

宾胜武 等编著

刷镀技术



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

刷 镀 技 术

宾胜武 等编著

刷镀是特种电镀之一，实践中不但需要一定的知识基础，还需要经验和技巧。本书的突出之处在于，不但强调刷镀设备的合理配置和使用，而且强调刷镀工艺的制订和实施。书中列举大量的刷镀工程实例，是作者刷镀实践的一部分，包括各种类型、各种材质设备的维修和表面强化工作。

本书适宜于从事设备维修、表面强化的工程技术人员，从事电镀的科研和技术人员阅读和参考。

ISBN 7-5025-4797-5



9 787502 547974 >

ISBN 7-5025-4797-5/TQ · 1819 定价：28.00元

刷 镀 技 术

宾胜武 等编著

化 学 工 业 出 版 社

工业装备与信息工程出版中心

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

刷镀技术/宾胜武等编著. —北京: 化学工业出版社,
2003. 9
ISBN 7-5025-4797-5

I. 刷… II. 宾… III. 刷镀-技术 IV. TQ153

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 085489 号

刷 镀 技 术

宾胜武 等编著
责任编辑: 段志兵
文字编辑: 王清颢
责任校对: 陈 静
封面设计: 潘 峰

*

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)
发行电话: (010) 64982530
<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
北京云浩印刷有限责任公司印刷
三河市宇新装订厂装订
开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 11¼ 字数 299 千字
2003 年 10 月第 1 版 2003 年 10 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5025-4797-5/TQ·1819
定 价: 28.00 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

刷镀技术是兼具维修和表面功能强化的实用技术。该技术镀层性能优异、组合灵活，已契入国民经济建设和国防建设的诸多行业中，成为维修技术中的亮点，具有广阔的应用前景。随着刷镀新技术的不断涌现，原有的关于刷镀层只能是“低载、薄层、低温”的界限已被突破，“重载、厚层、高温”刷镀层的成功应用与日俱增。这显示了刷镀技术的巨大潜能，同时为启动修复高参数运行易损件的市场领域，打下了良好的基础。

早在 20 世纪 80 年代，在当时国家经济委员会的直接领导下，刷镀技术得到了大力推广。当时，相关专业的大学和研究单位与各产业部门密切合作，取得了不少成果，也出版了不少专著。但由于修复件千差万别，已有的刷镀专著，还不能完全满足读者的要求。作者根据长年从事刷镀技术科研、开发、利用的经验编写了本书，希望能帮助读者系统掌握整套刷镀技术，了解镀层的性能，熟悉镀层和工况要求的合理搭配。

全书从刷镀电源、机辅具、刷镀液系列，镀层性能及组合设计、性能检测方法及典型应用实例等方面介绍了整套技术，同时介绍了有关刷镀技术的化学、电化学及电镀的基本概念和发展历史。书中特别针对铜、镍、铬的刷镀，按一般工序排列、单基体材料和多基体材料、不同失效工件状况及不同功能要求多层次详述了施镀方案，并全面介绍了影响镀层质量的因素。

本书由彭补芝高级工程师编写第 1 章，孙致富教授编写第 6 章，彭翔高级工程师编写第 7 章，宾胜武高级工程师编写了其他章节并审核全书。编写本书的基础是国内外同行的共同劳动成果。对武汉材料保护研究所钱有榆、郭慧琳等工程师的大力协助和支持，

在此表示衷心的感谢。在成稿的过程中夏伟、叶宏两位同志付出了辛劳，在此一并感谢。本书在出版过程中承蒙化学工业出版社编辑的大力协助，在此深表谢意。

由于水平有限，书中不足之处在所难免，祈请读者不吝指教，以利于我们今后的研究和本书再版时修订。

作者于武汉材料保护研究所

2003年8月16日

内 容 提 要

刷镀是特种电镀之一，是设备维修和金属表面强化的实用技术。

本书系统介绍电刷镀的实用技术，包括：刷镀电源、机辅具、刷镀液系列、镀层性能及组合设计和性能检测方法等。本书通过典型的应用实例分析施镀方案和影响镀层质量的因素，并对有关刷镀技术的化学、电化学及电镀的基本概念也做了简要介绍。

本书是作者长期从事电刷镀技术的科研和应用实践的总结，内容简练、实用性强。

本书适于机械、设备维修、电镀等专业的技术人员、工人参考阅读。

目 录

第 1 章 金属电镀基础及刷镀的特征	1
1.1 概述	1
1.2 基础知识	2
1.2.1 化学基础知识	2
1.2.2 电化学基础知识	9
1.2.3 电镀基础知识	23
1.3 刷镀技术的发展与特征	29
1.3.1 刷镀技术的发展历史	29
1.3.2 刷镀技术的基本特征	31
1.3.3 影响刷镀沉积速度及镀层质量的因素	33
1.3.4 刷镀技术的展望	37
第 2 章 刷镀装备及其技术性能	40
2.1 刷镀电源及其电路	40
2.1.1 刷镀技术对电源装备的要求	40
2.1.2 电源的工作原理和控制过程	41
2.1.3 安培小时计的精度	49
2.1.4 主要技术参数的测定	50
2.1.5 电源的使用方法	52
2.1.6 电源故障排除	54
2.1.7 全机电路	54
2.2 便携式刷镀电源	57
2.2.1 电源结构	57
2.2.2 操作说明	59
2.2.3 镀层厚度控制与预置	60
2.2.4 操作示范	61

2.2.5	电源调试方法	62
2.2.6	电源维修及故障处理	63
2.3	直接测厚式刷镀电源	63
2.3.1	镀层厚度控制原理	64
2.3.2	操作步骤	64
2.4	刷镀电源的主电路	64
2.4.1	直流额定电压	65
2.4.2	直流额定电流	65
2.4.3	电流波形	67
2.5	刷镀用镀具、机具、辅具及其配件	75
2.5.1	镀具——刷镀笔	75
2.5.2	辅具和辅助材料	85
2.5.3	刷镀阳极包套	91
2.5.4	刷镀层对成型加工装备的要求	91
第3章	刷镀溶液及其适用的刷镀工艺规范	93
3.1	对刷镀溶液的基本要求	93
3.2	刷镀溶液分类	93
3.2.1	单盐溶液基本类型	93
3.2.2	络合物溶液基本类型	94
3.3	刷镀溶液的配制	95
3.3.1	化学试剂的纯度与选择	95
3.3.2	溶液的配制和物质的溶解	95
3.4	表面前处理的溶液	97
3.4.1	电解去油	97
3.4.2	电化学浸蚀	99
3.5	金属刷镀溶液	102
3.5.1	刷镀底层溶液	102
3.5.2	刷镀夹心层的溶液	105
3.5.3	功能性金属刷镀溶液	107
3.6	金属后处理溶液	122
3.6.1	退镀液	122
3.6.2	后处理溶液	124
3.7	刷镀废液处理	135

3.7.1	刷镀废液、废气的特点	135
3.7.2	刷镀废液、废水和废气治理方案的选择	136
第4章	铜、镍、铬刷镀工艺	139
4.1	刷镀铜工艺	139
4.1.1	概述	139
4.1.2	碱性刷镀铜工艺	140
4.1.3	酸性铜刷镀溶液及其工艺	149
4.1.4	高堆积碱铜工艺	157
4.2	刷镀镍工艺	160
4.2.1	1 [#] 酸性镍刷镀溶液及工艺	160
4.2.2	2 [#] 酸性镍溶液及工艺	162
4.2.3	快速镍刷镀溶液及工艺	163
4.3	刷镀铬工艺	169
4.3.1	概述	169
4.3.2	高效硬铬溶液的组成和工艺条件	170
4.3.3	工艺条件对溶液性能的影响	170
4.3.4	镀层性能	172
4.3.5	刷镀铬工艺流程	178
4.3.6	产生不良铬镀层的原因和解决方法	179
第5章	实用刷镀工艺流程及常用刷镀层的组合设计	182
5.1	选择刷镀工艺流程和设计组合镀层的基本依据	182
5.2	表面前处理	182
5.2.1	镀位的修整和校形	182
5.2.2	去油	183
5.2.3	除锈	186
5.3	刷镀工艺	188
5.3.1	打底刷镀层	188
5.3.2	夹心镀层	189
5.3.3	工作层	190
5.4	常用刷镀工艺流程	190
5.4.1	低碳钢和普通低碳合金结构钢的刷镀工艺	190
5.4.2	中碳钢、高碳钢和某些淬火钢的刷镀工艺	193
5.4.3	铸铁和铸钢的刷镀	195

5.4.4	不锈钢、高合金钢的刷镀工艺流程	196
5.4.5	铜和黄铜的刷镀工艺流程	196
5.4.6	铝及低含量镁的铝合金的刷镀工艺流程	197
5.4.7	铸铝合金的刷镀工艺流程	198
5.4.8	镀铬基体的刷镀工艺流程	199
5.4.9	镍-磷合金表面刷镀方法	199
5.4.10	未知材质工件的刷镀试验方法	200
5.4.11	镁和镁合金的刷镀方法	200
5.4.12	钛和钛合金的刷镀方法	200
5.4.13	双基体或多基体的刷镀方法	201
5.4.14	超厚镀层的刷镀方法	202
5.4.15	局部损伤的刷镀修复法	208
5.4.16	大件镀铬层的气孔修补的刷镀方法	211
5.4.17	超薄工件表面的刷镀方法	212
5.4.18	狭缝的刷镀工艺方法	212
5.4.19	大直径工件的刷镀工艺方法	214
5.4.20	长轴刷镀工艺方法	216
5.4.21	无锥度、无椭圆度的刷镀工艺方法	218
5.5	刷镀层的后处理方法	221
5.5.1	一般镀后处理	221
5.5.2	几种典型刷镀层的后处理方法	223
第6章	刷镀层性能的检验	227
6.1	肉眼外观检测	227
6.2	刷镀层厚度检测	227
6.2.1	测量方法	228
6.2.2	测厚仪检测	228
6.3	刷镀层与底材结合强度的检测	230
6.4	刷镀层抗腐蚀性能检测	232
6.4.1	大气曝晒检测	233
6.4.2	浸泡检测	238
6.4.3	盐雾试验检测	238
6.5	刷镀层孔隙率检测	241
6.5.1	贴纸法检测	242

6.5.2	涂膏法检测	244
6.5.3	仪器测量法检测	245
6.6	镀层硬度的测定	246
6.6.1	硬度的测定与计算	246
6.6.2	测定方法及注意事项	247
6.7	镀层内应力的测定	248
6.8	镀层耐磨性的测定	252
6.8.1	镀层耐磨性的定义及评定方法	252
6.8.2	镀层磨损试验的意义及分类	253
6.8.3	实验室常用的几种磨损试验机	254
6.8.4	磨损试验结果的测定	255
6.9	镀层氢脆性的测定	256
第7章	刷镀技术的应用	259
7.1	刷镀技术在机车维修中的应用	260
7.1.1	机车内燃机活塞、缸(水)套复合刷镀修复技术	260
7.1.2	地铁机车车轴实施刷镀修复工艺	263
7.2	刷镀技术在工程机械修复中的应用	265
7.2.1	日本挖掘机液压杆喷涂、刷镀复合修复工艺	266
7.2.2	日本挖掘机柴油机曲轴刷镀修复工艺	268
7.2.3	日本挖掘机柴油机缸体刷镀修复工艺	271
7.2.4	日本挖掘机连接齿轮箱壳体焊接、喷涂、刷镀修复工艺	273
7.3	刷镀技术在印刷行业的应用	275
7.4	刷镀技术在电力行业的应用	279
7.4.1	300MW 发电机轴颈拉伤现场刷镀修复工艺	280
7.4.2	5MW 机组缸体泄漏现场刷镀修复工艺	282
7.4.3	三峡启闭机 U 形架轴承座孔超差刷镀修复工艺	285
7.5	刷镀技术在冶金行业的应用	288
7.6	刷镀技术在汽车修复上的应用	291
7.7	刷镀技术在模具修复上的应用	292
7.8	刷镀技术在舰船行业的应用	294
7.8.1	舰艇增压传动轴刷镀 In 合金工艺	296
7.8.2	船用箱体轴承位磨损现场刷镀修复工艺	298
7.8.3	挖泥船 GT-190B 汽缸套松孔厚镀 Cr 工艺	300

7.9 刷镀技术在航空工业的应用 302

7.10 刷镀技术在其他行业的应用 305

7.10.1 其他行业应用刷镀技术维修个例 305

7.10.2 铝合金端盖内孔表面强化刷镀工艺 306

7.10.3 机床导轨大面积划伤现场刷镀修复工艺 308

7.10.4 铁路用电触头局部刷镀 Ag 工艺 311

附录 1 电镀与精饰技术标准与部分国外标准 313

附录 2 常用数据 317

参考文献 343

第 1 章 金属电镀基础及刷镀的特征

1.1 概述

金属电镀是用电解方法在工件表面获取镀层的过程。其目的在于强化、提高工件表面性能，取得工件的装饰性外观、耐腐蚀、抗磨损和特殊光、电、磁、热性能；也可以改变工件尺寸，改善机械配合，修复因超差或因磨损而报废的工件等，因而在工业上有广泛的应用。

电刷镀技术（简称刷镀技术）是电镀技术中的一个重要分支，除了有上述的共同目的外，它更偏重于工件的修复应用和中小批量工件的功能性表面强化。因此在实践上更要求现场或在线施镀，在保证镀层品质的基础上，更强调镀层的快速高效沉积。刷镀的基本过程是用裹有包套浸渍特种镀液的镀笔（阳极）贴合在工件（阴极）的被镀部位并作相对运动形成镀层，刷镀电源串接于两极之间。为了稳定地向工件表面液层提供足够的被镀金属离子，高浓度的刷镀液直接泵送或自然回流至阴阳极之间。

这种工艺从开发至今已经历了 100 多年的历史。在这漫长的过程中，它的应用市场不断扩大，刷镀层的功能不断延伸，性能不断提高，技术与装备不断完善。既可以定点批量刷镀，又可以现场在线刷镀，镀种齐全，可以刷镀的基体材料十分广泛。刷镀常温施镀，工件不变形、不变质，操作简便灵活，施工周期短，一次投资费用低，是当今诸多修复、制造技术中备受欢迎的工艺技术。

刷镀工艺与其他电镀工艺有着相同的技术基础，它广泛涉及化学、电化学等诸多学科领域，属于这些学科的边缘范畴。因此，扼要地介绍其中相关概念，对于了解刷镀技术是十分必要的。

1.2 基础知识

1.2.1 化学基础知识

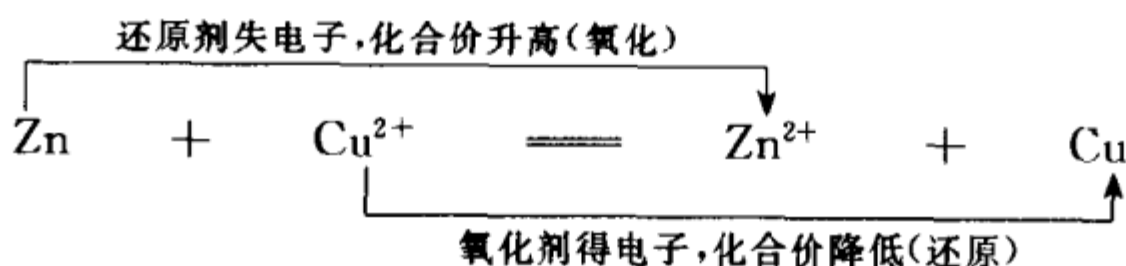
自然界由不同性质的物质组成。在一定条件下，会发生物质间的相互转化。只发生物理性质变化的过程称为物理变化；若同时伴有新物质的形成则称为化学变化，其中与刷镀技术密切相关的主要有如下的变化。

(1) 氧化-还原反应

化学反应中有电子得失与转移，反应物与生成物反应前后化合价发生变化的反应称为氧化-还原反应。例如锌在硫酸铜溶液中的置换反应是氧化-还原反应



其离子方程为



对于给定的反应，氧化和还原两者必然同时发生，共存于同一反应中。

刷镀过程实际上也是一种氧化-还原过程，由于溶液中不存在自由电子，得失电子的反应只能在“电极-溶液”的相界面上发生。所以与一般化学氧化-还原反应相比，它有以下两个主要特征：一是分区进行；二是可以向“电极-溶液”系统提供外加电能来调控氧化还原过程的速度。

(2) 物质的聚集状态，溶液和溶解度

物质通常以气、液、固三态存在。由两种以上组分所组成的均匀体系叫做溶液，它包括气态混合物、液态溶液和固态溶液（也称固溶体）。刷镀工艺中应用最多的是液态溶液，特别是水溶液。通常称溶液中的主要组分为溶剂，少量组分为溶质。

在一定温度下，每 100g 溶剂中最多能溶解的溶质质量（饱和状态）称为该溶质的溶解度。如在 0°C 时，每 100g 水中最多能溶解氯化铵 29.7g，故称在 0°C 时，氯化铵的溶解度为 29.7g。

按 20°C 时不同物质溶解度的多少，把物质分为：

易溶物质 溶解度大于 10g

可溶物质 溶解度大于 1g

微溶物质 溶解度小于 1g

难溶物质 溶解度小于 0.01g

表示溶液浓度的方法有：

体积分数 溶质体积除以混合物体积，常用于溶剂、溶质均为液态物质的溶液，无单位；

质量浓度 溶质的质量除以混合物的体积，常用于溶质为固态物质的溶液，单位为 g/L；

质量分数 溶质质量除以混合物质量，常用于溶剂、溶质均为液态物质的溶液，无单位；

物质的量浓度 溶质物质的量除以混合物体积，常用溶质为固态物质的水溶液，单位为 mol/L；

波美浓度 根据溶液的相对密度，对照波美度查表判定其浓度，是一种不大精确的浓度表示方法；

ppm 浓度 以溶质质量（或体积）所占溶液质量（或体积）的百万分比表示，常作为极稀溶液的浓度单位，这种表示方法现已被淘汰，应换算成 $\mu\text{g/g}$ 或 $\mu\text{L/L}$ 。

当溶质溶解于溶剂形成溶液后，溶液的性质将不同于原有溶质和溶剂性质，如某些溶液会出现不同的颜色、不同的体积等，但所有溶液均会出现以下变化：蒸气压下降、凝固点下降、沸点上升、出现渗透压。

对于难挥发的非电解质稀溶液，上述性质的变化与溶剂中溶质的物质的量成正比，而与溶质的本性无关，这就是所谓“稀溶液定律”。

（3）电解质溶液

按照物质溶解或熔融后是否具有导电功能可将物质分为电解质