

机电实用技术手册系列

新编

# 实用电镀工艺 手册

王延相 白玉俊 马利芹 编



**新编**

**实用电镀工艺  
手册**

王延相 白玉俊 马利芹 编

人民邮电出版社

北京

## 图书在版编目 (CIP) 数据

新编实用电镀工艺手册 / 王延相, 白玉俊, 马利芹编.  
—北京: 人民邮电出版社, 2007.11  
(机电实用技术手册系列)  
ISBN 978-7-115-16332-5

I. 新… II. ①王…②白…③马… III. 电镀—工艺—手册 IV. TQ153-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 081148 号

## 内 容 提 要

本手册是机电实用技术手册系列之一。主要介绍了电镀基础、镀前处理、电镀单金属、合金电镀、特种电镀、转化膜、镀层质量与控制、常用电镀溶液的分析方法及环保与污染控制等内容, 既涉及国内外应用广泛且性能稳定的成熟工艺, 也尽可能汇集了具有一定先进性和实用性的表面处理技术。本书内容取材丰富, 实用性强, 是一本新颖全面的电镀工具书。

本书既适合相关工程技术人员和操作工人使用, 也适合大专院校师生学习参考。

### 机电实用技术手册系列 新编实用电镀工艺手册

- 
- ◆ 编 王延相 白玉俊 马利芹  
责任编辑 李育民
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号  
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
北京艺辉印刷有限公司印刷  
新华书店总店北京发行所经销
  - ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 36.5  
字数: 906 千字 2007 年 11 月第 1 版  
印数: 1—5 000 册 2007 年 11 月北京第 1 次印刷

---

ISBN 978-7-115-16332-5/TN

定价: 59.00 元

读者服务热线: (010)67134361 印装质量热线: (010)67129223

# 前 言

## PREFACE

随着我国制造业的不断发展，新技术的应用越来越广泛，国内和国际企业间的技术合作日益加强，社会生产更加注重规范和标准的采用，产品也更加注重互换性。为此，各生产企业需要使用统一标准来指导生产过程。

为了方便广大工程设计人员及生产人员使用行业标准指导设计和生产，我们编写了机电实用技术手册系列图书。该系列图书共 12 册，涵盖了从传统的机械加工技术到现代的新型加工技术等各个方面的内容，为各行业的工程设计人员及生产加工人员提供了翔实的设计资料。

近十几年来，随着科学技术的发展，电镀技术所涉及的领域越来越广，尤其在机器制造、电子、能源、交通运输、兵器和航空航天等工业部门提出了更多更高要求的情况下，电镀新工艺、新材料和新设备不断被开发和研制出来，电镀的科研与应用开创了前所未有的崭新局面。基于此，根据多年来的教学、科研和生产实践，并参考国内外有关文献资料，我们编写了这本资料丰富、数据准确、方法实用而具有特色的，且将传统电镀工艺与当代新材料、新技术相结合的新兴电镀工艺应用技术手册。

本书涉及的有关资料与数据均经过现场验证，数据可靠，并以表格的形式呈现，便于研究和查阅。由于电镀技术是涉及多学科的技术，因此本手册也对涉及到的部分基础理论结合电镀的实际情况进行了较为详细的介绍。

本手册由王延相主编，参加编写的人员有王延相、白玉俊、马利芹等。本手册在编写过程中，得到了沈精虎、许曰滨、黄业清、姜勇、高长铎、田博文、谭雪松、杜俭业、向先波、毕丽蕴、郭万军、詹翔、冯辉、王海英、李仲、赵治国、赵晶、朱凯、臧乐善、郭英文、计晓明、尹志超、滕玲、张艳花、董彩霞、郝庆文等同志的帮助，同时还参考了许多同行编写的优秀手册及著作，在此向他们一并表示感谢。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免有疏漏和不当之处，诚请读者批评指正。

编者

2007 年 5 月

# 目 录

## CONTENTS

第一章 电镀基础 .....	1
第一节 电镀基本知识 .....	1
一、电镀基本过程 .....	1
二、电镀的目的 .....	2
三、电镀层的特性与分类 .....	2
四、直接电镀工艺 .....	3
第二节 电镀的结晶过程 .....	6
一、概述 .....	6
二、影响电镀层结晶粗细的因素 .....	7
第二章 镀前处理 .....	11
第一节 镀前处理工序 .....	11
一、概述 .....	11
二、磨光与抛光 .....	11
三、除油 .....	21
四、酸洗 .....	27
五、弱腐蚀 .....	30
第二节 不同基体金属的镀前处理工艺流程 .....	31
一、概述 .....	31
二、低碳钢的镀前处理工艺流程 .....	31
三、高碳钢和低合金钢的镀前处理工艺流程 .....	32
四、不锈钢的镀前处理工艺流程 .....	33
五、铸铁的镀前处理工艺流程 .....	34
六、铜和铜基合金的镀前处理工艺流程 .....	35
七、锌压铸件的镀前处理工艺流程 .....	36
八、铝和铝合金的镀前处理工艺流程 .....	36
九、铁粉末压制件的镀前处理工艺流程 .....	39
十、黄铜粉末压制件的镀前处理工艺流程 .....	39
十一、其他金属的表面预处理 .....	39
第三章 电镀单金属 .....	44
第一节 镀铜 .....	44

一、概述	44
二、氰化物镀铜	44
三、酸性硫酸盐镀铜	48
四、焦磷酸盐镀铜	51
五、其他的镀铜方法	54
六、镀铜层的后处理及不合格镀层的退镀	56
第二节 镀镍	57
一、概述	57
二、硫酸盐镀镍	58
三、瓦特型镀镍溶液	60
四、氯化物-硫酸盐混合镀镍溶液	62
五、氯化物型镀液及工艺条件	63
六、酸盐型镀液	63
七、络合物型镀液	63
八、氟硼酸和氨基磺酸镀镍溶液	64
九、光亮及半光亮镀镍	65
十、多层镀镍	67
十一、有特殊用途的镀镍工艺	70
十二、镀镍层的退镀	74
十三、电化学方法	74
第三节 镀铬	75
一、概述	75
二、一般的防护装饰性镀铬	76
三、镀硬铬及松孔铬	81
四、镀黑铬	83
五、特殊的防护装饰性镀铬	85
六、镀铬层的退镀	86
第四节 镀锌	87
一、概述	87
二、氯化物镀锌工艺	88
三、锌酸盐镀锌工艺	91
四、氯化物镀锌工艺	95
五、硫酸盐镀锌工艺	99
六、锌镀层的钝化处理	99
七、不良锌镀层的退除	107
第五节 镀镉	107
一、概述	107
二、氯化物镀镉溶液	108
三、无氰镀镉溶液	112

四、其他无氰镀镉	115
五、镀后处理	117
六、镀镉层的退镀处理	119
第六节 镀锡	119
一、概述	119
二、酸性镀锡	119
三、碱性镀锡	124
四、镀液的维护	127
五、冰花镀锡与化学浸锡	128
六、退镀	128
七、镀层检验、缺陷分析及不合格镀层退除	129
第七节 镀银	130
一、概述	130
二、氰化物镀银	131
三、无氰镀银	133
四、其他的镀银工艺	136
五、镀银层的镀后处理	137
第八节 镀金	139
一、概述	139
二、氰化和非氰化镀金	140
三、镀金层的退镀及金的回收	145
第九节 镀铁	147
一、概述	147
二、氯化物镀铁	147
三、硫酸盐镀铁	150
四、其他镀铁工艺	152
五、镀后处理	152
第十节 镀铅	153
一、概述	153
二、氟硼酸盐镀铅	154
三、酒石酸盐镀铅	155
四、其他镀铅工艺	155
第十一节 镀铂	156
一、概述	156
二、亚硝酸盐镀铂	156
三、其他镀铂工艺	158
第十二节 镀钯	159
一、概述	159
二、二氯化四氨镀钯	159

三、微碱性氰络盐镀钯	160
第十三节 镀铈	161
一、概述	161
二、镀铈工艺规范	161
第十四节 电镀其他金属	164
一、镀铟	164
二、镀钿	164
三、镀铍	165
四、镀铊	165
五、镀锰	165
六、镀钴	166
七、镀钡	166
八、镀硒、锑、砷、铋	167
第四章 合金电镀	169
第一节 电镀铜基合金	169
一、铜锡合金电镀	169
二、镀铜锌合金	178
第二节 仿金电镀	182
一、概述	182
二、氰化物仿金镀	183
三、玫瑰金电镀工艺	185
第三节 电镀锡合金	186
一、镀锡铅合金	186
二、电镀锡镍合金	192
三、电镀锡钴合金	193
四、锡锑合金	195
五、其他锡基合金	196
第四节 电镀镍合金	199
一、镍铁合金	199
二、黑色镀层电镀工艺	204
三、电镀镍钴合金	205
四、电镀镍磷合金	206
第五节 电镀锌合金	207
一、概述	207
二、锌铁合金	207
三、氰化物镀锌铜合金	211
四、锌镍合金	213
五、镀锌钴合金	217
六、锌钛合金	219



七、镀锌铬合金	220
八、镀锌镍铁合金	221
九、锌铁钴合金	222
第六节 金合金电镀	222
一、概述	222
二、镀金银合金	223
三、镀金铜合金	223
四、镀金镍合金	224
五、金钴合金	225
六、金铈合金	225
七、电镀其他金合金	226
八、不合格镀金层的退除	226
九、金的回收	227
第七节 银合金电镀	227
一、镀银钯合金	227
二、镀银镉合金	228
三、镀银铈合金	228
四、镀银铜合金	229
五、镀银铅合金	229
六、其他镀银合金	230
第五章 特种电镀	231
第一节 机械镀	231
一、概述	231
二、机械镀工艺过程	231
三、机械镀设备及原料	232
四、机械镀层性能特点	232
五、热机械镀锌(干法)	232
六、冷机械镀锌	233
第二节 复合电镀	234
一、复合电镀的特点	234
二、复合电镀的基本原理	235
三、复合电镀的基本条件	236
四、形成复合镀层的一些方法	236
五、影响复合镀层生成的因素	237
六、复合电镀的工艺要领	238
七、化学复合镀	241
第三节 化学镀	244
一、概述	244
二、化学镀镍	244

三、化学镀铜	253
四、化学镀金	256
五、化学镀银	257
六、化学镀锡	259
七、化学镀钯及其合金	260
八、化学镀其他金属	261
第四节 非金属电镀	261
一、非金属材料镀前的预处理	261
二、非金属材料的表面金属化	275
三、ABS 塑料制品的电镀工艺及流程	277
四、非金属制品的电镀层质量检验	278
五、非金属电镀中常见故障及解决方法	279
第五节 电铸	280
一、电铸原理、特点及应用	280
二、电铸芯模设计、类型及材料	281
三、金属芯模表面剥离膜形成	284
四、非导体芯模表面金属化	284
五、电铸铜	285
六、电铸镍	288
七、电铸铁	291
八、电铸时间、阴极电流密度及镀液的电化学当量与电铸镀层厚度的关系	292
九、电铸后处理	292
十、复合电铸	293
第六节 电镀非晶态合金	295
一、概述	295
二、非晶态薄膜的制备	295
三、非晶态合金镀层形成的条件	296
四、非晶态合金镀层的性质及应用	297
第七节 刷镀	302
一、概述	302
二、刷镀溶液	303
三、摩擦喷镀溶液	309
四、材料的电刷镀工艺	309
五、刷镀操作中的几个问题	311
六、退镀溶液	312
七、钝化溶液	312
八、双极性电镀	313
第八节 热浸镀	315
一、热浸镀原理	315

二、热浸镀工艺种类	315
三、热浸镀层的性能及应用	317
四、热浸镀锡	317
五、热浸镀锌	321
六、热浸镀锌标准	330
七、热浸镀铝	330
第九节 线材电镀	334
一、概述	334
二、线材电镀的方法	335
三、钢线材镀锡	335
四、钢线材镀锌	337
五、钢丝镀铅锡合金	339
六、其他线材电镀层	340
第十节 脉冲电镀	341
一、概述	341
二、电源	341
三、脉冲镀金	342
四、脉冲镀银	343
五、脉冲镀铂	344
六、脉冲镀镍	344
七、脉冲镀镍铁合金	344
八、铝的脉冲阳极化	344
第十一节 电泳涂装	345
一、概述	345
二、电泳涂料的组成	346
三、电泳涂料的分类及电泳涂膜的性能	348
四、电泳涂装的基本原理	350
五、电泳涂装的方法及特点	351
六、电泳涂装的操作条件	352
七、电泳涂装工艺及其在电镀中的应用	354
八、电泳溶液的管理	358
九、电泳涂装主要设备的特点及设计要求	361
第十二节 其他特种电镀	362
一、印制板电镀	362
二、电子元器件和接插件的电镀	367
第六章 转化膜	369
第一节 铝及铝合金的氧化	369
一、概述	369
二、装饰性氧化	370

三、硫酸阳极氧化工艺	373
四、草酸阳极氧化工艺	377
五、铬酸阳极氧化工艺	379
六、硬质阳极氧化	380
七、特种阳极氧化	384
八、阳极氧化与丝网印刷	386
第二节 铜及铜合金的转化处理	389
一、铜及铜合金的化学氧化	389
二、电化学氧化溶液成分及工艺条件	391
三、工艺操作中注意事项	392
四、铜及铜合金钝化处理	392
第三节 镁合金氧化	394
一、概述	394
二、镁合金化学转化处理工艺	394
三、刷涂化学氧化	396
第四节 不锈钢的转化膜	398
一、概述	398
二、不锈钢转化膜处理工艺流程	398
三、铬酸化学转化膜	399
四、其他不锈钢转化膜处理	400
五、电化学转化膜	400
六、钝化处理	401
七、硅、锗、钽、镉、钛、锌和镉的阳极氧化	401
第五节 钢铁化学氧化——发蓝	403
一、概述	403
二、成膜机理	404
三、碱性氧化法	404
四、常温发黑	407
第六节 磷化	410
一、概述	410
二、磷化基本原理及分类	411
三、磷化液的配制	412
四、磷化后处理	416
五、钢铁磷化处理的常见故障和解决办法	417
第七节 金属表面着色原理	417
一、概述	417
二、表面着色	418
三、铜及其合金的着色	429
四、不锈钢的着色	430

<b>第七章 镀层质量控制</b> .....	436
<b>第一节 镀层性能的测试</b> .....	436
一、外观检查 .....	436
二、镀层厚度的测定 .....	438
三、镀层孔隙率的测定 .....	441
四、镀层脆性的测定 .....	443
五、镀层显微硬度的测定 .....	443
六、镀层结合强度的测试 .....	444
七、镀层氢脆的测试 .....	444
八、镀层耐腐蚀试验 .....	445
九、镀层钎焊性的测试 .....	449
<b>第二节 塑料电镀镀层质量的检验</b> .....	449
一、结合力 .....	449
二、热稳定性试验 .....	450
<b>第八章 常用电镀溶液的分析方法</b> .....	451
<b>第一节 镀前处理溶液分析</b> .....	451
一、化学、电化学除油溶液分析 .....	451
二、侵蚀溶液测定 .....	452
三、钢铁电抛光溶液分析 .....	453
<b>第二节 电镀单金属溶液分析</b> .....	455
一、镀锌溶液分析 .....	455
二、镀铜溶液分析 .....	461
三、镀镍溶液分析 .....	466
四、镀镉溶液分析 .....	475
五、镀铬溶液分析 .....	479
六、镀铁溶液分析 .....	484
七、镀锡溶液分析 .....	488
八、镀铅溶液分析 .....	493
九、镀银溶液分析 .....	495
十、镀金溶液分析 .....	497
十一、镀铂溶液分析 .....	499
十二、镀铟溶液分析 .....	499
十三、镀铊溶液分析 .....	501
<b>第三节 电镀合金金属溶液分析</b> .....	502
一、镀铜锡溶液分析 .....	502
二、镀铜锌溶液分析 .....	506
三、镀锌铁合金溶液分析 .....	508
四、镀锌镍铁合金溶液分析 .....	509
五、镀铅锡合金溶液分析 .....	510

六、 镀银锡合金溶液分析	513
第四节 氧化、磷化、阳极化溶液分析	514
一、 钢的氧化	514
二、 磷化	515
三、 铝及铝合金氧化	517
四、 瓷质阳极化	519
五、 镁合金阳极化	520
第五节 标准溶液的配制和标定	522
一、 标准硫酸溶液的配制	522
二、 标准盐酸溶液的配制	523
三、 标准硝酸溶液的配制	523
四、 标准氢氧化钠溶液的配制	523
五、 标准高锰酸钾溶液的配制	524
六、 标准重铬酸钾溶液的配制	525
七、 标准硫酸亚铁铵溶液的配制	525
八、 标准硫代硫酸钠溶液的配制	525
九、 标准碘溶液配制	526
十、 标准硝酸银溶液配制	527
十一、 标准硫酸铜溶液配制	527
十二、 标准硫氰酸钾溶液配制	528
十三、 标准 EDTA 溶液配制	528
十四、 标准锌盐溶液配制	528
十五、 标准硝酸铅溶液配制	529
十六、 标准氯化镁溶液配制	529
十七、 标准铁盐溶液配制	529
十八、 标准硫酸镍溶液配制	530
十九、 标准三氯化铁溶液配制	530
第六节 指示剂和缓冲溶液的配制	530
第九章 环保与污染控制	534
第一节 电镀废气处理	534
一、 概述	534
二、 酸碱雾的处理	535
三、 硫酸废气的处理	535
四、 铬酸废气的处理	535
五、 氰化物废气的处理	536
六、 氮氧化物废气的处理	537
七、 氯化氢废气的处理	540
八、 气液传质设备	540
第二节 电镀废水处理与再生利用	542

---

一、 概述 .....	542
二、 电镀废水处理技术发展 .....	543
三、 镀铜废水的处理 .....	544
四、 含氟废水的处理 .....	546
五、 含镍废水的处理 .....	549
六、 含铬废水的处理 .....	551
七、 含镉废水的处理 .....	562
八、 酸碱废水和混合废水的中和 .....	562
九、 非氰化物镀锌废水的处理 .....	563
十、 含金废水的回收 .....	564
参考文献 .....	565

# 第一章 电镀基础

## 第一节 电镀基本知识

### 一、电镀基本过程

电镀是在基体表面上获得金属层的先进方法之一。通过控制电镀工艺条件（镀液的组成、电流、温度、电镀时间等），不仅可以调整镀层的厚度，而且可以改变镀层的外观和性能。电镀既能在各种金属材料表面镀覆所需的金属层，也能通过一些特殊处理，使金属沉积于非金属材料的表面上。

电镀装置主要由阴极、阳极和镀液 3 部分组成。以被镀零件为阴极，使之与直流电源的负极相连，将金属阳极与直流电源的正极相连，阴极与阳极均浸入镀液中，镀液中含有被镀金属的盐类，并添加一些其他物质。当直流电源与镀槽接通时，见图 1-1，镀液中就有电流通过，调节变阻器的阻值，控制镀液的温度，就可正常进行电镀。

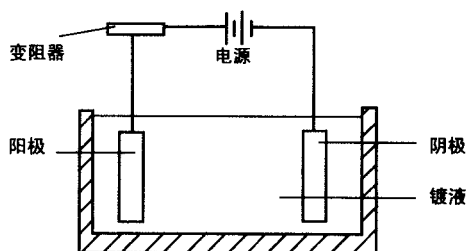


图1-1 电镀原理简图

在电镀电路接通后，如果接在电源正极上的阳极金属是可溶的，则随着阳极上金属氧化反应的进行，金属阳极质量将逐渐减轻，而接在电源负极的被镀零件表面上出现镀层，这是由于镀液中的金属离子在阴极上发生还原反应形成的。任何一种电镀层都是在镀槽中的阴极上获得的。显然，有电流通过镀槽，阴极上才能形成镀层，这是电镀的必要条件。但欲获得结构和性质能够满足要求的电镀层，还需要控制许多其他参数，如镀液的稳定性、电镀工艺参数的控制及电能的利用率等。

不是所有的金属离子都能从水溶液中沉积出来，如果在阴极上的副反应氢离子还原为氢占主要地位，则金属离子难以在阴极上析出。根据实验，金属离子自水溶液中电沉积的可能性，可从元素周期表中得出一定的规律，见表 1-1。

表 1-1 金属离子自水溶液中电沉积的可能性

族 周期	I A	II A	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII	IX	X	I B	II B	III A	IV A	V A	VI A	VII A	0
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
	可自水溶液中 获得汞齐沉积			自水溶液中不 能获得纯态沉积			自水溶液中可以获 得电沉积			自络合物溶液中获得电沉积						非金属		



## 二、电镀的目的

电镀是一种电化学过程，也是一种氧化还原过程。为了达到防护目的，一般对金属保护层提出以下几个基本要求。

- (1) 与基体金属结合牢固、附着力好。
- (2) 镀层完整、结晶细致紧密、孔隙率小。
- (3) 具有良好的物理、化学及机械性能。
- (4) 具有符合标准规定的厚度，而且均匀。

根据实际要求，可以有以下不同的电镀目的。

- (1) 防止腐蚀。
- (2) 装饰。
- (3) 提高表面硬度和耐磨性能。
- (4) 提高导电性能。
- (5) 提高导磁性能。
- (6) 提高光的反射性能。
- (7) 防止局部渗碳、渗氮。
- (8) 修复尺寸等。

## 三、电镀层的特性与分类

### 1. 电镀层的作用

- (1) 提高金属零件在使用环境中的抗蚀性能。
- (2) 装饰零件的外表，使其光亮美观。
- (3) 提高零件的工作性能，如硬度、耐磨性、导电性、电磁性及耐热性等。

### 2. 电镀层的要求

- (1) 镀层与基体之间应有良好的结合力。
- (2) 镀层在零件的主要表面上，应有比较均匀的厚度和细致的结构。
- (3) 镀层具有规定的厚度和尽可能少的孔隙。
- (4) 具有规定的各项指标，例如表面粗糙度、硬度、色彩，以及盐雾试验耐蚀性。

### 3. 电镀层的分类

按照基体金属和镀层的电化学关系，可以把镀层分为阴极性镀层和阳极性镀层。阴极性镀层是指在一定条件下，镀层电位高于基体金属电位的一种镀层，反之则为阳极性镀层。确定镀层为何种镀层，应由该镀层在所处介质条件下的电位与基体金属的电位差来决定。

按镀层用途可以把镀层分为3大类。

- (1) 防护性镀层：主要作用是保护基体金属免受腐蚀，不规定对产品的装饰要求，如镀锌、镀镉等。
- (2) 防护-装饰性镀层：除保护基体金属外，还使零件美观，如镀镍、镀铬/铬及镀铜/镍/铬等。
- (3) 功能性镀层：除具有一定的保护作用外，主要用于特殊的工作目的，如镀锡、镀银及硬铬等。