

胡传炘 宋幼慧 编著

涂层技术原理及应用



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

涂层技术原理及应用

胡传炘 宋幼慧 编著

化学工业出版社
材料科学与工程出版中心
·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

涂层技术原理及应用/胡传炘, 宋幼慧编著. —北京:
化学工业出版社, 2000

ISBN 7-5025-2919-5

I. 涂… II. ①胡… ②宋… III. ①涂层-技术-理论
②涂层-技术-应用 IV. TB43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 37710 号

涂层技术原理及应用

胡传炘 宋幼慧 编著

责任编辑: 麻雪丽

责任校对: 陶燕华

封面设计: 于兵

*

化学工业出版社 出版发行
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

<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

三河市前程装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 24½ 字数 602 千字

2000 年 9 月第 1 版 2000 年 9 月北京第 1 次印刷

印数: 1—4000

ISBN 7-5025-2919-5/TQ·1268

定 价: 45.00 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

近 20 年来,表面工程技术迅猛发展,各种功能涂层在生产中应用日益广泛。其应用领域涉及汽车、火车、家电、能源、交通工程、机械制造、计算机、土建工程、水利工程、石油化工、航空航天等许多领域。

本书从实用角度出发,在对涂层技术的一般原理进行简介的基础上,将生产中经常用到的各种防腐蚀涂层、耐磨损涂层、特种功能涂层(如隐身涂层、热障涂层、抗海洋生物涂层等)、涂层工程应用及涂层性能检验作了详细介绍。不求内容完备,但求简捷实用。目的是为生产第一线技术人员服务,也可供大专院校有关专业师生参考。

在本书成书过程中,刘颖、白立来、王国红三位同志在资料查阅、整理、内容确定等方面提供了很多帮助,特致谢忱。在本书编写过程中参阅了大量资料,书后难以一一列举,在此一并向原作者致谢。涂层技术发展迅速,本书挂一漏万,在所难免,错误与不当之处,欢迎指正。

胡传炘

2000 年 3 月于北京工业大学

126633

目 录

第1章 总论	1
1.1 涂层定义	1
1.1.1 什么是涂层	1
1.1.2 涂层材料	1
1.1.3 涂层与材料表面改性	2
1.1.4 涂层种类	2
1.2 涂层形成机制	3
1.2.1 金属涂层形成机制	3
1.2.2 非金属涂层形成机制	9
1.3 涂层附着力	11
1.3.1 冶金结合	12
1.3.2 机械结合	12
1.3.3 吸附结合	12
1.3.4 扩散结合	13
1.3.5 化学结合	13
1.4 涂层性能	13
1.4.1 涂层性能与涂层结构关系	13
1.4.2 耐蚀性	14
1.4.3 耐磨性	25
1.4.4 特种功能	31
1.5 基体前处理	31
1.5.1 前处理技术的发展	32
1.5.2 前处理技术内容及发展趋势	32
1.5.3 表面整平	35
1.5.4 表面清洗	42
1.5.5 铜及铜合金的钝化	52
1.5.6 不锈钢钝化	52
1.5.7 化学抛光	53
1.5.8 电化学抛光	57
第2章 耐蚀涂层	64
2.1 热浸镀锌涂层	64
2.1.1 热浸镀锌涂层性能	64
2.1.2 热浸镀锌涂层形成及结构	64
2.1.3 热浸镀锌涂层制备工艺	65
2.1.4 热浸镀锌涂层厚度控制	70

2.1.5	热浸镀锌涂层钢材应用	71
2.1.6	热浸镀锌涂层检测	72
2.1.7	热镀锌标准	74
2.2	热浸镀铝涂层	74
2.2.1	热浸镀铝涂层性能	74
2.2.2	热浸镀铝涂层形成及结构	74
2.2.3	热浸镀铝涂层制备工艺	75
2.2.4	热浸镀铝涂层钢材应用	77
2.2.5	热浸镀铝涂层检测	77
2.2.6	热浸镀铝标准	79
2.3	热浸镀锡涂层	79
2.3.1	热浸镀锡涂层性能	79
2.3.2	热浸镀锡涂层形成及结构	79
2.3.3	热浸镀锡涂层制备工艺	81
2.3.4	热浸镀锡涂层钢板应用	82
2.3.5	热浸镀锡钢板检验	82
2.4	热喷涂铝或锌涂层	84
2.4.1	热喷涂铝或锌涂层性能	84
2.4.2	热喷涂铝或锌涂层的形成及结构	86
2.4.3	热喷涂铝或锌涂层制备工艺	86
2.4.4	热喷涂铝或锌涂层的应用	98
2.4.5	热喷涂铝或锌涂层标准	100
2.5	电镀锌及其合金涂层	100
2.5.1	电镀锌及其合金涂层性能	100
2.5.2	电镀锌及其合金电镀涂层的形成及结构	102
2.5.3	电镀锌及其合金电镀涂层制备工艺	104
2.5.4	电镀锌及其合金电镀涂层应用	114
2.5.5	电镀锌及其合金电镀涂层标准	114
2.6	电镀锡涂层	114
2.6.1	电镀锡涂层性能	114
2.6.2	电镀锡涂层的形成及结构	115
2.6.3	电镀锡涂层制备工艺	115
2.6.4	电镀锡涂层应用	120
2.6.5	电镀锡涂层标准	120
2.7	电镀锰涂层	120
2.7.1	电镀锰涂层性能	120
2.7.2	电镀锰涂层氧化膜的形成及耐蚀机理	121
2.7.3	电镀锰涂层制备工艺	121
2.7.4	电镀锰涂层应用	122
2.8	电镀铅-锡合金涂层	122

2.8.1	电镀铅-锡合金涂层性能	122
2.8.2	电镀铅-锡合金涂层制备工艺	122
2.8.3	电镀铅-锡合金涂层用途	123
2.9	一般涂料涂层	123
2.9.1	一般涂料涂层分类	123
2.9.2	有机涂层耐蚀机理	131
2.9.3	一般涂料涂装前处理	134
2.9.4	涂装工艺	136
2.10	富锌涂层	143
2.10.1	有机富锌涂层	143
2.10.2	溶剂型硅酸盐富锌涂层	144
2.10.3	无机磷酸盐富锌涂层	144
2.10.4	水性无机富锌涂层	145
2.10.5	涂层应用	147
2.11	磷酸盐涂层	148
2.11.1	涂层性能	148
2.11.2	涂层的形成及结构	149
2.11.3	涂层制备	150
2.11.4	磷化渣的生成、抑制及处理	154
2.11.5	磷酸盐涂层检验	155
2.11.6	磷化液总酸度及游离酸度的测定	156
2.11.7	磷酸盐涂层试验标准	156
2.12	铬酸盐涂层	156
2.12.1	铬酸盐涂层与化学转化涂层	156
2.12.2	涂层性能	156
2.12.3	涂层的形成及结构	158
2.12.4	涂层制备工艺	159
2.12.5	铬酸盐涂层试验标准	162
2.13	锌扩散涂层	163
2.13.1	涂层性能	163
2.13.2	渗锌层的组织	164
2.13.3	锌扩散层制备工艺	164
2.13.4	锌扩散涂层用途	166
2.14	铝扩散涂层	166
2.14.1	涂层性能	166
2.14.2	涂层形成及组织结构	168
2.14.3	渗铝涂层制备工艺	169
2.14.4	渗铝涂层应用	173
2.15	铬扩散涂层	173
2.15.1	渗铬涂层的性能	173

2.15.2	渗铬涂层的形成及组织结构	176
2.15.3	渗铬涂层的制备	177
2.15.4	渗铬涂层的应用	179
2.16	硅扩散涂层	179
2.16.1	渗硅涂层性能	179
2.16.2	渗硅涂层的形成及组织结构	179
2.16.3	渗硅涂层制备工艺	180
2.16.4	渗硅涂层应用	180
2.17	重防腐涂层	181
2.17.1	什么是重防腐涂层	181
2.17.2	环氧煤沥青/玻璃布复合涂层	181
2.17.3	玻璃鳞片涂料涂层	186
2.17.4	氟树脂涂层	188
2.18	钢筋混凝土表面的耐蚀涂层	192
2.18.1	潮湿的混凝土表面的耐蚀涂层	192
2.18.2	干燥的混凝土表面耐蚀涂层	194
2.18.3	钢铁企业钢混结构耐蚀涂层	195
2.18.4	芒硝类化工厂钢混结构耐蚀涂层	197
2.18.5	水利工程钢混结构的耐蚀涂层	197
2.19	耐腐蚀胶泥涂层	197
2.19.1	概述	197
2.19.2	水玻璃胶泥涂层	198
2.19.3	酚醛胶泥涂层	199
2.19.4	呋喃胶泥的涂层	201
2.19.5	环氧胶泥涂层	202
2.19.6	环氧呋喃胶泥涂层	203
2.19.7	环氧煤焦油胶泥涂层	204
2.19.8	不饱和聚酯胶泥涂层	205
2.19.9	各种胶泥耐腐蚀性能	206
第3章	耐磨涂层	207
3.1	电刷镀 Ni-W 及 Ni-P-Co 涂层	207
3.1.1	电刷镀 Ni-W 涂层	207
3.1.2	电刷镀 Ni-P-Co 涂层	208
3.2	火焰及电弧喷涂 Cr-Ni 粉芯丝耐磨涂层	208
3.2.1	低碳马氏体耐磨打底涂层	208
3.2.2	马氏体不锈钢耐磨耐蚀涂层	209
3.3	复合电镀耐磨涂层	210
3.3.1	耐磨复合电镀层的分类及应用	210
3.3.2	Ni 基耐磨减摩复合镀层	211
3.3.3	Fe 基耐磨复合镀层	212

3.3.4 Cr基耐磨复合镀层	212
3.3.5 Co基耐高温耐磨复合镀层	212
3.4 离子镀 TiN 及 TiC 涂层	212
3.4.1 离子镀原理、特点及种类	212
3.4.2 TiN 涂层的制备	214
3.4.3 TiC 涂层的制备	215
3.5 化学气相沉积 TiN 和 TiC 涂层	216
3.5.1 化学气相沉积的原理、特点及种类	216
3.5.2 化学气相沉积 TiN 和 TiC 涂层工艺	218
3.6 耐磨堆焊层	219
3.6.1 金属表面堆焊层的特点	219
3.6.2 各类堆焊合金的性能及应用	220
3.6.3 堆焊方法及选择	220
3.6.4 耐磨堆焊层复合钢板	222
3.6.5 CO ₂ 气体保护耐磨复合堆焊层	224
3.6.6 CO ₂ 气体保护耐磨点堆焊层	225
3.7 氧-乙炔火焰喷熔耐磨涂层	228
3.7.1 火焰喷熔原理及特点	228
3.7.2 喷熔用合金粉末	230
3.7.3 重熔	235
3.7.4 火焰喷熔涂层制备工艺	236
3.7.5 喷熔设备	237
3.7.6 喷熔层的缺陷及原因分析	238
3.8 激光处理耐磨涂层	239
3.8.1 激光表面处理特点	239
3.8.2 激光与材料表面相互作用	239
3.8.3 激光处理分类简述	241
3.8.4 激光表面合金化涂层	241
3.8.5 激光相变硬化	244
3.8.6 激光表面涂敷耐磨涂层	248
3.8.7 激光冲击硬化	251
3.9 等离子喷涂耐磨涂层	251
3.9.1 等离子喷涂原理	251
3.9.2 等离子喷涂特点	252
3.9.3 等离子喷涂设备	253
3.9.4 等离子喷涂用陶瓷粉末	255
3.9.5 等离子喷涂工艺	256
3.9.6 低压等离子喷涂	258
3.10 铸渗复合耐磨涂层	259
3.10.1 什么是铸渗复合耐磨涂层	259

3.10.2	铸渗膏剂	259
3.10.3	铸渗涂层的制备工艺	260
3.10.4	铸渗耐磨层成分、组织及耐磨性	262
3.11	硬质合金表面涂层	263
3.11.1	概述	263
3.11.2	涂层硬质合金的特点及应用	263
3.11.3	涂层硬质合金刀具(片)	264
第4章	特殊功能涂层	265
4.1	隐身功能涂层	265
4.1.1	概述	265
4.1.2	吸波涂层的工作原理	265
4.1.3	铁氧体吸波材料涂层	268
4.1.4	纳米材料吸波涂层	269
4.1.5	微球吸波材料涂层	269
4.1.6	氧化多孔膜	270
4.2	抗海洋生物涂层及生物相容性涂层	270
4.2.1	抗海洋生物涂层	270
4.2.2	生物相容性涂层	272
4.3	热障涂层和可磨耗密封涂层	273
4.3.1	热障涂层	273
4.3.2	可磨耗密封涂层	273
4.4	粘结固体润滑涂层	274
4.4.1	什么是粘结固体润滑涂层	274
4.4.2	粘结固体润滑涂层的分类	274
4.4.3	粘结固体润滑涂层的性能	275
4.4.4	涂层中多组分的匹配	275
4.5	抗腐蚀磨损涂层与耐纤维磨损涂层	276
4.5.1	抗腐蚀磨损涂层	276
4.5.2	耐纤维磨损涂层	276
4.5.3	超音速火焰喷涂简介	277
4.5.4	爆炸火焰喷涂的简介	280
4.6	防粘减摩涂层和亲水与介电涂层	282
4.6.1	防粘减摩涂层	282
4.6.2	亲水与介电涂层	283
4.7	非晶态合金层	283
4.7.1	概述	283
4.7.2	非晶态合金层的制备	284
4.7.3	非晶态合金层的性能	285
4.7.4	非晶态合金层应用	286
4.8	抗高温粘着磨损涂层与抗高温熔融金属或熔体侵蚀涂层	286

4.8.1 抗高温粘着磨损涂层	286
4.8.2 抗高温熔融金属或熔体侵蚀涂层	287
4.9 木材表面防护装饰涂层	287
4.9.1 木材表面防护装饰涂层的特点	287
4.9.2 室外用木材表面涂层	288
4.9.3 室内用木材表面涂层	290
第5章 工程应用	293
5.1 三峡工程涂层技术的应用	293
5.1.1 三峡坝区空气与水环境的特性	293
5.1.2 涂层技术应用状况	293
5.1.3 涂层技术应用展望	294
5.2 汽车工业涂层技术的应用	295
5.2.1 应用举例	295
5.2.2 应用举例说明	296
5.3 家电工业涂层技术的应用	297
5.3.1 装饰涂层技术的应用	297
5.3.2 涂层技术应用的发展趋势	297
5.4 大型钢结构热喷涂防腐	298
5.4.1 概述	298
5.4.2 典型腐蚀环境	299
5.4.3 常用封闭剂、封闭涂料及涂装材料	299
5.4.4 涂层厚度及选择	299
5.4.5 典型腐蚀环境中推荐的喷涂层	300
5.5 铁路钢桥防护涂层	303
5.5.1 涂层前处理技术的要求	303
5.5.2 钢梁的涂料涂层	304
5.5.3 钢梁的热喷涂金属涂层	304
5.6 埋地钢制管道防护涂层	305
5.6.1 埋地管道的腐蚀	305
5.6.2 埋地管道防护的一般规定	307
5.6.3 埋地钢制管道防护涂层的简介	308
5.7 涂层钢板	312
5.7.1 涂层钢板的应用	312
5.7.2 汽车工业用涂层钢板	312
5.7.3 建材业用涂层钢板	314
5.7.4 家电业用涂层钢板	316
5.7.5 食品罐头用涂层钢板	316
5.7.6 涂层钢管	316
5.8 热喷涂涂层应用举例	317
5.8.1 防腐蚀涂层	317

5.8.2 防磨损涂层	319
5.8.3 特殊功能涂层	320
第6章 涂层性能的检测	323
6.1 概述	323
6.2 涂层的外观检验	323
6.2.1 外观检验的内容	323
6.2.2 涂层表面缺陷检测	324
6.2.3 涂层表面粗糙度的检测	324
6.2.4 涂层表面光泽度的检测	326
6.2.5 几种涂层外观检测举例	327
6.2.6 有关涂层外观检验的标准举例	327
6.3 涂层的厚度检验	327
6.3.1 涂层非破坏性厚度检验方法	328
6.3.2 涂层破坏性厚度检验方法	330
6.3.3 涂层测厚举例	336
6.3.4 有关涂层测厚的标准举例	337
6.4 涂层的耐蚀性检验	338
6.4.1 大气暴露试验	338
6.4.2 盐雾试验	341
6.4.3 腐蚀膏腐蚀试验	346
6.4.4 二氧化硫工业气体腐蚀试验	347
6.4.5 湿热试验	348
6.4.6 全浸腐蚀试验	348
6.4.7 基体为阴极的涂层腐蚀试验后评级参考图	349
6.4.8 有关涂层耐蚀性试验标准举例	350
6.5 涂层的耐磨性试验	353
6.5.1 磨料磨损试验	353
6.5.2 摩擦磨损试验	354
6.5.3 喷砂试验	354
6.5.4 涂层耐磨性试验举例	355
6.5.5 有关涂层的耐磨性试验标准举例	359
6.6 涂层的孔隙率试验	359
6.6.1 概述	359
6.6.2 滤纸法测涂层孔隙率	360
6.6.3 涂膏法测涂层的孔隙率	362
6.6.4 其他方法	363
6.6.5 涂层孔隙率的测试举例	364
6.6.6 有关涂层孔隙率试验标准举例	365
6.7 涂层的硬度试验	365
6.7.1 涂层的宏观硬度与显微硬度	365

6.7.2	涂层的宏观硬度检验	366
6.7.3	涂层的显微硬度检验	366
6.7.4	有关涂层硬度试验标准的举例	367
6.8	涂层的结合强度(附着力)试验	367
6.8.1	概述	367
6.8.2	涂层结合力定性试验	368
6.8.3	涂层结合力定量试验	371
6.8.4	几种涂层的结合强度	375
6.8.5	有关涂层结合强度试验标准举例	375
参考文献		376

第1章 总 论

1.1 涂 层 定 义

1.1.1 什么是涂层

什么是涂层？目前还没有一个明确的、统一的定义。涂层、镀层、覆盖层、膜是一个概念还是有所不同，或者彼此间有什么关系？仍然是没有一个明确的、统一的说法。近十年来，表面工程和技术获得迅猛发展，若要深入研究涂层技术原理及应用，则必须对涂层要有一个明确的定义。

1.1.1.1 涂层广义定义

涂层可定义为用物理的、化学的、或者其它方法，在金属或非金属基体表面形成的一层具有一定厚度、不同于基体材料且具有一定的强化、防护或特殊功能的覆盖层。

上述涂层定义涉及下列应搞清楚的问题。

- (1) 涂层应有“一定厚度”，这个厚度是多少？
- (2) 涂层是“不同于基体材料”的一个覆盖层应是一种什么材料？
- (3) 涂层是怎样形成的？即涂层形成机制如何？
- (4) 涂层是如何“附着”在基体上，即涂层与基体的结合机制如何？
- (5) 涂层要有的“一定功能”是什么功能？
- (6) 涂层与表面改性是什么关系？

1.1.1.2 涂层狭义定义

涂层可定义为用物理的、化学的、或者其它方法，在金属或非金属基体表面形成的一层具有一定厚度（一般大于 $10\mu\text{m}$ ）的不同于基体材料且具有一定的强化、防护或特殊功能的覆盖层。

可以看出广义涂层定义与狭义涂层定义的区别在于对覆盖层厚度的限定。通常的看法是极薄的“涂层”称为“膜”。例如物理气相沉积（PVD）、化学气相沉积（CVD）在基体表面形成的“涂层”，因太薄（一般其厚度为数十 μm ），称之为膜。但是也不尽然。例如铝及铝合金化学处理得到的“氧化膜”仅 $0.3 \sim 4\mu\text{m}$ ，而硬质阳极“氧化膜”厚度为 $60 \sim 250\mu\text{m}$ ，这里厚度为 $250\mu\text{m}$ 的覆盖层仍称之为“膜”。因此，仅根据覆盖层厚度区分“涂层”与“膜”也是大致的分法，这里有个习惯问题。

1.1.2 涂层材料

涂层材料，可以是金属、非金属；可以是单质，也可以是复合材料。但不管是何种材料，其化学成分及组织结构一般均有异于基体材料，如此才可具备“不同于基体材料”的特殊性能。

1.1.2.1 金属涂层

各种金属，如铜、铝、镍、铬、银等许多金属材料均可成为涂层，可起到防腐、耐磨及特殊功能层作用。

1.1.2.2 非金属涂层

1108007

各种有机材料，如油漆、树脂等高分子材料；各种无机非金属材料，如硅酸盐及有色矿物均可成为涂层，可起到防腐、耐磨及特殊功能层作用。

1.1.2.3 复合材料涂层

各种复合材料，如热喷涂铝（或锌）层加封闭材料（高分子材料）所形成的复合防腐涂层；电镀Ni-(CF)_n（氟化石墨）复合自润滑涂层等。

1.1.3 涂层与材料表面改性

材料表面改性是通过将某种元素“注入”到基体内（如离子注入），或将某种元素“扩散”进入到基体内（如扩散渗入），从而在基体表面形成某种不同于基体的功能层。按照前述涂层的广义定义，涂层应包括表面改性而形成的“功能层”。即凡通过表面改性而得到的表面功能层，也属涂层范畴，应当在本书讨论之列。

1.1.4 涂层种类

涂层根据不同的区分方法，形成不同的种类。

1.1.4.1 按涂层材料分

可分为下述几种。

- (1) 金属涂层；
- (2) 非金属涂层（含塑料、高分子材料、陶瓷等）；
- (3) 复合材料。

1.1.4.2 按涂层制备方法分

可分为下述几种。

- (1) 电镀层（含电镀、刷镀层）；
- (2) 氧化层；
- (3) 化学转换层；
- (4) 热浸镀层；
- (5) 热喷涂层；
- (6) 涂料涂层及塑料涂层；
- (7) PVD 及 CVD 层；
- (8) 化学热处理涂层；
- (9) 激光表面处理层；
- (10) 离子注入层。

1.1.4.3 按涂层功能分

可分为防腐、耐磨及特殊功能三种涂层。见表 1-1。

表 1-1 涂层分类（按功能分）

功 能	涂 层	举 例
防腐涂层	电镀层（含电泳） 氧化层 化学转化涂层 热浸镀层 热喷涂层 涂料及塑料涂层 扩散涂层	电镀锌、镉 钢铁氧化（发蓝） 铬酸盐膜、磷酸盐膜 热浸镀锌、铝 热喷涂锌、铝 各种油漆、塑料（聚乙烯等） 铬扩散层、锌扩散层

续表

功 能	涂 层	举 例
耐磨涂层	电镀层 热喷涂层 激光表面处理涂层 堆焊层 物理气相沉积 (PVD) 化学气相沉积 (CVD) 固体润滑涂层	电镀 热喷涂 Ni 基合金、 Al_2O_3 等 激光相变硬化层, 熔凝及涂敷 堆焊耐磨合金 离子镀 TiN、TiC、Ti(CN) 镀 TiC、TiN MoS ₂ 及 TiN + MoS ₂ 复合涂层
特殊功能涂层	金属陶瓷热障涂层 导电涂层 隐身涂层 电磁屏蔽涂层 抗海洋生物涂层 装饰性氧化-着色涂层 防粘减摩涂层 人造骨生物相容性涂层 热烫印层 亲水与介电涂层 铸渗涂层 电火花强化涂层 瓷釉层 热障涂层	ZrO ₂ 涂层 非金属表面涂镀金属; 铝制电器件化学氧化 铁氧体吸波材料涂层 热喷涂铝、涂层 无毒硅酸盐防污涂料涂层 铝合金氧化-着色涂层 Teflon 涂层 等离子喷涂羟基磷灰石涂层 各种烫金层 高介质陶瓷涂层 高铬白口铁铸渗层 模具 (如 CrWMn) 电火花强化层 陶瓷制品瓷釉层 Y ₂ O ₃ -ZrO ₂ 涂层

1.2 涂层形成机制

不同涂层形成的机制不同。以下分别叙述金属涂层、无机非金属涂层、有机涂料涂层的形成机制。

1.2.1 金属涂层形成机制

1.2.1.1 表面高温熔融形成机制

(1) 热喷涂层形成机制

热喷涂材料 (粉末或线材) 经热源 (火焰或电弧) 加热至熔化或半熔化态, 用高压气流令其雾化并喷射于工件上, 塑态雾化金属粒子以很高速度打到工件表面成片层状结构堆集成涂层。热喷涂层经加高温熔融, 可成为冶金结合涂层 (喷焊层)。

值得指出的是, 热喷涂金属粒子打击工件在其表面得以形成致密涂层。热源提供高温令金属粒子处于塑性态当然很重要, 但所形成涂层的“致密性”却主要是粒子速度的贡献, 用其打击力而不是将其功能转化为热能。

例: 火焰金属线材喷钢粒子。速度 $v = 80 \sim 160 \text{ m/s}$, 取 200 m/s ; 质量 $M = \rho \cdot v = \rho \cdot \frac{1}{6} D^3$, D 为粒子直径, 实测为 $4 \sim 45 \mu\text{m}$, 现取 $D = 50 \mu\text{m}$, 取 $\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$, 则一个粒子产生的功能:

$$E = \frac{1}{2} M v^2 = \frac{1}{2} \times 7800 \times \frac{1}{6} \times (5 \times 10^{-5})^3 \times (200)^2$$

$$\approx 3.3 \times 10^{-6} (\text{J})$$

钢比热容为 $0.528 \times 10^3 \text{ J/(kg} \cdot ^\circ\text{C)}$ 则一个钢粒子可令 1 kg 钢基体温度升高:

$$\Delta t = 3.3 \times 10^{-6} / 0.528 \times 10^3 = 6.25 \times 10^{-9} (^\circ\text{C})$$

火焰线材喷枪每小时可喷钢 2 kg , 则有:

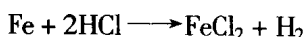
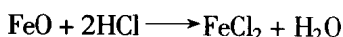
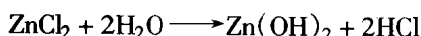
$$\frac{2}{1.6 \times 10^{-10}} \approx 10^{10} \text{ 个粒子 (100 亿)}$$

可令基体 (1kg) 升高 $6.25 \times 10^{-9} \times 10^{10} = 62.5^\circ\text{C}$, 可见, 是十分有限的。连续喷涂, 主要是由于粒子本身的热能令基体温度升高。

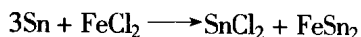
(2) 热浸镀层形成机制

将经过表面处理的金属工件放入远比工件熔点低的熔融金属中, 工件表面上就镀上一层金属镀层。热浸镀层金属一般为锡 (熔点 231.9°C)、锌 (熔点 419.5°C)、铝 (熔点 658.7°C)、铅 (熔点 327.4°C)。以热浸镀锡为例, 试述其形成涂层机制。

在 300°C 时, 铁与锡相互反应生成 FeSn_2 。当经过前处理的钢板进入含有氯化铵及氯化锌的熔剂时, 形成铁锡合金:



生成的氯化亚铁 (FeCl_2) 与炼锡 (Sn) 反应, 生成 SnCl_2 及 FeSn_2 :



生成的化合物 FeSn_2 , 一部分附在钢板上, 另一部分进入锡槽形成锡渣。附着 FeSn_2 层的钢板再进入炼锡中浸镀锡, 炼锡再附着在 FeSn_2 上最终形成热浸镀 (涂) 层。

(3) 堆焊层形成机制

焊接材料 (焊条或焊丝) 在热源 (焊接电弧) 作用下熔化并涂敷于工件表面形成堆焊层。堆焊层与基体金属的结合为冶金结合, 其结合强度高、抗冲击性能好。

(4) 热烫印层的形成

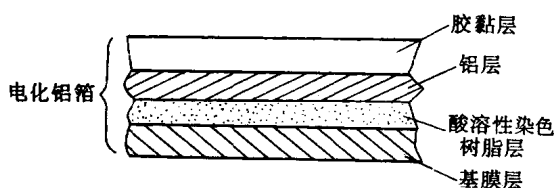


图 1-1 电化铝箔结构示意图

热烫印层形成机理见图 1-1。常用热烫印工艺中用的箔为电化铝箔, 故热烫印亦称为烫印电化铝。所谓热烫印, 指在一定的压力和一定的温度下, 将金属箔或颜料箔烫印到承印物上的工艺。电化铝烫印的实质是利用热压作用, 将铝层转印到承印物表面。所用的电化铝箔由

四层构成: 基膜层、醇溶性染色树脂层、铝层、胶黏层。基膜层一般采用涤纶薄膜, 在基膜层上涂布醇溶性染色树脂层, 然后在其上喷镀电化铝层, 最后在铝层上再涂布一层胶粘剂, 这样就形成了用于热烫印的电化铝箔。

在一定温度和压力共同作用下, 热熔性的有机硅树脂脱落层和胶粘剂层受热熔化, 有机硅树脂在熔化后与铝层的粘结力减小, 最终铝层与基膜层可以剥离; 而特种热敏胶粘剂在热的作用下粘结力迅速升高, 同时在压力作用下将铝层粘接在基体 (承印物) 上。在压印平板分离后的 $0.5 \sim 1\text{s}$ 内, 胶粘剂从热熔状态转为冷却固化, 使电化铝层——热烫印层被牢固烫印在承印物表面。

在热烫印过程中, 电化铝箔四层的作用分别是: 基膜层起支撑其上三层涂层的作用。醇溶性染色树脂层决定了电化铝层的色彩, 还使铝涂层与基膜层结合在一起, 且在烫印的温度和压力下, 能够保证铝涂层与基膜层分离, 以便铝层可迅速从基膜上脱离转印到承印物上。醇溶性染色树脂是由具有成膜性、耐热性、透明性等主要特性相适应的三聚氰胺类树脂、