5 不合格阳极氧化膜的退除	253
14.1.6 铝及其合金的化学氧化	254
14.2 铝及其合金上的电镀	255
14.2.1 铝及其合金化学浸镀金属的电镀工艺	256
14.2.2 铝及其合金阳极氧化后电镀	259
14.2.3 铝合金一步法电镀	259
14.2.4 铝及其合金上不合格镀层的退除	260
14.3 镁及其合金的表面处理	260
14.3.1 镁合金的化学氧化	261
14.3.2 镁合金的阳极氧化	262
14.3.3 镁合金上的电镀	263

15 钢铁材料的磷化与氧化 266

15.1 钢铁材料的磷化	266
15.1.1 磷酸盐处理原理	267
15.1.2 磷酸盐膜的组成和结构	268
15.1.3 常用磷酸盐处理工艺	269
15.1.4 影响磷酸盐膜质量的因素	270
15.1.5 后处理及质量检验	273
15.2 钢铁材料的氧化	274
15.2.1 氧化膜的形成原理	274
15.2.2 氧化溶液的成分及工艺条件	276
15.2.3 影响氧化膜质量的因素	277
15.2.4 氧化膜的后处理	278
15.2.5 常温氧化	278

参考文献	280
------------	-----

1 绪 论

1.1 电镀在国民经济中的意义

以电化学方法使金属离子还原为金属的过程，称为金属电沉积。如果在电沉积过程中，能在金属和非金属制品与零件表面上，形成符合要求的平滑致密的金属覆盖层，则为电镀。这类表面加工工艺的实质，就是给各种制品与零件穿上一层金属的“外衣”，这层金属“外衣”叫电镀层。镀层可以是锌、铜、金、银等单金属，也可以是铜-锡、铜-锌-锡等二元或三元合金。经过电镀可以改变原材料表面的外观和各种物理化学性质，如耐蚀性、耐磨性、焊接性、电性能、磁性能等，而零件内部仍可保持原有的冶金及机械性能。所以，电镀是一种表面加工技术。

表面加工技术有很大的灵活性，可以根据具体的要求施加某种镀层而达到各种工艺技术性能的要求，使金属材料的应用范围得到扩大，所以，电镀已广泛进入各种工业生产及科学研究的领域（例如机器制造、电子、精密仪器、化工、轻工、交通运输、兵器、航空、航天、原子能等），在国民经济中具有重大意义。概括起来，进行电镀的目的主要有三点：

(1) 提高金属的耐腐蚀能力，赋予制品与零件表面装饰性的外观；

(2) 使制品和零件表面具有某种特殊的功能，例如提高耐磨性、导电性、磁性、高温抗氧化性，减小接触面的滑动摩擦，增强金属表面的反光能力，便于钎焊，防止射线的破坏和防止热处理时渗碳和渗氮等；

(3) 提供新型材料，以满足当前科技发展的需要，例如制备具有高强度的各种金属基复合结构材料、金刚石钻磨工具、铸造用的模具等。

为防止金属制品及零件的腐蚀所用的电镀层数量很大。例如，一辆载重汽车上的零部件，受镀面积达 10m^2 左右，绝大部分都是用来防止外露的金属结构及紧固件的腐蚀。防止金属腐蚀的任务十分艰巨，据目前粗略估计，全世界钢铁产量的三分之一就是因腐蚀而变为废料。如果其中的三分之二可以回收冶炼的话，那么也有九分之一是无法使用的。尽管电镀并不能完全解决这个严重问题，但是作为抗腐蚀手段之一的电镀工艺，无疑可以做出可观的贡献。人们知道，腐蚀的后果并不只限于材料的浪费，更严重的是由于一些关键部件或结构的破坏，造成整机失灵而带来大量加工费用的损失，并且有可能造成无法弥补的重大事故（如飞机的航行事故、战时通讯设备失灵等）。在现代工业中已不仅要求镀层有防护性而且要有良好的装饰性，达到美化的目的。例如自行车、缝纫机、钟表、照相机等所使用的镀层，都具有防护与装饰的双重作用。此外，一些专以装饰为目的的镀层例如仿金镀层，也必须具有一定的防护性能，否则它们的装饰作用就不可能持久。所以说，镀层的装饰性与防护性是不可分的。

具有特殊功能的各种镀层，早已广泛地用于生产，解决了各式各样的问题。随着科学

技术的发展,许多新的交叉学科不断涌现,对材料的性能提出了很多特殊的新要求。在很多情况下,往往只要有一个符合性能要求的表面层,就可以满足科学技术中的迫切需要。选用适当的电镀层,常常能够很好地完成这个任务。因此,功能镀层的重要性越来越突出。使用电镀层代替整体材料,也是一个节约贵重金属的好途径。例如需要高硬度材料时,普通碳钢表面镀一层硬度高的铬,即可在很多应用场合取代硬质合金钢。当前,电镀不仅是防护与装饰的重要手段,而且已逐步发展成为制备表面功能材料的有效方法。

在金属材料中加入具有高强度的第二相,可使结构材料的性能大大地得到增强。通过电沉积制备这种复合结构材料,通常是采用另一种特殊形式的电镀技术——电铸。例如,用石墨纤维丝与镍共沉积,经电铸形成一定厚度的薄层后,将它从基体上剥下,再将很多层这样的薄层粘合在一起,形成所需形状和厚度的复合材料。与其他制备金属基复合结构材料的方法相比,以电铸法制备新材料有着广阔的前途,在当前新技术的发展与应用中有重大意义。

在全世界科学技术与生产飞速前进的过程中,对各种功能材料和结构材料的需求与日俱增。作为制备材料的一种手段,电镀技术越来越受到人们的重视。目前电镀生产所承担的任务,已经由原来的以对某些零部件的表面加工服务为主,进一步发展为可以独立完成一定产品的制备,使电镀技术发展进入了一个新的阶段。

在我国现代化建设过程中,既要大力发展生产又要厉行节约。因此,电镀工业在提高镀层质量的同时,还必须努力研究,在满足一定要求的前提下,使用薄的金属镀层代替厚镀层,使工艺过程中的能耗尽可能地降低,设法减轻对环境的污染和降低污水处理的费用等。总之,只要充分发挥其特点和长处,经过大量的科学实践,电镀工业就一定能在我国的经济发展中做出更大的贡献。

1.2 电镀层的分类及选用原则

1.2.1 电镀层的分类

镀层的分类可采用三种形式。

1. 按照镀层的应用分类

(1) 防护性镀层

锌镀层,在一般性大气中锌有很好的耐蚀性能,钢铁零件均采用镀锌进行防护,用途广泛,生产量很大,约占电镀总产量的50%以上。镉镀层在潮湿和海洋性大气中的防护性能优于锌镀层,有较低的氢脆性,适用于高强度钢电镀,在航空、航海工业中应用较多。锡镀层对多种有机酸有很好的耐蚀性,而且许多锡的化合物对人体无害,大量用于食品加工工业。含锡量为10%~15%的铜锡合金镀层有很好的防护能力,常用于镀铬的底层。锌镍合金镀层有较高的耐蚀性,可用于严酷的腐蚀环境,目前在生产上已有较多应用。

(2) 防护-装饰性镀层

现代工业要求镀层不仅有很好的防锈能力,还要有很好的装饰性,因此防护-装饰性镀层在电镀工业中占重要地位。如铜-镍-铬系镀层的外层是微带蓝色的光亮铬,有很好的

装饰性，为了提高耐蚀性先在基体材料上镀铜和镍层做底层。这是使用历史比较悠久的工艺，在仪器仪表、汽车、自行车工业中大量使用。黑铬及黑镍镀层，具有均匀乌黑的色泽，用于光学仪器、照相设备中。含 25%~30% 锌的铜-锌合金镀层有美丽的金黄色，又称仿金镀层，广泛用于装饰。

近几年研究成功了多种金属镀层的染色和着色方法，为获得防护-装饰性镀层提供了多种途径。

(3) 耐磨和减摩镀层

耐磨镀层是给零件镀一层高硬度的金属以增加它的抗磨损能力，延长使用寿命。在工业上对许多直轴或曲轴的轴颈、压印辊的辊面、发动机的气缸和活塞环、冲压模具的内腔、枪和炮管的内腔等均镀硬铬，使它的显微硬度高达 1000 左右。另外，对一些仪器的插拔件，要求既具有高的导电性，又要耐磨损，常要求镀硬银、硬金、铱等。

减摩镀层多用于滑动接触面，在这些接触面上镀上韧性金属（减摩合金），能起到润滑作用，从而减少了滑动摩擦。这种镀层多用于轴瓦、轴套上，以延长轴和轴瓦的使用寿命。作为减摩镀层的金属有锡、铅锡合金、铅钢合金、铅锡铜及铅锡铋三元合金。

(4) 电性能镀层

对于导电性要求较高的电器元件，要求镀金、银、铱等导电性较好的镀层。镀银层应防止氧化，以免增加接触电阻。金的化学稳定性好，导电性能良好，但成本较高，常用金-银、金-铜等金基合金代替，也有很好的效果。

(5) 磁性能镀层

在录音机及电子计算机等设备中，所用的录音带、磁环线、磁鼓、磁盘等存储装置均需磁性材料。目前多用电镀法来制造磁性材料。作为镀层材料主要以具有磁性的铁族元素为主，软磁性镀层可采用镍-铁、铁-钴等合金，硬磁性镀层可采用钴-磷、钴-镍、钴-镍-磷等三元合金。

(6) 可焊性镀层

用于电子产品提高焊接性能的镀层，以锡-铅合金为最多，焊接点的表面质量与含铅量有很大关系，含铅量在 30% 以下时焊点光亮，含铅量超过 40% 的焊点无光。另外，也可以采用镀铜、镀锡、镀银提高焊接性。

(7) 耐热镀层

许多长期在高温下工作的零部件，如喷气发动机的转子叶片、机轴、轧辊等，需要采用耐高温材料进行防护，防止高温下的热蚀。可以镀镍、铬以及镍基或钴基复合镀层，也可以采用电镀-渗镀联合处理的方法得到耐高温镀层。

(8) 修复用镀层

有些大型机械零件，如火车、汽车、石油机械上的大轴、曲轴及印染机上的压辊等，磨损以后可采用电镀进行修复，减少浪费。尤其是刷镀技术的发展，可以不拆卸加工，使修复性电镀增多。作为修复用的镀层主要是镀铁、镀铬等耐磨性较好的材料。

以上几项是应用最多的镀层，此外还有些特殊功能的镀层。如为了防止局部渗碳进行保护可以镀铜；为了增加钢铁零件与橡胶的粘结力可用铜-锌合金做底层；为了增加反光能力常镀铬、银、高锡青铜；为了消光而镀黑铬或黑镍，等等。

2. 按照基体金属和镀层的电化学性质分类

按照基体金属和镀层的电化学性质，可把镀层分为两大类，即阳极性镀层和阴极性镀层。前者如铁上镀锌；后者如铁上镀锡。这种分类对镀层选择和金属组件的搭配是十分重要的。

所谓阳极性镀层，就是当镀层与基体金属构成腐蚀微电池时，镀层为阳极而首先溶解。这种镀层不仅能对基体起机械保护作用，而且能起电化学保护作用。就铁上镀锌而言，在通常条件下，由于锌的标准电位比铁的更低（ $\varphi_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}}^0 = -0.76\text{V}$ ， $\varphi_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}}^0 = -0.44\text{V}$ ），当镀层有缺陷（针孔、划伤等）而露出基体时，如果有水蒸气凝结于该处，则锌铁就形成了如图 1-1 (a) 所示的腐蚀电池。此时锌作为阳极而溶解， $\text{Zn} - 2\text{e} = \text{Zn}^{2+}$ ，而铁作为阴极，可能是 H^+ 于其上放电而析出 H_2 气，也可能是 O_2 分子在该处还原，铁并未遭受腐蚀。我们把这种情况下的镀层叫做阳极性镀层。从防止黑色金属腐蚀的角度看，应尽可能选用阳极性镀层。

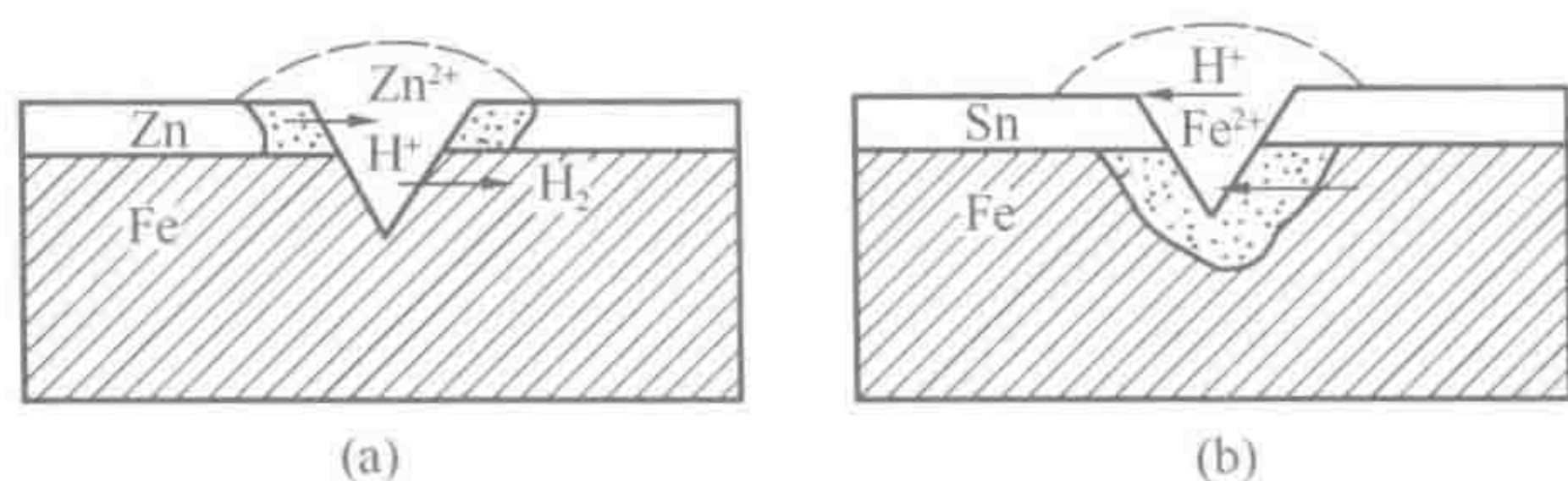


图 1-1 阳极镀层与阴极镀层

所谓阴极性镀层，就是镀层与基体构成腐蚀电池时，镀层为阴极。这种镀层只能对基体金属起机械保护作用。例如，在钢铁基体上镀锡，当镀层有缺陷时，铁锡就形成了如图 1-1 (b) 所示的腐蚀电池，锡的标准电位（ -0.14V ）比铁高，它是阴极，因而腐蚀电池的作用将导致铁的阳极溶解： $\text{Fe} - 2\text{e} = \text{Fe}^{2+}$ ，这时， H^+ 离子或 O_2 分子的还原，在作为阴极的锡上发生。这样一来，镀层尚存，而镀层下面的基体却逐渐被腐蚀坏了。这类镀层就是阴极性镀层。只有在它完整无损（连针孔都没有）时，才对基体有机械保护作用。一旦镀层被损伤，它不但保护不了基体，反而加速了基体的腐蚀。

必须指出，金属的电极电位随介质与工作条件的不同而发生变化，因此，镀层究竟是阳极性镀层还是阴极性镀层，需视它所处的介质和环境而定。锌对铁而言，在一般条件下是典型的阳极性镀层，但在 $70\sim 80^\circ\text{C}$ 的热水中，锌的电极电位却变得比铁高，因而成为阴极性镀层。再如锡对铁而言，在一般条件下是阴极性镀层，但在有机酸中却成了阳极镀层。

值得注意的是，并非所有比基体金属电位低的金属都可以用作防护性镀层。如果镀层在所处的介质中不稳定，它将迅速被介质腐蚀，因而失去了对基体的保护作用。锌在大气中是黑色金属的防护性镀层，就是由于它既是阳极性镀层，又能形成碱式碳酸锌 $[\text{ZnCO}_3 \cdot 3\text{Zn}(\text{OH})_2]$ 保护膜，因而很稳定。但是在海水中，锌对铁而言，虽仍为阳极性镀层，但由于它在氯化物溶液中很不稳定，很快被破坏，从而失去了对基体金属的保护作用。所以，海洋仪表都不能单独使用锌镀层来防护，而用镉层或代镉镀层较好。

值得指出，金属的电极电位随介质与工作条件的不同而发生变化，因此，镀层究竟是阳极性镀层还是阴极性镀层，需视它所处的介质和环境而定。锌对铁而言，在一般条件下是典型的阳极性镀层，但在 $70\sim 80^\circ\text{C}$ 的热水中，锌的电极电位却变得比铁高，因而成为阴极性镀层。再如锡对铁而言，在一般条件下是阴极性镀层，但在有机酸中却成了阳极镀层。

3. 按照镀层的组合形式分类

镀层的组合形式可分为三类。第一类是简单结构，在基体金属上只镀单层镀层，这是最简单的形式，如钢铁上镀锌、镉等。第二类是组合镀层。这是由几层相同金属（如暗镍、半光亮镍、光亮镍）或不同金属（如铜、镍、铬）层叠加而成的多层镀层。第三类是复合镀层。这种由固体微粒（在镀液中不溶的无机或有机物质）均匀地分散在金属中而形成