

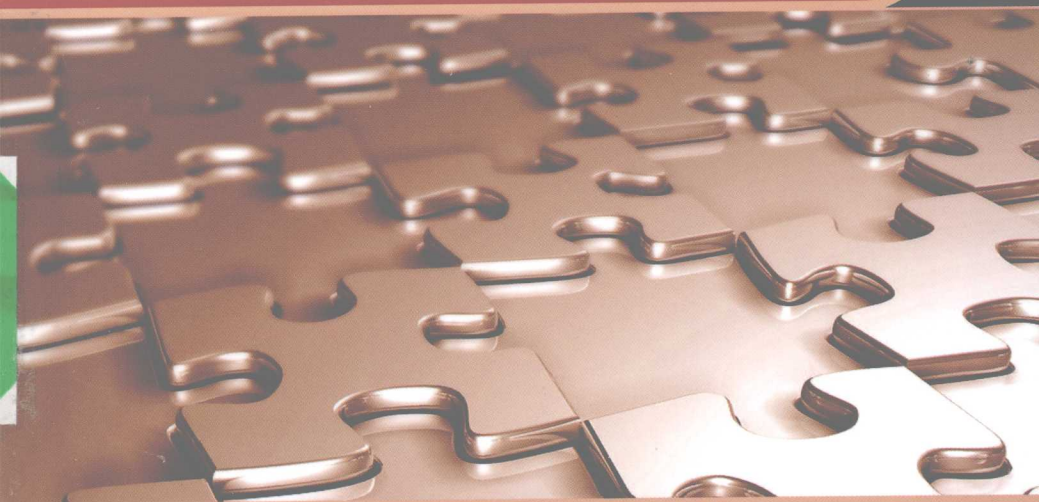


袁诗璞 编著

DIANDU ZHISHI SANSHIJIANG

电镀知识

三十讲



化学工业出版社



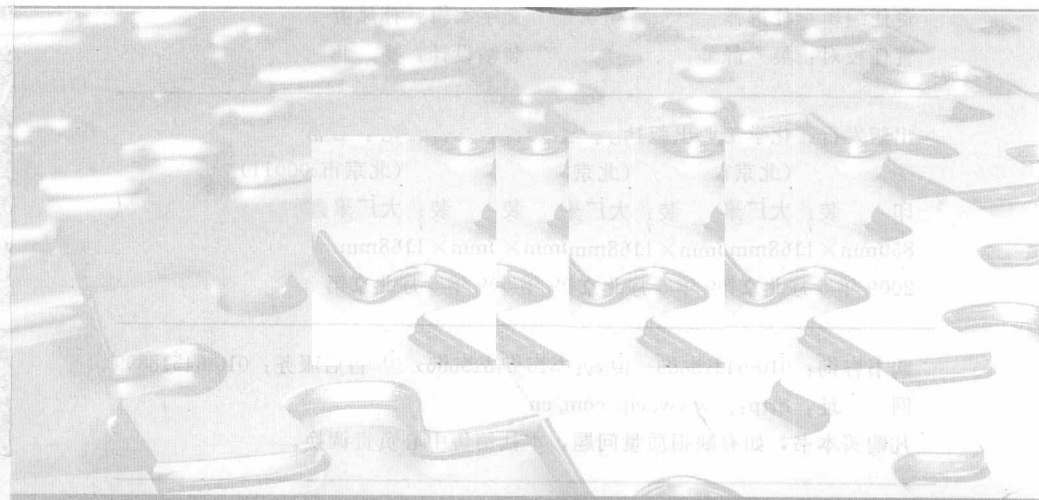
袁诗璞 编著



DIANDU ZHISHI SANSHIJIANG

电镀知识

三十讲



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

电镀知识三十讲/袁诗璞编著. —北京: 化学工业出版社, 2009. 4

ISBN 978-7-122-04873-8

I. 电… II. 袁… III. 电镀-基本知识 IV. TQ153

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 026298 号

责任编辑: 杜进祥

文字编辑: 孙凤英

责任校对: 吴 静

装帧设计: 杨 北

出版发行: 化学工业出版社

(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

850mm×1168mm 1/32 印张 16 $\frac{3}{4}$ 字数 452 千字

2009 年 5 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

序

电镀属于表面处理中的一大类加工作业。改革开放以来，随着我国经济的快速持久发展，作为整个工业加工链条中不可或缺的一环，中国的电镀行业也取得了快速发展，成为了电镀大国，但并非电镀强国。我们在电镀助剂等原辅材料的开发、电镀新工艺技术研究、电镀设备与三废治理、节能节水减排等方面，与发达国家和地区相比，还存在较大的差距，需要我们作艰苦不懈的努力。出现差距的原因之一，在于还缺少一大批德才兼备的电镀科研与工艺技术人员及熟练技术工人，电镀各类人员的素质还有待提高。因此，教育仍是电镀强大之本。

电镀既是一门涉及多种学科的技术，也是一门实用性很强的应用技术。搞电镀并不难，但要搞好电镀却十分困难。在同行业中既要使自己的产品质量高人一筹，还要做到高效率低消耗、经济效益与环境效益均优异，坚持科学发展观、实现持续稳定发展，绝非易事。

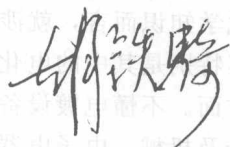
对一名优秀电镀工作者的要求是很高的。首先应具有宽泛的化学化工、机械、电子电器、防腐蚀学科等方面的综合知识。例如单就化学知识而言，就涉及无机化学、有机化学、分析化学、物理化学（特别是其中的电化学）、结构化学、胶体化学、化工工艺学等多方面。不懂电镀设备，有些问题无从下手分析解决。而电镀设备又涉及机械、电子电器、防腐蚀材料及其应用等多门技术。现代化的高效率、高质量、低污染的电镀生产、要求采用的工艺技术与设备、助剂等原辅材料能适应不断飞速发展的信息产业、军事装备、航空航天航海等的相应技术要求，还要适应要求日高的环保要求、节能要求等，更要具备工业化电镀生产的低故障率、高可靠性、易

维护调整性要求；在工艺技术现场管理中，要做到解决故障的立竿见影、吹糠见米；在企业管理上，要营造一个团结协作、和谐共处的战斗力强的团队。上述一切都需要持之以恒的刻苦钻研与学习提高。

本书作者袁诗璞高工，毕业于现电子科技大学电真空化学专业。参加工作后，从当电镀操作工人干起，在电镀生产第一线摸爬滚打四十余年，从事过电镀工艺技术管理、电镀设备与助剂的开发应用、电镀车间设计、电镀三废治理、电镀企业管理等多项工作，在实践中不断完善理论学习与实践经验积累，能从多角度综合分析解决问题，被誉为电镀界的“怪才”。我与袁工相识年久，认为难得的是他能摒弃技术保密的狭隘经济利益观念，以社会效益为重，在繁忙的工作之余，笔耕不辍，无私地将自己的心得体会，倾囊相授，发表了许多受到电镀工作者欢迎的文章与著作。

袁工无论在国营、集体、民营企业都十分注重职工培训教育，因而其帮扶过的企业都取得了较好的业绩。《电镀知识三十讲》一书即是其集四十余年实践经验教训，经认真筛选归纳，就作为一名电镀工作者必备的基础知识，结合大生产的一些故障实例分析编写而成。书中还公开了许多自己研究并经生产检验的工艺技术。相信出版后若认真系统一读，会对电镀知识的普及与提高起到促进作用，会受到广大电镀技术人员和生产工人的热烈欢迎！

中国表面工程行业协会电镀分会理事长



2009年3月

前 言

电镀既是一门以试验研究为主的应用技术，又是一门涉及电化学高深理论的边缘性学科。笔者在电镀生产第一线摸爬滚打了几十年，深切感受是：要想较得心应手解决好生产实践中出现的千奇百怪问题，解决电镀故障作到吹糠见米、立竿见影，绝非易事。不但要逐渐积累起丰富的实践经验、娴熟的实验技能与技巧，还应不断通过刻苦学习与钻研对多门化学学科、防腐蚀科学与电化学、化工材料与设备设施、电工学与电子电器等方面知识有较全面的了解，持之以恒学习与实践，才能逐渐由必然王国走向自由王国。

千里之行始于足下，冰冻三尺非一日之寒。少壮不努力，老大徒伤悲。教育是富民强国之本。然而，走向市场经济之后，出于多种原因，真正重视员工职工教育的单位并不多了。对既苦又累的电镀生产，更多的希望只能寄托于有志于投身该行业的年轻人员通过刻苦自学来提高素质，以解决生产一线工艺技术人员及助剂生产单位售后服务人员后继乏人现实问题，我国才有可能由一个电镀大国转变为电镀强国。笔者就毕生感受，整理了电镀一线人员必须了解的带共性的基础知识介绍 20 讲。

在基础知识 20 讲上，又就实践中应用最广的通用工艺、有前途取代氰化预镀铜的工艺及部分必用设备与废水处理，结合最新发展动向作了些介绍。全书共 30 讲。

电镀加工门类复杂、技术又在不断发展之中，涉及知识面太广，岂能短短一书可以囊括？针对既定读者对象，在取材上仅能考虑最必要的基本知识，加以介绍且力求由简到繁。在深度上尽力避免高深理论与复杂计算公式，侧重于实际应用，结合一些笔者所见故障实例加以分析。对已具共识的，只作简介；对尚未引起一些人

重视的问题，如对霍尔槽试验的严格要求、阳极对电流分布的影响、镀亮镍液的不当维护、钛材的适用范围等则讲得细一点。对难于维护的光亮酸铜液、较难掌握的 HEDP 镀铜新工艺、废水处理中的 pH 测控等问题，篇幅也多点。

书中公开了一些笔者迫于生产实际要求自行开发的已经生产考验的技术，属个人行为。尽管对一些售品助剂配方也有所了解，但未敢予以透露。部分看法也系个人意见，一家之言，仅供参考。

若本书能为一线人员的技术知识水平提高、分析解决实际问题能力稍有帮助，则如愿以偿而幸哉。限于编者学识，不当与错误之处在所难免，诚望批评赐教。

袁诗璞

2009 年 1 月于成都

目 录

第一讲 电镀的定义及加工门类	1
1. 电镀的定义	1
2. 电镀的加工门类	1
第二讲 关于水	5
1. 了解水的重要意义	5
2. 水分子的特性	6
3. 水的离子积与 pH 值	7
4. 水的电解	9
5. 水的纯度问题	9
第三讲 表面活性物质与表面活性剂	11
1. 引言	11
2. 基本概念	11
3. 表面活性剂分子的特殊结构	13
4. 表面活性剂分子在水溶液中的存在状态	14
5. 关于“浊点”与盐析	15
6. 表面活性剂的分类	16
7. 表面活性剂的作用	16
第四讲 电极与极化的概念	21
1. 引言	21
2. 电极与电极电位的产生	21
3. 阴极极化问题	29
4. 阳极极化简述	33
5. 阴极极化与电镀的关系简述	34
6. 阳极性与阴极性镀层	36

7. 两性电极现象及其坏作用	37
第五讲 电镀液组分作用及影响	40
1. 概述	40
2. 镀液的主要组分	41
3. 添加剂	48
4. 杂质	51
第六讲 电镀的工艺条件	53
1. 概述	53
2. 液温	53
3. pH 值	55
4. 阴极电流密度 J_K	56
5. 阴阳极面积比 $S_K : S_A$	57
6. 阳极材料	58
7. 搅拌	59
8. 过滤	60
第七讲 电镀液的电流效率	62
1. 阴极上的主反应与副反应	62
2. 阴极电流效率	67
3. 阳极电流效率	68
第八讲 影响镀层厚度分布均匀性的因素	71
1. 使镀层厚度分布均匀的重要性	71
2. 镀液性能因素——电镀液的分散能力	72
3. 阳极的影响	77
4. 传质不均造成厚度分布不均匀	81
第九讲 镀前除油处理	82
1. 镀前处理概述	82
2. 油污的来源及分类	82
3. 除油液中必备的两大组分	84
4. 除油方法	88
5. 除油后的检验	93

第十讲 镀层的针孔、麻点与孔隙率	94
1. 前言	94
2. 针孔、麻点	94
3. 镀层的孔隙率及其影响因素	101
4. 针孔、麻点的危害及补救措施	103
第十一讲 镀层的凸起不平整故障	105
1. 基体表面不平整引发的问题	105
2. 麻砂	106
3. 粗糙	109
4. 毛刺	113
5. 气泡	114
6. 整平不良造成的不平整	114
第十二讲 影响镀层烧焦的因素	115
1. 烧焦现象	115
2. 烧焦的实质	116
3. 烧焦的多方面可能性	116
4. 滚镀时的烧焦	121
5. 结语	122
第十三讲 镀层的结合力	123
1. 镀层结合力的实质	123
2. 影响结合力的主要因素	124
3. 塑料电镀的结合力	126
4. 钢铁件镀铜的结合力问题	129
5. 镀层之间的结合力	137
6. 难镀金属的结合力	139
第十四讲 镀层的内应力与脆性	140
1. 应力及其分类	140
2. 电镀层产生内应力的原因	143
3. 其他影响	146
4. 电镀层的脆性	147

第十五讲 电镀用直流电源	152
1. 与直流电源相关的基本概念	152
2. 电镀直流电源的发展历程	155
3. 常用直流电流的波形	157
4. 不同电镀工艺对直流波形的要求及影响	158
5. 整流器额定输出电压与电流的选择	160
6. 整流效率的测定	162
7. 关于高频开关电源	165
8. 脉冲电源	172
第十六讲 电镀中一些交流电器的使用要求	175
1. 三相四线制供电	175
2. 单相电器	176
3. 三相电器	177
4. 电器开关	181
5. 保险	185
6. 电镀车间的配线要求	188
7. 设备接地保护	189
第十七讲 霍尔槽试验	191
1. 分析化验与小槽试验	191
2. 霍尔槽及阴极试片上的电流分布	194
3. 霍尔槽试验的基本要求	195
4. 加料及条件的改变	201
5. 试验结果的判定与记录	203
6. 霍尔槽试验的应用	205
7. 霍尔槽试验的局限性	207
8. 试验结果不能指导生产的问题	207
第十八讲 解决电镀故障的步骤	209
1. 引言	209
2. 应具的基本知识	209
3. 对电镀故障的辨证施治	212

4. 给出结论	221
5. 个人总结	221
第十九讲 氯化钾微酸性镀锌	222
1. 概论	222
2. 对工艺优缺点的重新审视	226
3. 主要成分的控制	228
4. 几个工艺条件控制	230
5. 添加剂的选择及控制	231
6. 清洗难问题	233
7. 除铁问题	234
8. 加入氯化铵的问题	235
9. 其他杂质的影响及去除	236
第二十讲 碱性锌酸盐镀锌	239
1. 概论	239
2. 对锌酸盐镀锌优缺点的新认识	242
3. 添加剂与光亮剂的选择	244
4. 锌碱比问题	246
5. 杂质问题	248
6. 阳极及锌的补加	252
7. 铸件电镀	253
8. 镀后处理的特殊要求	253
9. 其他问题	254
附 用霍尔槽试验调整锌酸盐镀锌液	256
第二十一讲 镀锌的镀后处理	259
1. 出光	259
2. 六价铬盐钝化	261
3. 镀锌层的三价铬钝化	282
4. 无铬钝化简介	285
5. 金黄色钝化简介	286
6. 钝化后的老化处理	286

7. 除氢处理	287
8. 结语	288
第二十二讲 硫酸盐光亮酸性镀铜	289
1. 概述	289
2. 常用配方及工艺条件	293
3. 镀液配制	294
4. 镀液成分及其作用	295
5. 阳极材料与阳极电流密度 J_A	310
6. 工艺条件影响	312
7. 设备	314
8. 日常维护	319
9. 杂质处理	322
10. 常见故障	329
11. 光亮酸性镀铜层的除膜	335
第二十三讲 HEDP 镀无氰碱铜	338
1. 前言	338
2. HEDP 镀铜的优点	339
3. 关于 HEDP	340
4. 基本型 HEDP 镀铜	342
5. 改进型 HEDP 镀铜	349
6. 钢铁件直接镀 HEDP 铜的结合力问题	350
7. 一价铜问题	353
8. 设备	355
9. 对 HEDP 镀铜的再试验与生产应用	357
10. 锌压铸件电镀与加厚镀铜问题	364
11. 其他问题	368
第二十四讲 亮镍镀液的维护	370
1. 概述	370
2. 光亮剂的选择与应用	371
3. 不宜对镀液作碱化处理	382

24. 不要轻易对镀液作大处理	384
25. 慎用活性炭	388
附 用霍尔槽试验调整亮镍液	392
第二十五讲 镀铬工艺的发展	396
1. 普通镀铬	396
2. 采用新型添加剂的镀铬	404
3. 装饰性套铬层的厚度问题	412
4. 无添加剂低温装饰镀铬	412
5. 铬上镀铬	416
6. 三价铬镀铬	418
附 用霍尔槽调整六价铬镀铬液	420
第二十六讲 滚镀的特殊性	423
1. 有关滚镀的一些基本概念	423
2. 滚镀设备	424
3. 滚镀的省力化改进	431
4. 滚镀工艺的特殊要求	433
第二十七讲 溶液的过滤、加热与冷却	436
1. 溶液的过滤	436
2. 溶液的加热	444
3. 加热与冷却器用材质	447
4. 电加热器的表面功率问题	451
5. 温度的自动控制	452
6. 溶液的冷却	456
第二十八讲 电镀废水处理问题	458
1. 电镀废水的概念	458
2. 我国电镀废水处理的曲折发展	458
3. 电镀废水处理的困难性	460
4. 废水回用率问题	464
5. 不可能实现的电镀废水零排放	466
6. 化学法处理电镀废水问题	469

附 1 原电子部七所的多硫化钙自制法	475
附 2 原电子部七所用多硫化钙法处理效果举例	475
第二十九讲 电镀的安全生产与清洁生产	487
1. 前言	487
2. 电镀的安全生产	488
3. 电镀的清洁生产	496
第三十讲 提高电镀企业的生存力与竞争力	503
1. 电镀企业面临的严重挑战	503
2. 企业经营决策者肩负重任	506
3. 质量是企业的生命	508
4. 营造企业精神、企业文化	512
5. 适应政策法规要求	514
附录 电镀文献中一些新旧表示对照	515
参考文献	517

第一讲 电镀的定义及加工门类

1. 电镀的定义

问过不少搞过多年电镀的人一个很基本的问题：什么叫电镀，能不能给电镀下一个比较准确的定义？还真的少有人能清楚作答。回答这一问题还真有点难度，原因是电镀有两个概念，一为狭义的，一为广义的。

狭义的电镀单指电沉积，可表述为：电镀是镀液中主盐金属离子在直流电场作用下，因扩散、对流、电迁移等传质手段到达作为阴极的工件表面得到电子还原为金属原子并进而结晶排列为金属层的过程。

广义的电镀是指电镀厂所接受的多种门类的加工，可表述为：电镀是包括电沉积，无电解沉积，转化膜形成，制件表面洁净化、平整化、光亮化、微粗化等在内的表面处理加工作业。

2. 电镀的加工门类

从广义电镀来看，电镀涉及十分繁杂的多种加工门类。

2.1 电沉积

从镀层所需组分来分类，可分为单金属电镀与合金电镀。单金属镀所需镀层金属仅一种，镀层中可能存在的其他有机或无机物则为杂质。例如镀锌、铜、镍、铬、金、银、锡、铁等。所需镀层组分为两种或两种以上时称为合金电镀。如需两种时称为二元合金，三种时为三元合金，三种以上时为多元合金。合金中有些组分也可

能是非金属，如磷、硼等。二元合金如铜合金中的黄铜（铜-锌）、青铜（铜-锡），镍合金中的镍-铁、镍-磷，锌合金中的锌-铁、锌-镍等。三元合金如铜-锌-锡三元仿金、镍-钴-磷、锌-铁-镍等。当合金中另有设法使与金属共沉积的难溶无机或有机化合物，如三氧化二铝、碳化硅、氧化铜、聚四氟乙烯等时，特称为复合电沉积。当代，当电沉积的金属结晶或复合物粒度小到纳米（ $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$ ）的数量级时，又称为纳米镀或纳米复合镀。

从镀液中金属离子的存在形式分，可分为简单盐电镀与配合物（过去称络合物）电镀。多数情况下合金镀与碱性电镀属配合物电镀，少数情况下也可从微酸性简单盐镀液中获得合金（如锌-铁、锌-镍、镍-磷）镀层。

从镀液酸度不同，又可分为强酸性（如镀铬、光亮酸铜）、弱酸性（如镀锌、镍、镍-铁、镍-磷）与碱性（如氰化镀、锌酸盐镀锌）三大类。

从镀层中金属结晶形态与晶粒尺寸大小来分，又有晶态、非晶态、微晶态、纳米晶等。

从镀层主要用途分类，可分为防蚀性（如铁上镀锌）、装饰防护性（如多层镀装饰铬、仿金镀、多种古铜色、枪色等）、功能性电镀等。功能性又可分为耐磨、减摩、导电、导热、焊接、反光、消光等镀层。

从基体本身导电与否又分为非金属电镀（如塑料镀、陶瓷、玻璃镀等）与金属电镀。

当镀层特别厚或用电沉积方法来制造制品时，又特称为电铸。另有一类通过电沉积来获取非金属涂层的方法，特称为电泳涂装（如装饰性电泳、工程电泳漆等）。

2.2 无电解镀

当不用电源而获得金属、合金、复合镀层时，称为无电解镀。又主要有两大类。

2.2.1 化学镀

当采用还原剂（如甲醛、次磷酸盐）本身被氧化提供主盐金属