

表面处理清洁生产技术丛书

镀锌

黄永兵 等编著



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

表面处理清洁生产技术丛书

镀锌

黄永兵 等编著



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

·北京·

内容提要

本书重点介绍了氯化物镀锌、锌酸盐镀锌、硫酸盐镀锌等无氰镀锌工艺和锌基合金电镀的特点和操作条件,列举了许多成熟的工艺配方和操作应用实例,分析了各种镀锌工艺常见的故障并指出其解决方法;同时,阐明了不同镀锌工艺生产线对电镀设备的要求;此外,对低铬钝化、三价铬钝化等较为先进的清洁生产电镀工艺也从应用角度作了详细介绍。

本书可供电镀企业的工程技术人员和一线工人阅读,也可供从事电镀工艺研究的科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

镀锌/黄永兵等编著. —北京:化学工业出版社, 2006. 3
(表面处理清洁生产技术丛书)
ISBN 7-5025-8434-X

I. 镀… II. 黄… III. 镀锌 IV. TQ153.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第025125号

表面处理清洁生产技术丛书

镀 锌

黄永兵 等编著

责任编辑:刘丽宏 段志兵

责任校对:李 林

封面设计:尹琳琳

*

化学工业出版社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码100029)

购书咨询:(010)64982530

(010)64918013

购书传真:(010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
北京市昌平振南印刷厂印刷
三河市宇新装订厂装订

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 6 字数 130千字

2006年5月第1版 2006年5月北京第1次印刷

ISBN 7-5025-8434-X

定 价: 15.00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

序

清洁生产，是指不断采取改进设计、使用清洁的能源和原料、采用先进的工艺与设备、改善管理、综合利用等措施，从源头上削减污染，提高资源利用率，减少或避免生产、服务和产品使用过程中污染物的产生和排放，以减轻或消除对人类健康和环境的危害。2002年颁布的《中华人民共和国清洁生产促进法》明确了实施清洁生产的目 的和内容。

电镀是用途十分广泛的行业，也是污染物产生较多的行业，因此电镀的清洁生产就显得更为重要。电镀使用的原料往往含有有害的物质，生产中会产生大量的废水、废气、废渣。其中又以废水的问题更突出。电镀又是一个耗能的行业，每年电镀加工要消耗大量的电能。我国水资源十分短缺，可是电镀又要大量用水，所以节电、节水也是电镀行业的重要任务。但电镀厂点比较分散，许多还采用落后的工艺和设备，给清洁生产的管理和实施带来一定的难度。

2005年6月4日国家发改委、国家环境保护总局发布了《电镀行业清洁生产评价指标体系》。其中定量评价指标体系包括资源综合利用指标、镀件带出液污染物产生指标、资源与能源消耗指标。也是我国第一部评价指标，也是评价电镀清洁生产水平的依据。该体系将电镀生产的一些主要指标列入其中，尚有许多电镀品种未列入，废气、废水的指标也不在其中。该文件也指

出，随着技术的不断进步和发展，指标体系每3~5年修订一次。预计将会越来越全面、深化、严格、完善，对电镀行业的要求也会越来越高。

电镀生产约有一百年的历史，新技术不断涌现，生产品种和能力也逐年增加，一方面是污染物品种、污染源和污染范围增加；另一方面由于人类对环境保护意识的增强、技术的不断进步，电镀污染也不断得到控制和治理，从源头做起逐渐向清洁生产方向发展。

电镀清洁生产的内容很多。电镀工艺的选择，清洁能源和原料的选择，电镀前处理，电镀后处理，清洗，废水、废气、废渣的治理和利用，资源的节约与综合利用，电镀车间和设备的改进设计，宏观和微观的管理等都与清洁生产密切相关。近年来，通过国内外的研究开发，已出现了许多新技术和新方法。具体例子有：无氰镀锌（包括氯化钾镀锌、碱性锌酸盐镀锌、高速硫酸盐光亮镀锌）、低铬钝化、三价铬钝化、无铬钝化、节能高效快速的第三代镀铬、三价铬镀铬、碱性无氰镀铜、酸性光亮镀铜、焦磷酸盐镀铜、锌镍合金电镀、锌铁合金电镀、非晶态电镀、复合镀、达克罗涂装技术、逆流漂洗技术、隔膜分离技术、废水零排放技术、电镀工业园的建立，等等。随着技术的进步、管理的改进，将会实现真正意义上的清洁生产。

为了推动电镀行业的清洁生产，在中国表面工程清洁生产指导委员会协助下，太原市表面工程协会组织编写了《表面处理清洁生产技术丛书》（以下简称《丛书》），包括《镀覆前表面处理》、《镀锌》、《镀铜》、《磁性材料电镀》、《达克罗涂覆技术》、《印制电路板电镀》等，以满足从事表面处理工作，尤其是从事电镀生产、研究和管理的工程技术人员、一线工人的需要。《丛书》总体上按照电镀清洁生产的宗旨，全面系统地介绍各种金

属、非金属材料镀覆前的处理工艺，以及适用于清洁生产的镀锌、镀铜、磁性材料电镀、印制电路板电镀的各种成熟的工艺和规范。面向电镀生产实践，内容力求简明扼要，通俗实用。

《丛书》由国内二十多位专家、学者、工程技术人员和实际生产者参加组织和编写。在《丛书》组织和编写过程中，太原市表面工程协会原副理事长周永令高工作出了巨大的贡献，我们把继续组织好、编写好、出版好这套《丛书》作为对周先生最好的纪念方式之一。借此也感谢在《丛书》的组织、编写和出版过程中给予大力支持和帮助的许多专家和学者。

太原市表面工程协会

2006年1月

前 言

镀锌是表面处理中应用最广、产量和规模最大，也是污染物产生较多的镀种。因此，加强这个镀种的清洁生产极为重要。

本书重点介绍了无氰镀锌、低铬钝化、三价铬钝化等较为先进的清洁生产工艺。这些在长期生产实践中已被证明成熟的工艺，值得推广应用。本书还介绍了硫酸盐线材镀锌和锌基合金电镀工艺，从理论和实践上全面阐述了工艺配方及工艺条件。

本书可供电镀企业的工程技术人员和一线工人阅读，也可供从事电镀工艺研究的科研人员参考。

本书由太原晋西机器工业集团黄永兵高级工程师主编。第1章、第2章由贺国军编写，第3章、第5章、第7章由黄永兵编写；第4章由储荣邦编写；第6章由黄巍编写。本书在编写过程中得到了许多同志的帮助和支持，在此表示衷心的感谢。

限于编者水平有限，遗漏或不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编著者

2006年1月

于山西太原

欢迎订阅腐蚀和表面技术专业图书



专业工具书

- | | |
|------------------------|-------------|
| 1. 表面工程手册 | 16 开/90 元 |
| 2. 腐蚀数据与选材手册 | 大 32 开/80 元 |
| 3. 阴极保护工程手册 | 16 开/50 元 |
| 4. 实用防腐蚀工程施工手册 | 16 开/180 元 |
| 5. 建筑防腐蚀材料设计与施工手册 | 16 开/50 元 |
| 6. 实用表面前处理手册 | 大 32 开/38 元 |
| 7. 防锈材料应用手册 | 16 开/78 元 |
| 8. 实用清洗技术手册 (第 2 版) | 16 开/69 元 |
| 9. 阴极保护手册——电化学保护的理论与实践 | 16 开/68 元 |
| 10. 尤利格腐蚀手册 (第 2 版) | 16 开/158 元 |
| 11. 腐蚀控制设计手册 (李金桂 主编) | 16 开/158 元 |



腐蚀科学

- | | |
|-----------------------------|-------------|
| 1. 中国腐蚀调查报告 (柯伟 主编) | 16 开/45 元 |
| 2. 材料腐蚀学原理 (现代腐蚀科学和防蚀技术全书) | 16 开/39 元 |
| 3. 腐蚀电化学原理 (第 2 版, 曹楚南 编著) | 16 开/42 元 |
| 4. 金属高温氧化和热腐蚀 (李铁藩 编著) | 大 32 开/29 元 |
| 5. 金属的腐蚀磨损 | 大 32 开/38 元 |
| 6. 自然环境中的腐蚀与防护 (腐蚀与防护全书) | 大 32 开/18 元 |
| 7. 二氧化碳腐蚀与控制 | 大 32 开/10 元 |
| 8. 金属腐蚀理论及应用 (魏宝明 主编) | 16 开/32 元 |
| 9. 腐蚀破坏 100 例 | 32 开/18 元 |
| 10. 硅及其氧化物的电化学——表面反应、结构和微加工 | 16 开/68 元 |
| 11. 大气腐蚀 | 16 开/39 元 |
| 12. 金属电化学腐蚀与防护 (高等学校教材) | 16 开/29 元 |



材料的耐蚀性和耐蚀材料

1. 中国材料的自然环境腐蚀 (曹楚南 主编) 16 开/78 元
2. 材料的耐蚀性和腐蚀数据 (现代腐蚀科学和防蚀技术全书) 16 开/90 元
3. 有色金属的耐蚀性及其应用 (腐蚀与防护全书) 大 32 开/16.5 元
4. 合成树脂与玻璃钢 (第 2 版) (腐蚀与防护全书) 大 32 开/17 元
5. 建筑防腐蚀材料 大 32 开/30 元



防腐蚀技术

1. 防腐蚀技术及应用实例 16 开/95 元
2. 基础设施腐蚀防护和耐久性问与答 (洪乃丰 编著) 大 32 开/20 元
3. 防腐蚀表面工程技术 (现代腐蚀科学和防蚀技术全书) 16 开/88 元
4. 化学工业中的腐蚀与防护 (腐蚀与防护全书) 大 32 开/30 元
5. 石油工业中的腐蚀与防护 (腐蚀与防护全书) 大 32 开/25 元
6. 压力容器腐蚀与控制 (压力容器实用技术丛书) 16 开/80 元
7. 管道防腐蚀技术 大 32 开/25 元
8. 管线腐蚀控制 (NACE) 16 开/45 元
9. 防腐蚀衬里技术 (工人岗位培训实用技术读本) 大 32 开/30 元
10. 堵漏技术 (工人岗位培训实用技术读本) 大 32 开/35 元
11. 水处理、防腐蚀和失效分析 1000 例 大 32 开/28 元
12. 火电厂与蒸汽动力设备的腐蚀风险评估与治理 大 32 开/35 元
13. 新型缓蚀剂的合成与应用 大 32 开/20 元
14. 缓蚀剂 大 32 开/38 元
15. 汽车腐蚀与防护技术 16 开/35 元
16. 钢结构的腐蚀控制 16 开/46 元
17. 防腐蚀施工管理及施工技术 16 开/36 元
18. 电化学保护和缓蚀剂应用技术 (现代腐蚀科学和防蚀技术全书) 16 开/98 元
19. 腐蚀科学技术的应用和失效案例 (现代腐蚀科学和防蚀技术全书) 16 开/78 元
20. 工程防腐蚀指南——设计、材料、方法和监理检测 16 开/58 元



涂料涂装技术

1. 防腐蚀涂料涂装和质量控制 (涂料防腐蚀技术丛书) 大 32 开/36 元
2. 丙烯酸树脂防腐蚀涂料及应用 (涂料防腐蚀) 大 32 开/25 元

技术丛书)

3. 氟树脂涂料及应用 (涂料防腐蚀技术丛书) 大 32 开/30 元
4. 功能性防腐蚀涂料及应用 (涂料防腐蚀技术丛书) 大 32 开/28 元
5. 聚氨酯树脂防腐蚀涂料及应用 (涂料防腐蚀技术丛书) 大 32 开/38 元
6. 重防腐蚀涂料 大 32 开/20 元
7. 桥梁防腐蚀涂装和维修保养 大 32 开/20 元
8. 防腐蚀涂料及涂装 (腐蚀与防护全书) 大 32 开/18 元
9. 防腐蚀涂料与涂装技术 (工业涂料与涂装技术丛书) 32 开/25 元
10. 粉末涂料与涂装技术 (工业涂料与涂装技术丛书) 32 开/26 元
11. 涂装工艺学 大 32 开/28 元
12. 天然气管道减阻内涂技术 大 32 开/35 元
13. 预涂金属卷材及涂料 大 32 开/19 元
14. 耐磨耐蚀涂膜材料与技术 大 32 开/36 元
15. 钢结构防腐蚀和防火涂装 16 开/35 元
16. 建设工程涂装质量管理 16 开/45 元
17. 有机涂层钢板 16 开/30 元
18. 汽车涂料 16 开/35 元
19. 涂层失效分析的方法和程序 大 32 开/20 元
20. 汽车涂装工艺技术 16 开/48 元
21. 涂装表面预处理技术与应用 大 32 开/38 元
22. 材料表面涂层防火阻燃技术 16 开/62 元
23. 彩色涂层钢板技术 16 开/36 元



金属和无机非金属涂层

1. 钢结构热喷涂防腐蚀技术 16 开/30 元
2. 涂层技术原理及应用 16 开/45 元
3. 表面熔融凝固强化技术——热喷涂与堆焊技术 16 开/35 元
4. 表面堆焊与热喷涂技术 (实用焊接技术丛书) 16 开/39 元
5. 高性能陶瓷涂层 16 开/98 元
6. 钢材热镀锌 16 开/59 元



电镀技术

1. 刷镀技术 大 32 开/28 元
2. 电镀实践 600 例 大 32 开/30 元
3. 实用电镀技术 (腐蚀与防护全书) 大 32 开/25 元

- | | |
|----------------------------|-------------|
| 4. 难镀基材的化学镀镍技术 | 大 32 开/28 元 |
| 5. 电镀技术 (工人岗位培训实用技术读本) | 大 32 开/37 元 |
| 6. 电镀工程 | 大 32 开/40 元 |
| 7. 电镀溶液与镀层性能测试 (实用电镀技术丛书) | 大 32 开/19 元 |
| 8. 电镀溶液分析技术 (实用电镀技术丛书) | 大 32 开/35 元 |
| 9. 化学镀实用技术 (实用电镀技术丛书) | 大 32 开/38 元 |
| 10. 防护装饰性电镀 (实用电镀技术丛书) | 大 32 开/38 元 |
| 11. 电镀清洁生产工艺 (实用电镀技术丛书) | 大 32 开/35 元 |
| 12. 电镀工艺与设备 | 16 开/54 元 |
| 13. 电镀工安全技术 (工人安全技术培训系列读本) | 大 32 开/15 元 |
| 14. 电镀废弃物与材料的回收利用 | 大 32 开/24 元 |
| 15. 电镀废水处理技术及工程实例 | 16 开/35 元 |
| 16. 现代表面镀覆技术问答 | 大 32 开/29 元 |
| 17. 特种电镀技术 | 大 32 开/22 元 |
| 18. 镀锌 (表面处理清洁生产技术丛书) | 大 32 开/15 元 |
| 19. 镀覆前表面处理 (表面处理清洁生产技术丛书) | 大 32 开/20 元 |
| 20. 镀铬修复及应用实例 | 大 32 开/28 元 |
| 21. 非金属电镀与精饰——技术与实践 | 大 32 开/35 元 |



表面清洗和防垢技术

- | | |
|--------------------------|-------------|
| 1. 工业清洗及应用实例 | 大 32 开/25 元 |
| 2. 工业清洗技术 (工人岗位培训实用技术读本) | 大 32 开/35 元 |
| 3. 实用化学清洗技术 (第 2 版) | 大 32 开/20 元 |
| 4. 工业清洗剂及清洗技术 | 大 32 开/45 元 |
| 5. 物理清洗 | 大 32 开/35 元 |
| 6. 金属清洗技术 (实用清洗技术丛书) | 大 32 开/28 元 |
| 7. 石油化工设备清洗技术 | 大 32 开/34 元 |
| 8. 换热设备防除垢技术 | 大 32 开/18 元 |
| 9. 热水锅炉防腐阻垢技术 | 16 开/36 元 |
| 10. 锅炉用水、清灰及除垢 | 大 32 开/24 元 |
| 11. 绿色防垢技术 | 16 开/38 元 |
| 12. 洗净技术基础 | 16 开/58 元 |
| 13. 精密洗净技术 | 大 32 开/26 元 |
| 14. 电力工业清洗技术 | 大 32 开/40 元 |
| 15. 汽车冷却液 | 大 32 开/20 元 |



其他表面技术

- | | |
|---------------------|-------------|
| 1. 纳米表面工程 (徐滨士 主编) | 16 开/65 元 |
| 2. 铝合金阳极氧化与表面处理技术 | 16 开/45 元 |
| 3. 不锈钢表面处理技术 | 大 32 开/30 元 |
| 4. 汽车防锈技术 | 16 开/45 元 |
| 5. 喷丸清理技术 | 16 开/38 元 |
| 6. 粘接表面处理技术 (胶黏剂译丛) | 16 开/50 元 |
| 7. 材料表面强化技术 | 16 开/55 元 |
| 8. 玻璃表面处理技术 | 16 开/76 元 |
| 9. 工业清管技术 | 16 开/36 元 |

化学工业出版社出版机械、电气、化学、化工、环境、安全、生物、医药、材料工程、腐蚀和表面技术等专业科技图书。如要出版新著，请与编辑联系。如要以上图书的内容简介和详细目录，或要更多的科技图书信息，请登录 www.cip.com.cn。

地址：(100029) 北京市朝阳区惠新里 3 号 化学工业出版社

邮购：010-64982530, 64918013, 64982630 (传真) (发行部邮购科)

编辑：010-64982532, 64982556 (工业装备与信息工程出版中心)

Email：dz@cip.com.cn lh3227@sina.com

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 镀锌层的特性及其应用	1
1.2 常规的氰化镀锌	2
1.2.1 氰化镀锌的配方及工艺条件	2
1.2.2 氰化物对环境和人体的危害	6
1.2.3 电镀锌与清洁生产的关系	7
1.3 无氰镀锌的类型	9
1.3.1 酸性氯化钾（或氯化钠）镀锌	9
1.3.2 碱性锌酸盐镀锌	9
1.3.3 铵盐镀锌	10
1.3.4 硫酸盐镀锌	10
第 2 章 氯化物镀锌	11
2.1 氯化物镀锌工艺流程	11
2.2 氯化物镀锌的工艺配方	11
2.3 氯化物镀锌液中各成分的作用及合理选用	14
2.3.1 氯化钾	14
2.3.2 氯化锌	14
2.3.3 硼酸	16
2.3.4 光亮剂	16
2.4 氯化物镀锌的工艺条件及其控制原则	17
2.4.1 pH	17
2.4.2 温度	19

2.4.3	电流密度	20
2.5	氯化物镀锌溶液的配制	20
2.6	氯化物镀锌溶液的维护	21
2.6.1	镀液的日常维护	21
2.6.2	杂质的处理	23
2.7	氯化物镀锌工艺常见故障及解决方法	24
2.8	氯化物镀锌工艺对设备的要求	26
第3章	锌酸盐镀锌	28
3.1	锌酸盐镀锌工艺流程	28
3.1.1	锌酸盐镀锌的工艺特点	28
3.1.2	锌酸盐镀锌的工艺流程	28
3.2	锌酸盐镀锌的工艺规范	29
3.3	锌酸盐镀锌液的配制	31
3.3.1	配制原理	31
3.3.2	配制方法	32
3.4	锌酸盐镀锌各成分的作用及合理选用	32
3.4.1	氧化锌	32
3.4.2	氢氧化钠	33
3.4.3	主添加剂	33
3.4.4	光亮剂	33
3.5	操作条件及其影响	34
3.5.1	槽温	34
3.5.2	电流密度	34
3.5.3	阴阳极极间距离及面积比	35
3.6	不溶性阳极的选择	36
3.7	复杂零件的工装设计	37
3.7.1	短管状通孔零件	37
3.7.2	长管状通孔零件	38
3.7.3	深盲孔零件	39

3.8 镀锌液的维护	40
3.8.1 锌碱比例的控制	40
3.8.2 主添加剂的控制	41
3.8.3 光亮剂的控制	42
3.8.4 镀液定期过滤处理	42
3.8.5 碳酸盐的去除	43
3.9 锌酸盐镀锌常见质量故障及解决方法	43
3.9.1 锌层起泡、起皮	43
3.9.2 阴阳面	48
3.9.3 除氢件变色	48
3.10 镀液常见故障及解决方法	50
3.11 不合格镀锌层的退除	52
3.11.1 钢铁基体零件镀锌层的退除	52
3.11.2 铝基体零件镀锌层的退除	52
3.11.3 弹性零件和高强度钢基体零件镀锌层的退除	52
3.12 锌酸盐镀锌中对设备的要求	52
3.12.1 镀槽的要求	52
3.12.2 镀锌线上的清洗方式	53
3.12.3 直线式电镀自动生产线	54
3.12.4 整流电源	55
3.12.5 过滤设备	56
第4章 硫酸盐镀锌	57
4.1 硫酸盐镀锌工艺流程	57
4.2 镀锌溶液的配方及操作条件	58
4.3 镀液中各组分的作用及合理选用	60
4.3.1 硫酸锌	60
4.3.2 硫酸亚铁、硫酸铝	60
4.3.3 硼酸	61
4.3.4 氯化铵、氯化钾	63

4.3.5	硫酸镁	64
4.3.6	光亮剂	64
4.4	硫酸盐镀锌操作条件及控制原则	68
4.4.1	铁丝镀锌线的技术参数	68
4.4.2	电流	69
4.4.3	pH	70
4.4.4	液温	71
4.4.5	阴阳极面积比和阳极放置的方式	72
4.5	镀槽结构及其辅助设备	73
4.5.1	一般概况	73
4.5.2	分槽结构上的弊病及其改进措施	74
4.5.3	镀槽及其辅助设备在改进时应遵循的原则	75
4.6	镀锌液的配制	76
4.7	镀锌液维护	77
4.8	硫酸盐镀锌常见故障及解决办法	79
4.9	镀锌铁丝电流 (I) 的确定	80
4.9.1	正确确定电流的经济意义	81
4.9.2	单根铁丝镀锌的 I 值确定	82
4.9.3	多根铁丝镀锌的 I 值确定	85
第 5 章	镀锌的后处理	87
5.1	除氢处理	87
5.2	出光处理	88
5.3	钝化处理	89
5.3.1	钝化膜形成原理	89
5.3.2	彩虹色钝化处理	90
5.3.3	军绿色钝化处理	92
5.3.4	白色、蓝白色钝化处理	95
5.3.5	黑色钝化	96
5.3.6	三价铬钝化	96

5.4	着色、染色处理	103
5.4.1	镀锌层的着色处理	103
5.4.2	镀锌层的染色处理	103
第6章	锌基合金电镀	105
6.1	锌镍合金电镀	105
6.1.1	氯化物锌镍合金电镀	107
6.1.2	硫酸盐锌镍合金电镀	116
6.1.3	硫酸盐-氯化物锌镍合金电镀	118
6.1.4	碱性锌酸盐及其他锌镍合金电镀	119
6.1.5	锌镍合金的钝化处理	123
6.2	锌铁合金电镀	125
6.2.1	硫酸盐锌铁合金电镀	125
6.2.2	氯化物锌铁合金电镀	127
6.2.3	碱性锌铁合金电镀	129
6.2.4	锌铁合金钝化工艺	131
6.2.5	锌铁合金电镀的应用	132
6.3	锌基合金电镀的发展前景	133
第7章	镀锌液的化学分析	134
7.1	氯化钾镀锌液分析	134
7.1.1	氯化锌的测定	134
7.1.2	氯化钾的测定	135
7.1.3	硼酸的测定	136
7.2	锌酸盐镀锌液的分析	137
7.2.1	氧化锌的测定	137
7.2.2	氢氧化钠的测定	138
7.3	硫酸盐镀锌液分析	139
7.3.1	锌的测定	139
7.3.2	铝的测定	139
7.3.3	锌、铝的联合测定	140