

电 镀 工 程

张胜涛 等编著



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

电 镀 工 程

张胜涛 等编著

化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

·北 京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

电镀工程/张胜涛等编著. —北京: 化学工业出版社,
2002.5

ISBN 7-5025-3801-1

I. 电… II. 张… III. 电镀-工艺学 IV. TQ153

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 022154 号

电 镀 工 程

张胜涛 等编著

责任编辑: 丁尚林

责任校对: 凌亚男

封面设计: 蒋艳君

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话 (010) 64982530

[http //www cip com cn](http://www.cip.com.cn)

*

新华书店北京发行所经销

北京市燕山印刷厂印刷

北京市燕山印刷厂装订

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 19½ 字数 529 千字

2002 年 5 月第 1 版 2002 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7 5025 3801-1/TQ·1521

定 价: 40.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

半个世纪以来，世界机械与电子工业的发展极大地促进了电镀技术的进步，特别是近 20 余年来，在电镀过程中引进诸多物理因素，如：磁、声、光、热、电流波形及频率、溶液流速和机械发动等，使镀层质量和电镀效率有了明显提高。国际上研究工作比较活跃的脉冲电镀、高速电镀和复合电镀等，在国内已得到成功应用。利用震动方式进行化学处理，也已广为人知，震动电镀从 20 世纪 80 年代研究至今，也已进入实用阶段，它是一种很有前途的电镀新技术，必将取代一部分滚镀工艺。激光技术的应用在微电子领域开拓了新工艺研究前景。工业的发展不断地对新材料提出要求，电镀技术也由原来进行防护装饰和功能性镀层加工跨入了新材料制造领域。利用电解方法连续生产各种金属箔材、复合材料和各种泡沫金属材料等，已经得到了广泛的应用。所有这些变化，随着我国改革开放的逐步深入，使得我国电镀行业的产业结构和布局也出现大变革和大调整的局面。

为了能及时反映这些变化，介绍电镀领域中的新技术和最新进展，我们结合自己多年来的科研与实践工作，查阅了国内外大量的参考文献，组织编写了此书。

本书将电镀看作是一个完整的工程实施过程，对与之相关的各个环节都给予了关注，对镀液配方以及工艺给予了重点介绍和阐述。电镀被认为是耗水、有污染的行业，本书致力于电镀过程现有技术的综合应用，旨在为实现电镀过程的产业绿色化提供思路与途径。本书共分为 7 章，分别对电镀过程的各个环节进行了介绍。

第 1 章介绍了电镀的基本原理、发展历史、应用现状以及所面临的种种挑战，使得读者对电镀能有一个总体的、初步的认识。

第 2 章着重分析了表面状态影响镀层质量的各种因素，详细阐

EAA 16/01

述了电镀前处理的各种基本方法，包括粗糙表面的机械整平、表面除油以及除锈方法等等，并针对不同的基体材料和不同的电镀层，列举了一系列电镀前处理的工艺条件。

第3、4章主要介绍单金属电镀、镀合金金属的电镀、复合电镀、非金属电镀的溶液及镀层的各种典型实现方法。介绍了电镀单金属（铜、镍、铬、锌、镉、锡、银、金、铁）的电镀原理、溶液的配方及工艺条件、各添加物的作用、工艺条件的影响、镀液的调整、杂质的除去及镀后处理；同时对电镀合金金属（铜基、锌基、锡基、镍基等）的电镀原理、镀液的配方及工艺条件、添加物的作用等进行了阐述；以及挂镀、滚镀、选择镀、非金属镀、机械镀、浸镀、复合镀、电泳涂装等常见和流行的镀层实现方法。

第5章着重叙述以下3个方面的内容：铝的阳极氧化，铬酸钝化，固体润滑膜。重点谈到了铝的阳极氧化的相关概念、原理、设备、预处理、工艺条件和要求以及铝制品阳极氧化在工业上的应用等方面。讨论了钝化膜的作用及形成机理、钝化溶液和钝化膜的组成、各种钝化以及钝化膜的分级和抗腐蚀性要求等问题。介绍了固体润滑膜其发展概况、润滑机理和常用的固体润滑材料。

第6章包含4个方面的内容：电镀添加剂的分类、作用机理、使用规则和常见镀层中常用的添加剂品种；镀层性能和基体材料性能的测试方法；镀液性能的测试；电镀过程中的各种控制及其参数。

第7章分为5个部分：电镀设备的选型与自动化；电镀过程产生的大气污染的各种治理方法；各种电镀废水的处理与再生利用；电镀车间设计的有关内容；直线吊车式和环形电镀自动生产线，并介绍了几种典型镀种的自动生产线。

本书可供电镀科研工作人员参考使用，也可作为工科本科电化学工程专业课程的参考教材或相关专业的研究生教材使用。

本书由重庆大学化学化工学院张胜涛和韩连漪主编。参加编著的还有重庆大学化学化工学院唐燕秋、苗燕、席敏、伍明军、温彦，全书由张胜涛主审，韩连漪统稿。本书在编写过程中，得到了

许多同志的帮助和支持，在此谨向提出宝贵意见的广大电镀工作者和读者表示衷心的感谢。

限于编者的水平有限，书中取材不当，疏忽错误之处在所难免，恳请读者批评指正，以便再版时得以更正。

编者

2002.1.31 于重庆大学

内 容 提 要

本书将电镀的各个环节都给予了系统而详尽的介绍，着重阐述了镀前处理，电镀溶液，电镀的实施，表面转化，电镀添加剂，电镀的测试与控制，电镀设备、车间的设计、管理及电镀在各领域中的应用等。电镀被认为是耗水、有污染的行业，本书综合应用电镀过程的现有技术，实现电镀过程的绿色化生产。

本书内容丰富，技术先进，既有较强的理论知识，又有详细的实用技术，可供从事电镀领域工作的技术人员及管理人员阅读参考，也可作为大专院校相关专业的教材或参考用书。

目 录

| | |
|-----------------------------|----|
| 第1章 绪论 | 1 |
| 1.1 电镀的历史及其电化学基础 | 1 |
| 1.1.1 电镀的历史 | 1 |
| 1.1.2 电镀的电化学基础 | 2 |
| 1.2 电镀的应用现状 | 4 |
| 1.2.1 电镀技术 | 5 |
| 1.2.2 电镀原材料与设备 | 17 |
| 1.2.3 三废治理 | 18 |
| 1.3 电镀面临的挑战和发展趋势 | 19 |
| 1.3.1 电镀设备的发展趋势 | 19 |
| 1.3.2 电镀技术的发展趋势 | 27 |
| 参考文献 | 35 |
| 第2章 电镀的前处理 | 36 |
| 2.1 概述 | 36 |
| 2.1.1 电镀前处理的意义 | 36 |
| 2.1.2 基体表面状态对镀层结构的影响 | 38 |
| 2.1.3 基体表面状态对覆盖能力的影响 | 39 |
| 2.1.4 基体材料表面状态对结合力的影响 | 40 |
| 2.2 粗糙表面的整平处理 | 40 |
| 2.2.1 磨光 | 40 |
| 2.2.2 抛光 | 42 |
| 2.2.3 喷砂 | 54 |
| 2.2.4 滚光 | 56 |
| 2.2.5 刷光 | 57 |
| 2.3 基体材料的除油处理 | 58 |
| 2.3.1 有机溶剂除油 | 59 |
| 2.3.2 化学除油 | 63 |

| | | |
|------------|--------------------------|------------|
| 2.3.3 | 电化学除油 | 67 |
| 2.3.4 | 其他除油方法 | 69 |
| 2.4 | 基体材料的除锈处理 | 72 |
| 2.4.1 | 化学除锈(化学侵蚀) | 73 |
| 2.4.2 | 电化学除锈(电化学侵蚀) | 81 |
| 2.4.3 | 盐浴法清理氧化皮 | 83 |
| 2.5 | 金属材料镀前的预处理 | 84 |
| 2.5.1 | 铝和铝合金镀前处理 | 85 |
| 2.5.2 | 锌基合金的镀前处理 | 96 |
| 2.5.3 | 镁合金上电镀的镀前处理 | 99 |
| 2.5.4 | 在钛及钛合金上电镀的镀前处理 | 102 |
| 2.5.5 | 不锈钢上的镀前处理 | 103 |
| 2.5.6 | 铝及铝合金上电镀的镀前处理 | 104 |
| 2.5.7 | 铅及铝合金上的镀前处理 | 105 |
| 2.6 | 非金属材料镀前的预处理 | 106 |
| 2.6.1 | 塑料制品镀前的表面预处理 | 107 |
| 2.6.2 | 石膏镀前的表面准备 | 118 |
| 2.6.3 | 木材镀前的表面准备 | 119 |
| 2.6.4 | 陶瓷及玻璃镀前的表面准备 | 120 |
| 2.6.5 | 其他非金属材料镀前的表面准备 | 123 |
| 2.7 | 电镀不同金属镀层前的基体材料的预处理 | 124 |
| 2.7.1 | 镀铝的基体材料的镀前处理 | 124 |
| 2.7.2 | 镀铜的基体材料的表面准备 | 125 |
| 2.7.3 | 镀金的基体材料的镀前处理 | 128 |
| 2.7.4 | 镀铅的基体材料的镀前处理 | 130 |
| 2.7.5 | 镀银的基体材料的镀前处理 | 131 |
| 2.7.6 | 镀锌的基体材料的镀前处理 | 133 |
| 2.7.7 | 铬上镀铬的镀前处理 | 135 |
| 2.7.8 | 合金电镀中的基体材料的镀前处理 | 136 |
| | 参考文献 | 136 |
| 第3章 | 电镀单金属和合金 | 137 |
| 3.1 | 镀铜溶液 | 137 |
| 3.1.1 | 氰化物镀铜 | 138 |

| | | |
|-------|--------------------|-----|
| 3.1.2 | 酸性硫酸盐镀铜 | 142 |
| 3.1.3 | 焦磷酸盐镀铜 | 145 |
| 3.1.4 | 其他的镀铜方法 | 148 |
| 3.1.5 | 镀铜层的退镀 | 150 |
| 3.2 | 镀镍溶液 | 151 |
| 3.2.1 | 镀镍溶液的分类 | 151 |
| 3.2.2 | 光亮及半光亮镀镍 | 156 |
| 3.2.3 | 多层镀镍 | 158 |
| 3.2.4 | 有特殊用途的镀镍工艺 | 161 |
| 3.2.5 | 电解液中杂质的影响及去除 | 164 |
| 3.2.6 | 镍镀层的退镀 | 165 |
| 3.3 | 镀铬溶液 | 166 |
| 3.3.1 | 概述 | 166 |
| 3.3.2 | 一般的防护装饰性镀铬 | 168 |
| 3.3.3 | 镀硬铬及孔松铬 | 172 |
| 3.3.4 | 镀黑铬 | 175 |
| 3.3.5 | 特殊的防护装饰性镀铬 | 176 |
| 3.4 | 镀锌溶液 | 179 |
| 3.4.1 | 氰化物镀锌 | 179 |
| 3.4.2 | 锌酸盐镀锌 | 182 |
| 3.4.3 | 氯化物镀锌 | 184 |
| 3.4.4 | 硫酸盐镀锌 | 187 |
| 3.4.5 | 锌镀层的镀后处理 | 188 |
| 3.5 | 镀镉溶液 | 192 |
| 3.5.1 | 氰化物镀镉溶液 | 193 |
| 3.5.2 | 无氰镀镉溶液 | 195 |
| 3.6 | 镀锡溶液 | 199 |
| 3.6.1 | 酸性镀锡溶液 | 199 |
| 3.6.2 | 碱性镀锡溶液 | 203 |
| 3.6.3 | 冰花镀锡化学浸锡 | 205 |
| 3.7 | 镀银溶液 | 207 |
| 3.7.1 | 氰化物镀银溶液 | 207 |
| 3.7.2 | 无氰镀银溶液 | 209 |

| | |
|-------------------------|-----|
| 3.7.3 镀银层的镀后处理 | 212 |
| 3.8 镀金溶液 | 214 |
| 3.8.1 氰化和非氰化镀金溶液 | 214 |
| 3.8.2 镀金层的退镀及金的回收 | 217 |
| 3.9 镀铂溶液 | 218 |
| 3.9.1 亚硝酸盐镀铂 | 218 |
| 3.9.2 其他的镀铂工艺 | 219 |
| 3.10 镀铁溶液 | 220 |
| 3.10.1 氯化物镀铁溶液 | 221 |
| 3.10.2 硫酸盐镀铁溶液 | 223 |
| 3.11 镀钢溶液 | 226 |
| 3.12 电镀合金 | 226 |
| 3.12.1 概述 | 226 |
| 3.12.2 电镀合金的分类 | 227 |
| 3.12.3 电镀合金的特点 | 228 |
| 3.13 电镀铜合金 | 228 |
| 3.13.1 电镀铜锡合金 | 228 |
| 3.13.2 电镀铜锌合金 | 234 |
| 3.13.3 电镀仿金 | 238 |
| 3.14 电镀锌合金 | 239 |
| 3.14.1 电镀锌镍合金 | 240 |
| 3.14.2 电镀锌钴合金 | 244 |
| 3.14.3 电镀锌铁合金 | 246 |
| 3.14.4 其他电镀锌合金 | 250 |
| 3.15 电镀锡合金 | 252 |
| 3.15.1 电镀铅锡合金 | 252 |
| 3.15.2 电镀锡锌合金 | 256 |
| 3.15.3 电镀锡钴合金 | 260 |
| 3.15.4 电镀锡铋合金 | 261 |
| 3.15.5 电镀锡镍合金 | 263 |
| 3.15.6 其他电镀锡合金 | 266 |
| 3.16 镀镍合金 | 267 |
| 3.16.1 电镀镍铁合金 | 267 |

| | | |
|--------------|---------------------|------------|
| 3.16.2 | 电镀镍钴合金 | 270 |
| 3.16.3 | 电镀镍铬合金 | 272 |
| 3.16.4 | 电镀镍磷合金 | 273 |
| 3.16.5 | 其他电镀镍合金 | 274 |
| 3.17 | 其他的电镀合金镀层 | 274 |
| 3.17.1 | Ag-Sn 合金镀层 | 274 |
| 3.17.2 | 电镀 Au-X 合金镀液 | 276 |
| | 参考文献 | 277 |
| 第 4 章 | 镀层的实现 | 278 |
| 4.1 | 机械镀 | 278 |
| 4.1.1 | 概述 | 278 |
| 4.1.2 | 设备 | 278 |
| 4.1.3 | 镀层的特性 | 279 |
| 4.1.4 | 机械镀工艺特点 | 279 |
| 4.2 | 摩擦电喷镀技术 | 280 |
| 4.2.1 | 摩擦电喷镀技术的基本原理 | 280 |
| 4.2.2 | 摩擦电喷镀技术的特点及工艺 | 280 |
| 4.2.3 | 摩擦电喷镀镀层强化机理探讨 | 281 |
| 4.3 | 流镀技术 | 283 |
| 4.3.1 | 概述 | 283 |
| 4.3.2 | 流镀技术的工艺特征 | 283 |
| 4.3.3 | 流镀工艺 | 284 |
| 4.4 | 激光镀技术 | 285 |
| 4.5 | 浸镀 | 287 |
| 4.5.1 | 浸镀的基本原理和特点 | 287 |
| 4.5.2 | 浸镀的几个具体实例 | 288 |
| 4.5.3 | 热浸镀 | 294 |
| 4.6 | 复合电镀 | 296 |
| 4.6.1 | 复合电镀的发展历史和现状 | 297 |
| 4.6.2 | 复合电镀的特点 | 300 |
| 4.6.3 | 复合镀层的分类 | 304 |
| 4.6.4 | 复合电镀的基本原理 | 308 |
| 4.6.5 | 影响复合电镀的因素 | 310 |

| | |
|---------------------------------|------------|
| 4.7 电泳涂装 | 313 |
| 4.7.1 电泳涂装的概念、历史及特点 | 313 |
| 4.7.2 电泳涂装的基本原理 | 315 |
| 4.7.3 电泳涂料 | 316 |
| 4.7.4 电泳涂装工艺 | 320 |
| 4.7.5 电泳涂装设备 | 324 |
| 参考文献 | 325 |
| 第5章 表面转化 | 327 |
| 5.1 铝的阳极氧化 | 327 |
| 5.1.1 铝制品的阳极氧化在工业上的应用 | 328 |
| 5.1.2 铝的阳极氧化过程 | 329 |
| 5.1.3 铝的阳极氧化机理 | 330 |
| 5.1.4 阳极氧化处理的设备 | 332 |
| 5.1.5 铝表面氧化前的预处理 | 336 |
| 5.1.6 阳极氧化处理的工艺条件和要求 | 339 |
| 5.1.7 封闭处理 | 342 |
| 5.1.8 操作过程与注意事项 | 344 |
| 5.1.9 阳极氧化膜的染色 | 348 |
| 5.2 铬酸钝化 | 351 |
| 5.2.1 钝化溶液和钝化膜的组成 | 351 |
| 5.2.2 钝化膜的作用及其形成机理 | 352 |
| 5.3 固体润滑膜 | 354 |
| 5.3.1 概述 | 354 |
| 5.3.2 固体润滑膜 | 364 |
| 5.3.3 常用的固体润滑材料 | 378 |
| 参考文献 | 381 |
| 第6章 电镀添加剂和电镀的测试与控制 | 382 |
| 6.1 电镀添加剂 | 382 |
| 6.1.1 引言 | 382 |
| 6.1.2 电镀添加剂的分类 | 383 |
| 6.1.3 电镀添加剂的作用机理 | 392 |
| 6.1.4 电镀添加剂的品种和作用规则 | 400 |
| 6.2 镀层性能和基体材料性能的测试 | 405 |

| | | |
|------------|---------------------------|------------|
| 6.2.1 | 金属的鉴定及表面粗糙度的确定 | 405 |
| 6.2.2 | 镀层厚度的测定 | 405 |
| 6.2.3 | 镀层物理机械性能的测试 | 424 |
| 6.2.4 | 耐腐蚀性的检测 | 432 |
| 6.2.5 | 镀层结合力实验 | 445 |
| 6.2.6 | 表面缺陷的检测 | 447 |
| 6.2.7 | 镀层的其他性能的检测 | 447 |
| 6.3 | 镀液性能的测试 | 448 |
| 6.3.1 | 镀液深镀能力与分散能力的测定 | 448 |
| 6.3.2 | 整平能力(微观分散能力)的测定 | 451 |
| 6.3.3 | HULL 槽实验 | 451 |
| 6.3.4 | 表面张力的测定 | 457 |
| 6.3.5 | 极化曲线 | 458 |
| 6.4 | 操作控制 | 461 |
| 6.4.1 | 概述 | 461 |
| 6.4.2 | 电流效率的测定 | 461 |
| 6.4.3 | 电镀过程中电流密度的调节 | 461 |
| 6.4.4 | 沉积时镀层厚度的控制 | 463 |
| 6.4.5 | 其他过程参数的控制 | 464 |
| | 参考文献 | 465 |
| 第7章 | 电镀设备、工艺及污染控制 | 466 |
| 7.1 | 电镀设备选型与自动化 | 466 |
| 7.1.1 | 电气设备 | 466 |
| 7.1.2 | 镀前处理设备 | 470 |
| 7.1.3 | 电镀镀槽设备 | 474 |
| 7.1.4 | 干燥设备 | 480 |
| 7.1.5 | 过滤设备 | 482 |
| 7.1.6 | 其他辅助设备(电镀挂具以及输送设备) | 485 |
| 7.2 | 空气污染的控制 | 491 |
| 7.2.1 | 电镀废气治理方法 | 491 |
| 7.2.2 | 酸碱雾的抑制 | 494 |
| 7.2.3 | 氮氧化物废气的治理 | 494 |
| 7.2.4 | 铬酸废气的治理 | 499 |

| | | |
|--------|-----------------------|-----|
| 7.2.5 | 氯化氢废气的治理 | 500 |
| 7.2.6 | 硫酸废气的治理 | 501 |
| 7.2.7 | 氰化物废气的治理 | 501 |
| 7.2.8 | 气液传质设备 | 502 |
| 7.3 | 电镀废水处理与再生利用 | 509 |
| 7.3.1 | 概述 | 509 |
| 7.3.2 | 电镀废水治理技术发展 | 509 |
| 7.3.3 | 含铬废水的处理 | 510 |
| 7.3.4 | 含氰废水的治理 | 530 |
| 7.3.5 | 含镍废水的治理 | 535 |
| 7.3.6 | 镀铜废水的治理 | 538 |
| 7.3.7 | 非氰化物镀锌废水的治理 | 542 |
| 7.3.8 | 含金废水的回收治理 | 543 |
| 7.3.9 | 含镉废水的治理 | 544 |
| 7.3.10 | 酸碱废水和混合废水的中和治理 | 544 |
| 7.4 | 电镀车间设计概论 | 546 |
| 7.4.1 | 概论 | 546 |
| 7.4.2 | 电镀生产纲领的计算 | 548 |
| 7.4.3 | 电镀工艺流程的设计 | 550 |
| 7.4.4 | 电镀设备的选型与设计 | 553 |
| 7.4.5 | 电镀车间工作人员的组成 | 562 |
| 7.4.6 | 电镀车间平面布置 | 563 |
| 7.4.7 | 电镀车间水、汽、气耗量计算 | 565 |
| 7.4.8 | 电镀车间土建要求 | 567 |
| 7.4.9 | 电镀车间给排水要求 | 569 |
| 7.4.10 | 电镀车间采暖通风要求 | 570 |
| 7.4.11 | 电镀车间电气要求 | 571 |
| 7.4.12 | 电镀车间工艺设备投资 | 573 |
| 7.4.13 | 电镀车间主要数据和技术经济指标 | 573 |
| 7.4.14 | 设计说明书的主要内容 | 574 |
| 7.5 | 几种典型镀种自动生产线 | 575 |
| 7.5.1 | 常用的电镀自动生产线 | 575 |
| 7.5.2 | 机械振动自动镀锌线 | 577 |

| | | |
|------------|--------------------|------------|
| 7.5.3 | 钥匙链镀铬自动线 | 578 |
| 7.5.4 | 几种电镀自动线设备 | 579 |
| | 参考文献 | 583 |
| 第8章 | 电镀的应用 | 584 |
| 8.1 | 防护装饰性电镀 | 584 |
| 8.2 | 耐蚀性电镀 | 587 |
| 8.2.1 | 锌镀层 | 587 |
| 8.2.2 | 锌合金镀层 | 589 |
| 8.3 | 功能电镀 | 590 |
| 8.3.1 | 装饰与防护 | 590 |
| 8.3.2 | 耐磨 | 593 |
| 8.3.3 | 表面硬化 | 595 |
| 8.3.4 | 自润滑 | 595 |
| 8.3.5 | 金属模具制造、脱模与修复 | 595 |
| 8.3.6 | 精密加工 | 596 |
| 8.3.7 | 波导管的制造 | 597 |
| 8.3.8 | 表面金属化 | 597 |
| 8.3.9 | 防止渗碳和渗氮 | 598 |
| 8.3.10 | 镀层导电 | 599 |
| 8.3.11 | 低接触电阻 | 599 |
| 8.3.12 | 磁性 | 600 |
| 8.3.13 | 电阻体 | 602 |
| 8.3.14 | 钎焊 | 602 |
| 8.3.15 | 防光反射 | 604 |
| 8.3.16 | 光反射 | 604 |
| 8.3.17 | 光的选择吸收 | 605 |
| 8.3.18 | 热传导 | 606 |
| 8.3.19 | 耐高温氧化 | 606 |
| 8.3.20 | 接合 | 606 |
| 8.3.21 | 金属薄膜、粉末制造 | 607 |
| 8.3.22 | 耐化学品性能 | 607 |
| 8.3.23 | 杀菌 | 607 |
| | 参考文献 | 608 |

