

朱立 编著

# 钢材 热镀锌



化学工业出版社  
工业装备与信息工程出版中心

朱立 编著

# 钢材 热镀锌

内容简介

本书

详细介绍了

热镀锌

工艺



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

·北京·

**图书在版编目(CIP)数据**

钢材热镀锌/朱立编著. —北京:化学工业出版社, 2005.12

ISBN 7-5025-8045-X

I. 钢… II. 朱… III. 钢-热浸锌  
IV. TG174.443

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 150237 号

---

**钢材热镀锌**

朱立 编著

责任编辑: 段志兵 刘丽宏

责任校对: 李军

封面设计: 尹琳琳

\*

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)

购书咨询: (010) 64982530

(010) 64918013

购书传真: (010) 64982630

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 28 $\frac{1}{4}$  字数 706千字

2006年3月第1版 2006年3月北京第1次印刷

ISBN 7-5025-8045-X

定 价: 59.00 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

钢铁材料的十分之一消耗于腐蚀。为此，人们力图通过各种手段来避免或减少钢铁的腐蚀损失。锌是人们首先认识到的既可以防止钢铁的大气腐蚀，又能受自身腐蚀产物的保护，使自身腐蚀速度减缓的一种金属。因此它被广泛地应用于大气中钢铁材料的防腐蚀。

钢材的热浸镀锌自从18世纪开始用于工业生产以来，已有二百余年的历史。在此期间，人们对于锌和钢铁的腐蚀以及热浸镀锌理论和技术的研究不断深入，热镀锌理论和技术得到了发展，钢材热镀锌也成为重要的产业，并得到了很大发展。

我国的钢材热镀锌工业始于20世纪30年代的热浸镀锌钢管生产，50年代开始生产热镀锌薄钢板和镀锌钢丝，直到70年代后生产规模和技术水平才有较大的提高。至90年代末，我国的钢材热镀锌产业进入了高速发展时期。

随着国内热浸镀锌工业的发展，国内对热浸镀锌技术的研究和交流也逐渐地增多和加强，从事钢材热浸镀锌的相关人员也数量大增。因此，希望有一本较全面地介绍钢材热浸镀锌方面有关理论和生产技术的书，以解决从事有关钢材热浸镀锌方面的人员的需求。为此，作者将自己从事此项工作的所得与国内外有关技术进行归纳，在1997年所写有关钢板热镀锌讲座的基础上加以扩充编著成此书，向有关专业的学生和技术人员提供一本参考资料。

本书中以钢板、钢管、钢丝三种产品为代表，对钢材的热浸镀锌进行叙述。内容共分为六章。第一章介绍有关钢材镀锌防腐的理论及热浸镀锌的发展概况；第二章介绍与热浸镀锌有关的工艺理论。叙述的内容尽量只涉及共同的部分，对于某类产品独特的工艺技术则只在钢板、钢管和钢丝各自的章节中进行介绍；第三章介绍有关热镀锌钢板的内容；第四章介绍钢管热镀锌；第五章介绍钢丝热镀锌；第六章介绍在钢材热镀锌生产过程中产生的污染物和废料的处理与再生利用等环境保护的内容。为节省篇幅起见，对一些属于多种产品所共有的问题，只在某一章中侧重进行叙述，在其他章中则一笔带过，但提示读者前后翻阅。

由于此书涉及范围广、内容多，而作者水平又有限，不妥之处在所难免，望读者多多指正、赐教，以期更好地推动我国热镀锌事业的发展。

朱 立

2006年1月

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	1
<b>1 钢铁热镀锌工业的发展与应用</b> .....	3
1.1 钢铁热镀锌工业的发展 .....	3
1.2 国内钢铁热镀锌的发展 .....	4
1.3 钢铁热镀锌产品的应用 .....	5
1.3.1 国内热镀锌钢板生产与需求情况 .....	5
1.3.2 热镀锌钢管的用途和发展 .....	7
1.3.3 热镀锌钢丝的发展 .....	9
1.4 钢铁热镀锌对锌资源的消耗 .....	9
<b>2 镀锌层对钢铁大气腐蚀的防护作用</b> .....	10
2.1 电极电位和金属电位序 .....	10
2.2 钢铁的大气腐蚀过程 .....	13
2.2.1 钢铁的大气腐蚀 .....	13
2.2.2 钢铁大气腐蚀的过程 .....	13
2.3 锌的大气腐蚀 .....	14
2.4 镀锌层对钢铁大气腐蚀的防护作用 .....	15
<b>参考文献</b> .....	17
<b>第二章 钢铁热镀锌及相关理论</b> .....	19
<b>1 用纯锌热浸镀锌时镀层的结构与组成</b> .....	21
1.1 Fe-Zn 合金系统的状态图 .....	21
1.2 钢铁热镀锌层的结构 .....	22
<b>2 影响镀锌层结构的因素</b> .....	23
2.1 锌液温度和浸镀时间对镀层结构的 影响 .....	23
2.1.1 锌液温度对镀层结构的影响 .....	23
2.1.2 浸锌时间对镀层结构的影响 .....	24
2.2 钢基结构和成分对镀层结构的 影响 .....	24
2.2.1 钢铁结构和碳对镀层结构的 影响 .....	24
2.2.2 钢中其他成分对镀层结构的 影响 .....	25
2.3 锌液中不同元素对热镀锌的影响 .....	27
2.3.1 锌液中铁的影响 .....	27
2.3.2 锌液中铅的影响 .....	27
2.3.3 锌液中锑的影响 .....	28
2.3.4 锌液中锡的影响 .....	28
2.3.5 锌液中铜的影响 .....	28
2.3.6 锌液中镁的影响 .....	28
2.3.7 锌液中稀土元素的影响 .....	29
2.3.8 锌液中铟的影响 .....	29
2.3.9 锌液中硅的影响 .....	29
2.3.10 锌液中镍的影响 .....	29
2.3.11 锌液中钒、钛、锰、铬、铋等 元素的影响 .....	29
2.4 锌液中加入铝对热镀锌的影响 .....	30
<b>3 热镀锌理论的发展</b> .....	31
3.1 锌液中加入铝的作用 .....	31
3.2 锌液中加入铝后热镀锌层的附着机理 .....	31
3.3 热镀锌初期合金层的形成 .....	32
3.4 钢中元素对加铝热镀锌的影响 .....	35
3.4.1 钢中硅的影响 .....	35
3.4.2 钢中锰对镀锌时铁-铝金属间 化合物的影响 .....	37
3.4.3 钢中磷对镀锌时铁-铝金属间 化合物的影响 .....	38
3.5 加铝镀锌对铁锌合金化反应的影响 .....	38
3.5.1 加铝镀锌时的合金化过程 .....	38
3.5.2 镀锌钢板合金化时迸裂组织的 产生 .....	40
3.5.3 合金化镀锌板的粉化现象与影响 因素 .....	41
3.6 新的加铝镀锌理论对生产工艺的影响 .....	42

3.7 锌渣的形成 .....	43	6.3 钢铁的硫酸酸洗 .....	71
<b>4 镀锌钢材的表面状态</b> .....	44	6.4 钢铁的盐酸酸洗 .....	73
4.1 冷轧板材的表面状态 .....	44	6.5 钢铁盐酸酸洗与硫酸酸洗的比较 .....	75
4.2 热轧钢材的表面状态 .....	44	6.6 影响钢铁酸洗速度的因素 .....	77
4.2.1 氧化铁皮的生成 .....	44	6.6.1 氧化铁皮结构和厚度的影响 .....	77
4.2.2 表面氧化层的致密性 .....	46	6.6.2 酸洗液和温度的影响 .....	78
4.2.3 热轧钢材表面的氧化铁皮 .....	46	6.6.3 酸洗液中铁盐含量的影响 .....	80
4.2.4 影响带钢表面氧化铁皮的因素 .....	48	6.6.4 酸洗方式的影响 .....	82
4.2.5 氧化铁皮的性质与厚度 .....	50	6.6.5 酸洗液搅拌的影响 .....	85
4.3 大气腐蚀形成的表面锈层 .....	51	6.6.6 钢铁成分的影响 .....	85
<b>5 钢铁表面脱脂清洗</b> .....	52	6.6.7 其他方面的影响 .....	85
5.1 钢基表面水剂脱脂清洗 .....	52	6.7 缓蚀剂与钢铁酸洗 .....	86
5.1.1 液体油污的清洗脱除 .....	53	6.7.1 酸洗的电化学腐蚀理论基础 .....	86
5.1.2 固体污垢的清洗 .....	55	6.7.2 酸洗缓蚀剂 .....	88
5.1.3 水剂清洗中表面活性剂的基本作用 .....	56	6.7.3 酸洗过程中添加缓蚀剂的意义 .....	89
5.1.4 水剂脱脂清洗用助洗剂 .....	60	6.7.4 酸洗缓蚀剂的使用 .....	91
5.1.5 碱洗脱脂的机理与控制理论的发展 .....	62	<b>7 钢铁热镀锌助镀剂</b> .....	92
5.2 电解清洗 .....	66	7.1 热浸镀锌助镀剂 .....	92
5.3 清洗效果的检验 .....	67	7.1.1 助镀剂及其种类 .....	92
<b>6 钢铁表面酸洗</b> .....	69	7.1.2 选择助镀剂的标准 .....	92
6.1 钢铁表面氧化物的可酸洗性 .....	69	7.1.3 热镀锌常用的助镀剂 .....	92
6.1.1 热轧带钢表面氧化铁皮的可酸洗性 .....	69	7.2 热浸镀锌助镀剂的作用机理 .....	93
6.1.2 长时间暴露在大气中产生的锈层的可酸洗性 .....	70	7.2.1 氯化锌和氯化铵水溶液的反应 .....	93
6.2 钢铁酸洗的基本原理 .....	70	7.2.2 氯化铵与锌液及氧化锌的反应 .....	94
		7.2.3 助镀剂对钢铁表面的净化作用 .....	94
		7.2.4 锌液加铝时的助镀剂 .....	95
		<b>参考文献</b> .....	95

### 第三章 钢板热镀锌 .....

<b>1 钢板热镀锌的发展</b> .....	99	1.3.7 美钢联法与改进森吉米尔法的比较 .....	105
1.1 单张热镀锌钢板的生产 .....	99	1.4 热轧带钢热镀锌生产 .....	105
1.2 线外退火的钢板连续热镀锌 .....	100	1.5 钢板热镀锌技术的发展 .....	106
1.2.1 惠林法带钢热镀锌 .....	100	<b>2 冷轧带钢连续热镀锌</b> .....	107
1.2.2 川铁松户法钢板热镀锌 .....	100	2.1 冷轧带钢连续镀锌生产线的工艺流程和设备组成 .....	107
1.3 在线退火带钢连续热镀锌生产线 .....	101	2.1.1 冷轧带钢热镀锌生产线的设备组成 .....	107
1.3.1 赛拉斯法钢板连续镀锌生产线 .....	101	2.1.2 工艺流程及说明 .....	107
1.3.2 莎伦法钢板热镀锌生产线 .....	102	2.1.3 助镀剂法带钢连续热镀锌 .....	110
1.3.3 森吉米尔法钢板热镀锌生产线 .....	102	2.2 带钢表面的镀前处理 .....	111
1.3.4 美钢联法热镀锌钢板生产线 .....	103	2.2.1 钢板的表面状态 .....	111
1.3.5 改进的森吉米尔法热镀锌钢板生产线 .....	103	2.2.2 带钢表面化学清洗脱脂 .....	111
1.3.6 改进的森吉米尔法与传统的森吉米尔法相比较 .....	104		

2.2.3 带钢的电解清洗脱脂 .....	113	合金镀层钢板 .....	179
2.2.4 脱脂清洗液的组成 .....	114	3.4.3 Zn-Ni 合金镀层 .....	181
2.2.5 高电流电解清洗 (HCD) 法 .....	115	3.5 单面镀锌钢板 .....	182
2.2.6 清洗脱脂效果的检验 .....	116	3.6 彩色镀锌钢板 .....	184
2.2.7 加热氧化 (微氧化) 法脱脂 .....	116	3.7 耐指纹热镀锌板 .....	184
2.3 带钢的加热与退火 .....	116	3.8 蒸发热镀锌技术 .....	185
2.3.1 预热炉与还原炉的加热技术 .....	116	3.9 辊涂法生产热镀锌板 .....	186
2.3.2 水平式加热炉与立式加热炉的比较 .....	123	3.10 无沉没辊镀锌技术 .....	186
2.3.2.1 浮子技术 .....	187	3.10.1 浮子技术 .....	187
2.3.2.2 电磁封流技术 .....	188	3.10.2 电磁封流技术 .....	188
2.4 保护气氛 .....	125	<b>4 热轧带钢热镀锌</b> .....	190
2.4.1 采用分解氨形成保护气氛 .....	125	4.1 热轧带钢的酸洗方式 .....	191
2.4.2 氢气的制取 .....	128	4.1.1 半连续酸洗机组 .....	191
2.4.3 氮气的制造 .....	130	4.1.2 连续卧式酸洗机组 .....	192
2.4.4 保护气体生产装置的选择 .....	130	4.1.3 连续塔式酸洗机组 .....	193
2.4.4.1 酸洗机组的选型 .....	194	4.1.4 酸洗机组的选型 .....	194
2.5 钢板热镀锌的设备与工艺 .....	131	4.2 带钢的连续酸洗设备和工艺 .....	195
2.5.1 镀锌设备 .....	131	4.2.1 带钢酸洗线设备 .....	195
2.5.2 气刀技术及设备 .....	132	4.2.2 影响酸洗速度的因素 .....	200
2.5.3 锌锅的捞渣与无底渣操作 .....	151	4.2.3 常用 PD-A 型缓蚀剂 .....	201
2.5.4 镀锌锅及其加热方式 .....	153	4.2.4 酸洗引起的各种带钢缺陷 .....	202
2.6 带钢镀锌后的处理 .....	158	4.3 热轧带钢镀锌工艺 .....	202
2.6.1 带钢镀锌后的冷却 .....	158	4.3.1 热轧板离线酸洗镀锌 .....	202
2.6.2 镀层锌花的处理 .....	159	4.3.2 热轧板在线酸洗镀锌 .....	202
2.6.3 镀锌层退火处理 (合金化处理) .....	162	4.4 热轧钢板酸洗与镀锌钢板联合生产线 .....	204
2.6.4 镀锌板的机械处理 .....	162	<b>5 热镀锌钢板生产技术的发展</b> .....	205
2.6.5 镀锌板表面的防腐蚀处理 .....	165	<b>6 热镀锌钢板质量与检验</b> .....	206
<b>3 钢板热镀锌的相关产品和工艺</b> .....	169	6.1 产品的性能检验 .....	206
3.1 热镀锌合金钢板 .....	169	6.1.1 取样方法 .....	206
3.2 小锌花与无锌花镀锌钢板 .....	170	6.1.2 力学性能检验 .....	207
3.2.1 小锌花镀锌钢板 .....	171	6.1.3 锌层附着性能试验 .....	207
3.2.2 无锌花镀锌钢板 (无铅镀锌钢板) .....	174	6.1.4 镀锌层厚度 (重量) 的测定 .....	207
3.3 镀锌铝合金钢板 .....	174	6.1.5 铬酸钝化膜的测定 .....	208
3.3.1 铝含量为 55% 的 Zn-Al 合金钢板 .....	174	6.1.6 热镀锌层的耐腐蚀性能检验 .....	208
3.3.2 含 5% 铝的 Zn-Al 合金镀层钢板 .....	177	6.1.7 镀锌层的均匀性试验 .....	209
3.4 其他热镀锌合金钢板 .....	178	6.1.8 镀锌层的金相检验 .....	209
3.4.1 热镀锌 Zn-Al 超塑性合金镀层 .....	179	6.2 热镀锌板的常见质量缺陷及产生原因 .....	209
3.4.2 Zn-(4.5%~5%)Al-(0.1%~4%)Mg .....	179	<b>参考文献</b> .....	210

## 第四章 钢管热镀锌 .....

<b>1 钢管热镀锌生产线的一般工艺流程和设备组成</b> .....	215	1.1 钢管热镀锌生产工艺流程概述 .....	215
		1.2 钢管热镀锌生产线的一般设备组成 .....	216

1.2.1	生产线的设备组成实例	216	3.1.2	钢管干法热镀锌	252
1.2.2	钢管热镀锌车间的设备布置	217	3.1.3	铅锌法钢管热镀锌	253
<b>2</b>	<b>钢管镀锌前的表面处理工艺与设备</b>	<b>218</b>	3.1.4	氧化还原法钢管热镀锌	253
2.1	表面脱脂清洗处理工艺	219	3.2	钢管热浸镀锌设备	254
2.1.1	预清洗及工艺条件	219	3.2.1	钢管镀锌机的分类	255
2.1.2	表面油脂分类及化学性质	219	3.2.2	早期的钢管镀锌机	255
2.1.3	钢管表面的脱脂方法	219	3.2.3	螺旋式钢管镀锌机	255
2.1.4	钢管的化学脱脂	220	3.2.4	锥形螺旋式钢管镀锌机	257
2.1.5	脱脂液的检验及控制	220	3.2.5	凸轮螺旋式镀锌机	257
2.1.6	脱脂废液的处理	220	3.2.6	链式镀锌机	258
2.1.7	脱脂后的热水清洗	220	3.2.7	钢管单(外)面镀锌设备	258
2.2	钢管表面氧化物的去除	221	3.2.8	雷蒙法钢管镀锌设备	261
2.2.1	氧化铁皮的生成和性质	221	3.2.9	常用的齿盘式镀锌机	261
2.2.2	微氧化还原法去除表面铁氧化物	221	3.3	钢管的提升与磁力辊道	266
2.2.3	酸洗法去除氧化铁皮	221	3.4	镀锌层的处理及设备	268
2.2.4	钢管酸洗的缺陷及防止方法	228	3.4.1	钢管镀后控锌处理	268
2.2.5	酸洗工序降低成本的方法	229	3.4.2	钢管镀锌后表面喷吹处理	269
2.3	钢管酸洗的机械设备	230	3.4.3	镀锌层喷吹处理设备	270
2.4	钢管酸洗后的清洗与贮存	233	3.5	钢管浸镀工艺的控制	275
2.4.1	钢管酸洗后的水清洗	233	3.5.1	镀锌层的控制	275
2.4.2	清洗后钢管的贮存	234	3.5.2	影响镀锌层的因素	276
2.5	钢管的助镀剂处理	234	3.5.3	降低镀锌工序原材料消耗的措施	277
2.5.1	助镀剂的作用	234	<b>4</b>	<b>镀锌锅及操作</b>	<b>278</b>
2.5.2	助镀剂的种类	235	4.1	镀锌锅	278
2.5.3	干法镀锌使用的助镀剂	235	4.2	金属锌锅寿命及影响因素	280
2.5.4	干湿法和湿法镀锌使用的助镀剂	235	4.2.1	锌锅厚度的影响	280
2.5.5	钢管的助镀剂处理工艺	236	4.2.2	锌锅用钢板的材质	281
2.5.6	助镀剂的干燥处理	237	4.2.3	锌锅焊制过程的影响	282
2.5.7	助镀剂处理工序降低原材料消耗的途径	240	4.2.4	加热的影响	282
2.6	表面处理设备使用的材料	240	4.3	化锌工艺	287
2.6.1	结构材料及分类	240	4.3.1	锌的品级	287
2.6.2	选用耐腐蚀材料的要求	243	4.3.2	化锌操作	287
2.7	酸洗槽	244	4.3.3	在锌锅中加铝	288
2.7.1	酸洗槽数量的确定	244	4.4	锌锅中锌液的掏出	288
2.7.2	酸洗槽容积的确定	244	4.4.1	使用锌泵抽锌	288
2.7.3	天然材料砌筑的酸洗槽	245	4.4.2	采用锌桶掏锌	290
2.7.4	人造材料制作的酸洗槽	246	4.5	锌渣与锌灰的产生及捞取	290
2.8	钢管干燥设备	250	4.5.1	钢管镀锌时锌渣的产生	290
<b>3</b>	<b>钢管热镀锌工艺与设备</b>	<b>251</b>	4.5.2	锌渣的捞取	291
3.1	钢管热浸镀锌的工艺	251	4.5.3	锌灰的捞取	293
3.1.1	钢管湿法热镀锌	252	<b>5</b>	<b>锌锅加热与加热炉</b>	<b>293</b>
			5.1	锌锅加热用燃料及加热方式	293
			5.1.1	常用的加热燃料	293



5.1.2	燃料的发热量	294	6.1.2	空冷和水冷处理	308
5.1.3	燃料的燃烧反应热及计算	295	6.1.3	镀层的钝化处理	308
5.1.4	燃料的选择	298	6.1.4	锌层表面的涂层处理	310
5.1.5	加热方式的选择	298	6.2	钢管镀锌后的机械处理	310
5.1.6	热平衡的计算	298	6.2.1	镀锌钢管的矫直	310
5.2	使用不同燃料的加热炉	300	6.2.2	镀锌钢管的其他加工处理	311
5.2.1	以煤为燃料的锌锅加热炉	300	7	镀锌钢管的质量与检查	311
5.2.2	以重油为燃料的锌锅炉	301	7.1	镀锌管的外观检查	311
5.2.3	以煤气为燃料的锌锅炉	301	7.2	镀锌层的理化和力学性能	312
5.2.4	平火焰烧嘴的锌锅加热炉	302	7.2.1	钢管镀锌层的厚度	312
5.3	砌筑加热炉的常用材料	303	7.2.2	钢管镀锌层的均匀性	312
5.4	锌锅加热炉的砌筑	306	7.2.3	钢管镀锌层的韧性与附着性能	312
5.4.1	砖缝与砌法	306	7.2.4	钢管镀锌层的耐碱性试验	313
5.4.2	膨胀缝及其布置	306	7.3	镀锌层的缺陷及消除方法	313
5.4.3	砌砖的基本规则	307	7.3.1	镀层缺陷及防止方法	313
6	钢管的镀后处理	307	7.3.2	镀层缺陷的处理	314
6.1	浸镀锌后镀层的处理	307	参考文献		316
6.1.1	镀层的合金化处理	307			

## 第五章 钢丝热镀锌

317

1	钢丝热镀锌的生产工艺和机组	319	3.2.4	油木炭抹拭法	334
1.1	钢丝热镀锌生产工艺的分类	319	3.2.5	悬浮石墨抹拭法	334
1.2	钢丝热镀锌工艺流程	320	3.2.6	其他抹拭方法	335
1.3	钢丝热镀锌生产机组	320	3.3	镀锌层的冷却	335
2	钢丝的镀前表面预处理	321	3.4	影响钢丝热镀锌的因素	336
2.1	钢丝的表面脱脂处理	321	3.4.1	钢丝热镀锌的温度	336
2.1.1	钢丝表面的化学清洗脱脂	321	3.4.2	镀锌速度的影响	336
2.1.2	钢丝镀锌前的电解脱脂	324	3.4.3	钢丝浸锌时间的影响	337
2.1.3	钢丝的灼烧脱脂	325	3.5	影响镀锌钢丝质量性能的因素	338
2.1.4	钢丝的超声波清洗脱脂	325	3.5.1	钢丝表面状态的影响	338
2.1.5	钢丝脱脂效果的检验	326	3.5.2	抹拭方法的影响	338
2.2	钢丝表面氧化层的处理	326	3.5.3	钢丝线径的影响	338
2.2.1	钢丝的化学酸洗	327	3.5.4	钢丝引出后冷却速度的影响	339
2.2.2	钢丝的电化学酸洗	327	3.5.5	锌液中 Al 的影响	339
2.2.3	钢丝高锰酸钾处理去除氧化皮	327	3.5.6	钢丝中所含元素的影响	341
2.3	钢丝的助镀剂处理	328	3.6	锌锅的加锌	341
2.4	森吉米尔法钢丝镀锌的镀前处理	329	3.7	锌渣和锌灰的捞取	342
3	钢丝热浸镀锌工艺	330	3.7.1	锌渣的捞取	342
3.1	钢丝热浸镀锌工艺	330	3.7.2	锌灰和助镀剂残渣的清理	342
3.2	钢丝的引出方式和锌层抹拭方法	332	4	钢丝镀锌锅及其加热设备	343
3.2.1	垂直引出法	332	4.1	铁锌锅及其加热	343
3.2.2	斜向引出法	333	4.1.1	铁锌锅的材质及焊接要求	343
3.2.3	石棉黄抹拭法	333	4.1.2	锌锅容量	344
			4.1.3	锌锅的结构尺寸	344

4.1.4 锌锅的热平衡及供热要求 .....	344	5.3.3 双镀法生产镀 Zn-5%Al-RE 合金钢丝 .....	362
4.2 耐火材料锌锅及其加热 .....	346	5.3.4 生产镀 Zn-5%Al 合金镀层钢丝时易出现的问题 .....	363
4.3 内加热锌锅 .....	347	5.4 生产镀 Zn-55% Al 合金镀层钢丝 .....	368
4.3.1 工频加热锌锅 .....	347	5.5 合金化镀锌钢丝的生产 .....	368
4.3.2 电热坩埚 .....	348	<b>6 镀锌钢丝生产管理与产品质量检验</b> .....	369
4.3.3 射氮加热锌锅 .....	348	6.1 热镀锌工艺对钢丝性能的影响 .....	369
4.3.4 浸入式陶瓷燃气加热锌锅 .....	349	6.2 降低钢丝镀锌原材料消耗的途径 .....	370
4.3.5 浸入式电加热锌锅 .....	349	6.2.1 锌的利用系数 .....	370
4.4 锌锅漏锌及处理 .....	351	6.2.2 提高锌的利用系数降低材料消耗的方法 .....	370
4.4.1 锌锅漏锌的预防与发现 .....	351	6.3 钢丝热镀锌的质量管理 .....	372
4.4.2 处理漏锌使用工具的预置 .....	352	6.4 镀锌层缺陷的修补 .....	373
4.4.3 漏锌的处理 .....	353	6.5 钢丝镀锌层的性能质量检验 .....	374
<b>5 不同镀锌钢丝的生产机组</b> .....	355	6.5.1 锌层重量的试验方法 .....	374
5.1 钢丝拉拔与热镀锌连续作业机组 .....	355	6.5.2 镀锌层的均匀性试验方法 .....	376
5.1.1 中、高碳钢丝厚镀锌机组 .....	355	6.5.3 镀锌层结合力的试验方法 .....	376
5.1.2 低碳钢丝厚镀锌机组 .....	358	6.5.4 不同用途钢丝的性能要求 .....	377
5.2 森吉米尔法钢丝热镀锌生产线 .....	359	<b>参考文献</b> .....	378
5.3 镀 Zn-5%Al 合金钢丝的生产 .....	361		
5.3.1 生产镀 Zn-5%Al 合金镀层钢丝的方法 .....	361		
5.3.2 生产镀 Zn-5%Al 钢丝用的合金			

**第六章 钢材热镀锌生产的环境保护及三废处理** ..... 379

<b>1 钢材热镀锌生产过程中产生的三废及其主要成分</b> .....	381	2.3.1 主要参数的计算 .....	386
1.1 钢材热镀锌生产过程中产生的废气及其成分 .....	381	2.3.2 酸气排放前的处理 .....	386
1.1.1 酸洗产生的酸雾 .....	381	<b>3 热镀锌生产中产生的污水和废液的处理</b> .....	387
1.1.2 热镀锌产生的废气 .....	381	3.1 脱脂废液的处理 .....	387
1.1.3 铅污染及其危害 .....	381	3.2 含铬的钝化废液及污水处理 .....	387
1.2 热镀锌生产过程中产生的废液和污水 .....	382	3.3 磷化液的处理 .....	390
1.2.1 钢材预处理时产生的废液和污水 .....	382	3.4 废助镀剂的处理与再生利用 .....	390
1.2.2 含铬废液和污水及铬的毒性 .....	382	3.5 污水的处理 .....	391
1.2.3 含氟污水及其毒性 .....	383	3.5.1 污水的综合处理 .....	391
1.3 热镀锌生产过程中产生的固体废料 .....	383	3.5.2 酸性污水的中和处理排放 .....	392
<b>2 热镀锌生产车间环境及废气的处理</b> .....	383	3.5.3 离子交换处理方法 .....	392
2.1 热镀锌生产车间通风的必要性 .....	384	<b>4 固体废物的处理</b> .....	393
2.2 车间通风的方法 .....	384	4.1 锌灰与锌尘的回收处理 .....	393
2.2.1 生产车间自然通风 .....	384	4.1.1 锌灰的处理 .....	394
2.2.2 换气通风 .....	384	4.1.2 喷吹粉尘处理 .....	394
2.2.3 局部排气通风 .....	384	4.2 锌渣的处理 .....	395
2.3 酸洗间的通风 .....	386	4.2.1 锌渣的处理方法 .....	395
		4.2.2 锌渣回收利用的器具 .....	397
		<b>5 酸洗污水的处理与废酸液的回收利用</b> .....	398
		5.1 酸洗污水与废酸的中和处理排放 .....	398
		5.1.1 废盐酸的中和处理 .....	398

5.1.2 废硫酸的直接中和法处理 .....	399	5.3.5 化学纯铁法(克米来特法)处理 盐酸废液 .....	421
5.2 硫酸酸洗废液的处理与回收利用 .....	400	5.3.6 氧化中和回收法处理盐酸废液 ..	421
5.2.1 硫酸废液的形成与性质 .....	400	5.3.7 用电解沉积的方法由废盐酸酸洗液 回收铁 .....	425
5.2.2 硫酸酸洗废液的处理方法 .....	401	5.3.8 用 $H_2SO_4$ 的处理方法来回收 盐酸废液 .....	425
5.3 盐酸酸洗废液的处理与回收利用 .....	406	5.3.9 一种适用于钢丝镀锌厂的废盐酸 液的处理系统 .....	425
5.3.1 盐酸酸洗废液的处理方法 .....	407	参考文献 .....	425
5.3.2 鲁兹纳(Ruthner)法回收盐酸 .....	408		
5.3.3 真空蒸馏法回收盐酸 .....	415		
5.3.4 热分解法回收盐酸 .....	417		

**附录 化学分析方法举例** ..... 427

<b>1 锌锭和锌液中的元素分析</b> .....	429	3.1 助镀剂槽中二氯化铁的测定(高锰酸 钾法) .....	433
1.1 锌中含铝量的测定(铬天青S比色法) .....	429	3.2 助镀剂中氯化铵的测定 .....	433
1.2 铅的测定(沉淀分离法) .....	430	3.3 助镀剂中氯化锌的测定 .....	434
1.3 锌锭中全铁的测定 .....	430	3.4 助镀剂中盐酸含量的测定 .....	434
<b>2 酸洗液成分的测定</b> .....	431	<b>4 镀锌钝化液的分析</b> .....	434
2.1 硫酸槽中硫酸的测定(酸碱中和法) .....	431	<b>5 锌渣中的元素分析</b> .....	435
2.2 硫酸槽中硫酸亚铁的测定(高锰酸 钾法) .....	432	5.1 铅的分析(沉淀分离法) .....	435
2.3 酸液中(助镀剂同此)盐酸的测定 (酸碱中和容量法) .....	432	5.2 全铁成分的分析(重铬酸钾容量法) .....	436
<b>3 助镀剂成分的测定</b> .....	433	<b>6 锌铝合金中元素的分析</b> .....	436
		6.1 铝成分的分析 .....	436
		6.2 硫氰酸盐光度法全铁的分析 .....	437

# 第一章

## 绪 论



# 1 钢铁热镀锌工业的发展与应用

## 1.1 钢铁热镀锌工业的发展

镀锌层对钢铁制品有着良好的防护作用。所以，几乎是在人们认识到它这一特性的同时便开始了对镀锌工艺的研究。对于钢板、钢丝、型钢、器皿、铸件、紧固件等，都用镀锌来进行防腐蚀，镀锌的锌消耗量占了锌产量的50%左右。

在各种镀锌方法中，有热镀锌、电镀锌、热喷镀、真空蒸发镀、机械滚镀等。其中用于热镀锌的锌量占全部镀锌消耗量的90%以上。之所以出现这种趋势，主要是由于热镀锌层厚，耐腐蚀性强，成本较低，镀层的厚度、韧性、表面状态都能控制。近几十年来，电镀锌方法也获得了较快地发展，但是在镀锌钢板生产方面之所以未能取代热镀锌钢板生产工艺，其中主要原因之一便是热镀锌工艺能以较低的成本取得较厚的镀层。

据资料介绍，热镀锌工艺研究工作开始于1741年，1742年法国的马洛英(Malouin)首次进行热镀锌试验。到1835年才取得最初的专利特许权。1836年索里尔(Sorel)开始在法国用于工业生产。1837年克劳福在英国开始了热镀法镀锌。1847年德国的哈托可夫(Hartkopf)公司开始了生产。

钢铁热镀锌，原本是指钢铁热浸镀锌，但是随着热镀工艺的发展，已远远超出了这一范畴。

首先，人们研究了金属进入镀锌液后的作用，并加入少量Pb、Sb来获得具有美丽结晶花纹的表面，从而确立了传统的热镀锌工艺。继而为防止锌液的氧化和获得美观的表面而在锌液中加入了0.01%~0.05%的铝。后来为了提高镀锌层的附着力和加工性能，在锌液中加入0.15%~0.2%的铝，从而改变了镀锌层成分和结构，不仅提高了镀锌层的附着力，也同时减少了锌液表面的氧化。为了获得耐大气腐蚀性能更好、在较高湿度下抗氧化能力更强的产品，20世纪60年代以后，又渐次出现了含铝5%、55%以及含5%~30%的一些镀锌铝合金的产品。

热镀锌钢板生产工艺的发展是建立在热镀锌理论的发展、钢板生产轧制工艺发展和社会经济对钢板需求的提高等多重基础上的。薄钢板的生产经历了热叠轧、冷连轧阶段。在冷轧板生产中也有进行罩式炉退火和连续光亮退火之分，冷轧钢板的成分也是多种多样的。因而，热镀锌钢板的生产工艺也与之相应地进行着发展，所以也有着与之相应的钢板热镀锌工艺产生和存在。

曾经有过适用于热叠轧钢板镀锌的单张钢板热镀锌工艺设备，并一直延续到20世纪80年代。与单张钢板和罩式炉退火冷轧板卷相适应的钢板热浸镀锌工艺是助镀剂法镀锌工艺。与连续光亮退火技术与装备相对应的是将在线连续退火和连续镀锌直接连接的诸如森吉米尔法等一些镀锌钢板生产技术和装备。

20世纪70年代以来，汽车工业的发展，促使镀锌板工业通过技术改造和新型大机组的

建立而获得了新的发展，镀锌钢板生产发展总的趋势如下。

(1) 产品规格、生产能力的大型化，生产线的专门化。近年来出现的生产能力已达到50万~60万吨每年，出现板宽1800~2000mm的机组。

(2) 生产高度自动化。生产线通过电子计算机控制系统，对焊接、炉温分段控制，机组的张力、生产速度实现了自动化控制。对镀锌层实行速度、气刀、自动测厚等闭环控制，并在旧机组改造和新建机组上应用。

(3) 普遍采用表面预清洗和向立式炉发展。美钢联法采用立式炉，森吉米尔法采用立式炉和增加化学成分或电化学法表面预清洗工艺，使两种方法日益接近。

(4) 向生产多种钢种镀层和多种镀层发展。新型的生产线有许多采用了一线多锅的布置。可以用一条生产线生产多种镀层成分的产品，可以做到快速更换。

另外改进了退火热处理设备，可以进行无时效的IF板的处理。除了生产普通钢板的热镀锌产品之外，还能生产IF钢镀层板。

(5) 由于全世界将而面临锌资源的枯竭，所以电镀锌板以其耗锌量少，在竞争中占有一定的优势，特别是正在开发的各种耐蚀性好的电镀锌合金钢板，一旦获得耐蚀优良的镀层合金，便会在竞争中占有一定的地位。

据不完全统计，截至1998年底全世界已建成投产的镀锌机组遍布世界56个国家，共394条线，其中热浸镀锌机组311条，电镀锌机组83条。1998年世界镀锌钢板产量约7000万吨，其中热镀锌钢板产量约5000万吨，电镀锌钢板产量约2000万吨。国外的镀锌钢板生产，主要集中在美国、日本和欧洲联盟。美国、日本年产镀锌钢板各约1500万吨，欧洲联盟约为2000万吨，三方合计产量为5000万吨，其中约2000万吨产量分散在其他50个国家地区。

## 1.2 国内钢铁热镀锌的发展

我国的热镀锌钢板生产发展较晚，在20世纪50~60年代只有一些单张钢板镀锌机组。先后建立单张板生产机组的厂家有鞍钢第一薄板厂、第二薄板厂、沈阳薄板厂、营口薄板厂、北京特钢厂等。其产品不论数量和质量都不能满足市场的需求。由于生产方法的落后，特别是产品质量差、消耗大、经济效益差等多方面的原因，都早已停产。这一阶段是从20世纪50年代开始的，处在低水平上的引进、吸收的阶段。

1979年在武钢建立了我国第一条改进的森吉米尔型连续钢板热镀锌生产线，设计产量为15万吨/年。后来经过改造，年生产能力达到了22万吨。直到80年代末，在宝山钢铁厂建成了生产能力为36万吨/年的带钢热镀锌机组，机组工艺采用改进的森吉米尔型，采用立式加热炉。在70~90年代的二十年间，投入生产的大型机组只有武钢和宝钢各一条生产线。国内在科研和技术装置水平方面有了一定提高，但仍不具备建立大型生产线的的能力。

在80年代后期，依靠国内的技术装备，在重庆钢厂于1989年建立了第一条年产能力为5万吨采用惠林法生产的钢板热镀锌生产线。同一段时间内，国内利用自己的技术装备，在窄带钢热镀锌、锌-铝合金方面都建成了一批年产能力在5000t左右的生产线。

自80年代后期以来，国内先后利用引进技术和设备，在90年代于广东三水西南钢铁厂、攀枝花钢铁公司、本溪钢铁公司等先后采用全部引进或部分引进联合制造的方式建立了

总生产能力为 45 万吨的三条连续镀锌线，这在布局上起到了平衡的作用。

与此同时，国内在湖北黄石建立了一条年产板宽为 1m，利用美钢联法生产能力为 5 万吨/年的热浸镀锌板和镀锌-锌合金板的生产线。另外，在国内还建立了一批生产锌-铝合金板和镀锌板的小型生产线。

这一阶段使我国的热镀锌板生产技术水平达到了能建立产量为 5 万~10 万吨/年的森吉米尔法或美钢联法生产线的水平。另外，在生产布局和品种发展上进入了平衡发展的阶段。从统计资料来看，国内已具备了总计 133 万吨/年的生产能力。

在 20 世纪 30 年代（1935），我国已有热镀锌型材、镀锌钢管和镀锌钢丝等金属制品，在 60 年代以后才进入技术设备的更新和生产规模扩大时期。80 年代以后，通过引进开发，至 90 年代已经达到了 150 万吨/年生产能力。

## 1.3 钢铁热镀锌产品的应用

### 1.3.1 国内热镀锌钢板生产与需求情况

我国的热镀锌钢板生产能力，无论是相对国际生产水平还是国内市场需求都有明显的差距。例如，1989 年我国的生产能力只有世界热镀锌板年生产能力的 1.6%。到目前为止，我国的热镀锌板生产情况如表 1-1 所示（缺台湾地区数据，下同）。

表 1-1 国内热镀锌板生产能力 / (万吨/年)

年份	2000	2001	2002	2003	2004	2005
建成	253	330	330	583	583	583
在建					261	476

目前在我国，热镀锌钢板的生产包括了几乎各种工艺方法和各种合金成分的产品：1989 年总生产能力也达到了 133 万吨左右。就产量而言，仅仅占世界年产量（1989 年）的 4% 左右。国内的需求量仍超过生产能力，据 1982~1990 年统计，在此期间我国每年进口量平均为 30 万吨。

（1）热镀锌板在汽车行业的应用。镀锌钢板的主要用途之一是用于汽车制造业。在汽车用镀锌板方面，在过去一段时间内，国内产品不能满足深冲性能和宽规格的要求及品种的要求，仍需要在一定时期内通过进口解决。表 1-2~表 1-4 为我国汽车工业对热镀锌板的用量及性能要求。

表 1-2 国内引进车型对镀锌板的需求举例 / (kg/辆)

车 型	单面热镀锌板	双面热镀锌板	单面电镀锌板	双面电镀锌板	合 计
一汽奥迪 100	14	299		413	526
二汽雪铁龙	139	80	76	4	299
上海大众桑塔纳		55			55
北京切诺基	106	476			582
广州标致			108.7	17.29	125.99
天津夏利		95.83		100.92	196.75
天津大发	0.288	138.4	29	53.65	211.34
南汽依维柯			25		25
2000 年用量/万吨	7.0	16.0	7.2	7.7	37.7



表 1-3 对轿车用镀锌板的性能要求

项 目	单面热镀锌	双面热镀锌	单面电镀锌	双面电镀锌
厚度范围/mm	0.7~2.8	0.5~3.0	0.3~1.5	0.6~2.0
宽度范围/mm	825~1530	875~2000	1000~1650	760~1825
锌附着量/ $g \cdot m^{-2}$	40~200 非镀面 0.1	80~450(双面)	50~110	20~90(每面)
镀层种类	小锌花、光整锌花、合金化(Zn-Fe、Zn-Al)	普通锌花、小锌花、光整锌花、合金化(Zn-Fe、Zn-Al)	合金化(Zn-Fe、Zn-Ni)	合金化(Zn-Fe、Zn-Ni)
抗拉强度/MPa	270~540	270~540	270~540	270~540
深冲性能/级	HF, ZF	HF, ZF	HF, ZF	HF, ZF

表 1-4 汽车用镀锌板需求量

车 型	规格/mm	单耗/(kg/辆)	2000 年		2005 年		2010 年	
			万辆	万吨	万辆	万吨	万辆	万吨
切诺基	0.8×1500~1660	60	7	0.42	9	0.54	48	1.08
桑塔纳	0.8×1830	55	26	1.43	34	1.87	68	3.74
奥迪 100	9.8×1825~1950	59	32	1.889	40	2.36	80	3.72
标致	0.8×1850~1890	65	5	0.825	7	0.455	14	0.91
雪铁龙	(0.75~0.8)×(1690~1725)	50	54	0.27	70	3.5	140	7.0
二峰	0.7×1200~1600	147.2	4	0.588	5	0.763	10	1.472
合计				7.352		9.461		18.992
豪华客车				约 3		约 5		约 7
总计				约 10		约 14		约 26

(2) 用于生产彩色涂层钢板。彩色涂层钢板是指将有机涂料涂覆于薄钢板表面获得的涂装产品。它兼有有机聚合物与钢板两者的优点。它既有有机聚合物的良好着色性、成型性、耐蚀性，又具有钢板的机械强度和易加工性能，可以很容易地进行冲裁、弯曲、深冲、铆接、焊接等加工。

由于彩色涂层钢板是在冶金工厂里集中进行生产，从而使薄钢板涂装产品的成本降低了5%~10%，节约能源1/6~1/5。尤其是可以节约钢板表面预处理设备和涂装设备的大量投资。同时，由于集中生产，利于进行涂装生产过程中的环境保护工作。

目前，彩色涂层钢板的用途已有1000种左右，它广泛地应用于建筑、运输、电器、家具等各行业。

由于以上原因。凡是涂装后使用的镀锌板都已是采用生产彩色涂层钢板后进行加工应用。生产彩色涂层钢板的常用工艺流程如下：

开卷→剪切→压毛刺→缝合(→或焊接)→预清洗→张力辊→入口活套→刷洗→脱脂处理→清洗(→表面活化和调质处理)→清洗→铬化处理→吹干→涂料涂覆→烘烤固化→空气冷却→水冷→吹干→二次涂料涂覆→二次烘烤固化→空气冷却(→复层、压花、印花)→水冷→吹干(→拉伸矫直)→张力辊→出口活套→张力辊→涂蜡(或覆膜)→卷取。

生产彩色涂层钢板生产线的设备布置如图 1-1 所示。

随着汽车工业的发展，对单面镀锌钢板、差厚镀锌钢板也有大量的需求。由于钢板生产和热镀锌工艺技术的发展，热镀锌钢板产品的品种也大大增加。它们因基板材质、生产工艺、表面状态、表面结构、镀层成分的不同，而在性能和用途上存在明显差别。如表 1-5 所示。