

○高级技工丛书

王 玲 梅天庆 / 主编

李士嘉 / 主审

GAOJI DIANDUGONG JISHU YU SHILI

G

GAOJI DIANDUGONG JISHU YU SHILI

高级电镀工 技术与实例

凤凰出版传媒集团
江苏科学技术出版社

○高级技工丛书

王 玲 梅天庆 / 主 编
李士嘉 / 主 审

g
a
o
j
i
d
i
a
n
d
u
g
o
n
g
j
i
s
h
u
y
u
s
h
i
l
i

G

GAOJIDIAN DUGONG JISHU YU SHILI

高级电镀工 技术与实例

凤凰出版传媒集团
江苏科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

高级电镀工技术与实例/王玲主编. —南京:江苏科学技术出版社, 2005. 10

(高级技工丛书)

ISBN 7-5345-4746-6

I. 高... II. 王... III. 电镀—基本知识
IV. TQ153

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 105563 号

高级电镀工技术与实例

主 编 王 玲 梅天庆
主 审 李士嘉
责任编辑 王洪贵
责任校对 苏 科
责任监制 曹业平

出版发行 江苏科学技术出版社(南京市湖南路 47 号, 邮编: 210009)
网 址 <http://www.jsjpub.com>
集团地址 凤凰出版传媒集团(南京市中央路 165 号, 邮编: 210009)
集团网址 凤凰出版传媒网 <http://www.ppm.cn>
经 销 江苏省新华发行集团有限公司
照 排 南京展望文化发展有限公司
印 刷 通州市印刷总厂有限公司

开 本	850 mm×1 168 mm	1/32	印 张	19
插 页	2		字 数	467 000
版 次	2005 年 10 月第 1 版		印 次	2005 年 10 月第 1 次印刷

标准书号 ISBN 7-5345-4746-6/TG·9
定 价 38.00 元

图书如有印装质量问题,可随时向我社出版科调换。

高级技工丛书

编委会

主 任 温文源

顾 问 江建春

秘 书 凌正珠

编 委 (以姓氏笔画为序)

王 玲 王克鸿 王辰宝

王剑钊 许 超 李集仁

吴国梁 杨文保 恽君璧

前 言

随着科学技术的迅猛发展和工业生产水平的不断提高,电镀技术和工艺也得到较快的发展和不断创新,电镀新工艺、新材料和新设备不断被开发研制。与此同时,也迫切需要一大批电镀方面的专业人才,尤其是电镀专业的高级技师和高级工来充实电镀队伍。为此,我们编写出版了本书,以便电镀专业的高级技师和高级工能从中学习掌握最新的技术和工艺。

本书介绍了电镀的基本知识和实用工艺及技术,对单金属电镀、合金电镀、化学镀及转化膜技术和应用作了较详细的阐述,并列举了大量的技术实例,理论联系实际。除传统的工艺技术外,为适应电镀行业的技术发展,还介绍了较为复杂的镀种和新的电镀工艺,如复合电镀、脉冲电镀、特种材料化学镀等。电镀过程中的质量管理和控制是十分必要的,本书不仅介绍了镀液和镀层的性能测试及现代分析方法,还介绍了清洁生产的管理技术和电镀废水处理技术,并尽可能广泛地介绍电镀行业的技术发展和生产,因此本书对生产一线工人、电镀企业的各级领导和管理人员也会有所帮助。

参加本书编写的人员有：第1、4、5、6、8章王玲；第2、3章梅天庆；第7、10章高长清；第9章余良才；第11章薛建军。此外，何娉婷参与全书的校稿工作。

本书承蒙李士嘉教授的悉心审阅，提出了许多宝贵意见，并提供技术信息和技术资料；在本书的编审过程中，还得到南京市表面处理研究会同仁们的大力支持和热心的帮助；江苏科学技术出版社对本书的出版给予了大力的支持、鼓励和指导；在此一并表示深深的谢意。

在编写本书过程中，编者参阅了大量有关电镀方面的书籍、手册、专著、标准及国内有关期刊文献资料，在此谨向各位相关作者致谢。

由于编者的水平限制，参阅的资料广度不够，书中难免出现缺陷和不足之处，恳请广大读者批评指正，以便本书再版时修改、补充。

编 者
2005年8月

目 录

1 电镀基本知识	1
1.1 电化学的基本知识	1
1.1.1 电化学基本概念	1
1.1.2 金属的腐蚀	10
1.2 电镀层的分类及要求	13
1.2.1 电镀层的分类	13
1.2.2 选择镀层的依据和方法	17
1.2.3 对金属镀层的要求	18
1.2.4 影响镀层质量的主要因素	19
1.3 镀液和镀层性能的测试方法	21
1.3.1 镀液性能的测试方法	21
1.3.2 镀层性能的测试方法	32
1.3.3 现代分析测试方法	44
2 表面前处理技术	47
2.1 粗糙表面的机械前处理	49
2.1.1 磨光	49
2.1.2 机械抛光	51
2.1.3 滚光	53
2.1.4 振动光饰	55
2.1.5 刷光	55
2.1.6 喷砂	56
2.2 除油	57
2.2.1 有机溶剂除油	58
2.2.2 化学除油	59

2.2.3	金属清洗剂除油	62
2.2.4	电化学除油	62
2.2.5	超声波除油	64
2.3	除锈	65
2.3.1	化学浸蚀	65
2.3.2	电化学浸蚀	73
2.3.3	弱浸蚀	75
2.4	电化学抛光和化学抛光	75
2.4.1	电化学抛光	75
2.4.2	化学抛光	80
3	单金属电镀	83
3.1	单金属电镀的基本原理	83
3.1.1	金属在阴极上电沉积的可能性	83
3.1.2	电镀溶液的组成及其作用	85
3.1.3	金属的电沉积	88
3.1.4	镀液的分散能力	95
3.1.5	镀液的覆盖能力	103
3.1.6	镀液的整平作用	105
3.2	镀铜	108
3.2.1	概述	108
3.2.2	氰化物镀铜	114
3.2.3	焦磷酸盐镀铜	120
3.2.4	硫酸盐镀铜	124
3.2.5	不合格镀铜层的退除	128
3.3	镀镍	129
3.3.1	概述	129
3.3.2	电镀暗镍	129
3.3.3	电镀光亮镍	132
3.3.4	电镀多层镍	135
3.3.5	镀镍溶液中杂质的影响和去除	138

3.3.6 不合格镍镀层的退除	141
3.4 镀铬	142
3.4.1 概述	142
3.4.2 镀铬的电极过程	145
3.4.3 镀铬工艺	149
3.4.4 镀铬溶液中杂质的影响和去除	153
3.4.5 不合格镀铬层的退除	154
3.5 镀锌	155
3.5.1 概述	155
3.5.2 氰化物镀锌	156
3.5.3 碱性锌酸盐镀锌	157
3.5.4 氯化钾镀锌	161
3.5.5 硫酸盐镀锌	165
3.5.6 镀锌层的镀后处理	168
3.5.7 不合格锌镀层的退除	177
3.6 镀银	178
3.6.1 概述	178
3.6.2 工件镀银前的表面准备	178
3.6.3 氰化物镀银	181
3.6.4 硫代硫酸盐镀银	183
3.6.5 亚氨基二磺酸铵镀银	186
3.6.6 镀银层的后处理	187
3.6.7 不合格镀银层的退除	189
3.7 镀金	190
3.7.1 概述	190
3.7.2 碱性氰化物溶液镀金	191
3.7.3 弱碱性及中性、酸性氰化物溶液镀金	193
3.7.4 亚硫酸盐镀金	194
3.7.5 不合格金镀层的退除	197
3.8 应用实例	198
3.8.1 防护性镀层	198

3.8.2	防护-装饰性镀层	201
3.8.3	铝合金轮毂电镀实例	202
4	合金电镀	209
4.1	电镀合金的基本概念	209
4.1.1	电镀合金的特点	210
4.1.2	电沉积合金的基本条件和分类	210
4.1.3	实现金属共沉积的措施	213
4.2	电镀锌合金	214
4.2.1	电镀锌-镍合金	215
4.2.2	电镀锌-铁合金	223
4.3	电镀镍合金	233
4.3.1	电镀镍-铁合金	233
4.3.2	电镀镍-磷合金	239
4.3.3	电镀镍-锌合金	243
4.3.4	电镀镍-锡合金(珍珠黑镀层)	244
4.4	电镀铜合金	246
4.4.1	电镀铜-锡合金	246
4.4.2	电镀铜-锌合金(黄铜)	253
4.5	电镀锡合金	257
4.5.1	电镀锡-铅合金	258
4.5.2	电镀锡-锌合金	263
4.5.3	电镀锡-镍合金	266
4.5.4	电镀锡-钴合金	271
4.5.5	电镀锡-铟合金	273
4.5.6	电镀锡-银合金	274
5	化学镀	275
5.1	化学镀概述	275
5.1.1	化学镀的特点及应用	275
5.1.2	化学复合镀的特点及应用	278

5.1.3 化学镀的发展前景	280
5.2 化学镀镍	281
5.2.1 化学镀镍的特点	281
5.2.2 化学镀镍机理	282
5.2.3 化学镀镍的溶液	284
5.2.4 应用实例	289
5.3 化学镀镍基合金	292
5.3.1 化学镀 Ni-Cu-P 合金	292
5.3.2 化学镀 Ni-W-P 合金	296
5.3.3 化学镀 Ni-Co-P 合金	298
5.3.4 化学镀 Ni-Sn-P 合金	299
5.4 化学复合镀	299
5.4.1 化学复合镀机理	300
5.4.2 化学复合镀的分类和应用	300
5.4.3 化学复合镀工艺	301
5.4.4 应用实例	302
5.5 难镀金属基材化学镀	305
5.5.1 铝合金化学镀镍	307
5.5.2 镁合金化学镀镍	312
5.5.3 钛合金化学镀镍	316
5.5.4 铸件化学镀镍	321
5.5.5 粉末冶金件化学镀镍	323
5.6 非金属材料化学镀	324
5.6.1 非金属材料镀前处理	325
5.6.2 塑料化学镀镍	327
5.6.3 陶瓷基体化学镀镍	328
5.6.4 金刚石化学镀镍	330
5.6.5 其他非金属材料	331
5.6.6 应用实例	332
6 化学转化膜	340
6.1 钢铁化学氧化	341

6.1.1	概述	341
6.1.2	碱性氧化	342
6.1.3	酸性氧化	344
6.2	金属磷化	348
6.2.1	基本原理	349
6.2.2	磷化分类	351
6.2.3	磷化溶液的基本组成和工艺参数	353
6.2.4	磷化方式	356
6.2.5	金属磷化工艺	357
6.2.6	应用实例	371
6.3	不锈钢的钝化与着色	375
6.3.1	不锈钢的钝化处理	375
6.3.2	不锈钢的着色处理	378
7	铝、镁、钛、铜合金的氧化处理	389
7.1	铝合金的氧化处理	389
7.1.1	铝合金的化学氧化处理	389
7.1.2	铝合金的阳极氧化处理	399
7.2	镁合金的氧化处理	435
7.2.1	镁合金的化学氧化	436
7.2.2	镁合金的阳极氧化	441
7.2.3	应用实例	443
7.3	钛合金的氧化处理	443
7.3.1	常见钛合金阳极氧化的组成及操作条件	444
7.3.2	钛合金阳极氧化的工艺流程	446
7.3.3	应用实例	446
7.4	铜合金的钝化和氧化	448
7.4.1	铜及铜合金的化学钝化	448
7.4.2	铜及铜合金的氧化处理	451
8	特种电镀	455
8.1	脉冲电镀	455

8.1.1	脉冲电镀的基本原理和特点	456
8.1.2	脉冲电镀的工艺规范及脉冲电源	458
8.1.3	脉冲单金属电镀	462
8.1.4	脉冲合金电镀	465
8.1.5	脉冲化学镀	467
8.2	复合电镀	469
8.2.1	复合电镀的特点和分类	470
8.2.2	复合共沉积机理	473
8.2.3	耐磨复合镀层	474
8.2.4	自润滑复合镀层	478
8.2.5	耐腐蚀复合镀层	480
8.2.6	具有电接触功能的复合镀层	482
8.2.7	纳米复合镀层	483
8.3	电刷镀	485
8.3.1	电刷镀的基本原理和特点	486
8.3.2	电刷镀工艺	488
8.3.3	粘涂-电刷镀复合工艺	502
8.3.4	应用实例	503
8.4	高速电镀	511
8.4.1	高速电镀的特点及影响镀层质量的因素	511
8.4.2	常用的高速电镀的方法	512
8.4.3	应用实例	517
9	电镀清洁生产	521
9.1	概述	521
9.1.1	我国电镀行业概况及污染现状	522
9.1.2	清洁生产的内涵	523
9.1.3	实施清洁生产的重要意义	523
9.1.4	我国推行清洁生产的原则和所要达到的目标	526
9.1.5	清洁生产审核	527
9.2	电镀清洁生产评价	530

9.2.1 指标体系考核评分	532
9.2.2 数据采集	535
9.3 电镀清洁生产的实施途径	536
9.3.1 电镀清洁生产的衡量	536
9.3.2 实施电镀清洁生产的具体途径	537
9.4 清洁生产技术的选择注意事项	566
10 挂具设计及应用	568
10.1 挂具与装挂	568
10.1.1 设计和制造挂具的要求	568
10.1.2 工件的装挂要求	569
10.1.3 挂具的外形尺寸及材料选择	570
10.2 <u>局部保护</u>	572
10.2.1 局部保护材料的性能要求	572
10.2.2 局部保护实例介绍	572
10.3 <u>辅助电极</u>	575
10.3.1 辅助电极的作用	575
10.3.2 辅助电极的类型	576
11 电镀废水及处理技术	578
11.1 概况	578
11.1.1 电镀废水的主要来源	579
11.1.2 电镀废水的性质和分类	581
11.2 电镀废水的危害	582
11.3 电镀废水处理方法概述	587
11.3.1 化学法	587
11.3.2 物理化学法	589
11.3.3 物理法	591
11.3.4 组合法	592
参考文献	594



电镀基本知识

1.1 电化学的基本知识

所谓电镀,就是在含有某些金属离子的电解质溶液中,将被镀工件作为阴极,通以一定的低压直流电,使金属离子得到电子被还原,不断在阴极沉积为金属的加工过程。电镀是一种电化学过程,是一种在水溶液中进行的氧化还原过程,它遵守法拉第电解定律。当电流通过电解质溶液时,与电源正极相连的阳极发生氧化反应,与电源负极相连的阴极发生还原反应。作为主要反应的是阳极金属的溶解和阴极上金属的还原。在稳态条件下,由外线路流向阴极的电子,将全部参加电极反应。

1.1.1 电化学基础概念

1. 两类导体

电镀过程是由电流通过电镀槽来完成的,因为凡是电流能够通过的物体都是导体,所以从直流电源到电镀槽的整个电路,都是由一系列导体串联组成的。在外电场的作

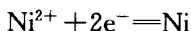
用下,带电粒子的定向移动,就形成了电流。如果在导体中,电流的流动是靠自由电子的定向移动来实现的,而且电流的方向与电子的流动方向相反。这类凭借物质中自由电子的定向运动来完成导电过程的导体,叫做第一类导体(电子导体)。所有的金属、合金以及少数的非金属物质(如石墨、二氧化铅等),都属于第一类导体。

在电镀液内,电流从阳极流到阴极是靠镀液内阴、阳离子的定向迁移来实现的。这类凭借阴、阳离子的运动来完成导电过程的导体,叫做第二类导体(离子导体),所有的电镀溶液和其他的电解质溶液都是第二类导体。

在任一电镀过程中,都存在这两类导体的导电作用。所有电镀的电流回路,都由这两类导体共同构成。不同的是:电流在第一类导体中的流动,是靠电子的定向移动;而在第二类导体中的流动,是靠离子的定向移动。

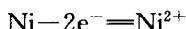
2. 电极反应

在电镀过程中,只要有电流在镀槽中通过,就会在电极与溶液界面间发生化学反应,并且在反应物或产物中包含有电子,这种反应被称为电极反应或电化学反应。因为离子导电与电子导电是两种性质完全不同的导电形式,既然它们在阴、阳两极相连通,那么阴、阳两极与溶液接触的界面必是它们发生质变的地方。在阴极与溶液的界面上发生消耗电子的过程,即必须有某种物质能与电子相结合,这是一个有电子参加的还原反应。如镀镍时,阴极上进行的反应为:



即镍离子夺取了阴极上的电子还原为金属镍而覆盖在阴极零件表面上。显然,正是由于阴极反应的发生,才使得从电源流到阴极的电子和溶液中向阴极迁移的镍离子有了去路。正是阴极反应这种特殊形式,实现了电子导电与离子导电的相互转化。

阳极情况与阴极相反,在阳极与溶液的界面上,必须存在着产生电子的过程,即必须有某种物质能够给出电子,这是一个电子作为产物的氧化反应。如镀镍时,阳极上进行的反应为:



即金属镍不断地失去电子氧化成镍离子而进入溶液,这就是在镀镍时阳极板逐渐变薄的原因。这种现象叫做阳极溶解。阴极零件上的镍镀层实际上就是阳极溶解发生金属转移的结果。正是由于阳极反应的发生,就使得从电极流入电源的电子和从电极附近迁移走的镍离子有了补给的来路。也正是阳极反应实现了离子导电与电子导电的相互转化。

但电镀过程中的电极反应并不止这些,如镀镍时,阴极上除了镍的沉积外,还有氢离子得到电子还原为氢气析出;阳极上除了镍的溶解外,还可能有氯离子失去电子氧化成氯气析出等。

电镀时,电极反应是电流得以流通的很重要的因素,而电流流动的全部机理,应是电子导电、离子导电和电极反应三方面所共同构成的。而电流通过电镀槽时发生的变化有如下三个方面:

① 在两极和外电路(第一类导体)中,有自由电子沿一定的方向移动;

② 在电镀液内(第二类导体)有阴离子和阳离子分别沿相反方向迁移;

③ 在电极与电镀液的两类导体界面间,有得失电子的电极反应发生。

3. 法拉第定律

(1) 法拉第第一定律

电流通过电解质溶液时,在电极上析出或溶解的物质的量(m)与通过的电量(Q)成正比,这就是法拉第第一定律。用公式表示,即