

材料 表面技术及其应用手册

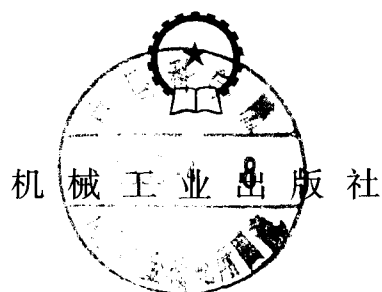
钱苗根 主编



机械工业出版社

材料表面技术及其应用手册

钱苗根 主编



本手册是一部实用性工具书，全书共 8 篇 55 章。本书系统地介绍了各类表面技术的特点、适用范围、技术路线及相关技术、典型设备和工艺、原料、检验和发展趋势等，包括电镀、化学镀、涂敷、表面改性、气相沉积等；本书所涉及的基体材料，除金属材料外，还有玻璃、陶瓷等无机非金属材料、塑料等有机高分子材料以及复合材料等；表面技术的应用方面介绍了耐蚀防腐、耐磨、修复、强化、装饰以及光、电、磁、声、热、化学和特殊机械功能等领域。本手册可供机械、冶金、化学、电子、建筑、宇航、船舶、兵器、能源、轻工、仪表、医疗等行业中从事研究、设计、制造等工作的人员阅读，也可供技术、管理人员及大专院校有关专业师生参考。

DNBS/2201

图书在版编目(CIP)数据

材料表面技术及其应用手册/钱苗根主编. —北京：机械工业出版社，1998.10
ISBN 7-111-06478-X

I. 材… II. 钱… III. ①金属表面保护-表面精整-手册
②非金属材料-表面精整-手册 IV. TG17-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 12831 号

出 版 人：马九荣(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑：张蔼玲 版式设计：冉晓华 责任校对：韩 晶

封面设计：方 芬 责任印制：路 琳

中国建筑工业出版社密云印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1998 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·62.5 印张·2 插页·2110 千字

0 001—4000 册

定价：108.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本手册编撰专家名单

- | | | | | | |
|--------|-----|------------------|--------|-----|--------------------|
| 第 1 章 | 钱苗根 | (上海交通大学) | 第 30 章 | 方博武 | (中国纺织大学) |
| 第 2 章 | 黄永昌 | (上海交通大学) | 第 31 章 | 方博武 | (中国纺织大学) |
| 第 3 章 | 黄永昌 | (上海交通大学) | 第 32 章 | 薄鑫涛 | (上海热处理厂) |
| 第 4 章 | 黄永昌 | (上海交通大学) | 第 33 章 | 薄鑫涛 | (上海热处理厂) |
| 第 5 章 | 袁明生 | [宝山钢铁(集团)公司] | 第 34 章 | 薄鑫涛 | (上海热处理厂) |
| 第 6 章 | 袁明生 | [宝山钢铁(集团)公司] | 第 35 章 | 苏宝蓉 | (中国科学院上海光学精密机械研究所) |
| 第 7 章 | 吴以南 | (上海市轻工业研究所) | 第 36 章 | 苏宝蓉 | (中国科学院上海光学精密机械研究所) |
| 第 8 章 | 吴以南 | (上海市轻工业研究所) | 第 37 章 | 陈酉善 | 柳襄怀 (中国科学院上海冶金研究所) |
| 第 9 章 | 吴以南 | (上海市轻工业研究所) | 第 38 章 | 姜祥祺 | (复旦大学) |
| 第 10 章 | 陈春成 | (上海航天局 802 研究所) | 第 39 章 | 姜祥祺 | (复旦大学) |
| 第 11 章 | 吴以南 | (上海市轻工业研究所) | 第 40 章 | 杨锡良 | 章壮健 (复旦大学) |
| 第 12 章 | 陈春成 | (上海航天局 802 研究所) | 第 41 章 | 王季陶 | 张卫 (复旦大学) |
| 第 13 章 | 陈春成 | (上海航天局 802 研究所) | 第 42 章 | 邹斯洵 | 王季陶 (复旦大学) |
| 第 14 章 | 陈春成 | (上海航天局 802 研究所) | 第 43 章 | 彭瑞伍 | (中国科学院上海冶金研究所) |
| 第 15 章 | 陈春成 | (上海航天局 802 研究所) | 第 44 章 | 苏宝蓉 | (中国科学院上海光学精密机械研究所) |
| 第 16 章 | 吴以南 | (上海市轻工业研究所) | 第 45 章 | 李爱珍 | (中国科学院上海冶金研究所) |
| 第 17 章 | 施锦成 | (中国轻工业上海设计院) | 第 46 章 | 陈酉善 | 柳襄怀 (中国科学院上海冶金研究所) |
| 第 18 章 | 施锦成 | (中国轻工业上海设计院) | 第 47 章 | 王承遇 | 陶瑛 (大连轻工业学院) |
| 第 19 章 | 赵金榜 | (上海市涂料研究所) | 第 48 章 | 王承遇 | 陶瑛 (大连轻工业学院) |
| 第 20 章 | 贺飞峰 | 张在新 (上海市合成树脂研究所) | 第 49 章 | 王承遇 | 陶瑛 (大连轻工业学院) |
| 第 21 章 | 姚寿山 | (上海交通大学) | 第 50 章 | 王承遇 | 陶瑛 (大连轻工业学院) |
| | 刘妙涛 | (上海市钢铁工艺技术研究所) | 第 51 章 | 王承遇 | 陶瑛 (大连轻工业学院) |
| 第 22 章 | 朱绍华 | (装甲兵工程学院) | 第 52 章 | 沈利群 | (上海工程技术大学) |
| 第 23 章 | 姚寿山 | (上海交通大学) | 第 53 章 | 顾迅 | (上海交通大学) |
| | 刘妙涛 | (上海市钢铁工艺技术研究所) | 第 54 章 | 顾迅 | (上海交通大学) |
| 第 24 章 | 姚寿山 | (上海交通大学) | 第 55 章 | 顾迅 | 李克 乐杨 (上海交通大学) |
| 第 25 章 | 袁明生 | 闫兆旺 [宝山钢铁(集团)公司] | | | |
| 第 26 章 | 李云鹏 | (中国科学院上海硅酸盐研究所) | | | |
| 第 27 章 | 李云鹏 | (中国科学院上海硅酸盐研究所) | | | |
| 第 28 章 | 马世宁 | 时小军 (装甲兵工程学院) | | | |
| 第 29 章 | 施锦成 | (中国轻工业上海设计院) | | | |

本书涉及的有关物理化学的量与单位符号

量的名称	符号	定 义	备 注	单位符号
相对原子质量	A_r	元素的平均原子质量与核素 ^{12}C 原子质量的 $1/12$ 之比	例: $A_r(\text{Cl}) = 35.453$ 以前称为原子量	1
相对分子质量	M_r	物质的分子或特定单元的平均质量与核素 ^{12}C 原子质量的 $1/12$ 之比	以前称为分子量	
物质的量	$n, (\nu)$		物质的量为基本量之一 注: 在使用摩尔(mol)时, 基本单元应予指明, 可以是原子、分子、离子、电子及其它粒子, 或是这些粒子的特定组合	mol
密度	ρ	质量除以体积		kg/m^3
B 的质量浓度	$\rho_B, \rho(B)$	B 的质量除以混合物的体积		kg/L
B 的质量分数	$w_B, w(B)$	B 的质量与混合物的质量之比		1 通常用百分数表示
B 的浓度 B 的物质的量浓度	$C_B, C(B)$	B 的物质的量除以混合物的体积	在化学中有时也可表示为 $[\text{B}]$	mol/m^3 mol/L
B 的摩尔分数	$x_B, x(B)$ $y_B, y(B)$	B 的物质的量与混合物的物质的量之比	换名称为物质的量分数	1
溶质 B 的摩尔比	$r_B, r(B)$	溶质 B 的物质的量与溶剂的物质的量之比	替换名称为物质的量比	通常用百分数表示
B 的体积分数	$\varphi_B, \varphi(B)$	对于混合物, $\rho_B = x_B V_{m,B}^* / (\sum_A x_B V_{m,A}^*)$ $V_{m,A}^*$ 是纯物质 A 在相同温度、压力下的摩尔体积, Σ 代表在全部物质范围求和		1 通常用百分数表示
溶质 B 的质量摩尔浓度	$b_B, b(B)$	溶液中溶质 B 的物质的量除以溶剂的质量		mol/kg

前言

表面技术是一门广博精深和具有极高实用价值的基础技术,也是一门新兴的边缘性学科。人们研究、开发和使用表面技术已有很长的历史。自本世纪 60 年代以来,表面技术的发展异常迅速,人们对传统表面技术进行一系列改进、复合和创新,涌现了大量的现代表面技术,在冶金、机械、电子、建筑、宇航、船舶、兵器、能源、化学、轻工、仪表等各个工业部门乃至农业、生物、医药和人们日常生活中有着广泛的应用,而且起着越来越重要的作用。世界上许多国家,特别是经济发达国家,都把表面技术列入重点发展的科学技术。因此,编撰一部内容新颖、实用、覆盖面宽的表面技术及其应用手册,对于我国经济建设和科学技术发展,具有重要意义。

本手册是一部实用性的工具书。本书系统地介绍了各类表面技术的特点、适用范围、技术路线、相关技术、典型设备和工艺、原料、检验和发展趋势等,在内容选择上突出“新颖、实用、涉及面宽”等特点,同时对有关的基本概念和机理,特别是新涌现出来的名词术语和有关涵义,结合具体技术作简明扼要的阐述。表面技术的应用有耐蚀、耐磨、修复、强化、装饰等,也有光、电、磁、声、热、化学和特殊机械功能等方面的应用。表面技术所涉及的基体材料,不仅是金属材料,也包括无机非金属材料、有机高分子材料以及复合材料等固态材料。本手册可供机械、冶金、化学、电子、建筑、宇航、船舶、兵器、能源、轻工、仪表等各个部门从事研究、设计、制造等工作的人员阅读,也可供技术、经济管理人员以及大专院校师生参考。

本手册是机械工业出版社重点规划出版的一部专业性手册,我受委托从 1995 年 10 月开始筹备,先后邀请了 30 多位国内长期从事表面技术工作、具有丰富经验和知识渊博的专家学者共同编撰。他们在繁忙的工作中,挤出时间,把自己辛勤劳动积累下来的知识、经验和先进成果写入本书。在编撰过程中,编著者参阅和引录了大量文献资料,一些主要的资料来源列在各章末的“参考文献”中,并多承姜英涛、邹至荣、唐宗甲、胡明娟等专家学者对本手册的有关章节作了不厌其烦的审阅并提出了宝贵的意见。还有一些同志为本书的编撰和出版作出了重要的、默默的贡献。在此,一并向他们表示衷心的感谢。

在大千世界中,“表面”比比皆是,无处不有,与种种表面现象或过程有关的表面技术是一个非常宽广的领域,今后必有更大的发展。本手册限于篇幅和时间,未能把某些重要的表面技术,如表面吸附、表面催化、膜技术、陶瓷和聚合物的某些表面改性技术以及光刻、电子束、激光束、离子束、超声波、电火花、电解、包覆等表面加工技术包括进来。在应用指南方面,仅涉及结构材料和机械零部件、光学器件和材料、光电子器件和材料、微电子器件和材料,而未能包括声、磁、热、量子、化学、生物、医药等领域。本手册存在一些问题或不妥之处,希望专家学者和广大读者批评指正,帮助我们改进提高。

钱苗根

1998 年春节于上海

目 录

本手册编撰专家名单

本书涉及的有关物理化学的量与单位符号

前言

第 1 章 概论	1
1 固体材料及其表面	1
1.1 固体材料	1
1.2 固体材料的表面	1
1.3 表面分析	5

1.4 表面科学	10
2 表面技术及检测	11
2.1 表面技术	11
2.2 表面检测	17
3 表面技术的应用	22
3.1 表面技术应用的广泛性和重要性	22
3.2 表面技术的应用概况	23
参考文献	29

第 1 篇 腐蚀与防护

第 2 章 金属腐蚀原理与腐蚀形态	31
1 腐蚀电池	31
1.1 异金属电池	31
1.2 浓差电池	33
2 影响腐蚀速度的因素	34
2.1 腐蚀速度的表示方法	34
2.2 冶金因素的影响	34
2.3 环境因素的影响	35
2.4 力学因素的影响	36
3 腐蚀的主要形态及金属的防护	36
3.1 均匀腐蚀及防护	36
3.2 点蚀及防护	37
3.3 缝隙腐蚀及防护	39
3.4 晶间腐蚀及控制	40
3.5 应力腐蚀开裂及控制	42
3.6 腐蚀疲劳及防止	44
3.7 磨损腐蚀及防止	46
参考文献	47

第 3 章 缓蚀剂保护	48
1 缓蚀剂保护原理	48
1.1 缓蚀剂的定义、发展历史与特点	48
1.2 缓蚀效率	48
1.3 缓蚀剂的作用特征及其分类	48
2 水溶性缓蚀剂及防锈水	49
2.1 国内外常用的水溶性缓蚀剂	49
2.2 防锈水	50

3 油溶性缓蚀剂及防锈油脂	51
3.1 油溶性缓蚀剂分类	52
3.2 常用的油溶性缓蚀剂	53
3.3 防锈油脂	54
4 工业冷却水系统缓蚀剂	60
4.1 工业冷却水系统与冷却水缓蚀剂	60
4.2 工业冷却水系统缓蚀剂简介	61
5 酸洗与酸化缓蚀剂	62
5.1 酸洗缓蚀剂	62
5.2 石油油(气)井酸化缓蚀剂	63
参考文献	63

第 4 章 电化学保护	65
1 电化学保护原理	65
1.1 阴极保护原理	65
1.2 阳极保护原理	67
2 阴极保护技术与应用	69
2.1 牺牲阳极阴极保护	69
2.2 外加电流阴极保护	78
2.3 阴极保护系统的测量与监控	84
2.4 阴极保护的应用	85
3 阳极保护技术与应用	89
3.1 阳极保护系统	89
3.2 阳极保护系统的设计、安装、操作及维护	89
3.3 阳极保护的应用	90
参考文献	91

第 2 篇 金属的清洗

第 5 章 金属的脱脂和清洗	92
1 金属表面油污的种类	92
2 金属的溶剂清洗	93
2.1 溶剂冷清洗	93
2.2 溶剂的蒸气清洗	94
2.3 溶剂的回收	96
2.4 溶剂清洗的安全操作	96
3 乳化液清洗	96
3.1 乳化清洗液的组成和分类	97
3.2 乳化清洗的应用	97
3.3 乳化清洗工艺	97
3.4 乳化清洗的安全操作	98
4 碱清洗	98
4.1 碱清洗的机理	98
4.2 碱清洗液的组成	98
4.3 碱清洗的操作方法	99

4.4 碱清洗的工艺条件	99
5 电解清洗	100
5.1 电解清洗的机理	100
5.2 电解清洗剂的组成	101
5.3 清洁程度的测定	101
5.4 电解清洗的安全操作	102

参考文献	102
------------	-----

第 6 章 金属的除锈和酸洗

1 喷射磨料除锈	103
1.1 喷射磨料除锈工艺	103
1.2 钢材表面除锈等级	104
2 酸洗	104
2.1 钢铁材料的酸洗	104
2.2 有色金属的酸洗	115

参考文献	118
------------	-----

第 3 篇 电镀和化学镀

第 7 章 普通电镀	119
1 镀铜	119
1.1 用途、分类及不同类型镀铜溶液 的比较	119
1.2 氰化镀铜	120
1.3 酸性镀铜	121
1.4 焦磷酸盐镀铜	123
2 镀镍	125
2.1 用途、分类及不同类型镀镍溶液 的比较	125
2.2 防护装饰性镀镍	126
2.3 功能性镀镍	128
2.4 镀镍的质量控制	129
3 镀铬	131
3.1 用途、分类及不同类型镀铬溶液 的比较	131
3.2 六价铬镀铬	132
3.3 六价铬镀液的维护和工艺上 的注意点	135
3.4 特殊的镀铬工艺	137
4 镀锌	139
4.1 用途、分类及不同类型镀锌工艺 的比较	139
4.2 各类镀锌工艺	139

4.3 各类镀锌溶液中杂质的影响与 去除方法	142
---------------------------------	-----

4.4 镀锌层的钝化	144
------------------	-----

5 镀锡	144
------------	-----

5.1 锡镀层的性能及用途	144
---------------------	-----

5.2 各类镀锡工艺	144
------------------	-----

6 镀锡	145
------------	-----

6.1 用途、分类及不同类型镀锡溶液 的比较	145
---------------------------------	-----

6.2 硫酸盐镀锡	145
-----------------	-----

6.3 氟硼酸盐镀锡	146
------------------	-----

6.4 碱性镀锡	147
----------------	-----

7 镀铅	148
------------	-----

7.1 铅的性质与用途	148
-------------------	-----

7.2 镀铅工艺	148
----------------	-----

8 镀铁	148
------------	-----

8.1 镀铁的用途及分类	148
--------------------	-----

8.2 各类镀铁工艺	148
------------------	-----

参考文献	149
------------	-----

第 8 章 合金电镀

1 合金镀层的分类及应用	150
--------------------	-----

2 镀铜合金	150
--------------	-----

2.1 镀铜锌合金与仿金	150
--------------------	-----

2.2 镀铜锡合金	152	2.2 热扩散法	180
3 镀锡合金	153	3 印刷电路板电镀	181
3.1 镀锡铅合金	153	3.1 印刷电路板的孔金属化	181
3.2 镀锡镍合金	154	3.2 印刷电路板电镀铜工艺	183
3.3 镀锡钴合金	155	3.3 印刷电路板电镀锡铅合金工艺	184
4 镀锌合金	156	3.4 印刷电路板插头镀硬金工艺	184
4.1 镀锌镍合金	156	4 铝及铝合金电镀	184
4.2 镀锌钴合金	157	4.1 铝及铝合金电镀前特殊预处理	184
4.3 镀锌铁合金	157	4.2 铝合金一步法电镀	186
4.4 镀锡锌合金	158	5 钛和钛合金电镀	187
5 镀镍合金	158	5.1 钛和钛合金电镀前特殊预处理	187
5.1 镀镍铁合金	158	5.2 钛和钛合金电镀后热处理	187
5.2 镀镍钴合金	159	6 不锈钢电镀	187
参考文献	159	6.1 不锈钢镀前化学浸蚀处理	188
第 9 章 贵金属及其合金电镀	160	6.2 不锈钢镀前活化处理	188
1 镀金和金合金	160	6.3 不锈钢镀前活化预镀一步法	189
1.1 碱性氰化物镀金	160	7 锌合金压铸件电镀	190
1.2 中性氰化物镀金	162	7.1 锌合金压铸件电镀工艺过程	190
1.3 酸性氰化物镀金	162	7.2 锌合金压铸件镀前脱脂、浸蚀工艺	190
1.4 亚硫酸盐镀金	163	7.3 锌合金压铸件的活化和预镀工艺	190
2 镀银	164	8 铁基粉末冶金件电镀	192
2.1 氰化镀银工艺	164	8.1 铁基粉末冶金件电镀工艺过程	192
2.2 高速选择性镀银	165	8.2 铁基粉末冶金件电镀前预处理	192
2.3 镀银后处理	166	8.3 铁基粉末冶金件电镀和镀后处理	192
3 镀钯和钯镍合金	166	参考文献	192
3.1 电镀钯和钯镍合金工艺	166	第 11 章 电刷镀	193
3.2 钯和钯镍合金镀液中各成分的作用及工艺条件的控制	168	1 概述	193
4 镀铂	168	2 刷镀设备	193
5 镀铑	168	2.1 电源	193
5.1 镀铑工艺	169	2.2 刷镀工具	193
5.2 镀铑溶液的控制与维护	169	2.3 辅助设备	194
6 镀钌	170	3 刷镀溶液	194
7 镀钢	170	4 刷镀的工艺流程	195
7.1 钢镀层的特点	170	5 刷镀层的性能	196
7.2 镀钢工艺	170	6 刷镀的有关参数及计算方法	196
参考文献	171	参考文献	196
第 10 章 特殊基材上电镀	172	第 12 章 化学镀	197
1 塑料电镀	172	1 化学镀镍	197
1.1 塑料电镀前预处理工艺	173	1.1 化学镀镍层的用途、组成和特性	197
1.2 塑料的化学镀和电镀工艺	179	1.2 化学镀镍溶液的类型及特点	198
2 玻璃和陶瓷电镀	180		
2.1 化学镀法	180		

1.3 化学镀镍磷合金工艺	199	2.4 不锈钢的彩色化学氧化(着色)	216
1.4 其它类型化学镀镍工艺	201	2.5 不锈钢彩色化学氧化的后处理 工艺	217
1.5 不同金属基体材料上的化 学镀镍	202	3 铝及铝合金的化学氧化	217
1.6 化学镀镍层的热处理	203	3.1 碱性铬酸盐氧化	217
1.7 不合格化学镀镍层的退除	203	3.2 酸性铬酸盐氧化	217
2 复合化学镀镍	203	3.3 阿洛丁(Alodine)氧化	218
2.1 复合化学镀镍工艺	203	4 镁合金的化学氧化	219
2.2 复合化学镀镍溶液的控制和 维护	204	4.1 镁合金化学氧化溶液的配方 及工艺	219
3 化学镀铜	204	4.2 镁合金化学氧化溶液的维护、调整 及适用性	220
3.1 单络合剂的化学镀铜工艺	205	5 铜和铜合金的化学氧化	220
3.2 双络合剂的化学镀铜工艺	205	5.1 铜和铜合金的化学氧化溶液的配方 及工艺	220
3.3 化学镀铜溶液的配制、使用和 维护	206	5.2 铜和铜合金的化学钝化处理	221
4 化学镀银	206	5.3 铜和铜合金的化学着色工艺	221
4.1 化学镀银工艺	206	6 钢铁磷化	222
4.2 化学镀银溶液的配制程序和 维护	207	6.1 磷化膜的组成、性质及用途	222
5 化学镀金	208	6.2 磷化处理施工方法	223
5.1 置换法化学镀金工艺	208	6.3 磷化溶液的组成及工艺条件	224
5.2 还原法化学镀金工艺	208	6.4 磷化液的维护和工艺控制	225
6 化学镀钯及钯合金	209	6.5 磷化后处理工艺	226
6.1 以肼或次磷酸钠为还原剂的化学镀 钯工艺	209	参考文献	226
6.2 以次磷酸钠为还原剂的化学镀 Pd —Ni 合金工艺	209	第 14 章 铝和铝合金的阳极氧化	227
6.3 以次磷酸钠为还原剂的化学镀 Pd —Co 合金工艺	209	1 铝和铝合金阳极氧化膜性质和 用途	227
7 化学镀钴	210	1.1 铝和铝合金阳极氧化膜的性质	227
7.1 以次磷酸钠为还原剂的化学镀 钴工艺	210	1.2 铝和铝合金阳极氧化膜的用途	228
7.2 以硼化物为还原剂的化学镀钴 工艺	210	2 铝和铝合金的阳极氧化	229
8 化学镀锡和锡铅合金	211	2.1 硫酸阳极氧化	229
参考文献	211	2.2 铬酸阳极氧化	232
第 13 章 金属的化学氧化和磷化	212	2.3 草酸阳极氧化	233
1 钢铁的化学氧化	212	3 铝和铝合金的特种阳极氧化	235
1.1 碱性化学氧化(发蓝)	212	3.1 硬质阳极氧化	235
1.2 酸性化学氧化(常温发黑)	213	3.2 瓷质阳极氧化	237
2 不锈钢的化学氧化	215	3.3 磷酸阳极氧化	238
2.1 不锈钢化学氧化的预处理工艺	215	4 铝和铝合金阳极氧化后的着色	238
2.2 不锈钢的钝化	216	4.1 化学染色	238
2.3 不锈钢黑色氧化	216	4.2 电解着色	240
		5 铝和铝合金阳极氧化后的封闭 处理	245
		5.1 热水、蒸汽封闭法	245

5.2 重铬酸盐封闭法	246	2.2 镀层的附着强度测试方法 (GB 5270)	265
5.3 水解盐封闭法	246	2.3 硬度测试方法(GB 9790)	265
5.4 常温封闭法	246	2.4 镀层耐蚀性的测定	268
6 铝和铝合金不合格阳极氧化膜 的退除	247	第 17 章 电镀设备	274
参考文献	247	1 电镀生产的主要设备和基本 要求	274
第 15 章 电铸	248	2 电镀槽及其辅助装置	274
1 电铸的特征及电铸制品的应用	248	2.1 电镀槽的结构及其选用	274
1.1 电铸的优缺点	248	2.2 电镀槽的分类	277
1.2 电铸制品的应用	248	2.3 电镀槽材料的选择	278
2 电铸芯模材料及设计原则	248	3 电镀挂具	282
2.1 电铸芯模类型及材料的选择	248	3.1 挂具的形式和使用的材料	282
2.2 电铸芯模的设计原则	249	3.2 挂具材料的截面积计算	282
3 电铸芯模的预处理	249	3.3 挂具的使用要求	283
3.1 金属芯模的预处理方法	249	3.4 挂具的绝缘	283
3.2 非金属芯模的预处理方法	249	4 电镀电源	283
4 电铸镍	250	4.1 直流发电机组	283
4.1 瓦特型电铸镍工艺	250	4.2 晶闸管整流器	283
4.2 氨基磺酸盐电铸镍工艺	251	4.3 特殊波形装置	285
4.3 高速电铸镍工艺	252	4.4 直流配电装置和汇流排	286
5 电铸铜	252	4.5 直流供电方式及线路	289
5.1 硫酸盐电铸铜工艺	252	4.6 电镀槽工作电压和电流的调节	290
5.2 氟硼酸盐电铸铜工艺	253	4.7 交流电源	292
6 电铸铁	253	5 半自动和全自动电镀装置	294
7 电铸镍钴合金	254	5.1 滚镀设备	294
8 电铸时间、阴极电流密度与电铸镀 层厚度的关系	254	5.2 直线式电镀自动线	296
9 电铸后处理	254	5.3 环形电镀自动线	297
9.1 电铸后脱模	254	5.4 线材和带材电镀自动线	298
9.2 电铸件的加固	254	6 过滤设备	299
9.3 电铸件的修饰	255	7 通风设备	299
参考文献	255	7.1 抛磨光机的通风设备	299
第 16 章 电镀液和电镀层的性能测定 ...	256	7.2 电镀槽的通风设备	301
1 电镀液性能的测定	256	参考文献	302
1.1 pH 的测定	256	第 18 章 电镀的三废治理	303
1.2 赫尔槽试验	256	1 电镀三废治理的有关规定	303
1.3 电镀液整平性能的测定	258	1.1 电镀废水	303
1.4 电镀液分散能力的测定	258	1.2 电镀废气与粉尘	303
1.5 电镀液覆盖能力的测定	259	2 电镀废水治理的主要方法	304
1.6 阴极电流效率的测定	260	2.1 含六价铬的废水的处理	304
1.7 极化曲线的测量	261	2.2 含镍废水的处理	305
2 电镀层性能的测定	262	2.3 含氰废水的处理	306
2.1 镀层厚度的测定(GB 6463)	262	2.4 贵金属废水的处理	307

2.5 含铜废水的处理	307	3.2 铬酸废气的净化治理	309
2.6 含锌废水的处理	308	3.3 含氰废气的治理	310
2.7 酸碱废水的处理	308	3.4 氮氧化物废气的治理	310
2.8 沉淀物的去除	308	3.5 酸雾及氟化物废气的治理	311
3 电镀废气和粉尘治理的主要方法	309	3.6 粉尘的治理	311
3.1 常用的气体净化设备	309	4 重金属污泥的利用	312
		参考文献	313
第 4 篇 表面涂敷技术			
第 19 章 涂料和涂装	314	参考文献	351
1 涂料组成、功能、分类和发展趋势	314	第 21 章 堆焊	353
1.1 涂料的组成	314	1 堆焊材料的分类	353
1.2 涂料的功能	314	2 常用堆焊材料及堆焊工艺	353
1.3 涂料的分类	315	2.1 铁基堆焊材料及工艺	353
1.4 涂料的发展趋势	315	2.2 镍基堆焊材料及工艺	365
2 涂装技术	316	2.3 钴基堆焊材料及工艺	366
2.1 手工涂装	316	2.4 铜基堆焊材料及工艺	368
2.2 浸涂、淋涂涂装	318	2.5 碳化钨堆焊材料及工艺	370
2.3 非静电喷涂及应用	319	3 堆焊材料的选择	372
2.4 静电涂装	320	4 堆焊设备与方法的选择	374
2.5 电泳	320	4.1 堆焊设备	374
2.6 粉末涂装	322	4.2 堆焊方法的选择	374
2.7 辊涂	323	参考文献	376
2.8 干燥方法、涂层病态、施工安全与防护	323	第 22 章 熔结	377
3 各种底材用涂料和涂装技术	329	1 氧乙炔火焰粉末喷熔	377
3.1 金属用涂料和涂装技术	329	1.1 基本概念	377
3.2 木材用涂料和涂装技术	331	1.2 氧乙炔火焰粉末喷熔设备	378
3.3 塑料用涂料和涂装技术	332	1.3 喷熔用合金粉末	380
3.4 其它底材用涂料和涂装技术	332	1.4 氧乙炔火焰粉末喷熔工艺	383
4 典型工业产品使用的涂料及施工方案	333	1.5 喷熔层缺陷产生的原因及预防	385
5 几种典型的特种涂料	334	2 真空熔结	385
参考文献	336	2.1 基本概念	385
第 20 章 粘接	338	2.2 涂层合金材料	386
1 粘接基本原理	338	2.3 真空熔结合金涂层工艺	388
2 被粘材料的表面处理(预处理)	341	2.4 真空熔结的涂层特性、功能与应用	389
2.1 一般处理	341	参考文献	391
2.2 物理方法处理	341	第 23 章 热喷涂	392
2.3 化学方法处理	342	1 热喷涂原理	392
3 胶粘剂	344	1.1 喷涂涂层形成过程和涂层形成原理	392
4 胶粘剂在各行业中的应用	349	1.2 涂层结构	392
		1.3 涂层结合机理	392

1.4	涂层残余应力	392	4.1	电火花模具涂敷	428
2	热喷涂的种类和特点	392	4.2	电火花刀具涂敷	429
3	热喷涂前的预处理	393	4.3	电火花涂敷零部件	429
3.1	基体表面的清洗、脱脂	393	4.4	磨损表面电火花修复	430
3.2	基体表面氧化膜的处理	393	参考文献	430	
3.3	基体表面的粗化处理	394	第 25 章 热浸镀	431	
3.4	基体表面的预热处理	394	1 概述	431	
3.5	非喷涂表面的保护	394	1.1 金属镀层的种类	431	
4	热喷涂材料	395	1.2 热浸镀工艺	431	
4.1	热喷涂线材	395	1.3 热镀的发展	432	
4.2	热喷涂粉末	398	2 热镀锌	433	
5	热喷涂工艺及设备	406	2.1 锌对钢铁的保护作用	433	
5.1	氧乙炔火焰喷涂与喷熔	406	2.2 锌和铁之间的反应	433	
5.2	电弧线材喷涂	409	2.3 热镀锌生产工艺	436	
5.3	等离子弧喷涂	410	2.4 带钢热镀锌生产技术的发展	441	
5.4	爆炸喷涂	411	2.5 热镀锌钢板的应用	448	
5.5	其它热喷涂方法	412	3 热镀铝	450	
6	热喷涂涂层后处理和涂层性能 的检验	413	3.1 热镀铝镀层的形成	450	
6.1	热喷涂涂层后处理	413	3.2 影响铁铝合金层附着力的因素	450	
6.2	热喷涂涂层性能的检验项目	413	3.3 热镀铝工艺	451	
6.3	涂层与基体表面的结合强度 试验	413	3.4 镀铝钢板的性能和用途	452	
6.4	涂层自身粘结强度试验	414	4 热镀铅	452	
6.5	涂层孔隙率的测定	415	4.1 热镀铅镀层的形成	453	
6.6	涂层耐蚀性能试验	416	4.2 热镀铅钢板生产工艺	453	
参考文献	416	4.3 热镀铅-锡合金钢板产品	454		
参考文献	416	参考文献	455		
第 24 章 电火花涂敷	417	第 26 章 搪瓷涂敷	457		
1 电火花涂敷原理和特点	417	1 搪瓷的工艺和分类	457		
1.1 电火花涂敷工作原理	417	1.1 搪瓷工艺	457		
1.2 电火花涂敷过程的分析	417	1.2 搪瓷的分类	457		
1.3 电火花表面涂敷的特点	418	2 建筑搪瓷	458		
2 电火花涂敷工艺及应用范围	418	2.1 建筑用内外装饰钢板搪瓷墙 面板	458		
2.1 电火花涂敷应用范围	418	2.2 镀铝薄钢板搪瓷墙面板	459		
2.2 电火花涂敷工艺方法	418	3 医用搪瓷	460		
3 电火花涂敷层的特性	421	3.1 搪瓷牙冠	460		
3.1 电火花涂敷层的形貌	421	3.2 植入人体的搪瓷材料	462		
3.2 电火花涂敷层的金相组织	422	4 电子搪瓷基板	463		
3.3 电火花涂敷层的化学元素分布	422	4.1 电子搪瓷基板的制备工艺	463		
3.4 电火花涂敷层的结构	422	4.2 电子搪瓷基板的性能	463		
3.5 电火花涂敷层的厚度	422	4.3 电子搪瓷基板的应用	463		
3.6 电火花涂敷层的残余应力	425	5 红外辐射搪瓷	463		
3.7 电火花涂敷层的性能	425	5.1 红外辐射搪瓷的制备	463		
4 电火花涂敷应用实例	428				

3 喷丸介质	522	5.1 应力松弛法测定残余应力	557
3.1 喷丸过程	522	5.2 X 射线衍射法测定残余应力	559
3.2 铸铁弹丸	523	5.3 应力敏感性测残余应力	560
3.3 铸钢弹丸	523	参考文献	561
3.4 钢丝切割丸	524	第 32 章 钢的表面热处理	562
3.5 玻璃弹丸	524	1 感应加热表面热处理	562
3.6 其它喷丸介质	527	1.1 感应加热基本原理	562
3.7 弹丸的选用	528	1.2 感应加热淬火的特点及基本 技术要求	563
4 喷丸设备	529	1.3 中、高频感应加热表面淬火 工艺	566
4.1 叶轮式喷丸机	529	1.4 感应器	572
4.2 气动式喷丸机	530	1.5 感应加热淬火件的回火	574
4.3 其它喷丸设备	533	1.6 工频感应加热表面淬火	575
4.4 喷丸机辅助装置	533	1.7 超高频冲击淬火及大功率脉冲 感应淬火	575
5 受控喷丸基础	535	1.8 感应加热淬火件的质量检验	575
5.1 喷丸表层的形貌和组织结构	535	1.9 感应加热淬火件常见缺陷及 防止方法	577
5.2 受控喷丸对材料力学性能的 影响	539	2 火焰加热表面淬火	579
5.3 喷丸表层残余应力场	539	2.1 火焰加热的火焰特性	579
5.4 喷射特性对残余应力的影响	541	2.2 火焰加热的供气装置	580
参考文献	543	2.3 火焰加热表面淬火方法	580
第 31 章 机械零件的表层残余应力	544	2.4 火焰淬火喷嘴	581
1 残余应力	544	2.5 淬火工艺参数选择	581
1.1 残余应力的平衡条件	544	2.6 火焰淬火的质量检验	582
1.2 残余应力的性质	544	2.7 火焰淬火的安全技术要求	582
1.3 残余应力的极限	544	3 电解液淬火	583
1.4 残余应力的分类	544	4 接触电阻加热淬火	583
2 残余应力的形成	544	5 常见高、中频感应器的结构与实 际应用举例	584
2.1 不均匀塑性变形引起的残余 应力	544	参考文献	590
2.2 温度差异引起的残余应力	545	第 33 章 钢的化学热处理	591
2.3 金属的相变应力	548	1 钢的渗碳	591
2.4 化学成分差异引起的应力	549	1.1 渗碳用钢	591
3 残余应力对机械零件性能的 影响	550	1.2 渗碳质量的技术要求	592
3.1 残余应力对疲劳强度的影响	550	1.3 常用渗碳钢的预备热处理、非渗 碳表面的防渗	593
3.2 残余应力对应力腐蚀的影响	550	1.4 固体渗碳	594
3.3 残余应力对加工精度的影响	552	1.5 盐浴渗碳	596
3.4 残余应力对尺寸稳定性的影响	552	1.6 气体渗碳	598
4 合理调整残余应力的表面处理	553	1.7 其它渗碳方法	604
4.1 表面热处理	553	1.8 渗碳后的热处理	604
4.2 薄壳淬火	554	1.9 渗碳件的质量检验	604
4.3 应力淬火	555		
4.4 表面形变强化	555		
5 残余应力的测定	557		

1.10 渗碳常见缺陷及防止方法	605	2.1 离子渗氮理论	643
2 钢的渗氮	606	2.2 离子渗氮的主要特点	643
2.1 常用渗氮钢种、氮化物及合金元素的作用	606	2.3 离子渗氮设备	644
2.2 钢的气体渗氮	608	2.4 离子渗氮工艺及操作	645
2.3 其它渗氮方法	615	2.5 离子渗氮层的质量检验	650
2.4 渗氮件的质量检查	616	2.6 离子渗氮件的常见缺陷及对策	650
2.5 渗氮常见缺陷及防止措施	617	3 离子渗碳、离子碳氮共渗	651
3 钢的碳氮共渗	619	3.1 离子渗碳原理及优点	651
3.1 碳氮共渗件的技术条件	619	3.2 离子渗碳、离子碳氮共渗工艺及操作	651
3.2 气体碳氮共渗	619	4 离子氮碳共渗	652
3.3 液体碳氮共渗	621	5 离子渗硫、离子硫氮共渗和离子硫氮碳共渗	653
3.4 碳氮共渗用钢及共渗后的热处理	622	参考文献	655
3.5 碳氮共渗件的质量检验	623	第 35 章 激光表面改性	656
3.6 碳氮共渗件常见缺陷及防止措施	624	1 激光表面改性设备	656
4 钢的氮碳共渗	624	1.1 激光器	656
4.1 氮碳共渗分类、生成相及技术条件	624	1.2 导光聚焦系统及其元部件	660
4.2 气体氮碳共渗	626	2 激光表面改性工艺	662
4.3 熔盐氮碳共渗	628	2.1 激光表面相变硬化(激光淬火)	663
4.4 氮碳共渗件的质量检查	629	2.2 激光表面熔覆与合金化	668
4.5 氮碳共渗常见缺陷及防止措施	629	2.3 激光表面非晶化	675
4.6 奥氏体氮碳共渗	630	2.4 激光冲击硬化	677
4.7 氮碳共渗复合强化	630	3 复合表面改性技术	680
5 渗硼	631	3.1 黑色金属复合表面改性技术	680
5.1 渗硼层组织、特性及常用渗硼材料	631	3.2 有色金属复合表面改性技术	681
5.2 主要渗硼方法	632	3.3 两种以上复合表面改性技术	681
5.3 渗硼件的热处理	637	参考文献	682
5.4 渗硼件的质量检验	637	第 36 章 电子束表面改性	683
5.5 渗硼层的缺陷及防止措施	638	1 电子束表面改性基本原理	683
6 其它化学热处理	638	2 电子束表面改性设备	683
6.1 渗硫	638	2.1 电子枪系统	683
6.2 氧氮共渗	640	2.2 真空系统	684
参考文献	641	2.3 控制系统	684
第 34 章 等离子体扩渗处理	642	2.4 电源系统	685
1 等离子体的物理概念	642	3 电子束表面改性工艺及其特点	686
1.1 等离子体的性质	642	3.1 电子束加热区的温度场	686
1.2 气体放电的伏安特性曲线	642	3.2 电子束加热区能量与时间的关系	686
1.3 离子轰击阴极表面的物理、化学效应	643	3.3 电子束表面改性束流的控制	687
2 离子渗氮	643	3.4 电子束表面改性工艺的特点	688
		4 应用实例与效果	688
		参考文献	689

第 37 章 离子注入表面改性	690	4 各种材料的离子注入改性	693
1 历史的简略回顾	690	4.1 半导体材料的离子注入	693
2 荷能离子在固体中的力学运动及其诱发的固体内部变化	690	4.2 金属、陶瓷等材料的离子注入	694
2.1 荷能离子在固体中的力学运动	690	4.3 有机高分子材料的离子注入	697
2.2 荷能离子诱发的固体内部变化	692	4.4 离子注入的其它应用	697
3 离子注入的基本设备	693	5 离子注入装备的新发展	697
		参考文献	699

第 6 篇 气相沉积技术

第 38 章 真空蒸镀	700	2.2 工作原理及装置	732
1 真空蒸镀的定义和特点	700	2.3 空心阴极枪工艺参数	732
2 材料的真空蒸发特性	700	2.4 空心阴极离子镀工艺实例	735
3 各种加热方式和蒸发源	703	2.5 空心阴极离子镀产品一览	735
4 薄膜的沉积速率与基板上的膜厚分布	705	3 多弧离子镀	735
5 真空蒸镀设备	708	3.1 概述	735
6 真空蒸镀工艺	711	3.2 工作原理和装置	736
参考文献	715	3.3 阴极斑点	737
第 39 章 溅射镀膜	716	3.4 多弧离子镀蒸发源的型式	737
1 溅射镀膜的定义和特点	716	3.5 多弧离子镀的阴极靶	738
2 溅射的基本规律	716	3.6 多弧离子镀的工艺参数	739
2.1 影响溅射率的各种因素	716	3.7 多弧离子镀设备工艺实例	739
2.2 溅射粒子的状态、能量分布与角分布	718	4 离化团束沉积技术	741
3 各种溅射方法	720	参考文献	743
3.1 直流二极、三极和四极溅射	720	第 41 章 普通化学气相沉积(CVD)	744
3.2 射频溅射	721	1 化学气相沉积的一般原理	744
3.3 磁控溅射	722	1.1 热分解反应沉积	744
3.4 离子束溅射	724	1.2 氢还原反应沉积	745
4 溅射镀膜设备	726	1.3 化学合成反应沉积	745
5 溅射镀膜工艺	727	1.4 化学输运反应沉积	745
6 薄膜制作举例	728	2 化学气相沉积的装置与技术	747
6.1 合金薄膜的制作	728	2.1 开管气流法	747
6.2 化合物薄膜的制作	729	2.2 封管法	748
6.3 非晶薄膜的制作	729	2.3 近间距沉积法	748
6.4 单晶薄膜的制作	730	3 影响沉积质量的因素	749
6.5 有机薄膜的制作	730	3.1 沉积参数的影响	749
参考文献	730	3.2 衬底的影响	750
第 40 章 离子镀	731	3.3 反应系统装置的影响	750
1 气体放电等离子体离子镀	731	4 低压化学气相沉积技术及其工艺模拟理论	750
2 空心阴极放电离子镀	731	4.1 低压化学气相沉积的特点	750
2.1 概述	731	4.2 LPCVD 工艺模拟理论的研究概况	751
		4.3 LPCVD 多晶硅工艺的理论模拟	751