

实用电镀技术丛书

中国表面工程协会电镀分会组织编写

电镀溶液与镀层性能测试

张景双 石金声 编著
石磊 曹立新



化学工业出版社
化学与应用化学出版中心

实用电镀技术丛书
中国表面工程协会电镀分会组织编写

电镀溶液与镀层性能测试

张景双 石金声 石磊 曹立新 编著

化学工业出版社
化学与应用化学出版中心
·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

电镀溶液与镀层性能测试/张景双等编著. —北京:
化学工业出版社, 2003.4

(实用电镀技术丛书)

ISBN 7-5025-3539-X

I. 电… II. 张… III. 电镀-性能-测试 IV. TQ153

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 015022 号

实用电镀技术丛书

中国表面工程协会电镀分会组织编写

电镀溶液与镀层性能测试

张景双 石金声 石磊 曹立新 编著

责任编辑: 杜进祥 孙绥中

责任校对: 蒋宇

封面设计: 潘峰

*

化学工业出版社 出版发行
化学与应用化学出版中心

(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

北京市彩桥印刷厂印刷

北京市彩桥印刷厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 7 字数 180 千字

2003 年 4 月第 1 版 2003 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3539-X/TQ·1460

定 价: 19.00 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

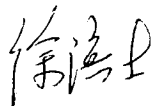
序 言

电镀（包括一些与液相中化学表面成膜反应有关的过程）既能赋予各种金属和非金属器件美丽的外观和优异的耐腐蚀性能、耐磨损性能，又能使器件表面获得多种特殊的功能，使之成为新型的功能材料，甚至还可作为形成某些金属基复合结构材料的手段。因此，电镀在各工业生产部门中应用范围之广，实属罕见。改革开放以来，随着信息、电子、航空、航天、能源、核工业等高新技术领域的飞速发展，中国的电镀技术也取得了大量的令人瞩目的新成就。在当前，新产品、新思路、新目标不断被提出，新工艺、新设备、新材料源源被开发，特别是在我国加入 WTO 后，我国的机电产品和电镀行业更是面临着前所未有的机遇和挑战。为了更好地为我国的经济建设服务，中国表面工程协会电镀分会特地组织国内一些从事电镀教学与科研的专家、学者以及富有实践经验的高级工程技术人员，联合编写了《实用电镀技术丛书》，以期为电镀企业提升质量、提高效率、降低成本、革新技术、解决难题提供有益的帮助，并供有关的科研人员及大专院校师生在工作学习中参考。

本套丛书包括《实用电镀添加剂》、《现代功能性镀层》、《防护装饰性镀层》、《电镀溶液与镀层性能测试》、《电镀溶液分析技术》、《电镀设备的设计与选用》、《电镀清洁生产工艺》、《化学镀实用技术》等分册。编写过程中，编写人员坚持以“简明实用、选材新颖、特色鲜明、通俗易懂、保护环境”为主导思想，精益求精，力求丛书内容能满足广大读者的需求。通过作者的辛勤劳动和创新构思，本套丛书将以新颖的内容、实用

的技术、准确的论述和完整的资料，奉献给广大读者，为新世纪我国电镀事业的发展做出新贡献。

中国工程院院士

Handwritten signature of Xu Hui in black ink.

2003年2月

前 言

电镀层的质量检查,是评定电镀产品优劣的重要手段,是鉴定、考查电镀工艺性能的必要措施,而电镀液的性能又直接影响电镀层的质量,因此掌握电镀溶液性能与镀层性能的测试技术,是电镀工作者应有的非常重要的基本技能。

根据实践经验和现在常用的测试方法,并参考国内有关部级标准,本书遴选了电镀液和镀层的主要检测方法,通过学习可掌握这些检验方法,以便了解国际国内电镀质量标准,为努力提高产品质量做出贡献。

本书是根据中国表面工程协会电镀分会教育与培训工作委员会于1998年12月10日,在杭州召开的第十次工作会议的决议,为在全国电镀行业培养提高镀层和镀液性能测试人员的基础理论和技术水平所制定的《电镀溶液与镀层性能测试》一书的编写大纲和化学工业出版社《实用电镀技术丛书》编委会再次审定的编写大纲而编写的,本书可供从事质量检验、电化学测试及电镀生产的技术人员和工人参考,也适合用作大、中专学校、高级职业学校电镀专业教材。

参加本书编写的有山东建筑工程学院石金声、石磊(第一章、第三章);哈尔滨工业大学曹立新、张景双(第二章、第四章)。本书由张景双教授、石金声高级讲师主编,武汉大学左正忠教授主审。在编写过程中参考了原济南电镀协会编写的《金属与非金属覆盖层检测方法》、张允诚等编写的《电镀手册》、曾华梁等编写的《电镀工艺手册》、屠振密编写的《电镀合金原理与工艺》第九章、张景双编写的《电化学综合实验讲义》、全国金属与非金属覆盖层标准化技术委员会编著的《覆盖层标准应用手册》、李国英等编写的《表面工程手册》、《电镀用材料和设备手册》编写组编写的《电

《镀用材料和设备手册》等。在编写过程中哈尔滨工业大学的屠振密教授和天津大学郭鹤桐教授对书稿多次审阅指导，哈尔滨工业大学翟淑芳同志参与了本书稿的整理和制图等工作，在2000年11月由中国表面工程协会电镀分会教育与培训工作委员会召开的审稿会上，与会的同志对本书提出了许多宝贵意见。特别是在2002年此书列入化学工业出版社的《实用电镀技术丛书》后，丛书编委会对该书稿又进行了审定，在此一并表示谢意。

限于编写者的水平，错误及不妥之处在所难免，衷心欢迎读者批评指正。

编 者

2003年2月

《实用电镀技术丛书》编委会

主任 郭鹤桐 胡铁骑

副主任 姚素薇 屠振密

委员 (以姓氏笔画为序)

冯绍彬 郑州轻工业学院

向荣 西安电镀协会

李宁 哈尔滨工业大学

张允诚 北京电镀学会

张立茗 武汉材料保护研究所

张宏祥 天津大学

张景双 哈尔滨工业大学

姚素薇 天津大学

胡如南 北京航空航天大学

胡铁骑 武汉材料保护研究所

徐红娣 武汉材料保护研究所

秦宝兴 上海电镀协会

袁国伟 广州市二轻研究所

郭鹤桐 天津大学

屠振密 哈尔滨工业大学

目 录

第一章 电镀层性能的测试技术	1
第一节 电镀层外观检验	1
一、表面质量	1
二、表面粗糙度的测定	4
三、表面光亮度的测定	7
第二节 镀层附着强度的测试方法	9
一、摩擦抛光试验	9
二、喷丸试验	10
三、拉伸剥离试验	12
四、锉刀试验	14
五、磨、锯试验	15
六、凿子试验	15
七、划线、划格试验	15
八、弯曲试验	15
九、缠绕试验	16
十、拉力试验	16
十一、热震试验	17
十二、深引试验	18
十三、阴极试验	19
十四、刷光法试验	19
十五、试验方法的选择	19
第三节 镀层厚度的测量	20
一、计时液流法	21
二、点滴测厚法	26
三、称量法	30
四、库仑测厚法	32
五、金相显微镜法	42

六、扫描电子显微镜法	47
七、磁性测厚仪法	49
八、涡流测厚仪法	52
九、 β 射线反向散射法	55
十、X射线光谱测定法	56
十一、双光束显微镜法	57
第四节 镀层孔隙的测量	58
一、贴滤纸法	58
二、涂膏法	60
三、浸渍法	61
四、电图法	63
第五节 镀层显微硬度测量	63
一、方法原理	64
二、影响硬度准确度的因素	64
三、测量步骤及注意事项	66
四、硬度的计算	67
第六节 镀层内应力的测量	68
一、投影法	68
二、电阻应变仪法	69
三、螺旋收缩仪法	70
第七节 镀层脆性的测量	71
一、弯曲法	71
二、缠绕法	72
三、杯突法	72
四、静压挠曲法	73
五、心轴弯曲法	73
第八节 镀件氢脆性测量	74
一、延迟破坏试验	74
二、缓慢弯曲试验	74
三、挤压试验	75
四、应力环试验	76
五、镀件渗氢量测定	76
六、慢速推进试验	77

第九节 镀层钎焊性的测试	77
一、流布面积法	77
二、润湿时间法	77
三、蒸汽考验法	78
第十节 镀层的耐蚀性试验	78
一、不同环境的腐蚀条件	78
二、静止户外曝晒腐蚀试验	81
三、人工加速腐蚀试验	83
四、金属镀层及化学处理层腐蚀试验结果的评定和鉴定	90
第十一节 镀层的耐磨性的测量	92
一、铃木式磨耗试验机	93
二、叶山式磨耗试验机	93
三、圆盘面与试片摩擦的试验机	94
第二章 电镀液性能的测试技术	95
第一节 电镀液电导率的测定	95
一、电镀液的电导率	95
二、电导仪法	95
三、交流电桥法	95
四、电压、电流法	97
第二节 电镀液 pH 值的测定	98
一、电镀液的 pH 值	98
二、用 pH 试纸测 pH 值	99
三、pH 计法测 pH 值	99
第三节 电镀液阴极电流效率的测定	99
一、电镀液的阴极电流效率	99
二、库仑计法测量阴极电流效率	101
三、安时法测量阴极电流效率	103
第四节 电镀液分散能力的测定	105
一、基本原理	105
二、远、近阴极法	112
三、弯曲阴极法	114
四、霍尔槽法	115
第五节 电镀液覆盖能力的测定	116

一、电镀液的覆盖能力	116
二、直角阴极法	118
三、内孔法	119
四、凹穴法	121
五、平行阴极法	122
第六节 电镀霍尔槽试验	123
一、霍尔槽的结构	123
二、霍尔槽试验的基本原理	124
三、试验方法	126
四、霍尔槽的用途	129
第七节 电镀液整平能力的测定	129
一、基本原理	129
二、假正弦波法	130
三、粗糙度仪法	132
四、电化学模拟法	133
第八节 电镀液极化曲线的测定	136
一、基本原理	136
二、恒电流法测极化曲线	139
三、恒电位法测极化曲线	141
第九节 电镀液微分电容曲线的测定	144
一、双电层微分电容及电解池的等效电路	144
二、交流电桥法测双电层微分电容	148
第三章 转化膜性能的测试技术	153
第一节 外观检验	153
一、铝及其合金(硫酸及铬酸)阳极氧化膜的外观检查	153
二、铝及其合金硬质阳极氧化膜的外观检查	153
三、铝及其合金铬酸化学氧化膜的外观检查	154
四、镁及其合金氧化膜的外观检查	154
五、黑色金属氧化膜的外观检查	154
六、黑色金属磷化膜的外观检查	155
七、铜及其合金氧化膜的外观检查	155
八、铜零件钝化膜的外观检查	155
第二节 厚度测量	156

一、电压击穿法	156
二、质量法	156
第三节 耐蚀性试验	156
一、黑色金属化学保护层的点滴试验	157
二、黑色金属化学保护层的浸渍试验	157
三、铝和铝合金与镁合金化学保护层的点滴试验	157
第四节 耐磨性试验	158
一、钢铁氧化膜的耐磨性试验	158
二、有色金属氧化膜的耐磨试验	158
第四章 现代电化学分析仪器及表面分析技术在镀层、镀液性能研究	
方面的应用	160
第一节 现代电化学分析仪器在镀层、镀液性能研究方面的应用	160
一、概述	160
二、线性扫描法	160
三、塔菲尔曲线的测量	161
四、交流阻抗的测量	162
五、循环伏安曲线的测量	162
六、石英电子天平	163
第二节 代表表面分析技术在镀层性能研究方面的应用	164
一、概述	164
二、电子显微镜	165
三、电子探针和离子探针微区分析	167
四、X射线光电子能谱分析	171
五、俄歇电子能谱分析	174
六、二次离子质谱分析	176
七、X射线衍射分析	181
附录	183
I 电镀标准目录	183
II 镀层的硬度	203
III 某些元素的理论析出量	204
IV 某些元素的密度	206
参考文献	207

第一章 电镀层性能的测试技术

第一节 电镀层外观检验

一、表面质量

镀层（包括电镀层、化学镀层、转化膜）的外观检查，是镀层质量检验最常用、最基本的方法。外观不合格的镀层就不必要进行其它项目的检测。

检查镀层外观的方法，是在天然散射光或无反射光的白色透明光线下用目力直接观察。光的照度应不低于 300 lx（即相当于零件放在 40 W 日光灯下距离 500 mm 处的光照度）。检查的内容，包括镀层种类的鉴别、镀层的宏观结合力、镀层的颜色、光亮度、均匀性以及镀层缺陷等。

（一）镀层的质量要求

① 镀层的种类应符合技术要求。普通镀层的颜色和光泽等外观质量情况，可直观鉴别。必要时，可采取化学定性分析。对特殊的或合金镀层，需要进行光谱分析鉴别。

② 镀层除应有其特有的颜色和光泽外，还应具有均匀、细致、结合力好的基本特点。光亮镀层应有足够的光泽度。

③ 镀层不允许有针孔、条纹、起泡、起皮、结瘤、脱落、开裂、剥离、斑点、麻点、烧焦、暗影、粗糙、树脂状和海绵状沉积、不正常色泽以及应当镀覆而没有镀覆等缺陷。有上述缺陷的镀层，应及时进行返修处理。包括需要退除不合格镀层而重新电镀和不需要去掉镀层而补充加工的（如重新抛光）。

④ 轻微的挂具接触印和水迹印及其它一些不影响镀层使用性能的镀层缺陷允许存在。

(二) 镀层的废品

① 过腐蚀的镀件。

② 有机械损坏的镀件。

③ 具有大量的孔隙，而且要用机械方法破坏其尺寸才能消除孔隙的铸件，焊接件或钎焊件。

④ 由于发生短路过热而被烧坏的零件。

⑤ 不容许去掉不合格镀层的零件。

(三) 常用几种镀层的外观要求

常用几种镀层的外观要求见表 1-1。

表 1-1 电镀层外观质量要求

镀层	外观要求	允许的缺陷	不允许的缺陷
镀锌及镀铜	<p>1. 表面未钝化的锌, 镀层应是银白色或银灰色, 未钝化的铜镀层应是银白色或银灰色</p> <p>钝化的锌, 铜镀层应具有带绿色或是彩虹色或呈金黄色</p> <p>镀前喷砂的零件, 膜层允许为黄色或彩虹色。经油槽除氢的钝化膜, 允许无光泽</p> <p>2. 镀层应细致均匀</p>	<p>1. 轻微的水印、形状复杂零件的棱边有轻微的粗糙</p> <p>2. 同一零件上允许有不均匀的颜色和光泽</p> <p>3. 钝化膜有轻微的划伤, 焊接镀层发暗</p> <p>4. 局部镀的零件部分与不镀的交界处允许有轻微的黑印</p>	<p>1. 粗糙、烧焦、斑点、黑点、气泡和脱落</p> <p>2. 树枝状、海绵状和条纹状的镀层</p> <p>3. 局部无镀层(工艺规定处除外)</p> <p>4. 可擦去的或呈棕色、褐色的钝化膜</p> <p>5. 未洗净的盐类痕迹</p>
镀银	<p>1. 银镀层应是银白色, 经抛光的银镀层应是光亮的、镜面般的银白色。经钝化的银镀层, 为稍带浅黄色调的银白色</p> <p>2. 镀层应细致均匀</p>	<p>1. 同一零件上稍有轻微不均匀的颜色和黄色光泽</p> <p>2. 形状复杂零件的棱边有轻微的粗糙</p>	<p>1. 树枝状、海绵状、条纹状的镀层</p> <p>2. 粗糙、黑点、斑点、烧焦、气泡、起皮和脱落的镀层</p> <p>3. 零件腐蚀和未洗净的盐类痕迹</p>
镀锡	<p>1. 锡层应是银灰色至浅灰色</p> <p>2. 镀层应细致均匀</p>	<p>1. 零件的焊缝处允许镀层发暗</p> <p>2. 同一零件的颜色稍有不均匀</p> <p>3. 轻微水印</p> <p>4. 形状复杂的零件的棱边有轻微的粗糙</p>	<p>1. 树枝状、海绵状、条纹状的镀层</p> <p>2. 黑点、斑点、粗糙、烧焦、气泡、起皮等缺陷</p> <p>3. 未洗净的盐类痕迹</p> <p>4. 镀层呈褐色或暗灰色</p>

续表

镀层	外观要求	允许的缺陷	不允许的缺陷
镀铬	<ol style="list-style-type: none"> 1. 铬层应具有光泽至带白或蓝色彩的光泽颜色(硬铬层应是稍带白色或浅蓝色的银白色,装饰镀铬层应是光亮的镜面般的银白色并稍带浅蓝色) 2. 镀层应细致均匀 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 非主要表面允许有轻微的夹具印 2. 形状复杂的零件的棱边有轻微的粗糙 3. 同一零件上有不均匀的颜色和光泽(装饰性镀铬不允许有上述缺陷) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 粗糙、毛刺、烧焦、裂纹、膨胀、起皮、脱落和树枝状镀层 2. 主要表面不应有无铬、露底
黑铬	较均匀的无光黑色	<ol style="list-style-type: none"> 1. 轻微水迹浮灰和夹具印 2. 由于零件的表面状态和复杂程度的差别,允许黑度稍不均匀,深凹处或遮蔽部分无镀层或镀层发黄 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 粗糙、疏松、脱落 2. 局部无镀层(盲孔、通孔深处及工艺文件规定处除外)
镀锌	<ol style="list-style-type: none"> 1. 镀锌层颜色为稍带淡黄色的银白色,光亮镀锌应是非常光泽的银白色 2. 镀层应细致均匀 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 颜色稍微不均匀 2. 同一零件上有不均匀的光泽 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 树枝状、海绵状、条纹状及黑点、斑点、粗糙、烧黑、气泡和起皮 2. 灰色、褐色、绿色和黑色斑点 3. 未洗净的盐类痕迹
化学镀锌	<ol style="list-style-type: none"> 1. 化学镀锌层的颜色应是光泽的银白色,除氢后呈浅黄色调的半光泽 2. 镀层应细致均匀 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 同一零件有不均匀的光泽 2. 轻微的水印 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 树枝状、海绵状、条纹状的镀层 2. 斑点、黑点、气泡、起皮、暗色和镀层脱落 3. 未洗净的盐类痕迹
镀铜 ^①	<ol style="list-style-type: none"> 1. 铜镀层颜色为紫色或玫瑰色 2. 铜镀层应细致均匀 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 稍有不均匀的颜色 2. 形状复杂的零件的有棱边有轻微粗糙(用于装饰性多层电镀打底的铜层除外) 3. 局部镀的零件界面允许移动 1 mm 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 树枝状、海绵状、条纹状、黑点、斑点、脱落、气泡、烧焦和粗糙等缺陷 2. 未洗净的盐类痕迹
镀黄铜	<ol style="list-style-type: none"> 1. 黄铜镀层的颜色为浅黄色或浅粉黄色 2. 镀层应细致均匀 	同一零件上稍有不均匀的颜色	<ol style="list-style-type: none"> 1. 条纹状、海绵状的镀层 2. 粗糙、烧焦、气泡和脱落 3. 红色、白色及棕色的镀层 4. 未洗净的盐类痕迹

续表

镀层	外观要求	允许的缺陷	不允许的缺陷
锡合金	<ol style="list-style-type: none"> 1. 锡合金镀层为灰白色至浅暗灰色 2. 镀层应细致均匀 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 同一零件上的镀层颜色稍有不均匀 2. 形状复杂的零件的棱边有轻微的粗糙 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 树枝状、海绵状、条纹状的镀层 2. 烧焦、发黑、气泡和脱落 3. 未洗净的盐类痕迹
镀黑镍 ^②	<ol style="list-style-type: none"> 1. 镀层应为黑色 2. 镀层应细致均匀 	同一零件上有轻微不均匀的颜色	<ol style="list-style-type: none"> 1. 镀层粗糙、起皮和脱落 2. 机械损伤 3. 未洗净的盐类痕迹
镀金	<ol style="list-style-type: none"> 1. 金镀层的颜色为金黄色 2. 镀层应细致均匀 	同一零件上有很轻微的不均匀颜色和光泽	<ol style="list-style-type: none"> 1. 粗糙、发暗、棕色的镀层 2. 未洗净的盐类痕迹

① 渗碳零件镀层不允许有气孔（一般零件不应超过 2 孔/cm²）。

② 镀黑镍不作厚度检查。

二、表面粗糙度的测定

电镀层表面粗糙度（旧标准称光洁度）是指镀层表面具有较小间距和微观峰谷不平度的微观几何特性。

镀层表面粗糙度的高低，不仅直接影响镀层的外观质量，同时也间接影响到镀层的耐腐蚀性，使用寿命乃至受镀产品的强度、耐磨性以及工件精度，动力消耗和噪声等。所以，在电镀层外观检验时，不仅对于装饰性镀层和防护-装饰性镀层必须检验外，某些功能性镀层，如耐磨镀层等更应进行表面粗糙度检验。

就镀层的外观质量来说，粗糙度和光亮度均能直接反映，即镀层的粗糙度愈低，光亮度愈高，镀层的质量一般就愈好。但是，无论从两者的本质或是评定方法和标准来看，都不具有同一性，有些镀层的光亮度很好，但粗糙度并不低，而有些镀层的光亮度差，但它的粗糙度却很低。所以，镀层的粗糙度和光亮度两项指标，不能混同，应予以严格区分。

（一）镀层表面粗糙度概述

电镀层（镀件）表面粗糙度是制镀件在机械加工，镀前研磨处