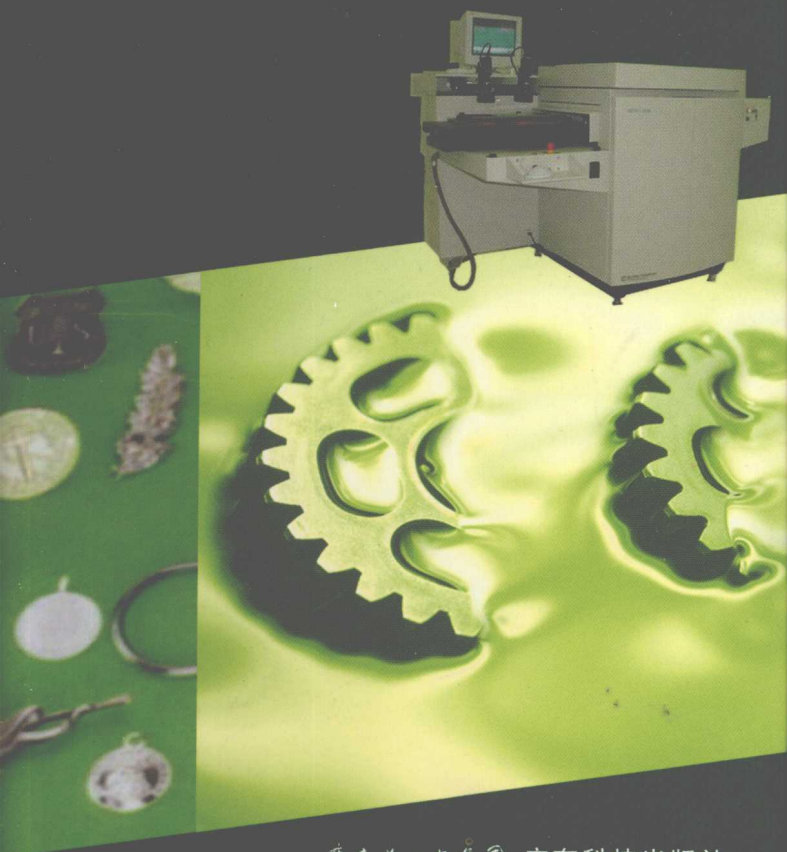


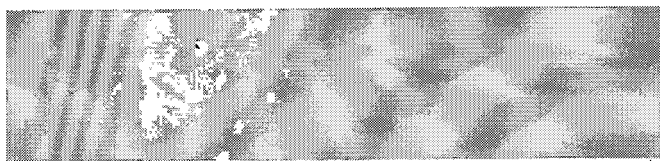
实用电镀工手册

SHIYONG DIANDUGONG SHOUC

司春波 主编



广东省出版集团 广东科技出版社



实用电镀工手册

司春波 主编

廣東省出版集團
广东科技出版社

· 广州 ·



图书在版编目(CIP)数据

实用电镀工手册/司春波主编. —广州:广东科技出版社,
2007.5

ISBN 978-7-5359-4312-5

I. 实… II. 司… III. 电镀—技术手册 IV. TQ153-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 027740 号

责任编辑:谢志远

装帧设计:林少娟

责任校对:罗美玲/山林

责任印制:谭丽贞

出版发行:广东科技出版社

(广州市环市东路水荫路 11 号 邮码:510075)

E-mail:gdkjzbb@21cn.com

http://www.gdstp.com.cn

经 销:广东新华发行集团股份有限公司

印 刷:广州伟龙印刷制版有限公司

(广州市沙太路银利工业大厦 1 栋 邮码:510507)

规 格:889mm×1194mm 1/48 印张 11.125 字数 290 千

版 次:2007 年 5 月第 1 版

2007 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1~5 000 册

定 价:29.00 元

如发现因印装质量问题影响阅读,请与承印厂联系调换。

内 容 提 要

本手册全面阐述了电镀工艺必备的各方面知识,内容涵盖了电镀基本知识、镀前表面处理、电镀常用设备、电镀工艺、金属的氧化、磷化与着色、特种电镀及常用镀液分析镀层、镀液性能测定学,其中电泳涂装、热浸镀、非水溶液电镀等均为最新的有很强实用价值的技术,从原理、工艺及设备系统地介绍了各种电镀工艺方法的选择及实施应用,并列以附录提供常用数据以供查阅,使本手册基本能反映目前我国电镀与精饰技术和工艺发展现状。

全书内容取材丰富、覆盖面广、实用性强、技术先进、条理清晰,便于查阅,很适合从事电镀与精饰的工程技术人员使用,也可供有关科研人员和大专院校师生参考。

前 言

电镀是利用电解方法对零件进行表面加工的一种工艺。随着我国经济的迅速发展,电镀与精饰的新技术、新工艺不断涌现,尤其在装饰性电镀、非金属电镀、仿金电镀、复合电镀、脉冲电镀、刷镀等方面,近年来研究成果和应用经验更为丰富。为反映我国电镀与精饰技术的现状,并汲取国外先进技术成果,给从事电镀与精饰工作的工程技术人员和工人提供一本实用的工具书,进一步推动电镀与精饰技术的传播和发展,特组织编写此手册。

根据我国电镀生产实际,本手册选取了在生产使用中较为广泛、性能较为稳定的技术和工艺为主要内容。全书分为七章,包括电镀基本知识;镀前准备及表面处理;电镀常用设备;电镀工艺;金属的氧化、磷化与着色;特种电镀;常用镀液分析及镀层、镀液性能测定等。本书取材比较丰富,以叙述电镀与精饰工艺为主,着重阐明各种工艺特点的应用范围及维护、问题的避免与解决等。为便于查阅,多数技术数据以表格形式展现,体现手册的使用便利性。

本手册突出实用性、技能性、通用性、新颖性和广泛性,数据翔实、内容丰富,对电镀相关行业技术

人员有较高指导价值。

虽然我们力求把工作做到最好,但限于我们的水平,手册中难免有不妥及错漏之误,恳请广大读者指正和谅解。本手册参考了大量文献资料,在此一并对所参考文献资料的编著者及对本编写给予无私帮助的老师、同行致谢!

编 者

2007 年 5 月

目 录

目 录

第一章 电镀基础知识

第一节 电镀概念及用途	1	1. 影响镀液分散能力和覆盖能力的因素	3
第二节 电镀结晶过程及影响因素	1	2. 改善电解液分散能力和覆盖能力的途径	4
1. 电镀的结晶过程	1	第四节 对电镀层的分类及要求	5
2. 影响电镀结晶粗细的因素	2	1. 对镀层的要求	7
第三节 镀液的分散及覆盖能力	3	2. 影响镀层质量的主要因素	7

第二章 镀前准备及表面处理

第一节 镀前表面处理的 意义及常用方法	9	光及化学抛光	19
1. 镀前处理的重要性	9	1. 磨光	19
2. 镀前处理常用的方法	9	2. 抛光	21
第二节 除油脂	10	3. 电抛光	23
1. 有机溶剂脱脂	11	4. 化学抛光	37
2. 化学脱脂	11	5. 塑料的磨光与抛光	45
3. 脱脂剂成分的选择	14	第四节 刷光与滚光	45
4. 电化学脱脂	15	1. 刷光	45
5. 擦拭脱脂	16	2. 普通滚光	45
6. 滚筒脱脂	18	3. 离心滚光	46
7. 超声波脱脂	18	第五节 浸蚀	47
第三节 磨光、抛光、电抛		1. 概述	47
		2. 常用的浸蚀剂	47
		3. 缓蚀剂	49

4. 常用金属浸蚀液的组成和工艺规范	49	方法	67
5. 脱脂—浸蚀一步法	49	1. 喷砂	67
第六节 挂具	61	2. 喷丸	68
1. 概述	61	第八节 常用金属的表面处理	70
2. 挂具的结构	62	1. 钢铁的表面预处理	70
3. 挂具的外形尺寸	65	2. 铜及铜合金的表面预处理	72
4. 挂具的材料选择	65	3. 铝及铝合金的表面预处理	73
5. 挂具的绝缘	66		
第七节 其他机械处理			

第三章 电镀常用设备

第一节 机械设备	84	1. 电源设备	86
1. 整平设备	84	2. 线路设备	87
2. 喷砂清理设备	84	第三节 通风及过滤设备	92
3. 滚光筒	85	第四节 固定槽设备	92
第二节 电气设备	86		

第四章 电镀工艺

第一节 镀锌	97	4. 镀铜、镍、铬工艺过程	126
1. 概述	97	5. 镀层检验和不合格镀层的褪除	126
2. 氰化物镀锌	97	第三节 镀铬	127
3. 碱性锌酸盐镀锌	102	1. 概述	127
4. 氯化钾盐镀锌	105	2. 镀铬工艺特点	127
5. 镀锌的工艺过程	111	3. 镀铬溶液成分、作用及其规范的影响	130
6. 镀层的检验与不合格镀层的褪除	112	4. 镀硬铬	135
第二节 镀铜	112	第四节 镀镍	143
1. 概述	112	1. 概述	143
2. 氰化物镀铜	113		
3. 硫酸盐镀铜	118		

2. 普通镀镍	143	3. 硫代硫酸盐镀银	189
3. 不良镍镀层的褪除		4. 镀前预处理	191
方法	149	5. 镀后处理	193
第五节 镀锡	151	第十节 镀金	202
1. 概述	151	1. 概述	202
2. 碱性镀锡	152	2. 碱性氰化物镀金	202
3. 酸性电解液镀锡	156	3. 酸性和中性镀金	205
4. 镀锡工艺过程	160	4. 亚硫酸盐镀金	207
5. 镀层检验与不合格		第十一节 其他单金属的	
镀层褪除	160	电镀	210
第六节 镀镉	161	1. 镀铂	210
1. 概述	161	2. 镀钯	212
2. 氰化物镀镉	162	3. 镀铑	215
3. 硫酸盐镀镉	165	4. 镀铟	217
4. 镀镉的工艺过程	168	5. 镀铼	219
5. 镀镉层镀后处理与不		6. 镀钼	220
合格镀层褪除	168	第十二节 电镀镍铁合	
第七节 镀铁	169	金	221
1. 概述	169	第十三节 仿金电镀	227
2. 氯化亚铁镀铁	169	1. 概述	227
3. 硫酸亚铁盐镀铁	177	2. 氰化物电镀仿金镀层	
第八节 镀铅	179		227
1. 概述	179	第十四节 其他合金的	
2. 氟硼酸盐镀铅	180	电镀	232
3. 酒石酸盐镀铅	182	1. 镀锡镍合金	232
第九节 镀银	183	2. 镀锡锌合金	236
1. 概述	183	3. 镀锡钴合金和锡钴锌	
2. 氰化物镀银	184	合金	238

第五章 金属的氧化、磷化与着色

第一节 铝及铝合金的		2. 氧化前的表面准备	
氧化	241		241
1. 概述	241	3. 化学氧化	245

4. 电化学氧化法	248	1. 不锈钢的转化膜处理	276
第二节 钢铁氧化	260	2. 锌及锌合金的转化膜处理	279
1. 概述	260	3. 铜的转化膜处理	284
2. 碱性氧化法(发蓝)	260	4. 银的转化膜处理	287
3. 酸性氧化法(常温发蓝)	264	5. 钢铁的转化膜处理	289
4. 其他氧化处理	265	6. 钛及钛合金的阳极氧化	290
第三节 钢铁的磷化 ..	266	7. 铝、铍、镍、锡的转化膜处理	291
1. 概述	266		
2. 高、中、常温磷化	268		
第四节 部分金属的转化膜的处理 ..	276		

第六章 特种电镀

第一节 化学镀	294	第四节 刷镀	320
1. 概述	294	1. 刷镀原理和应用范围	320
2. 化学镀镍	294	2. 刷镀设备	321
3. 化学镀铜	299	3. 刷镀工艺	325
第二节 线材电镀	302	第五节 电泳涂装	343
1. 概述	302	1. 概述	343
2. 线材电镀的方法	302	2. 阴极电泳涂装	344
3. 钢线材镀锡	303	3. 阳极电泳涂装	348
4. 钢线材镀锌	307	第六节 塑料电镀	348
5. 铜丝镀铅锡合金	310	1. 概述	348
6. 铜线镀锡	312	2. 对塑料件的技术要求	348
7. 钢带镀镍	313	3. ABS 塑料的组成	349
第三节 热浸镀	313	4. ABS 塑料电镀工艺	349
1. 概述	313	第七节 复合电镀	356
2. 热浸锌	314	1. 概述	356
3. 热浸铝	318		
4. 热浸锡	319		
5. 热浸铅锡合金	320		

2. 电镀型复合镀层	358	第九节 水洗	380
3. 复合化学镀镍	365	1. 水洗的要求	380
4. 镶嵌镀	369	2. 水洗方法	383
第八节 其他电镀方法	371	3. 水洗效率	385
1. 机械镀	371	4. 水洗的有关计算	386
2. 真空蒸镀	373	第十节 褪除镀层	391
3. 溅射镀	376	1. 褪除方法分类	391
4. 离子镀	378	2. 褪除工艺规范	391

第七章 常用镀液的分析及镀层、 镀液性能测定

第一节 常用镀液分析	407	4. 均镀能力的测定	466
方法	407	5. 深镀能力的测定	468
1. 镀铬溶液分析	407	6. 整平能力(微观分析能力)的测定	470
2. 镀锌溶液分析	417	7. 表面张力的测定	471
3. 镀铜溶液分析	420	8. 极化曲线的测定	472
第二节 镀层的测定	427	9. 微分电容的测定	477
1. 镀层厚度的测定	427	10. 霍尔槽试验	480
2. 镀层耐蚀性的测定	447	11. 使用电镀参数测试仪测定镀液性能	489
3. 镀层孔隙率的测定	458	附录	490
第三节 镀液性能的测定	463	附录一 常用数据表	490
1. pH的测定	463	附录二 安全措施	518
2. 电导率的测定	464	参考文献	520
3. 电流效率的测定	465		

第一章 电镀基础知识

第一节 电镀概念及用途

电镀是利用电解方法对零件进行表面加工的一种工艺。电镀时零件为阴极，镀液中的金属离子在直流电的作用下沉积在零件表面形成均匀、致密的金属镀层。

电镀必需的条件是外加直流电源，镀液和镀件及阳极组成的电解装置。

电镀的目的是通过改变零件表面的外观和物理化学性质，达到装饰性、耐蚀性和耐磨性等各种技术性能。还可以根据具体的工艺要求施加某种功能性镀层，如焊接性、电能性、磁能性、光能性镀层等，充分扩大金属材料的应用范围。

电镀已经遍及国民经济各个生产和科学领域中，尤其在机器制造、国防、电信、交通、轻工业等行业已成为不可缺少的一部分。在化工生产中电镀广泛应用于提高各种轴类、套类等零部件的耐磨、抗腐蚀性能；在使用于各种高压垫圈的密封防腐以及各种机械磨损和加工件的修复尺寸等方面起到越来越重要的作用。

第二节 电镀结晶过程及影响因素

1. 电镀的结晶过程

电解液中的金属离子或其络离子在阴极还原沉积出金属镀层的过程叫电结晶。

电结晶在很多方面与一般的结晶过程相似。但电结晶与一般的结晶有所不同：一般盐类的结晶是物理过程，只要设法提高溶液的浓度，增大其过饱和度即可实现结晶，而电结晶是一个电化学反应过程。金属离子是否能够还原，决定于阴极电位。在平衡电位下金属离子还原反应的速度与金属氧化反应的速度相等，金属离子不会在阴极沉积，只有在阴极电位偏离于平衡状态，即产生一定的过电位时才能在阴极上沉积出金属晶体。电结晶中过电位的作用与一般结晶过程中过饱和度所起的作用相似。

金属电沉积是一个复杂的过程，它一般有几个连续的或同时的界面反应步骤。

①溶液中的金属离子（如水化金属离子或络合离子）通过电迁移、对流、扩散等形式到达阴极表面附近。

②金属离子在还原之前在阴极附近或表面发生化学转化。

③金属离子从阴极表面得到电子还原成金属原子。

④金属原子沿表面扩散到达生长点进入晶格生长，或与其他粒子相遇形成晶核，长大成晶体。

在形成金属晶体时又分两个步骤进行：结晶核的生成和成长。晶核的形成速度和成长速度决定所得结晶的粗细。

2. 影响电镀结晶粗细的因素

金属电结晶时同时进行晶核的生成与成长的两个过程。这两个过程的速度决定着金属结晶的粗细程度。如果晶核的生成速度较快，而晶核生成后的成长速度较慢，则生成的晶核数目较多，晶粒较细，反之晶粒就较粗。晶核的生成速度愈大于晶核的成长速度，镀层结晶愈细致、紧密。

实践结果表明，提高电结晶时的阴极极化作用可以加速晶核的生成速度，便于形成微小颗粒的晶体。在一般情况下电镀中常常提高电结晶时的阴极极化作用以增加晶核生成速度，从而获得结晶细致的镀层。

为了提高金属电结晶时的阴极极化作用可以采取以下几种措施：

①提高阴极电流密度。一般情况下阴极极化作用随阴极电流密度的增大而增大，镀层结晶也随之变得细致紧密。在阴极极化作用随阴极电流密度的提高而增大的情况下，可用适当提高电流密度的方法提高阴极极化作用。但不能超过所允许的上限值。

②适当降低电解液的温度。降低温度能减慢阴极反应速度和离子扩散速度，提高阴极极化作用。但在实际操作中对于提高温度所带来的负面影响，可以通过增大电流密度而获得弥补。因为提高温度，就可以进一步提高电流密度，从而加速了电镀过程。因此在具体操作过程中，根据实际情况调节电解液的温度。

③加入络合剂。在电镀生产中能够络合主盐中金属离子的物质称为络合剂。因为络离子较简单离子更难以在阴极上还原，从而提高阴极极化值。

④加入添加剂。添加剂吸附在电极的表面上阻碍了金属的析出，提高了阴极极化作用。

在实践中可根据实际情况，采取具体措施，适当提高金属电结晶时的阴极极化作用。但是不能认为阴极极化作用愈大愈好。因为极化作用超过一定范围，会导致氢气的大量析出，从而使镀层变得多孔、粗糙，质量反而下降。

第三节 镀液的分散及覆盖能力

1. 影响镀液分散能力和覆盖能力的因素

在电镀生产中镀层在零件表面上分布的均匀性和完整性是决定镀层质量的重要因素。实际上不管何种镀液，其所得镀层总不是十分均匀的。为评定镀液的优劣，电镀中用镀液的分散能力和覆盖能力来表示。

分散能力是指镀液所具有的镀层厚度均匀分布的能力，也叫均镀能力。

覆盖能力是指镀液能使零件深孔、凹洼的表面沉积出镀层的能力，也叫深镀能力。

镀液的分析能力只说明镀件表面厚度的均匀程度，而覆盖能力只说明镀件表面凹入处或深孔处有无镀层沉积。这两个概念共同表示零件在镀液中能否得到完整、均匀的镀层。

影响镀层分布的因素主要有以下几个方面。

1) 电流分布。首先镀层的分布与电流的分布有关系。根据法拉第定律：电流通过电解质溶液时，在阴极上析出物质的量与通过的电量成正比。从这一点来说，阴极表面不同部位所得镀层的薄厚、均匀与否（如果不考虑电流效率的影响）就决定于电流在阴极表面上分布是否均匀。电流密度愈大，镀层也就愈厚，反之镀层愈薄。从这点来讲，金属在阴极表面上的沉积量取决于电流在阴极表面上的分布。

影响电流在阴极上分布的因素很多，但主要有当电流通过电镀槽时它所遇到的总阻力。在简化了的情况下这个总阻力主要有两个方面：即电解液的电阻组成的阻力和电流通过电极和电解液的界面时所遇到的阻力（也叫电化学反应的阻力，可以由电极极化的大小反映出来）。电流通过时受到的总阻力愈大，则到达该部位的电流就愈小。

电解液的阻力与阴极电化学反应的阻力，这是影响电流在阴极上分布的两个重要因素。这两个因素在一定条件下必有一个是主要

的，即起着主导作用，这时电流在阴极上的分布由起主导作用的一方所决定。如在那些简单金属盐类配制的电解液中阴极反应的阻力很小（表现为阴极极化很小），电流的分布主要决定于电解液的电阻所造成的阻力。

2) 电流效率。金属在阴极表面上的分布还与电流效率有关。

镀层金属的分布决定于电流的分布，但金属的分布不等于电流的分布。因为通过阴极的电流不单是消耗于金属离子的沉积，而且消耗于析氢和其他副反应，即存在电流效率问题。

电流效率随电流密度的变化而改变，则影响金属在不同部位上的分布，可分为以下3种情况：

①阴极电流效率随电流密度的改变而几乎没有变化的，如硫酸盐镀铜、镀锌等电流效率对金属的分布没有影响，阴极不同部位上镀出的金属多少，就直接决定于该处的电流的大小。

②阴极电流效率随电流密度的升高而下降的则能提高分析能力。这是大多数络合物电解液所具有的特点。由于电流密度大的地方电流效率低，电流密度小的地方电流效率高，这样使各处的电流密度分布变得更均匀些，电解液的分散能力得到了改善。

③阴极电流效率随电流密度的升高而增大的则会降低分散能力。由于阴极上电流密度大的地方电流效率高，电流密度小的地方电流效率低，这样各处的实际电流密度更加不均匀，造成了分散能力的低下。如在镀铬时由于阴极极化度小，再加上电流效率随电流密度的增高而加大，其分散能力很差，甚至在一个平板（阴极）上电流的分布也很不均匀，镀层厚度相差悬殊。

3) 基体金属的表面状态。基体金属的表面状态对金属在阴极表面的分布有着重大的影响。

金属在不洁净的阴极表面上很难沉积出均匀的镀层，甚至不能沉积。由于氢在粗糙表面上的过电位小于光滑表面，所以在粗糙表面上氢容易析出，镀层就难以沉积。

4) 几何因素。电镀槽的几何形状，阴阳极的形状和尺寸，两个电极在电镀槽中的排布形式等几何因素直接影响着镀层的分布。

所有这些与电解液分散能力和覆盖能力有关的因素，彼此不是孤立的，而有着内在的联系。在实际操作实践中根据具体情况找出主要的影响因素。

2. 改善电解液分散能力和覆盖能力的途径

在电镀生产中，根据影响镀层分布的主要因素采取以下相应

措施。

①阴极极化度。对于阴极极化较小的电解液，力求增大阴极极化的因素。当其他条件不变时凡是阴极极化随电流密度的变化而较大改变的电解液，即阴极极化度（改变单位电流密度所引起的电极电位的变化）大的镀液，其分散能力较好。因此间接或直接促使阴极极化度增大的因素如选择适当的络合剂及添加剂，均能改善镀层的分散能力和覆盖能力。

②镀液电导率。对电阻较大的电解液，可以适当加入导电能力较强的电解质。当镀液的阴极极化度较大时，提高电导率能明显地提高分散能力和覆盖能力。如果极化度极小那么对分析影响就不大。

③阴极电流效率。改善阴极电流效率，可提高电解液的分散能力和覆盖能力。

④基体金属的表面状况。提高基体金属的表面光洁度，采用短时间冲击电流，提高氢在基体金属上的过电位等，可以消除基体金属对分散能力和覆盖能力的不良影响。

⑤几何因素的影响。在实际生产中常采用辅助阴极和象形阳极、合理调节阴阳极之间的距离等方法尽可能消除几何因素对电解液分散能力的影响。例如镀铬电解液就是一种特殊的例子。它是一种具有强氧化能力的酸性电解液，是在所应用的电解液中分散能力最差的一种。在镀铬时为了提高电解液的分散能力往往从电化学性能以外的角度出发，采用加防护阴极、使用辅助阳极和非金属屏蔽以及合理调节电极之间的距离等方法，使其处于最佳的电流分布状态。

第四节 对电镀层的分类及要求

镀层的分类可采用3种形式。

1) 按电化学性质分类。可分为阳极性镀层和阴极性镀层。

①阳极性镀层。镀层金属的电位比基体金属的电位负的镀层叫阳极性镀层。如钢铁件上的镀锌层，当形成腐蚀微电池时镀锌层电位负于基体电位，所以首先腐蚀的是镀锌层，对钢铁件起电化学保护作用。对阳极性镀层，镀层的厚度对防护能力有决定性影响。

②阴极性镀层。镀层金属相对于基体金属的电位是正的，镀层是阴极，叫阴极性镀层。如钢铁件上的铜镀层、镍镀层等。对于这些镀层一旦形成腐蚀微电池，首先腐蚀的是作为阳极的基体金属，

是从里往外腐蚀的。所以阴极性镀层只能起机械保护作用。对于阴极性镀层特别重要的是孔隙率要低，要有更大的厚度。

值得注意的是金属的电位是随着介质的不同而发生变化的。如锌对钢铁而言，在一般条件下是“阳极镀层”，但在 $70\sim 80^{\circ}\text{C}$ 的热水中随电位发生变化形成了“阴极性镀层”。又如镀锌层在大气中是很好的防护性镀层，但是在海水中由于它在氯化物溶液中不稳定，却失去了保护作用。因此海洋仪器都不用镀锌层防护。

2) 按用途分类。可分为防护性镀层、防护装饰性镀层、修复性镀层、功能性镀层。

①防护性镀层。防止基体金属在大气或其他环境中发生腐蚀的镀层叫防护性镀层。

如钢铁件上的锌、镉、铅、锡等镀层。在一般大气条件下钢铁零件均采用镀锌进行防护。此镀层用途广泛，约占电镀产量的 50% 以上。在潮湿和海洋性大气中可用镀镉层保护。对于紧固件的防护选用镉锡合金，如在化工生产中高压垫圈密封防腐等。锡镀层对有机酸有很好的耐蚀性，它不仅防锈力强，且产生的腐蚀化合物对人体无害，大量用于食品加工业。

②防护—装饰性镀层。既能防止基体金属发生腐蚀又具有美观的镀层称为防护—装饰性镀层。如钢铁件上的铜—镍—铬复合镀层，镍铁—铬复合镀层，铜锡合金套铬的镀层等。

它要求镀层既能防腐蚀，又具装饰性。这类镀层往往是先镀“底层”，再镀“表层”，有时还有“中间层”。多层电镀利用它们彼此的长处对其进行搭配使用，弥补了彼此的缺陷。如铜—镍—铬系镀层，先镀上铜做底层，再镀镍做中间层，以提高耐蚀性，外层是微带蓝色的光亮铬，有很好的装饰性。此类镀层在仪器仪表、小汽车、自行车工业中大量使用。

③修复性镀层。可使局部磨损的工件局部或整体加厚或恢复尺寸的镀层叫修复性镀层。一些主要的机械零部件，如火车、汽车、石油化工机械上的大轴、曲轴、齿轮和花键等都可以进行电镀修复，以延长使用寿命。

④功能性镀层。主要有耐磨和减磨镀层。借提高表面硬度以增加它的抗磨损能力，多采用镀铬；减磨镀层多用于滑动接触面上可减少滑动摩擦。

⑤反光镀层，防反光镀层。如装饰性镀铬、镀银等属反光镀层；镀黑铬、黑镍等属防反光镀层。