

JINSHU BIAOMIAN CHULI



张林森 主编

# 金属表面处理

内容全面，语言精练，一本书读懂表面工程专业

- 本书涵盖电镀、化学镀、化学转化膜、热浸镀等传统金属表面处理技术，及气相沉积、化学热处理、高能束表面处理等新型金属表面处理技术。
- 较为系统地介绍了表面预处理，处理层分析和性能测试、表面处理车间设计等实践性较强的内容。



化学工业出版社

# 金属表面处理

张林森 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

《金属表面处理》涵盖了电镀、化学镀、化学转化膜、热浸镀等传统金属表面处理技术，及气相沉积、化学热处理、高能束表面处理等新兴金属表面处理技术，另外还较为系统地介绍了表面预处理、处理层分析和性能测试、表面处理车间设计等实践性较强的内容。

《金属表面处理》可作为高等院校材料类相关专业的教材，也可供从事表面处理生产和研究的工程技术人员阅读参考。

#### 图书在版编目 (CIP) 数据

金属表面处理/张林森主编. —北京: 化学工业出版社, 2016. 8

ISBN 978-7-122-27254-6

I. ①金… II. ①张… III. ①金属表面处理-高等学校-教材 IV. ①TG17

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 124128 号

---

责任编辑: 宋林青

责任校对: 边涛

文字编辑: 向东

装帧设计: 关飞

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 22 $\frac{1}{4}$  字数 563 千字 2016 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

材料作为人类社会发展的三大支柱之一，其重要性不言而喻。金属材料在国民经济的各个领域都得到了广泛使用，而科学技术的发展对金属材料的性能提出了更多、更高的要求：如何经济有效地改善和提高材料和产品的性能（如耐蚀、耐磨、装饰等性能），确保其使用的可靠性和安全性，延长使用寿命，节约资源和能源，减少环境污染；另一方面，通过怎样一些手段能够赋予材料和器件表面与其基体不同的一些特殊的物理和化学性能（如电磁特性，光学性能等），更好地满足现代科学技术的需求。

金属表面处理技术是指通过一些物理、化学、机械或复合方法使金属表面具有与基体不同的组织结构、化学成分和物理状态，从而使经过处理后的表面具有与基体不同的性能。经过表面处理后的金属材料，其基体的化学成分和力学性能并未发生变化（或大的变化），但其表面却拥有了一些特殊的性能。随着现代科学技术的发展，表面处理技术在表面物理和表面化学理论的基础上，融合了现代材料学、现代工程物理和现代制造技术，在工业、农业、能源、医学、信息、工程、环境和与人类生活密切相关的领域取得了突飞猛进的发展。

本书在编写中力争以教学需要组织全书内容，同时根据金属表面处理技术的发展，适当扩充一些新内容，以便于学生课外阅读或供工程技术人员参考。本书一方面系统介绍了电镀、化学镀、化学转化膜、热浸镀等传统金属表面处理技术，及气相沉积、化学热处理、高能束表面处理等新兴金属表面处理技术，另外也以较大篇幅介绍了表面预处理、处理层分析和性能测试、表面处理车间设计等实践性较强的内容。书中既考虑了相关技术及理论的成熟性，也兼顾了其发展和展望。

参加本书编写工作的有郑州轻工业学院张林森（第1~3章）、李晓峰（第5章和第6章）、宋延华（第4章和第11章）、方华（第8章和第9章）、户敏（第7章和第10章）。全书由张林森主编和统稿。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请读者提出宝贵意见。

编者

2016年3月

# 目 录

## 第1章 绪 论 / 1

1.1	表面处理技术的含义	1
1.2	表面处理技术的分类和内容	2
1.2.1	表面处理技术的分类	2
1.2.2	表面处理技术的内容	3
1.3	表面处理技术的作用	6
1.4	表面处理技术的发展趋势	8

## 第2章 金属表面预处理 / 10

2.1	表面整平	10
2.1.1	机械磨光	10
2.1.2	抛光	12
2.1.3	滚光	15
2.1.4	刷光	16
2.1.5	喷砂处理	16
2.2	浸蚀	17
2.2.1	钢铁制品的酸洗	18
2.2.2	电化学浸蚀	20
2.3	表面除油	21
2.3.1	有机溶剂除油	21
2.3.2	碱性溶液化学除油	21
2.3.3	电化学除油	23
2.4	表面预处理新技术	25
2.4.1	超声波强化	25
2.4.2	低温高效清洗剂除油	26

## 第3章 金属电镀 / 27

3.1	电镀基本原理	27
-----	--------	----

3.1.1	电镀概念与电镀过程	27
3.1.2	对电镀层理化指标的要求	27
3.1.3	电镀设备与技术的发展	28
3.1.4	金属离子还原的可能性	28
3.1.5	电结晶过程的动力学	29
3.1.6	电沉积过程中金属离子还原时的极化	32
3.1.7	合金电沉积时的极化	35
3.1.8	添加剂对极化特性的影响	39
3.1.9	金属在阴极上的分布	42
3.1.10	电镀液的覆盖能力问题	45
3.2	电镀锌及锌合金	47
3.2.1	概述	47
3.2.2	氰化物镀锌	49
3.2.3	氯化钾型镀锌	51
3.2.4	碱性锌酸盐镀锌	54
3.2.5	硫酸盐镀锌	56
3.2.6	锌镀层的镀后处理	57
3.2.7	不合格锌镀层的退除	60
3.2.8	电镀锌合金	60
3.2.9	锌和锌合金基复合电镀	64
3.2.10	高速电镀锌	65
3.3	电镀铜及铜合金	67
3.3.1	概述	67
3.3.2	氰化物镀铜	68
3.3.3	硫酸盐镀铜	70
3.3.4	焦磷酸盐镀铜	73
3.3.5	其他类型的无氰镀铜工艺	75
3.3.6	铜镀层的后处理	76
3.3.7	不合格镀铜层的退除方法	77
3.3.8	电镀铜合金	78
3.4	电镀镍及镍合金	81
3.4.1	概述	81
3.4.2	普通镀镍(暗镍)	82
3.4.3	光亮镀镍	84
3.4.4	镀多层镍	87
3.4.5	特殊用途镀镍	91
3.4.6	不合格镍层的退除	92
3.4.7	电镀镍合金	93
3.4.8	粉末电镀镍	96
3.5	电镀铬	98
3.5.1	概述	98



3.5.2	镀铬的电极过程	100
3.5.3	镀铬层的结构与性能	102
3.5.4	镀铬电解液的成分及工艺条件	103
3.5.5	电镀铬工艺技术	106
3.5.6	稀土镀铬添加剂的应用	111
3.5.7	有机添加剂在镀铬中的应用	112
3.6	电镀锡	112
3.6.1	概述	112
3.6.2	硫酸盐镀锡	114
3.6.3	磺酸盐镀锡及钢板镀锡	118
3.6.4	碱性镀锡	121
3.6.5	镀层检验、缺陷分析及不合格镀层退除	125

## 第4章 非金属材料电镀及化学镀 / 127

4.1	概述	127
4.1.1	非金属材料电镀的历史及应用	127
4.1.2	非金属材料电镀的方法	128
4.1.3	ABS塑料电镀简介	128
4.2	非金属材料电镀前的表面准备	129
4.2.1	消除应力	129
4.2.2	除油	131
4.2.3	表面粗化	132
4.2.4	敏化	136
4.2.5	活化	137
4.2.6	还原或解胶	139
4.2.7	常见非金属材料的镀前处理方法	140
4.3	化学镀	141
4.3.1	化学镀铜	142
4.3.2	化学镀镍	145
4.3.3	化学镀锡	149
4.3.4	化学镀金	150
4.3.5	化学镀银	150

## 第5章 金属表面转化膜 / 153

5.1	阳极氧化膜	153
5.1.1	概述	153
5.1.2	阳极氧化膜的形成机理	155
5.1.3	阳极氧化工艺	158
5.1.4	阳极氧化膜的着色	166

5.1.5	阳极氧化膜的封闭	172
5.1.6	微弧阳极氧化	176
5.2	金属的磷化	180
5.2.1	概述	180
5.2.2	磷化成膜机理	181
5.2.3	磷化的工艺流程	182
5.3	钢铁氧化	187
5.3.1	钢铁高温氧化法	188
5.3.2	钢铁常温氧化法	189
5.4	电泳涂装	191
5.4.1	电泳涂装的定义和发展历史	191
5.4.2	电泳涂装的机理及特点	192
5.4.3	电泳涂装工艺	194

## 第6章 热浸镀 / 197

6.1	概述	197
6.2	热浸锌	198
6.2.1	热浸锌的用途	198
6.2.2	热浸镀锌层的形成过程	199
6.2.3	常用的热浸锌工艺	200
6.2.4	干法热浸锌工艺流程	201
6.2.5	热浸镀锌层形成过程中的“铁损”	203
6.2.6	热浸镀锌层的厚度控制	204
6.2.7	钢铁合金成分对热浸镀锌的影响	204
6.2.8	熔融锌液中的其他元素对热浸镀的影响	205
6.2.9	锌灰、锌渣与表面质量	205
6.3	热浸镀锡	206
6.4	热浸镀铝	207

## 第7章 气相沉积技术 / 208

7.1	概述	208
7.2	物理气相沉积	210
7.2.1	真空蒸镀	211
7.2.2	溅射镀膜	215
7.2.3	离子镀膜	219
7.2.4	物理气相沉积三种基本方法的比较	222
7.3	化学气相沉积	223
7.3.1	化学气相沉积的原理和装置	223
7.3.2	化学气相沉积的分类	224



7.3.3	化学气相沉积镀膜工艺及影响镀层的因素	225
7.3.4	化学气相沉积镀膜的特点和应用	225
7.3.5	化学气相沉积与物理气相沉积工艺对比	227
7.4	等离子体化学气相沉积法	228
7.4.1	等离子体化学气相沉积的种类	228
7.4.2	等离子体化学气相沉积过程和装置	229
7.4.3	等离子体化学气相沉积的特点和应用	229

## 第8章 化学热处理技术 / 232

8.1	概述	232
8.1.1	化学热处理的基本原理	233
8.1.2	化学热处理的分类	235
8.1.3	化学热处理的主要特点	236
8.1.4	化学热处理的意义	237
8.2	渗碳	237
8.2.1	渗碳过程原理	238
8.2.2	碳势及其控制	240
8.2.3	主要工艺参数对渗碳速度的影响	241
8.2.4	气体渗碳工艺	242
8.2.5	渗碳后的热处理	244
8.2.6	渗碳后组织和性能的关系	246
8.2.7	渗碳件常见缺陷及防止措施	247
8.3	渗氮	248
8.3.1	Fe-N相图及渗氮层相组成	248
8.3.2	渗氮用钢及其预备热处理	250
8.3.3	气体渗氮工艺	251
8.3.4	渗氮件的检验和常见缺陷	254
8.4	碳氮共渗与氮碳共渗	256
8.4.1	碳氮共渗	256
8.4.2	氮碳共渗	259
8.5	其他化学热处理	261
8.5.1	渗硼	262
8.5.2	渗硫	263
8.5.3	渗金属	264
8.5.4	离子化学热处理	265
8.5.5	复合热处理	265

## 第9章 高能束表面处理技术 / 266

9.1	概论	266
-----	----	-----

9.1.1	高能束表面处理的定义和特点	266
9.1.2	高能束表面处理的类型	266
9.2	激光束表面处理技术	267
9.2.1	激光束与材料表面的交互作用	267
9.2.2	激光束表面处理	269
9.2.3	激光硬化	270
9.2.4	激光表面合金化与熔覆	271
9.2.5	激光非晶化	273
9.3	电子束表面处理技术	275
9.3.1	电子束表面处理的原理	275
9.3.2	电子束加热和冷却	276
9.3.3	电子束表面处理	276
9.4	离子束表面处理技术	277
9.4.1	离子束表面处理原理	277
9.4.2	离子束表面处理设备	279
9.4.3	离子束表面处理技术的应用	280

## 第 10 章 处理层表面分析和性能测试 / 282

10.1	表面分析	282
10.1.1	概述	282
10.1.2	表面分析的分类	283
10.1.3	常用的表面分析仪器	287
10.2	覆盖层质量测试技术	293
10.2.1	覆盖层厚度的测定	293
10.2.2	镀层结合强度测试方法	299
10.2.3	镀层耐蚀性的测试方法	302
10.2.4	镀层孔隙率的测试方法	307
10.2.5	镀层的物理力学性能测试方法	308

## 第 11 章 表面处理车间 / 311

11.1	概述	311
11.1.1	表面处理车间的特点	311
11.1.2	表面处理车间设计内容	311
11.1.3	表面处理车间设计应注意的问题	312
11.2	工艺设计	312
11.2.1	生产纲领的制订	312
11.2.2	表面处理方法设计	313
11.2.3	工艺过程拟定	314
11.2.4	工艺过程表	315

11.3	设备的选择	315
11.3.1	主要设备的选用原则	315
11.3.2	电源设备	316
11.3.3	镀槽设计	319
11.3.4	自动生产线	322
11.3.5	其他设备	325
11.4	车间平面设计及土建	328
11.4.1	车间组成及面积	328
11.4.2	车间平面布局	328
11.4.3	对厂房建筑的要求	330
11.4.4	地面防腐蚀	330
11.4.5	车间通风及采暖	331
11.5	车间日常消耗计算	332
11.5.1	给水及排水	332
11.5.2	蒸汽消耗量计算	335
11.5.3	压缩空气消耗计算	336
11.6	车间日常管理	337
11.6.1	表面处理工艺文件的编制与实施	337
11.6.2	表面处理现场生产的组织形式	337
11.6.3	严格生产中的质量管理	338
11.6.4	表面处理现场应用技术	338

## 参考文献 / 343

# 第 1 章

## 绪 论

### 1.1 表面处理技术的含义

金属表面处理技术是指通过一些物理、化学、机械或复合方法使金属表面具有与基体不同的组织结构、化学成分和物理状态，从而使经过处理后的表面具有与基体不同的性能。经过表面处理后的金属材料，其基体的化学成分和力学性能并未发生变化（或未发生大的变化），但其表面却拥有了一些特殊的性能，如高的耐磨性及良好的导电性、电磁特性、光学性能等。

所有的金属材料都不可避免地要与环境相接触，而与环境直接接触的是金属的表面，如各种机械零件和工程构件。它们在使用过程中会发生腐蚀、磨合、氧化等。所有这些都使金属表面首先发生破坏或失效，进而引起整个设备或零（构）件的破坏或失效。据一些工业发达国家统计，每年钢材因腐蚀和磨损而造成的损失约占钢材总产量的 10%，损失金额占国民经济总产值的 2%~4%。如果将因金属腐蚀和磨损而造成的停工、停产和相应引起的各种事故等损失统计在内的话，其数值更加惊人。因此，发展金属表面防护和强化技术，是各国普遍关心的重大课题。

随着现代工业的迅猛发展，对机械产品提出了更高的要求，要求产品能在高参数（如高温、高压、高速）和恶劣工况条件下长期稳定运转或服役，这就必然对材料的耐磨、耐蚀等性能以及表面装饰提出了更高的要求，使其成为防止产品失效的第一道防线。

为了满足上述要求，在某些情况下可以选用特种金属或合金来制造整个零件或设备，有时虽然可以满足表面性能要求，但这往往会造成产品成本的成倍增加，降低了产品的竞争力；更何况在许多情况下也很难找到一种能够同时满足整体和表面要求的材料。而表面处理技术则可以用极少量的材料就起到大量、昂贵的整体材料难以起到的作用，在不增加或不增加太多成本的情况下使产品表面受到保护和强化，从而提高产品的使用寿命和可靠性，改善机械设备的性能、质量，增强产品的竞争能力。所以，研究和发展金属材料的表面处理技术，对于推动高新技术的发展，对于节约材料、节约能源等都具有重要意义。

表面处理技术主要通过两种途径改善金属材料的表面性能：一种是通过表面涂层技术在基体表面制备各种镀层、涂覆层，包括电镀、化学镀、转化膜、气相沉积等；另一种是通过

各种表面改性技术改变基体表面的组织和性能，如化学热处理、高能束表面改性等。就表面涂层技术而言，它是在材料表面形成一层与基体材料不同的涂层，只有该涂层与基体之间有足够的结合强度，才能使其发挥应有的作用。因此可以通过不同的涂层材料和组织结构，以期取得满意的涂层与基体的结合强度。表面改性技术和表面涂层技术的最大区别是，其所形成的表面在材料和组织上均是基体直接参与形成的，而不像表面涂层技术那样，涂层材料的组织与基体是完全不同的。

## 1.2 表面处理技术的分类和内容

### 1.2.1 表面处理技术的分类

表面处理技术是一门新兴学科，是一门多学科交叉的边缘学科，到目前为止还没有统一的分类方法。相比较而言，表面处理技术具有较强的工艺性，因此按工艺特点大致分类，可以把表面处理技术的特点比较清晰地体现出来，而且这种分类与工程上的名称基本一致，便于记忆。这种分类方法的最大不足是缺乏学术上的逻辑性，因为有些技术尽管工艺不同，但基本的改性机理是相同或相似的。

#### (1) 按工艺特点分类

- ① 电镀 包括非晶态电镀、复合电镀、合金电镀、电刷镀等。
- ② 化学镀 包括非晶态化学镀、复合化学镀、合金化学镀等。
- ③ 化学转化膜 包括阳极氧化、化学氧化和磷酸盐膜等。
- ④ 热浸镀 包括热浸镀锌、热浸镀锡和热浸镀铝等。
- ⑤ 气相沉积 包括化学气相沉积和物理气相沉积。
- ⑥ 表面热处理 包括渗碳、渗氮、氮碳共渗和碳氮共渗等。
- ⑦ 高能束表面处理 包括离子束技术、电子束技术和激光束技术。

#### (2) 按学科特点分类

- ① 表面合金化技术 包括离子束注入和热渗镀等。
- ② 表面覆层与覆膜技术 包括热喷涂、电镀、化学镀、化学转化膜、气相沉积热浸镀等。
- ③ 表面组织转化技术 包括激光和电子束热处理等表面加工硬化技术。

应当指出，按学科特点分类虽然比较简单，且内容相对独立，但是，不少工艺技术往往包括其中的两项甚至三项，例如堆焊和热浸镀，从表层看是镀层，但在覆层与基体的界面上却是典型的冶金结合即合金化问题，并伴有组织的转变。因此很难不重复地给读者介绍各项表面工程技术。

另外，还有按照表面改性的目的或性质分类，将表面工程技术分为表面耐磨和减摩技术、表面耐蚀和抗氧化技术、表面强化技术、表面装饰技术、功能表面技术及表面修复技术等。这种分类方法便于应用，但缺点是几项技术往往可以由一项独立的工艺完成。例如电镀、化学镀非晶镀层，常常既是耐磨镀层，又是耐蚀镀层，如果镀在塑料等非金属基体上，又兼具功能表面镀层的特性（如电磁屏蔽性能）。

#### (3) 按表面层的功能性分类

① 腐蚀保护性 即可以提高基体材料的耐大气、海洋大气、水和某些酸碱盐的腐蚀作用。例如在钢构件上喷涂一层  $Zn_{85}Al_{15}$  合金，可使构件在海水中耐腐蚀 20~40 年。

② 抗磨性 包括提高抗磨料磨损、黏着磨损、疲劳磨损、腐蚀磨损、冲蚀磨损、润滑性等磨损性能。例如在刀具表面镀上一层 TiC、TiN 或 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 薄膜，成为防止钢屑黏结的表面薄膜，可以提高刀具寿命 3~6 倍。

③ 电性能 包括绝缘性、导电性、半导体特性等。

④ 耐热性 包括抗高温氧化、热疲劳等性能。

⑤ 光学特性 包括反光性、光选择吸收性、吸光性等性能。

⑥ 电磁特性 包括磁性、电磁屏蔽性等性能。

⑦ 密封性。

⑧ 装饰性 包括染色性、光泽性等性能。

⑨ 其他表面特性 如耐疲劳性、保油性、可焊性等性能。

表面技术的应用使得基体材料表面具有了原来没有的一些特性，大幅度扩展了材料的应用领域，充分发挥了材料的潜力。

材料表面处理技术既可对材料表面改性，制备多功能的涂、镀、渗和覆层，成倍延长机件的寿命；又可对产品进行装饰；还可对废旧机件进行修复。归纳起来，材料表面处理技术具有以下技术特点：

① 在廉价的基体材料上，对表面施以各种处理，使其获得多功能性（防腐、耐磨、耐高温、耐疲劳、耐辐射、抗氧化以及光、热、磁、电等特殊功能）、装饰性表面。例如，复合渗硼可以成倍提高材料的耐磨性、抗疲劳性、红硬性以及耐腐蚀性。某些表面处理能使其整体材料得到难以获得的微晶、非晶态等特殊晶型。

② 表面涂层或改性层甚薄，从微米到毫米级，但却起到了大量昂贵整体材料难以达到的效果，大幅度节省材料、能源、资源。

③ 延长使用寿命。作为机件、构件的预保护，使之能承受腐蚀与磨损；并使高温机件、构件的耐热性大大提高，延长了使用寿命；作为废旧机件的修复，可使机件的寿命成倍延长。例如，电站的空气预热钢管不经处理，寿命仅有数月，经渗铝处理后寿命至少达 10 年，产生了很大的经济效益。

总之，表面工程技术是一种内涵深、外延广、渗透力强、影响面宽的综合而通用的工程技术。

## 1.2.2 表面处理技术的内容

表面技术内容种类繁多，随着科技的不断发展，新的技术也不断涌现，下面仅就一些常见的表面技术做简单介绍。

### (1) 电镀与电刷镀

它是利用电解作用，使具有导电性能的工作表面作为阴极与电解质溶液接触，通过外电流的作用，在工作表面沉积与基体牢固结合的镀覆层。该镀覆层主要是各种金属和合金。单金属镀层有锌、镉、铜、镍、铬、锡、银、金、钴、铁等数十种；合金镀层有锌-铜、镍-铁、锌-镍等一百多种。电镀方式也有多种，如挂镀、吊镀、滚镀、刷镀等。电镀在工业上应用很广泛。电刷镀是电镀的一种特殊方法，又称接触镀、选择镀、涂镀、无槽电镀等。其设备主要由电源、刷镀工具（镀笔）和辅助设备（泵、旋转设备等）组成，是在阳极表面裹上棉花或涤纶棉絮等吸水材料，使其吸饱镀液，然后在作为阴极的零件上往复运动，使镀层牢固沉积在工作表面上。它不需将整个工件浸入电镀溶液中，所以能完成许多槽镀不能完成或不容易完成的电镀工作。

## (2) 化学镀

它是在无外电流通过的情况下，利用还原剂将电解质溶液中的金属离子化学还原在呈催化活性的工件表面，沉积出与基体牢固结合的镀覆层。工件可以是金属，也可以是非金属。镀覆层主要是金属和合金，最常用的是镍和铜。

## (3) 涂装

它是用一定的方法将涂料涂覆于工件表面形成涂膜的全过程。涂料（俗称漆）为有机混合物，一般由成膜物质、颜料、溶剂和助剂组成，可以涂装在各种金属、陶瓷、塑料、木材、水泥、玻璃等制品上。涂膜具有保护、装饰或特殊性能（如绝缘、防腐标志等），应用十分广泛。

## (4) 堆焊和熔结

堆焊是在金属零件表面或边缘熔焊上耐磨、耐蚀或特殊性能的金属层，修复外形不合格的金属零件及产品，提高使用寿命，降低生产成本，或者用它制造双金属零部件。熔结与堆焊相似，也是在材料或工件表面熔敷金属涂层，但用的涂覆金属是一些以铁、镍、钴为基，含有强脱氧元素硼和硅而具有自熔性和熔点低于基体的自熔性合金，所用的工艺是真空熔敷、激光熔敷和喷熔涂覆等。

## (5) 热喷涂

它是将金属、合金、金属陶瓷材料加热到熔融或部分熔融，以高的动能使其雾化成微粒并喷至工件表面，形成牢固的涂覆层。热喷涂的方法有多种，按热源可分为火焰喷涂、电弧喷涂、等离子喷涂（超音速喷涂）和爆炸喷涂等。经热喷涂的工件具有耐磨、耐热、耐蚀等功能。

## (6) 电火花涂覆

这是一种直接利用电能的高密度能量对金属表面进行涂覆处理的工艺，即通过电极材料与金属零部件表面间的火花放电作用，把作为火花放电电极的导电材料（如 WC、TiC）熔渗于零件表面层，从而形成含电极材料的合金化涂层，提高工件表层的性能，而工件内部组织和性能不改变。

## (7) 热浸镀

它是将工件浸在熔融的液态金属中，使工件表面发生一系列物理和化学反应，取出后表面形成金属镀层。工件金属的熔点必须高于镀层金属的熔点。常用的镀层金属有锡、锌、铝、铅等。热浸镀工艺包括表面预处理、热浸镀和后处理三部分。按表面预处理方法的不同，它可分为熔剂法和保护气体还原法。热浸镀的主要目的是提高工件的防护能力，延长使用寿命。

## (8) 真空蒸镀

它是将工件放入真空室，并用一定方法加热镀膜材料，使其蒸发或升华，飞至工件表面凝聚成膜。工件材料可以是金属、半导体、绝缘体乃至塑料、纸张、织物等；而镀膜材料也很广泛，包括金属、合金、化合物、半导体和一些有机聚合物等。加热镀膜材料的方式有电阻、高频感应、电子束、激光、电弧加热等。

## (9) 溅射镀

它是将工件放入真空室，并用正离子轰击作为阴极的靶（镀膜材料），使靶材中的原子、分子逸出，飞至工件表面凝聚成膜。溅射粒子的动能约  $10\text{eV}$ ，为热蒸发粒子的 100 倍。按入射正离子来源不同，可分为直流溅射、射频溅射和离子束溅射。入射正离子的能量还可用电磁场调节，常用值为  $10\text{eV}$  量级。溅射镀膜的致密性和结合强度较好，基片温度较低，但



成本较高。

#### (10) 离子镀

它是将工件放入真空室，并利用气体放电原理将部分气体和蒸发源（镀膜材料）逸出的气相粒子电离，在离子轰击工件的同时，把蒸发物或其反应产物沉积在工件表面成膜。该技术是一种等离子体增强的物理气相沉积，镀膜致密、结合牢固，可在工件温度低于 550℃ 时得到良好的镀层，绕镀性也较好。常用的方法有阴极电弧离子镀、热电子增强电子束离子镀、空心阴极放电离子镀。

#### (11) 化学气相沉积 (CVD)

它是将工件放入密封室，加热到一定温度，同时通入反应气体，利用室内气相化学反应在工件表面沉积成膜。源物质除气态外，也可以是液态和固态。所采用的化学反应有多种类型，如热分解、氢还原、金属还原、化学输运反应，以及等离子体激发反应、光激发反应等。工件加热方式有电阻、高频感应、红外线加热等。主要设备有气体的发生、净化、混合、输运装置，以及工件加热、反应室、排气装置。主要方法有热化学气相沉积、低压化学气相沉积、等离子体化学气相沉积、金属有机化合物气相沉积、激光诱导化学气相沉积等。

#### (12) 化学转化膜

化学转化膜的实质是金属处在特定条件下人为控制的腐蚀产物，即金属与特定的腐蚀液接触并在一定条件下发生化学反应，形成能保护金属不易受水和其他腐蚀介质影响的膜层。它是由金属基体直接参与成膜反应而生成的，因而膜与基体的结合力比电镀层要好得多。目前工业上常用的有铝和铝合金的阳极氧化、铝和铝合金的化学氧化、钢铁氧化处理、钢铁磷化处理、铜的化学氧化和电化学氧化、锌的铬酸盐钝化等。

#### (13) 化学热处理

它是将金属或合金工件置于一定温度的活性介质中保温，使一种或几种元素渗入它的表层，以改变其化学成分、组织和性能的热处理工艺。按渗入的元素可分为渗碳、渗氮、碳氮共渗、渗硼、渗金属等。渗入元素介质可以是固体、液体和气体，但都要经过介质中化学反应、外扩散、相界面化学反应（或表面反应）和工件中扩散 4 个过程。

#### (14) 高能束表面处理

它是主要利用激光、电子束和太阳光束作为能源，对材料表面进行各种处理，显著改善其组织结构和性能的表面处理工艺。

#### (15) 离子注入表面改性

它是将所需的气体或固体蒸气在真空系统中电离，引出离子束后在数千电子伏至数十万电子伏加速下直接注入材料，达一定深度，从而改变材料表面的成分和结构，达到改善性能的目的。其优点是注入元素不受材料固溶度限制，适用于各种材料、工艺和质量易控制，注入层与基体之间没有不连续界面。它的缺点是注入层不深、对复杂形状的工件注入有困难。

目前，表面技术领域的一个重要趋势是综合运用两种或更多种表面技术的复合表面处理技术。随着材料使用要求的不断提高，单一的表面技术因有一定的局限性而往往不能满足需要。目前已开发的一些复合表面处理，如化学热处理与电镀复合、化学热处理与气相沉积复合等，已经取得良好效果。

另外，表面加工技术也是表面技术的一个重要组成部分。例如对金属材料而言，有电铸、包覆、抛光、蚀刻等，它们在工业上获得了广泛的应用。

## 1.3 表面处理技术的作用

金属表面处理技术以其高度的实用性和显著的优质、高效、低耗的特点，在日常生活、机械制造、航空航天、交通、能源、石油化工等工业部门得到了越来越广泛的应用，可以说几乎有表面的地方就离不开表面处理。金属表面处理技术不仅是产品“美容术”，也是许多产品性能的改良技术，更是先进的产品制造技术。目前，金属表面处理技术，更是先进的产品制造技术。金属表面处理技术的应用可归纳为以下几个主要方面。

### (1) 提高金属制品或零件的耐蚀性能

腐蚀是金属与环境介质发生相互作用而导致的破坏，腐蚀总是从材料与环境的界面开始。由于制造机器设备的材料总是在某种环境中服役，影响材料腐蚀的因素众多，可以说没有一种材料能在所有的环境条件下都耐蚀。在选择制造材料时需要考虑三个方面的因素：材料在预计服役的环境中的耐蚀性，材料的物理、机械和工艺性能，经济因素。这三个方面需要兼顾。因此，腐蚀控制的目标不是“不腐蚀”，而是“将机器、设备或零部件的腐蚀控制在合理的、可以接受的水平”。

为了达到这样的目标，腐蚀控制应包括如下的环节：

- ① 选择恰当的耐蚀材料；
- ② 设计合理的设备结构；
- ③ 使用正确的制造、储运、安装技术；
- ④ 采用有效的防护方法；
- ⑤ 制订合适的工艺操作条件；
- ⑥ 实施严格的管理和维护。

防护方法包括电化学保护、调节环境条件（主要是使用缓蚀剂）和覆盖层保护。所谓覆盖层保护，是指用另一种材料（金属材料或非金属材料）制作覆盖层，将作为设备结构材料的金属与腐蚀环境分隔开。这样，基底材料和覆层材料组成复合材料，可以充分发挥基底材料和覆层材料的优点，满足耐蚀性，物理、机械和加工性能，以及经济指标多方面的需要。作为基体的结构材料不与腐蚀环境直接接触，可以选用物理、机械和加工性能良好而价格较低的材料，如碳钢和低合金钢；覆层材料代替基体材料处于被腐蚀地位，首先应考虑其耐蚀性能能否满足要求。但由于覆层附着在基体上，且厚度较小，扩大了选材工作范围。

覆盖层保护是使用最广泛的一类防护技术。覆盖层保护的种类很多，按覆层材料的性质可分为以下三大类。

① 金属覆盖层 覆层材料为金属，施工方法包括镀层、衬里和双金属复合板等。镀层又有电镀、化学镀、喷涂、渗镀、热浸和真空镀等。

② 非金属覆盖层 覆层材料为非金属，包括的种类很多，如涂装、塑料涂覆、搪瓷、钢衬玻璃、非金属衬里（砖板衬里、塑料衬里、玻璃钢衬里、橡胶衬里、复合衬里）和暂时性防锈层等。

③ 化学转化膜 化学转化膜又称金属转化膜。化学转化膜按形成手段可分为阳极氧化膜、化学氧化膜和磷化膜等。

可见，腐蚀控制中的覆盖层保护技术有许多是表面工程技术。所以，表面工程技术是解决材料腐蚀与防护的最经济、最有效的手段。