

# 电镀工技能 提高必读

潘继民 主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

# 电镀工技能提高必读

|     |     |     |     |     |     |  |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| 主 编 | 潘继民 |     |     |     |     |  |
| 副主编 | 陈慧敏 | 孟 迪 |     |     |     |  |
| 参 编 | 张 锐 | 刘玉坤 | 李 莎 | 严咏志 | 王志刚 |  |
|     | 赵 旭 | 王 宁 | 徐丽娟 | 靳先芳 | 向 嵩 |  |
|     | 王铁骊 | 吴珊珊 | 肖树龙 | 毛 磊 | 张素红 |  |
|     | 夏 静 | 宋月鹏 | 柳洪洁 | 陈 永 | 王金荣 |  |
| 审 定 | 张金凤 |     |     |     |     |  |



机械工业出版社

本书是一本帮助电镀工提高操作技能、全面掌握电镀技术的指导书。本书主要内容包括电镀相关知识、电镀设备、电镀预处理、电镀单金属、电镀合金、镀层性能的测定、常用电镀溶液的分析、电镀工艺的控制、电镀生产线的工艺流程编制与操作、电镀安全及清洁生产,并将常用电镀相关数据、常用电镀相关标准编号及名称作为附录,供读者参考。本书语言通俗易懂,叙述简明扼要,图表丰富实用。

本书可供电镀工人和工程技术人员使用,也可供相关专业在校师生参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

电镀工技能提高必读/潘继主编. —北京:机械工业出版社,  
2011.7

ISBN 978-7-111-34873-3

I. ①电… II. ①潘… III. ①电镀-基本知识 IV. ①TQ153

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第100655号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:陈保华 责任编辑:陈保华

版式设计:张世琴 责任校对:吴美英

封面设计:路恩中 责任印制:杨 曦

北京京丰印刷厂印刷

2011年8月第1版·第1次印刷

169mm×239mm·24.5印张·477千字

0 001—4 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-34873-3

定价:49.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

策划编辑:(010)88379734

社服 务 中 心:(010)88361066

网络服务

销 售 一 部:(010)68326294

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销 售 二 部:(010)88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

电镀是金属表面处理的重要组成部分，随着科学技术的进步与发展，电镀已形成一个专门的研究领域，并构成了庞大的产业，特别是机械制造、仪器仪表、交通工具、电子信息、航天航空等部门对电镀技术提出了更多更高的要求。电镀大幅度地增加了产品的附加值，在我国国民经济的发展中起着十分重要的作用。

目前，电镀工业迅速发展，为了实现国家经济和环境的可持续发展，国家对电镀企业的要求越来越高，电镀行业操作人员必须持证上岗。大批电镀企业迫切需要电镀技术工人，为了满足行业的需求和对电镀工人进行技术培训，我们总结多年的实践经验，结合教学科研的最新成果，在编写《电镀工入门必读》的基础上，精心编写了这本《电镀工技能提高必读》。本书是《电镀工入门必读》的姊妹篇，是一本帮助电镀工提高操作技能、全面掌握电镀技术的指导书。

本书主要内容包括电镀相关知识、电镀设备、电镀预处理、电镀单金属、电镀合金、镀层性能的测定、常用电镀溶液的分析、电镀工艺的控制、电镀生产线的工艺流程编制与操作、电镀安全及清洁生产，并将常用电镀相关数据、常用电镀相关标准编号及名称作为附录，供读者参考。本书语言通俗易懂，叙述简明扼要，图表丰富实用。

本书可供电镀工人和工程技术人员使用，也可供相关专业在校师生参考。通过本书的学习，可以使读者能够独立进行常规的电镀操作，正确执行电镀工艺，并能够排除故障，生产出合格产品；也可使读者能够比较全面地了解电镀技术、其他表面处理技术及清洁生产等工艺，并具有一定的工艺分析能力。

本书由郑州大学的潘继民任主编，陈慧敏、孟迪任副主编，参加编写的还有张锐、刘玉坤、李莎、严咏志、王志刚、赵旭、王宁、徐丽娟、靳先芳、向嵩、王铁骊、吴珊珊、肖树龙、毛磊、张素红、夏静、宋月鹏、柳洪洁、陈永、王金荣，张金凤老师对全书进行了详细审阅。

在本书编写过程中，参考了国内外同行的大量文献资料，谨向有关人员表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中错误和纰漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

## 第1章 电镀相关知识 ..... 1

### 1.1 电化学基本知识 ..... 1

#### 1.1.1 原电池、电解池和标准 电池 ..... 1

#### 1.1.2 电极电位、析出电位和 过电位 ..... 2

#### 1.1.3 电化学极化和浓差极化 ..... 3

#### 1.1.4 极化曲线和极化度 ..... 3

### 1.2 电镀基本原理 ..... 4

#### 1.2.1 电镀溶液的组成 ..... 4

#### 1.2.2 电镀溶液的分散能力和 覆盖能力 ..... 5

#### 1.2.3 电镀溶液的阴极电流 效率 ..... 5

#### 1.2.4 工艺条件对镀层质量的 影响 ..... 6

#### 1.2.5 副反应对镀层质量的 影响 ..... 7

### 1.3 电镀工艺流程的编制 ..... 8

#### 1.3.1 电镀工艺过程的计算 ..... 8

#### 1.3.2 电镀工艺流程的设计 ..... 12

#### 1.3.3 电镀工艺流程的验证 ..... 16

## 第2章 电镀设备 ..... 17

### 2.1 电镀预处理设备 ..... 17

### 2.2 镀槽 ..... 18

### 2.3 电源设备及导电装置 ..... 22

#### 2.3.1 电镀电源设备的类型 ..... 22

#### 2.3.2 选配直流电源及直流母线 的计算 ..... 24

#### 2.3.3 电源设备的选择 ..... 26

#### 2.3.4 导电装置 ..... 26

### 2.4 搅拌和过滤设备 ..... 27

#### 2.4.1 搅拌设备 ..... 27

#### 2.4.2 过滤设备 ..... 28

### 2.5 加热及冷却装置 ..... 32

#### 2.5.1 加热装置 ..... 32

#### 2.5.2 冷却装置 ..... 35

### 2.6 抽风设备 ..... 36

### 2.7 输送设备 ..... 37

### 2.8 干燥设备 ..... 39

### 2.9 电镀挂具 ..... 41

#### 2.9.1 电镀挂具的结构 ..... 41

#### 2.9.2 电镀挂具的材料 ..... 43

#### 2.9.3 电镀挂具的种类 ..... 45

#### 2.9.4 电镀挂具的设计 ..... 46

#### 2.9.5 电镀挂具的制作、使用 与维修 ..... 54

### 2.10 常用辅助阳极的设计 ..... 55

## 第3章 电镀预处理 ..... 59

### 3.1 机械处理 ..... 59

#### 3.1.1 磨光 ..... 59

#### 3.1.2 机械抛光 ..... 61

#### 3.1.3 滚光 ..... 64

#### 3.1.4 刷光 ..... 64

#### 3.1.5 喷砂及喷丸 ..... 65

### 3.2 电化学抛光和化学抛光 ..... 66

#### 3.2.1 电化学抛光 ..... 66

#### 3.2.2 化学抛光 ..... 67

### 3.3 脱脂处理 ..... 68

#### 3.3.1 有机溶剂脱脂 ..... 68

#### 3.3.2 化学脱脂 ..... 68

#### 3.3.3 电化学脱脂 ..... 68

### 3.4 除锈处理 ..... 70

|                              |     |                              |     |
|------------------------------|-----|------------------------------|-----|
| 3.4.1 强浸蚀 .....              | 70  | 4.5 电镀锡 .....                | 136 |
| 3.4.2 弱浸蚀 .....              | 75  | 4.5.1 概述 .....               | 136 |
| 3.4.3 脱脂加浸蚀一步法 .....         | 79  | 4.5.2 碱性镀锡 .....             | 137 |
| 3.4.4 浸蚀操作的注意事项 .....        | 79  | 4.5.3 硫酸亚锡光亮镀锡 .....         | 139 |
| 3.5 不同基体金属的电镀预<br>处理 .....   | 80  | 4.6 电镀银 .....                | 142 |
| 3.5.1 铝及铝合金的电镀预<br>处理 .....  | 80  | 4.6.1 概述 .....               | 142 |
| 3.5.2 锌合金压铸件的电镀<br>预处理 ..... | 86  | 4.6.2 氰化物镀银 .....            | 143 |
| 3.5.3 粉末冶金工件的电镀<br>预处理 ..... | 89  | 4.6.3 硫代硫酸盐镀银 .....          | 146 |
| 3.5.4 不锈钢工件的电镀预<br>处理 .....  | 90  | 4.7 电镀金 .....                | 148 |
| <b>第4章 电镀单金属</b> .....       | 92  | 4.7.1 概述 .....               | 148 |
| 4.1 电镀铜 .....                | 92  | 4.7.2 碱性氰化物镀金 .....          | 149 |
| 4.1.1 概述 .....               | 92  | <b>第5章 电镀合金</b> .....        | 151 |
| 4.1.2 氰化物镀铜 .....            | 92  | 5.1 电镀铜锡合金 .....             | 151 |
| 4.1.3 光亮硫酸盐镀铜 .....          | 95  | 5.1.1 电镀铜锡合金的分类及<br>用途 ..... | 151 |
| 4.1.4 焦磷酸盐镀铜 .....           | 98  | 5.1.2 氰化物镀铜锡合金 .....         | 151 |
| 4.1.5 齿轮防渗碳镀铜 .....          | 102 | 5.1.3 焦磷酸-锡酸盐镀铜锡<br>合金 ..... | 155 |
| 4.2 电镀锌 .....                | 104 | 5.2 电镀铜锌合金 .....             | 158 |
| 4.2.1 概述 .....               | 104 | 5.2.1 电镀铜锌合金的分类及<br>用途 ..... | 158 |
| 4.2.2 氰化物镀锌 .....            | 105 | 5.2.2 氰化物镀铜锌合金 .....         | 158 |
| 4.2.3 锌酸盐镀锌 .....            | 107 | 5.3 电镀锌镍合金 .....             | 162 |
| 4.2.4 氯化钾(钠)镀锌 .....         | 109 | 5.3.1 电镀锌镍合金的分类及<br>用途 ..... | 162 |
| 4.2.5 氯化铵镀锌 .....            | 113 | 5.3.2 碱性镀锌镍合金 .....          | 162 |
| 4.2.6 硫酸盐镀锌 .....            | 116 | 5.3.3 酸性镀锌镍合金 .....          | 166 |
| 4.3 电镀镍 .....                | 117 | 5.4 电镀锌铁合金 .....             | 171 |
| 4.3.1 概述 .....               | 117 | 5.4.1 电镀锌铁合金的分类及<br>用途 ..... | 171 |
| 4.3.2 普通镀镍(镀暗镍) .....        | 118 | 5.4.2 碱性锌酸盐镀锌铁<br>合金 .....   | 171 |
| 4.3.3 光亮镀镍 .....             | 121 | 5.4.3 酸性镀锌铁合金 .....          | 175 |
| 4.3.4 双层镀镍 .....             | 125 | 5.4.4 焦磷酸盐镀锌铁合金 .....        | 177 |
| 4.4 电镀铬 .....                | 128 | 5.5 电镀锌钴合金 .....             | 180 |
| 4.4.1 概述 .....               | 128 | 5.5.1 电镀锌钴合金的分类及<br>用途 ..... | 180 |
| 4.4.2 防护装饰性镀铬 .....          | 128 |                              |     |
| 4.4.3 镀硬铬 .....              | 130 |                              |     |
| 4.4.4 镀黑铬 .....              | 134 |                              |     |

|                            |     |                            |     |
|----------------------------|-----|----------------------------|-----|
| 5.5.2 碱性锌酸盐镀锌钴合金 .....     | 181 | 6.6.2 常用的磨耗试验机 .....       | 220 |
| 5.5.3 酸性氯化物镀锌钴合金 .....     | 182 | 6.7 镀层显微硬度的测定 .....        | 221 |
| 5.6 电镀锌钛合金 .....           | 184 | 6.7.1 测量原理 .....           | 221 |
| 5.6.1 电镀锌钛合金的分类及用途 .....   | 184 | 6.7.2 测试设备及条件 .....        | 222 |
| 5.6.2 碱性镀锌钛合金 .....        | 184 | 6.7.3 测试步骤及注意事项 .....      | 222 |
| 5.6.3 酸性镀锌钛合金 .....        | 185 | 6.7.4 硬度计算 .....           | 223 |
| 5.7 电镀镍铁合金 .....           | 186 | 6.8 镀层脆性的测定 .....          | 223 |
| 5.8 电镀镍钴合金 .....           | 191 | 6.8.1 弯曲法 .....            | 223 |
| 5.9 电镀镍锡合金 .....           | 192 | 6.8.2 缠绕法 .....            | 223 |
| 5.10 电镀锡锌合金 .....          | 196 | 6.8.3 金属杯突试验法 .....        | 224 |
| <b>第6章 镀层性能的测定</b> .....   | 199 | 6.8.4 静压挠曲试验法 .....        | 225 |
| 6.1 外观检验 .....             | 199 | 6.9 镀层内应力的测定 .....         | 225 |
| 6.1.1 表面质量要求及常见缺陷的检测 ..... | 199 | 6.9.1 简单法 .....            | 225 |
| 6.1.2 表面粗糙度的测定 .....       | 202 | 6.9.2 条形阴极法 .....          | 226 |
| 6.1.3 表面光亮度的测定 .....       | 203 | 6.9.3 刚性平带法 .....          | 226 |
| 6.2 镀层厚度的测定 .....          | 204 | 6.9.4 螺旋收缩仪法 .....         | 227 |
| 6.2.1 测重法 .....            | 204 | 6.9.5 电阻应变仪法 .....         | 227 |
| 6.2.2 计量液流法 .....          | 205 | 6.10 镀层钎焊性的测定 .....        | 228 |
| 6.2.3 干涉显微镜法 .....         | 208 | 6.10.1 润湿称重法 .....         | 228 |
| 6.3 镀层结合强度的测定 .....        | 209 | 6.10.2 流布面积法 .....         | 229 |
| 6.4 镀层耐蚀性的测定 .....         | 211 | 6.11 镀层表面电阻的测定 .....       | 229 |
| 6.4.1 户外曝晒腐蚀试验 .....       | 211 | 6.11.1 电桥法 .....           | 229 |
| 6.4.2 盐雾试验 .....           | 213 | 6.11.2 伏安法 .....           | 229 |
| 6.4.3 腐蚀膏试验 .....          | 214 | 6.12 镀层成分的测定 .....         | 230 |
| 6.5 镀层孔隙率的测定 .....         | 215 | 6.12.1 化学溶解法 .....         | 230 |
| 6.5.1 贴滤纸法 .....           | 215 | 6.12.2 试纸法 .....           | 231 |
| 6.5.2 浸渍法 .....            | 216 | 6.12.3 仪器分析法 .....         | 232 |
| 6.5.3 涂膏法 .....            | 217 | 6.13 转化膜性能的测定 .....        | 233 |
| 6.5.4 电图像法 .....           | 218 | 6.13.1 外观检验 .....          | 233 |
| 6.5.5 二氧化硫试验法 .....        | 219 | 6.13.2 耐蚀性的测定 .....        | 240 |
| 6.5.6 硝酸试验法 .....          | 219 | <b>第7章 常用电镀溶液的分析</b> ..... | 243 |
| 6.6 镀层耐磨性的测定 .....         | 220 | 7.1 电镀溶液分析的基础知识 .....      | 243 |
| 6.6.1 简单磨损试验法 .....        | 220 | 7.1.1 电镀溶液分析的意义及注意事项 ..... | 243 |
|                            |     | 7.1.2 常用的分析方法 .....        | 243 |
|                            |     | 7.1.3 常用的指示剂 .....         | 245 |

|                          |     |                                  |     |
|--------------------------|-----|----------------------------------|-----|
| 7.1.4 标准溶液的作用及配制方法 ..... | 247 | 8.2.1 概述 .....                   | 299 |
| 7.2 电镀预处理溶液的分析 .....     | 248 | 8.2.2 电流效率的测定 .....              | 299 |
| 7.2.1 酸洗溶液的分析 .....      | 248 | 8.2.3 霍尔槽试验 .....                | 301 |
| 7.2.2 脱脂溶液的分析 .....      | 252 | 8.2.4 分散能力及覆盖能力的测定 .....         | 304 |
| 7.2.3 浸蚀溶液的分析 .....      | 254 | 8.2.5 整平能力的测定 .....              | 308 |
| 7.2.4 抛光溶液的分析 .....      | 255 | 8.2.6 极化曲线的测定 .....              | 309 |
| 7.2.5 钝化溶液的分析 .....      | 256 | 8.2.7 DD—1 型电镀参数综合测试仪的应用 .....   | 311 |
| 7.3 电镀单金属溶液的分析 .....     | 259 | <b>第9章 电镀生产线的工艺流程编制与操作</b> ..... | 313 |
| 7.3.1 镀铜溶液的分析 .....      | 259 | 9.1 概述 .....                     | 313 |
| 7.3.2 镀锌溶液的分析 .....      | 264 | 9.2 手动生产线 .....                  | 313 |
| 7.3.3 镀镍溶液的分析 .....      | 269 | 9.3 半自动生产线 .....                 | 314 |
| 7.3.4 镀铬溶液的分析 .....      | 273 | 9.4 全自动生产线 .....                 | 315 |
| 7.3.5 镀锡溶液的分析 .....      | 275 | 9.4.1 全自动生产线的特点及分类 .....         | 315 |
| 7.3.6 镀银溶液的分析 .....      | 279 | 9.4.2 全自动生产线的选择 .....            | 315 |
| 7.4 电镀合金溶液的分析 .....      | 281 | 9.5 直线式电镀自动生产线 .....             | 316 |
| 7.4.1 电镀铜锡合金溶液的分析 .....  | 281 | 9.5.1 概述 .....                   | 316 |
| 7.4.2 镀铜锌合金溶液的分析 .....   | 285 | 9.5.2 门式自动生产线 .....              | 316 |
| 7.4.3 碱性镀锌镍合金溶液的分析 ..... | 287 | 9.5.3 悬臂行车直线式自动生产线 .....         | 320 |
| 7.4.4 电镀锌锡合金溶液的分析 .....  | 288 | 9.5.4 中柱行车直线式自动生产线 .....         | 320 |
| 7.4.5 电镀镍铁合金溶液的分析 .....  | 291 | 9.5.5 直线式滚镀自动生产线 .....           | 321 |
| 7.4.6 电镀镍锡合金溶液的分析 .....  | 293 | 9.5.6 直线式挂镀自动生产线 .....           | 323 |
| 7.4.7 电镀镍钴金刚石溶液的分析 ..... | 295 | 9.6 环形电镀自动生产线 .....              | 325 |
| <b>第8章 电镀工艺的控制</b> ..... | 297 | 9.6.1 概述 .....                   | 325 |
| 8.1 电镀溶液的配制及维护 .....     | 297 | 9.6.2 垂直升降式环形电镀自动生产线 .....       | 326 |
| 8.1.1 电镀溶液的配制 .....      | 297 | 9.6.3 摆动升降式环形电镀自动生产线 .....       | 327 |
| 8.1.2 电镀溶液的维护管理 .....    | 297 | 9.6.4 环形挂镀自动生产线 .....            | 329 |
| 8.2 电镀溶液性能的测定 .....      | 299 |                                  |     |

|                              |            |                           |            |
|------------------------------|------------|---------------------------|------------|
| 9.6.5 环形滚镀自动生产线 .....        | 330        | 技术 .....                  | 339        |
| 9.6.6 其他环形自动生产线 .....        | 331        | 10.2.2 电镀生产过程的控制 .....    | 340        |
| 9.6.7 使用环形电镀自动生产线的注意事项 ..... | 332        | 10.2.3 电镀废水的化学处理法 .....   | 345        |
| 9.7 高速连续电镀自动生产线 .....        | 333        | 10.2.4 电镀废水的离子交换处理法 ..... | 352        |
| 9.8 电镀自动生产线的操作要点及维护 .....    | 334        | 10.2.5 电镀废水的电化学处理法 .....  | 356        |
| <b>第10章 电镀安全及清洁生产 .....</b>  | <b>336</b> | 10.2.6 电镀废气的处理 .....      | 359        |
| 10.1 电镀生产和管理安全 .....         | 336        | 10.2.7 电镀废渣的处理 .....      | 361        |
| 10.1.1 电镀生产安全规范 .....        | 336        | <b>附录 .....</b>           | <b>362</b> |
| 10.1.2 电镀工作的劳动保护 .....       | 338        | 附录A 常用电镀相关数据 .....        | 362        |
| 10.2 电镀清洁生产 .....            | 339        | 附录B 电镀技术相关标准代号及名称 .....   | 380        |
| 10.2.1 电镀清洁生产工艺 .....        |            | <b>参考文献 .....</b>         | <b>383</b> |

# 第 1 章 电镀相关知识

## 1.1 电化学基本知识

### 1.1.1 原电池、电解池和标准电池

#### 1. 原电池

能将化学能直接转变为电能的原电池。从化学反应角度看，原电池是氧化还原反应中还原剂失去的电子经导线传递给氧化剂，使氧化还原反应分别在两个电极上进行的化学反应；从能量转化角度看，原电池是将化学能转化为电能的装置。

原电池的构成条件有：①电极材料由两种活性不同的金属或由一种金属与另一种导电的材料组成；②两电极必须浸泡在电解质溶液中；③两电极之间有导线连接，形成闭合回路。

#### 2. 电解池

将两个导体插入电解质溶液即组成电化学体系，当外加一个直流电源时，外电源将源源不断地向该电池体系输送电流，体系中两个电极上分别持续发生氧化反应和还原反应，生成新的物质。这类依靠外电源迫使电流通过电解质溶液发生电极反应的装置，称为电解池，如图 1-1 所示。

电解时，电流从外电源的正极流出，通过与其连接的电极（阳极），经过电解质溶液，通过与外电源的负极连接的电极（阴极），返回外电源的负极。电解池装置是电镀、电解、电合成、电冶金等电化学工业的基础与核心，也被称为“电化学工业反应器”。

发生电解反应的条件有：①连接直流电源；②阴极与电源负极相连，阳极与电源正极相连；③两电极处于电解质溶液或熔融电解质中；④两电极之间形成闭合回路。

#### 3. 标准电池

标准电池是一个可逆性高的电池，具有稳定的电动势，且温度系数很小

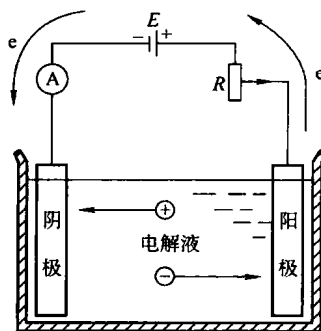


图 1-1 电解池

(温度变化对电动势的影响很小), 如图 1-2 所示, 可用来配合电位计测定另一个原电池的电动势, 有饱和式和不饱和式两种。饱和式标准电池的结构是在密封的 H 形玻璃管的两边分别制作汞正极和镉汞合金负极, 并充以硫酸镉饱和溶液作为电解质, 电极用白金丝引线引出。不饱和式标准电池的结构与饱和式的基本相同, 主要的区别是采用不饱和硫酸镉溶液作为电解质。

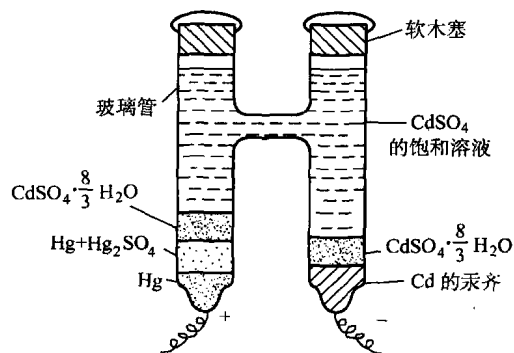


图 1-2 标准电池

### 1.1.2 电极电位、析出电位和过电位

#### 1. 电极电位

金属的电极电位是指金属与电解质溶液界面之间形成的电位差, 电极电位的绝对值是无法测定的, 通常是以氢的标准电极电位与零相比较测得。电极电位主要包括标准电极电位和平衡电极电位。

(1) 标准电极电位 标准电极电位是指温度为 25℃, 金属离子有效浓度为 1mol/L 时测得的平衡电位。对金属电极来说, 电位越负, 相对于氢更容易失去电子, 有较弱的氧化能力; 反之, 有较强的氧化能力。

(2) 平衡电极电位 平衡电极电位是指当金属成为阳离子进入溶液的速度与溶液中的金属离子沉积到金属表面的速度相等, 反应达到了动态平衡时的电位值 (此时无电流通过)。平衡电极电位的数值可用下式表示:

$$E_{\text{平}} = E^0 + \frac{RT}{zF} \ln \frac{a_{\text{氧}}}{a_{\text{还}}}$$

式中  $a_{\text{氧}}$ 、 $a_{\text{还}}$ ——氧化态物质和还原态物质的平均活度;

$E_{\text{平}}$ ——平衡电极电位 (V);

$E^0$ ——标准电极电位 (V);

$R$ ——摩尔气体常数,  $R = 8.313 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ ;

$T$ ——热力学温度 (K);

$z$ ——参加电子反应的电子数;

$F$ ——法拉第常数。

#### 2. 析出电位

析出电位是指金属和其他物质 (如氢气等) 在阴极上开始析出的电位, 用  $E_{\text{析}}$  表示。析出电位值与平衡电位和过电位的数值有关, 可用下式表示:

$$E_{\text{析}} = E_{\text{平}} + \Delta E = E_{\text{平}} + \eta$$

式中  $\Delta E$ ——过电位, 常用  $\eta$  表示;

$E_{\text{平}}$ ——平衡电位。

不同金属的析出电位不同, 凡析出电位较正的金属都能优先在阴极上发生电沉积。在工业生产中, 为了去除溶液中的杂质, 经常利用一些金属离子具有较正的析出电位, 用电解法将杂质除去。

### 3. 过电位

过电位 ( $\eta$ ) 是指在给定的电流密度下, 析出电位 ( $E_{\text{析}}$ ) 与其平衡电位 ( $E_{\text{平}}$ ) 之间的差值, 即

$$\eta = E_{\text{析}} - E_{\text{平}}$$

过电位的大小反映了该电极极化作用的大小, 阳极极化时, 过电位为正; 阴极极化时, 过电位为负。一般常说的过电位值, 均指其绝对值。

## 1.1.3 电化学极化和浓差极化

### 1. 电化学极化

电化学极化是指在外电场作用下, 由于极化过程中电化学反应受阻而引起的极化, 或者说是由于电极上的电化学反应速度小于电子运动速度而造成的极化, 也称为活化极化。其特点是在电流流出端的电极表面积累过量的电子, 即电极电位趋于负值, 电流流入端则相反。由电化学反应作用引起的电位差称为活化超电压。

影响电化学反应的因素有电流密度、温度、电解质溶液的浓度、电极材料和表面状态等。在一些电镀溶液中加入络合剂和添加剂, 以及在一定范围内提高它们的浓度, 都会不同程度地增加阴极的电化学极化作用, 获得高质量的细晶镀层。

### 2. 浓差极化

浓差极化也称为浓度极化, 是指由于反应物或反应产物在溶液中的扩散过程受阻而引起的极化, 即由于溶液中的物质扩散速度小于电化学反应速度而引起的极化。在高电流密度时, 浓差极化往往占主要地位。若扩散速度很慢, 则扩散到电极表面的反应离子立即发生反应, 从而使电极表面附近反应离子浓度为零, 这时的浓差极化称为完全浓差极化。此时电极上的电流密度出现最大值, 称为极限电流密度。

浓差极化受搅拌、电流密度等因素的影响较大。在电镀过程中, 若采用的电流密度超过了极限电流密度, 在电极上则会发生其他的电化学反应, 从而使阴极电流效率降低。此外, 还会生成不合格的树枝状镀层。

## 1.1.4 极化曲线和极化度

金属在一定溶液内形成的表面电位与电流密度相关, 为了定量判断通过电流引起的电极电位变化, 将这些电流与电位对应的点在平面坐标系中连成曲线, 这

条曲线就称为极化曲线。极化曲线中通常以横坐标表示电极电位，纵坐标表示电流密度。图 1-3 是电解池中两电极的阴极极化曲线。由该图可以看出，随着阴极电流密度的逐渐增大，阴极电位逐渐变负，过电位 ( $\eta$ ) 的绝对值也在逐渐增大。

极化度是指在极化曲线上某一点切线的斜率，即电极电位随电流密度的变化率。同一条极化曲线上，不同线段内的极化度是不同的。

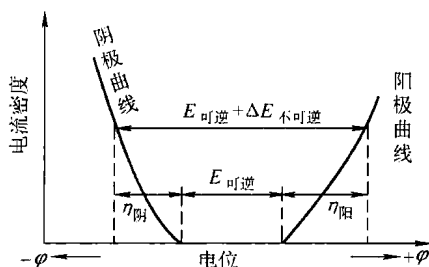


图 1-3 电解池中两电极的  
阴极极化曲线示意图

## 1.2 电镀基本原理

### 1.2.1 电镀溶液的组成

一般电镀溶液中包含主盐、导电盐、络合剂、缓冲剂、阳极去极化剂及添加剂等。

(1) 主盐 主盐是指沉积金属的盐类，包括单盐和络盐。单盐是简单金属化合物，如酸性镀铜中的硫酸铜；络盐是指络合物电镀溶液的主盐，如氰化物镀锌溶液中的  $\text{Na}_2\text{Zn}(\text{CN})_4$ 。

(2) 导电盐 导电盐是为了提高电镀溶液的导电能力，降低槽端电压，提高电流密度而加入的导电能力较强的物质，如镀镍溶液中的硫酸钠。导电盐不参加电极反应，能提高电镀溶液的导电率，扩大阴极电流密度范围。

(3) 络合剂 络合剂与金属离子形成络合物，改变电镀溶液的电化学性质和金属离子沉积的电化学过程，对镀层质量有很大影响，是电镀溶液的主要成分。常用的络合剂有氰化物、氢氧化钠、焦磷酸、酒石酸、氨基乙酸、柠檬酸等。

(4) 缓冲剂 缓冲剂是一种酸碱稳定剂，一般是盐类（如强酸弱碱或弱酸强碱盐类），在反应或保存中逐渐释放出盐中的酸或碱以保持稳定的酸碱值。在电镀过程中可使电镀溶液具有自行调节 pH 值的能力。

(5) 阳极活化剂 在电镀过程中金属离子是不断消耗的，大多数采用可溶性阳极来补充，使在阴极析出的金属量与阳极溶解量相等，保持电镀溶液成分平衡。加入活化剂能维持阳极处于活化状态而正常溶解，不发生钝化。

(6) 添加剂 添加剂是在电镀溶液中为改善电镀溶液性能、提高镀层质量而加入的少量物质。添加剂的主要作用是细化晶粒、整平、润湿、提高光亮度、

降低镀层应力等。

### 1.2.2 电镀溶液的分散能力和覆盖能力

分散能力是指电镀溶液使工件表面镀层厚度均匀分布的能力。若镀层在阴极表面分布比较均匀,就认为这种电镀溶液具有良好的分散能力;反之,分散能力就较差。

覆盖能力是指电镀溶液本身所具有的使阴极表面深凹处镀上金属的能力,即电镀溶液所具有的使阴极表面电流密度很小处沉积上金属的能力。只要在工件的各处都有镀层,就可以认为电镀溶液的覆盖能力好,而不必强调镀层是否均匀。电镀溶液的覆盖能力取决于极限电流密度(阴极凸处有镀层堆积时的电流密度)与临界电流密度(阴极凹处沉积出金属的电流密度)之比,比值越大,说明电镀溶液的覆盖能力越好。

### 1.2.3 电镀溶液的阴极电流效率

电流效率是指在电镀过程中通过电流的有效利用率,通常以百分数表示。某金属的电流效率也可以表示为:在电镀时,电流通过后实际析出物质的质量与法拉第定律计算应析出的质量之比。当在某电极上同时进行两个或两个以上反应时,通电库仑数与每一反应所需电化学当量的和相对应。因为在电镀过程中,阴极上若要沉积出金属或合金镀层,通常会伴有  $H^+$  的还原等副反应,所以电流效率低于 100%。

电流效率记为  $\eta$ , 则

$$\eta = (Q/Q_0) \times 100\%$$

式中  $Q$ ——析出物质所需的电量 (C);

$Q_0$ ——通过电极的总电量 (C)。

根据法拉第定律,析出物质所需的电量,可由称量析出物质的质量求出:

$$Q = m/q = Fzm/M$$

式中  $Q$ ——析出物质所需的电量 (C);

$m$ ——析出物质的质量 (g);

$q$ ——析出物质的电化学当量 (g/C);

$M$ ——析出物质的摩尔质量 (g/mol);

$F$ ——法拉第常数 (C/mol);

$z$ ——参加反应得失电子数。

常用电镀溶液的阴极电流效率如表 1-1 所示。

## 6 电镀工技能提高必读

表 1-1 常用电镀溶液的阴极电流效率

| 电镀溶液名称   | 电流效率(%)  | 电镀溶液名称   | 电流效率(%)  |
|----------|----------|----------|----------|
| 普通镀铬     | 13       | 铵盐镀镉     | 90 ~ 98  |
| 复合镀铬     | 18 ~ 25  | 氟硼酸盐镀镉   | 100      |
| 自动调节镀铬   | 18 ~ 20  | 氰化物镀镉    | 90 ~ 95  |
| 快速镀铬     | 18 ~ 20  | 氯化物镀铁    | 90 ~ 95  |
| 镀锌       | 95 ~ 98  | 硫酸盐镀铁    | 90 ~ 98  |
| 硫酸盐镀锡    | 90       | 氟硼酸盐镀铅   | 95       |
| 碱性镀锡     | 60 ~ 75  | 氰化物镀银    | 95 ~ 100 |
| 硫酸盐镀锌    | 95 ~ 100 | 氰化物镀金    | 60 ~ 80  |
| 铵盐镀锌     | 94 ~ 98  | 镀铂       | 30 ~ 50  |
| 锌酸盐镀锌    | 70 ~ 85  | 镀钯       | 90 ~ 95  |
| 氰化物镀锌    | 60 ~ 85  | 镀铑       | 40 ~ 60  |
| 硫酸盐镀铜    | 95 ~ 100 | 镀铼       | 10 ~ 15  |
| 焦磷酸盐镀铜   | 95 ~ 100 | 硫酸盐镀铟    | 50 ~ 80  |
| 酒石酸盐镀铜   | 75       | 氯化物镀铟    | 70 ~ 95  |
| 氟硼酸盐镀铜   | 95 ~ 100 | 氟硼酸镀铟    | 80 ~ 90  |
| 氰化物镀铜    | 70       | 镀铋       | 100      |
| 硫酸盐镀镉    | 98       | 氰化物镀低锡青铜 | 60 ~ 70  |
| 氰化物镀铜锌合金 | 60 ~ 70  | 氰化物镀高锡青铜 | 60       |
| 镀铅锡合金    | 100      | 镀锡镍合金    | 100      |
| 镀锡锌合金    | 80 ~ 100 | 镀镉锡合金    | 70       |

### 1.2.4 工艺条件对镀层质量的影响

(1) 电流密度对镀层的影响 阴极电流密度对镀层结晶晶粒的粗细有较大的影响。

1) 当阴极电流密度过低, 阴极极化作用小时, 镀层结晶晶粒较粗。

2) 随着阴极电流密度的增大, 阴极的极化作用也随之增大, 镀层结晶变得细致紧密。

3) 阴极上的电流密度不能过大, 不能超过允许的上限值。超过允许的上限值后会因为阴极附近严重缺乏金属离子, 在阴极的尖端和凸出地方产生形状如树枝的金属镀层, 或者在整个阴极表面上产生形状如海绵的疏松镀层。

4) 电流密度对镀层性能的影响不是直接的, 往往是间接的(例如通过电极电位的变化来影响), 直接影响的是沉积速度。

(2) 温度对镀层的影响 在其他条件相同的情况下, 升高电镀溶液温度, 会加快阴极反应速度和金属离子的扩散速度, 降低阴极极化作用, 因而也会使镀层结晶变粗。其原因如下:

1) 增大了由于热运动而产生的离子扩散速度, 降低了浓差极化。

2) 放电金属离子具有更大的活化能, 降低了电化学极化。

3) 两者的联合作用, 会降低电沉积时的阴极极化。另外, 升高温度还能提高电镀溶液的电导率, 促进阳极溶解, 提高阴极电流效率, 减少针孔, 降低镀层内应力。

(3) 搅拌对镀层的影响 搅拌可以提高电流密度, 同时有利于整平。

1) 搅拌消除了部分浓差极化, 当有整平剂存在时, 搅拌使整平剂的扩散速度也加快, 因而加强了整平剂的作用。

2) 搅拌会加速电镀溶液的对流, 使阴极附近消耗了的金属离子得到及时补充并降低阴极的浓差极化作用, 使镀层结晶变粗。

3) 采用搅拌后, 可以提高允许的阴极电流密度, 克服因搅拌降低阴极极化作用而产生的结晶变粗现象, 在较高的电流密度和较高的电流效率下得到紧密细致的镀层。

## 1.2.5 副反应对镀层质量的影响

电镀过程中希望的电极反应是在阴极上只发生金属的沉积, 在阳极上发生金属的溶解。但实际上除了上述主反应外, 在电极上将会发生各种副反应。例如, 在阴极上会有氢气析出, 阳极上会有氧气析出, 特别是阳极钝化时, 主要是氧的析出。这些副反应对镀层有明显的影响, 氢脆、针孔、起泡等缺陷多数由此而来。

### 1. 析氢过程

电镀溶液中的氢离子以水化的氢离子 ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) 形式存在, 水化的  $\text{H}^+$  到阴极还原变成氢气的过程分为如下几个连续的步骤: ①水化的  $\text{H}^+$  从电镀溶液中转移到阴极表面附近; ②在阴极上脱水还原, 生成的氢原子吸附在电极表面; ③两个吸附的氢原子结合成氢分子; ④氢分子聚合成小气泡, 并逐渐长大, 最后离开电极表面而逸出。

### 2. 析氢的影响

析氢会引起氢脆、针孔、起泡, 并降低阴极电流效率。

(1) 氢脆 阴极上析出的氢, 一部分形成氢气逸出; 另外一部分渗入基体金属及镀层中, 渗入镀层至一定量, 将使镀层脱落, 渗入基体将导致工件脆裂。渗氢后, 氢作为金属晶格中夹杂的局外原子时会引起晶格的变形, 产生内应力。

(2) 针孔 阴极上析出的氢气如果能逸出, 则不会造成针孔。若析出的氢

气粘附在镀层上,粘附的部位就阻止金属离子沉积,使镀层内产生微小的空洞。若气泡周期性地粘附和逸出,则会形成一个坑点。如果氢气泡在电镀全部过程中总是滞留在一个地方,就会在镀层中形成空洞或缝隙;如果氢气泡在阴极上附着得不牢固,发生周期性的脱落,就会出现麻点。

(3) 起泡 在镀锌和镀镉中,工件经一段存放时期后,整个表面上会散布很多鼓起的小泡。这是由于吸附在基体金属中的氢对镀层施加压力而产生的,特别是在周围温度升高时更为显著。

(4) 降低阴极电流效率 氢气的析出,会降低阴极的电流效率,延长电镀的时间,降低生产效率,增加电能消耗。

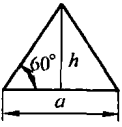
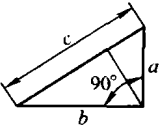
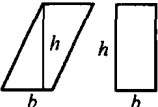
## 1.3 电镀工艺流程的编制

### 1.3.1 电镀工艺过程的计算

#### 1. 电流密度的计算

电流密度是指单位面积上所通过的电流,单位为  $A/dm^2$ 。确定电流密度时主要是计算工件的面积。一般工件的电镀面积是指被镀工件的总表面积。对于镀硬铬、修复电镀和为防止渗碳、渗氮等特殊需要的电镀,则只应计算受镀面积。一个工件可以看作由许多小工件分别组成,而每个小工件又可以看作由几个规则的简单几何形体组成,因此,电镀面积的计算,一般是将复杂形状的工件假想分解成若干简单形状的小工件,分别计算后再相加或相减,得到工件总的电镀面积。各种几何图形面积的计算方法如表 1-2 所示。

表 1-2 各种几何图形面积的计算

| 名 称          | 图 形                                                                                 | 面积计算公式                                            |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 等边三角形        |  | $A = \frac{ah}{2} = 0.433a^2$<br>或 $A = 0.578h^2$ |
| 直角三角形        |  | $A = \frac{ab}{2}$                                |
| 平行四边形<br>和矩形 |  | $A = bh$                                          |