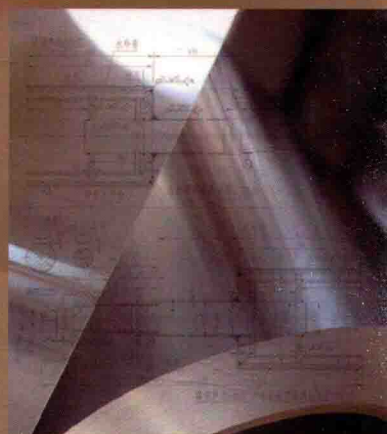


马口铁生产工艺和 工艺设备

蒋新国 汪为健 宋超群 编著



非外借



科学出版社

马口铁生产工艺和工艺设备

蒋新国 汪为健 宋超群 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书详细阐述了马口铁（电镀锡及电镀铬钢板）的生产工艺及相关设备，是相关生产厂家及上下游企业了解该产业的重要专著。电镀锡、电镀铬薄钢板是冷轧薄钢板经表面处理技术处理的产品，因优良的食品保鲜性、耐蚀性、无毒性受到各国重视。随着其生产迅猛发展，电镀锡、电镀铬薄钢板的表面涂镀处理技术发生了许多变化。本书简述了电镀锡、电镀铬薄钢板基础知识，并介绍了产品生产工艺及设备，及表面涂镀处理的新技术与新方法。

本书内容全面系统、结构合理、层次分明，可供钢铁企业、马口铁生产企业、制罐等马口铁使用企业等技术人员交流使用，也可供相关专业院校师生查阅参考。

图书在版编目（CIP）数据

马口铁生产工艺和工艺设备 / 蒋新国，汪为健，宋超群编著. —北京：科学出版社，2017.12

ISBN 978-7-03-055608-0

I. ①马… II. ①蒋… ②汪… ③宋… III. ①镀锡板—生产工艺 ②镀锡板—生产设备 IV. ①TG14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 290591 号

责任编辑：王 彦 / 责任校对：刘凤英
责任印制：关山飞 / 封面设计：张 放

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

北京科信印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 12 月第 一 版 开本：787×1092 1/16

2017 年 12 月第一次印刷 印张：15

字数：150 000

定价：58.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

前 言

随着我国国民经济的增长，人民群众物质文化需求日益提高，薄板带钢的生产迅猛发展，其用途日益广泛，促使了我国薄板带钢的消费成倍增长。其中马口铁（电镀锡、电镀铬薄钢板）的生产和消费在 1991~2010 年的 10 年中由 30 万吨上升至 300 万吨，标志着冶金工业技术密集程度较高的电镀锡、电镀铬薄钢板的生产工艺和技术在我国得到广泛应用。

电镀锡、电镀铬薄钢板实质上是冷轧薄钢板经某些表面处理技术处理的产品，起源于 19 世纪的英、法等西欧国家，当时因其优良的食品保鲜性、耐蚀性、无毒性应用于战争而受到各国重视。20 世纪的第二次世界大战也因战争原因使其得到快速发展，最后成为现代人民群众需求日益增长的商品。

随着世界范围内的能源紧缺，保护人类生存环境显得日益紧迫，为适应新形势，电镀锡、电镀铬薄钢板的表面涂镀处理技术发生了许多变化，更多的环保、节能、降耗、减排与自然环境友好的新技术、新方法，应用到电镀锡、电镀铬薄钢板的表面涂镀处理与生产中。全世界包括中华民族在内的许多优秀人才和有识之士为此奋斗了毕生，为了将他们的成果变成全人类、全世界的共同财富，特收集电镀锡、电镀铬薄钢板的表面涂镀处理技术资料，整理并编辑此书。谨以此纪念为发展电镀锡、电镀铬薄钢板的表面涂镀处理技术与生产的有识之士所做出的努力和贡献。书稿由中冶京诚（原北京钢铁设计总院）教授级高工宋加女士、周冶先生审核，在此表示衷心地感谢！由于编者水平有限，不妥之处请与科学出版社联系，编者将虚心予以更正。

编 者
2016 年

目 录

第一章 马口铁板产品基础知识.....	1
第一节 马口铁板的历史沿革及绪论.....	1
一、马口铁板产品的简介.....	1
二、中国马口铁生产的历史回顾.....	1
第二节 电镀锡薄钢板产品的特性及分类.....	3
一、金属锡的特性.....	3
二、电镀锡薄钢板及其结构.....	4
三、电镀锡薄钢板的耐蚀机理.....	5
四、电镀锡薄钢板的分类.....	6
第三节 马口铁板产品电镀锡的基础理论知识.....	8
一、电镀溶液.....	8
二、电镀中的导体及电源.....	12
三、电镀过程中重要的定律和概念.....	14
第四节 马口铁原板的生产及工艺.....	17
一、生产工艺流程简介.....	17
二、冶炼合适的钢种.....	18
三、轧制合适的热轧板.....	20
四、热连轧带钢的酸洗.....	22
五、冷轧.....	24
六、冷轧薄钢板带钢脱脂清洗.....	28
七、连续退火.....	33
八、罩式退火.....	36
九、平整轧制.....	37
十、二次冷轧.....	38
结束语.....	39
第二章 马口铁板产品的生产工艺和工艺设备.....	41
第一节 马口铁板产品的生产工艺与工艺流程.....	41
一、概述.....	41
二、历史沿革.....	41
第二节 弗罗斯坦法生产工艺与工艺流程.....	44
一、弗罗斯坦法工艺电镀锡生产线.....	44
二、弗罗斯坦法工艺设备布置及生产过程.....	45

三、弗罗斯坦法工艺电镀锡生产线的工艺性能介绍	47
第三节 冷轧薄钢板电镀锡生产线的前处理	49
一、概述	49
二、化学脱脂工序	50
三、电化学脱脂工序	61
四、酸洗工序	71
五、前处理不良的影响及对策	80
第四节 马口铁生产线的电镀锡段	82
一、综述	82
二、电镀锡工艺方法	84
三、弗罗斯坦法工艺电镀锡工艺设备	85
四、高速镀锡生产线的弗罗斯坦法镀锡工艺	108
第五节 马口铁生产线的软熔工艺段	113
一、概述	113
二、电阻软熔处理	113
三、高频感应软熔和联合软熔	118
四、镀锡带钢中锡—铁合金层的控制及耐蚀机理	121
五、变频电阻软熔	122
六、淬水处理	125
第六节 马口铁生产线的钝化工艺段	130
一、概述	130
二、钝化处理	130
三、300、311 钝化的工艺循环系统原理	132
四、钝化工艺条件及操作	134
五、钝化喷淋冲洗循环系统	138
六、关于含六价铬 (Cr^{VI}) 污水的各种计算	141
七、在线含六价铬 (Cr^{VI}) 污水处理设备的钝化工艺	143
八、钝化排风装置	145
第七节 马口铁生产线的涂油工艺段	146
一、概述	146
二、静电涂油	147
第八节 马口铁生产线的电气设备	150
一、概述	150
二、供配电设备	151
三、电气控制系统设备	154
第九节 马口铁盒板剪切线	163
一、概述	163

二、马口铁剪切生产线.....	164
第三章 马口铁生产线的水处理系统.....	167
第一节 马口铁生产线的给水处理系统.....	167
一、概述	167
二、电镀锡生产线给水处理系统的原水.....	167
三、电镀锡生产线给水处理系统的工艺流程原理.....	169
四、电镀锡生产线给水处理系统的一级脱离子水.....	169
五、电镀锡生产线给水处理系统的二级脱离子水.....	178
第二节 马口铁生产线的污水废水处理系统.....	185
一、含酸废水来源、水质、数量.....	185
二、含碱、油废水来源、水质、数量.....	186
三、含酚废水的基础数据.....	188
四、含六价铬 (Cr^{VI}) 污水的基础数据.....	189
五、电镀锡生产线的含酚废水处理系统.....	190
六、电镀锡生产线的含酸废水处理系统.....	191
七、电镀锡生产线的含铬 (Cr^{VI}) 废水处理系统.....	192
八、电镀锡生产线的含碱废水处理系统.....	195
第四章 电镀铬薄钢板 (TFS)	197
第一节 电镀铬薄钢板 TFS 的历史.....	197
一、概述	197
二、电镀铬薄钢板的研究.....	197
第二节 电镀铬薄钢板 TFS 特点与结构.....	200
一、概述	200
二、金属铬的性质.....	200
三、电镀铬薄钢板的结构.....	201
第三节 电镀铬薄钢板 TFS 的生产制造.....	202
一、概述	202
二、TFS 生产的工艺设备布置.....	203
三、TFS 生产中电镀铬液的配方.....	207
四、TFS 生产工艺配方变动需要说明的几点.....	213
五、TFS 生产线镀铬段的循环系统.....	214
结束语	229

第一章 马口铁板产品基础知识

第一节 马口铁板的历史沿革及绪论

一、马口铁板产品的简介

马口铁板产品是冷轧薄钢板电镀锡产品和冷轧薄钢板电镀铬产品在中国的俗称，国外称为 ETP、TFS。ETP 是 electrolytic tin plate 的缩写，意译译名为：电镀锡薄钢板。TFS 是 tin free steel 的缩写，意译是不镀锡而又能替代镀锡板用途的薄钢板，TFS 产品刚开发时曾称 ECCS (electrolytic chromium-coated steel)，意译译名为：电镀铬薄钢板。

镀锡钢板因 19 世纪末首次从我国澳门进口至大陆，当时的业界人士就由进口地的英文 (Macao) 音译文字来称谓这种特殊用途的薄钢板，直至今时成为大家约定俗成的称谓。那时的镀锡板产品还是热镀锡，直至 20 世纪 40 年代才有电镀锡薄钢板生产的商品出现，20 世纪 60 年代有电镀铬薄钢板生产的商品出现，虽然一个是镀锡薄钢板产品，另一个是镀铬薄钢板产品，但由于用途上大同小异，所以在中国凡是从事电镀锡薄钢板产品和电镀铬薄钢板产品制造、销售或是其下游产品的业界人士都将其称为马口铁，又简称电镀锡薄钢板产品为锡铁，电镀铬薄钢板产品为铬铁。也就是说马口铁产品是两种产品名称的合称，包括了电镀锡、电镀铬薄钢板。现在世界各地包括东南亚、韩国、日本等都认可中国对电镀锡薄钢板产品和电镀铬薄钢板产品称之为马口铁板产品的称谓。故本书不对其作严格的区分。

马口铁板产品主要用途是作为食品包装材料、饮料包装材料，被制作成罐、盒、盖等应用于食品和饮料的包装，其无毒性、保鲜性、长期性和可回收再生性是人类目前找到最好的用于食品的金属包装材料。马口铁板产品是钢铁产品中最精细的，也是附加值较高的产品。以它优良的包装性能与其说是钢铁材料产品，还不如说是包装材料产品。随着我国国民的生活水平的不断提高，食品、饮料罐头的消费日益增多，对马口铁产品的需求也越来越多，马口铁产业也飞速发展，是食品、饮料包装行业中产值最大的骨干产业。图 1-1 是部分用途的照片。

二、中国马口铁生产的历史回顾

中国马口铁的生产和大量消费兴起大约于 1991 年，1988 年广东中粤马口铁工业有限公司从韩国新和公司引进一条年产 6 万吨的电镀锡薄钢板生产线 (马口铁生产线)，于 1989 年年底投产，1991 年达产。



图 1-1 马口铁产品的部分用途照片

20 世纪 70 年代末中国的武汉钢铁公司“零七”工程曾从当时的联邦德国引进了一条年产 10 万吨的电镀锡薄钢板生产线，投产后因为马口铁原板的原因造成武汉钢铁公司的电镀锡薄钢板（马口铁板产品）产品用于食品、饮料装罐后出现大量漏罐，对使用其马口铁板产品的下游企业造成巨额损失，为此当时的轻工业部曾以红头文件的形式下文，禁止武汉钢铁公司的马口铁板产品使用于食品、饮料罐头行业，只能用于干杂罐头行业。同年代上钢十厂也建设了一条板宽仅 300mm 的中试机组，投产后就无下文，其实也是由于马口铁原板的原因没有再上速度更高、板宽更宽的商品级电镀锡薄钢板生产线。

广东中粤马口铁工业有限公司从韩国新和公司引进的年产 6 万吨的电镀锡薄钢板生产线（马口铁板生产线），当时使用日本进口的马口铁原板，后又使用进口自韩国、法国、荷兰、巴西等国的马口铁原板，板宽为 712~1 000mm，产品投入市场后就得到了用户的好评，1991 年达产时，加上当年进口的马口铁板产品，中国的马口铁板产品消费量达到了 30 万吨。显出了投资马口铁行业良好的社会效应和投资效益。之后江苏无锡统一、广州太平洋、海南海宇、福建漳州统一等利用进口马口铁原板和进口电镀锡薄钢板生产线的马口铁企业像雨后春笋般兴起。到了 1997 年，利用国产马口铁原板的上海宝钢年产 20 万吨电镀锡薄钢板生产线 2 套和上海宜昌薄板的 10 万吨电镀锡薄钢板生产线相继投产，将中国的马口铁板产品生产推向了一个新的高潮，至 2000 年产能达

到了 160 万吨。

由于巨大的利益驱使，钢铁行业的其他国有企业和一部分民营企业也开始进入马口铁板产品的生产和经营，但由于马口铁原板或又称镀锡原板的生产品质一直是瓶颈，直到进入 21 世纪 10 年代才有所突破，突破该瓶颈是中国钢铁事业的大事，也是中国从事冷轧薄钢板带行业的广大科技人员努力的硕果。

第二节 电镀锡薄钢板产品的特性及分类

一、金属锡的特性

锡在自然界多以高价状态的化合物存在，经采矿、选矿、冶炼后成金属锡（Sn⁰）。金属锡（Sn⁰）呈银白色略带淡蓝色，原子量为 118.7，密度为 7.28 g/cm³，熔点 232℃。在常温下有良好的延展性，化学性质比较稳定，在大气中不变色，对人体无害。金属锡（Sn⁰）的用途很广，据近年统计其中超过 45%的金属锡（Sn⁰）用于生产电镀锡薄钢板产品（马口铁板产品），对镀锡板产品而言可以说金属锡（Sn⁰）的特性在相当大的程度上确定了镀锡板的特性。其特性描述如下：

（1）化学性质比较稳定，在大气中不变色，故电镀锡薄钢板在相对长的储存时间段内能保持锡的金属光泽。

（2）用镀锡板来加工制作罐头之类的容器，并装载各种不同风味的食品时，锡无论以离子状态、化合物状态溶解于食品中时，对食品的风味、色泽、营养价值等均无影响，对人体的健康亦无不良影响，是至今世界卫生组织唯一确定对人体无害的金属。

（3）由于在常温下有良好的延展性，所以用电镀锡薄钢板来加工制作罐头之类的容器时，即使电镀锡薄钢板弯曲 180°，镀锡层均不易开裂和脱落。

（4）因金属锡的熔点较低为 232℃，故具有良好的焊接性能，所以用电镀锡薄钢板来加工制作罐头之类的容器时，能够实现快速机械化加工，如机械化三片罐的罐身制作速度早就能达到 900 罐/min。

（5）用于生产电镀锡薄钢板的金属锡（Sn⁰）其质量标准必须符合国家标准 GB/T 728-2010 的 Sn99.90AA 级要求，其金属含量及部分杂质含量详见表 1-1。总杂质含量不得超过 0.1%。

表 1-1 Sn99.90AA 级金属锡的含量和允许杂质含量 单位：%

名称	Sn 锡	Pb 铅	Zn 锌	Sb 锑	As 砷	Fe 铁	Bi 铋
Sn99.90							
AA 级	≥99.90	≤0.010	≤0.001	≤0.02	≤0.008	≤0.007	≤0.015

（6）金属锡（Sn⁰）的低温储存性能不好，当温度低于 13℃时，金属锡（Sn⁰）由白锡变成灰锡，是锡的同素异形体的一种，体积会骤然膨胀。当温度低于-33℃时，就会产生锡瘟，变成粉末状固体，成为锡的同素异形体的另外一种形态。所以电镀锡薄钢板的仓

储温度有一定的要求，尤其在在我国北方地区要引起足够的重视。

二、电镀锡薄钢板及其结构

电镀锡薄钢板主要用途是食品包装材料、饮料包装材料，其无毒性、保鲜性、长期性、可回收性是人类目前找到最好的食品、饮料金属包装材料。它集合了冷轧薄钢板和金属锡的优点，不但有冷轧薄钢板的优良的机械加工性能和机械强度性能，又有金属锡的良好耐蚀性能。

电镀锡薄钢板的结构如图 1-2 所示，由钢基体、锡-铁合金层、纯锡层、锡氧化层和钝化层、油膜层组成。分别作如下介绍：

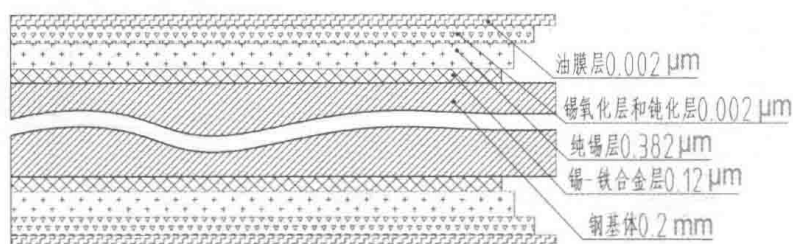


图 1-2 商品电镀锡薄钢板的结构 (25#锡镀层典型经验数值)

(一) 钢基体

钢基体也就是电镀锡基板（又称电镀锡原板、还可称马口铁原板），它是由经炼钢、连铸、热轧、酸洗、冷轧、退火、平整、拉矫等一系列的钢铁冶炼加工措施得到的一种优质低碳冷轧薄钢板。在冶炼加工过程中以严格的、一系列的操作规程和规章制度来保证这种优质低碳薄钢板的机械加工性能、化学耐腐蚀性能、调质度、板形、表面状态质量，使其均符合电镀锡基板的要求。

(二) 锡-铁合金层

锡-铁合金层 (FeSn_2) 是在电镀锡薄钢板生产加工过程中，在软熔工序中，由电镀锡薄钢板加热至锡的熔点而形成的一层钢基体和金属锡层之间相互金相渗透的化合物，很薄如图 1-2 中 (25#锡镀层典型经验数值) 仅相当于钢基体的 0.06%。它的连续性和致密性良好与否决定着电镀锡薄钢板的耐蚀性能的好与坏。

(三) 金属锡层

金属锡层由零价的金属锡 (Sn^0) 组成，金属锡层仅对钢基体进行机械性保护，金属锡层越厚，在钢基体镀层的空隙越少，保护作用越强，耐蚀性就越高。由于锡的电位比铁的电位更正，暴露在空气环境下属于阴极性防护，从电化学角度来说对钢基体无保护作用。其实金属锡层也很薄，如图 1-2 中 (25#锡镀层典型经验数值) 仅相当于钢基体的 0.191%。特别地说明金属锡的良好延展性对电镀锡薄钢板在加工变形中还有较好的润滑作用。

(四) 锡氧化层和钝化层

锡氧化层是在电镀锡薄钢板生产过程中,在软熔工序中形成的一层正二价和正四价的金属氧化物,即 SnO 、 SnO_2 。钝化层是在电镀锡薄钢板生产过程中,钝化工序中形成的一层微量金属铬、铬的氧化物和氢氧化物的胶合体(又称为铬的水合氧化物),能阻止锡的进一步氧化。它们合起来的厚度如图 1-2 中(25#锡镀层典型经验数值)约为钢基体的 0.001%。

(五) 油膜层

油膜层是在电镀锡薄钢板生产过程中,静电涂油工序中形成的一层薄而均匀的油膜,具较好的润滑作用,无论是在电镀锡薄钢板产品的运输中还是在制罐等机械加工中都对其有较好的保护作用。油膜层的厚度如图 1-2 中(25#锡镀层典型经验数值)也约为钢基体的 0.001%。

三、电镀锡薄钢板的耐蚀机理

我们可从电镀锡薄钢板的结构来说明其耐蚀机理,具体来说锡-铁合金层、纯锡层、锡氧化层和钝化层、油膜层中都有不同程度的耐蚀作用。分别从上述各种涂镀层按生成顺序,从后到前、从外到里作如下介绍:

(一) 油膜层的耐蚀作用

从油膜层的生成顺序来说,它是最后生成的。油膜层能够有效地隔离电镀锡薄钢板与大气环境的接触,防止镀锡层进一步氧化发黄。在电镀锡薄钢板的生产制造过程中和下游产品企业的制罐过程中起润滑作用,还可不同程度地防止电镀锡薄钢板产品表面纯锡层的机械损伤。电镀锡薄钢板平板产品(又可称为盒板)在汽车长途运输的状况下,油膜层还可有效地防止因颠簸、板与板之间摩擦而产生的黑色点状物缺陷。

(二) 锡氧化层和钝化层的耐蚀作用

锡氧化层中有氧化锡和氧化亚锡之分,其中的氧化锡又称二氧化锡(SnO_2),在大气环境下比较稳定,具有一定的耐蚀性,氧化亚锡(SnO)在大气环境下不稳定还会继续氧化成二氧化锡(SnO_2),由氧化亚锡(SnO)氧化成二氧化锡(SnO_2)的过程中会使电镀锡薄钢板的表面产生色变,表面出现黄斑。钝化层中的微量金属铬、铬的水合氧化物和氢氧化物除了能阻止氧化亚锡(SnO)进一步氧化外,本身的耐蚀性能更是具有独特的功效。而且还对涂漆有良好的浸润性和亲和力,对油漆、油墨要涂敷在电镀锡薄钢板的表面来说,钝化层能起到良好的承上启下作用。

(三) 纯金属锡层(Sn^0)的耐蚀作用

电镀锡薄钢板暴露在大气腐蚀情况下,在金属锡未完全覆盖钢基体的条件下,纯金属锡层从电化学角度来说为阴极性保护,不能有效地保护钢基体,哪怕是镀锡层完全覆

盖钢基体无空隙,也只能对钢基体进行有效的机械性保护。而当电镀锡薄钢板制成罐头后的罐内,在隔绝空气的情况下,在有机酸的环境中,金属锡(Sn^0)的电位对比金属铁(Fe^0)的电位变负,纯锡层变成是阳极性保护,金属锡(Sn^0)先于金属铁(Fe^0)被氧化,并消耗掉罐内的氧气,使金属铁(Fe^0)因缺氧不被氧化从而保护钢基体,这样在罐内的环境下即使金属锡(Sn^0)未完全覆盖钢基体,也能有效地保护钢基体。

(四) 锡-铁合金层(FeSn_2)的耐蚀作用

电镀锡薄钢板暴露在大气腐蚀情况下,从电化学角度来说,是阴极性保护,或者说是机械性保护,虽然纯金属锡层未完全覆盖钢基体而有一定的细小空隙,但空隙之处未必全部都是钢基体,在纯金属锡层下大部分是锡-铁合金层(FeSn_2),即使有小部分空隙之处是钢基体,但制成罐头后的罐外一般都要有一层油漆印刷体进行机械性保护。而在罐内锡-铁合金层(FeSn_2)有小部分不连续而暴露出钢基体,由于锡-铁合金层(FeSn_2)在罐头内的腐蚀介质中电位也比铁正,很容易极化且与纯金属锡组成了电偶,电偶之间流过的电流与极化程度有关,它能控制锡的溶解量,锡-铁合金层(FeSn_2)连续状况较好的话暴露出的钢基体就少,极化程度就大,电偶之间流过的电流就小,锡的溶解就少,就能达到保护钢基体的作用。反之锡-铁合金层(FeSn_2)不连续暴露出的钢基体多,极化程度就小,电偶之间流过的电流就大,锡的溶解就多,就不能达到较好地保护钢基体的作用。

四、电镀锡薄钢板的分类

无论进行电镀锡薄钢板生产还是从事电镀锡薄钢板销售,都必须知道电镀锡薄钢板的分类,该分类主要是以电镀锡薄钢板的镀锡量、调质度、表面粗糙度进行分类。

(一) 镀锡量

现代镀锡量的标识方法均以单位面积重量(g/m^2)来区分不同镀锡量的电镀锡薄钢板产品,在历史上是用磅/基箱(Lb/bb)来分类不同镀锡量的热镀锡薄钢板产品,电镀锡薄钢板产品成为商品之后仍沿用磅/基箱(Lb/bb)来分类,后来因更适用才改用单位面积重量(g/m^2)来区分分类。此时称谓为25#、50#、75#、100#锡的电镀锡薄钢板分别是镀了0.25Lb/bb、0.50Lb/bb、0.75Lb/bb、1.00Lb/bb锡的电镀锡薄钢板,现代则是用 2.8g/m^2 、 5.6g/m^2 、 8.4g/m^2 、 11.2g/m^2 对应25#、50#、75#、100#锡来标识、区分不同镀锡量的电镀锡薄钢板产品。

也就是说 2.8g/m^2 的单面镀锡量的电镀锡薄钢板相当于镀了0.25Lb/bb锡的电镀锡薄钢板, 11.2g/m^2 的单面镀锡量的电镀锡薄钢板相当于镀了1.00Lb/bb锡的电镀锡薄钢板。根据镀锡量的不同,电镀锡薄钢板还有等厚和差厚之分,等厚为薄钢板正反两面镀锡量相等,差厚为薄钢板正反两面镀锡量不相等,表1-2和表1-3列出了用ISO标准表示等厚镀锡量和差厚镀锡量电镀锡薄钢板的标称值及最小容许值。

表 1-2 等厚镀锡层电镀锡薄钢板的镀锡量（ISO 标准）

代号	标称镀锡量	单面（g/m ² ）	双面（g/m ² ）	双面最小平均（g/m ² ）	习惯标称 牌号
E2.8/2.8		2.8	5.6	4.9	25#
E5.6/5.6		5.6	11.2	10.5	50#
E8.4/8.4		8.4	16.8	15.7	75#
E11.2/11.2		11.2	22.4	20.2	100#

表 1-3 差厚镀锡层电镀锡薄钢板的镀锡量（ISO 标准）

代号	标称镀锡量	镀锡量（g/m ² ）		最小平均镀锡量（g/m ² ）		习惯标称牌号
D5.6/2.8		5.6	2.8	4.75	2.25	50#/25#
D8.4/2.8		8.4	2.8	7.85	2.25	75#/25#
D8.4/5.6		8.4	5.6	7.85	4.75	75#/50#
D11.2/2.8		11.2	2.8	10.1	2.25	100#/25#
D11.2/5.6		11.2	5.6	10.1	4.75	100#/50#

（二）调质度

电镀锡薄钢板的调质度虽然可以说是概括了电镀锡薄钢板相互关联的各种力学性能的综合性能，但多年来没有一种单独的力学性能检验手段能检测出影响电镀锡薄钢板力学性能的所有因素，对于使用一次冷轧薄钢板作为基板的电镀锡薄钢板，用洛式 HR30T 硬度计测试的硬度值作为评判其力学性能及加工性能的好坏被马口铁业界所接受。而二次冷轧薄钢板作为基板的电镀锡薄钢板则要加上拉伸性能的检测值来补充标识电镀锡薄钢板的调质度。

电镀锡薄钢板的洛式 HR30T 硬度计测试的硬度值，是按照调质度的系统对电镀锡薄钢板进行标识、分类的基础，需要指出的是即使是硬度值相同，罩式退火和连续退火的一次冷轧薄钢板其力学性能及加工性能并不相同，因此在标识检测的硬度值时要加上 CA 或是 BA 的符号，如 T3BA 是标识罩式退火的洛式 HR30T 硬度值，T3CA 是标识连续退火的洛式 HR30T 硬度值。同时洛式 HR30T 硬度计测试的数据并不能说明影响电镀锡薄钢板加工性能的所有各种因素，所以对洛式 HR30T 硬度计测试的硬度值通常只是规定其目标值，是一个数值范围而不是某一个精确的数值。表 1-4 是电镀锡薄钢板调质度等级及参考用途。

（三）表面状态（粗糙度）

电镀锡薄钢板的表面状态基本上由冷轧薄钢板（马口铁原板）的表面状态确定，进一步来说是由平整机和二次冷轧机工作辊的表面粗糙度确定，ISO 标准规定了 4 种基本的表面精整状态，包括：

光亮表面（bright finish）：在具有光滑表面的冷轧薄钢板（马口铁原板）上镀锡并对其进行软熔而得到的镀层表面，称为光亮表面。

表 1-4 电镀锡薄钢板调质度等级及参考用途

调质度等级		目标 HR30T 值		抗拉强度近似值 MPa	成形性能	代表性的用途
现时执行	旧时执行	平均值	最大偏离值			
T50	T1	49	±3	330	极苛刻深冲	DI 罐、深冲的部件
T52	T2	52	±3	350	一般深冲	顶底盖、浅冲罐、专用罐
T55	T2.5	55	+4 -3		一般用途	干电池身、小型罐身及盖
T57	T3	57	+4 -3	370	一般用途 有刚性	一般罐盖、罐身、大径顶底盖
T61	T4	61	±3	415	一般用途刚 性较大	皇冠盖、浅冲部件刚性顶底盖
T65	T5	65	±4	450	抗翘曲	刚性大径顶底盖、刚性大容积罐身
T70	T6	70	±3	530	刚性很大	啤酒和碳酸饮料罐的顶底盖
DR550	DR8	73	±3	550±70	二次冷轧	旋盖、易开盖
DR620	DR9	76	±3	620±70	二次冷轧	旋盖、易开盖
DR660	DR9M	77	±3	660±70	二次冷轧	深冲啤酒和碳酸饮料罐、二片罐身

石纹表面 (stone finish): 在具有一定方向性的像磨石纹路一样的冷轧薄钢板上镀锡并对其进行软熔而得到的镀层表面, 称为石纹表面。

哑光表面 (matt finish): 在平整机或二次冷轧机工作辊表面经毛化处理进行轧制的冷轧薄钢板上镀锡并不对其进行软熔而得到的镀层表面, 称为哑光表面。

银光表面 (silver finish): 在平整机或二次冷轧机工作辊表面经毛化处理进行轧制的冷轧薄钢板上镀锡并对其进行软熔而得到的镀层表面, 称为银光表面。

除了按上述几种方法和特征标识、分类之外, 还有镀锡板的外形尺寸 (厚×长×宽)、马口铁原板钢种牌号 (L、MR、D、MC)、钝化方式 (300、311)、涂油轻重等来区分适合不同用途的电镀锡薄钢板产品。故用户和电镀锡薄钢板生产者应根据不同的用途选择购买和生产合适的电镀锡薄钢板产品。

第三节 马口铁板产品电镀锡的基础理论知识

电镀锡是利用电化学方法对冷轧薄钢板表面进行处理, 使其镀上一层金属锡的生产方法, 与热镀锡用物理的方法使冷轧薄钢板表面镀上一层金属锡不同。因此在介绍电镀锡生产工艺之前, 仅就电化学和电镀方面的部分基本知识作有针对性的介绍。

一、电镀溶液

(一) 电镀溶液中的水

水是电镀溶液中最主要的组成部分, 自有电镀和金属冷冶炼工业以来, 电镀和电解几乎都是在水的溶液中进行的。溶液是由溶剂和溶质组成的, 电镀液和电解液就是由以水为溶剂的一种水溶液。可以说没有水就没有电镀和电解。

水分子是极性分子，是氢的氧化物，普通水分子 H_2O 的结构，可用图 1-3 表示。

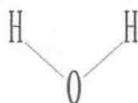


图 1-3 水分子的结构

电解水可以产生氢气和氧气，在水中通以直流电的情况下，阴极上可以生成氢气，阳极上可以生成氧气。在本书的后续部分涉及的冷轧薄钢板钢卷脱脂和除油，以及冷轧薄钢板带钢电镀锡、电镀铬过程中的脱脂和除油，有一种工艺称为电化学脱脂或电解脱脂，就是在含碱的水溶液中，让冷轧薄钢板带钢带上正电或者负电使其成为阳极或者是阴极，由阳极或阴极产生的氢气或氧气气泡将嵌入冷轧薄钢板带钢凹坑处的油脂顶出来，从而达到脱脂和除油的目的。实际上就是利用电解水可以产生氢气和氧气的原理来帮助脱脂的。

电镀溶液中的水必须是纯净度高的水，我们日常生活中的自来水（城市供水）实际上是含有很多杂质的水，在电镀工业上只能用在清洁卫生工作上。工业上使用的一种脱离子水称为一级脱离子水（又称为一级脱盐水），是除掉了大部分阳离子杂质的水，一般是锅炉用水。工业上还使用有一种叫二级脱离子水（又称为二级脱盐水），是除掉了绝大部分阳、阴离子杂质的水，在电镀和电解溶液中就是使用的这种水。如果不使用二级脱离子水，将会使电镀液或电解液发生意想不到的种种故障，甚至使电镀液或电解液的报废，造成不可估量的损失。

（二）电解质的电离

电解质是在溶解或熔化状态下能导电的化合物。以离子键结合的化合物都是电解质。电解质能溶于水，并且都会由于水的极性分子的作用而离解成带正电荷的阳离子和带负电荷的阴离子，这种现象叫电解质的电离。在电离过程中形成的溶液叫电解质溶液。在水溶液中几乎全部都能发生电离的电解质叫强电解质，只发生部分电离的电解质叫弱电解质。酸性无机物中硫酸（ H_2SO_4 ）、盐酸（ HCl ）、硝酸（ HNO_3 ）；碱性无机物中氢氧化钠（ NaOH ）、氢氧化钾（ KOH ）；盐类无机物中硫酸铜（ CuSO_4 ）、硫酸亚锡（ SnSO_4 ）、氯化钠（ NaCl ）、氯化钾（ KCl ）等都是强电解质。醋酸、硼酸、氢氧化铵等是弱电解质。在本书的后续部分涉及的冷轧带钢脱脂和除油工艺中的脱脂液其主要成分就是强电解质物质氢氧化钠（ NaOH ）。在冷轧薄钢板带钢镀锡的生产中第一次配料要使用的硫酸亚锡（ SnSO_4 ）是强电解质的一种，以及冷轧薄钢板带钢镀铬过程中的铬酐（ CrO_3 ）也是强电解质的一种。

（三）水化作用

当强电解质加入水中后，由于水分子是极性分子，它的一端显正电性，会吸引强电解质电离后的阴离子；另一端显负电性，会吸引强电解质电离后的阳离子。作用的结果使强电解质电离后的阴、阳离子溶入水中，并且使溶入水中的阴、阳离子周围吸引着数

目不等的水分子，这个过程叫水化作用。发生水化作用的离子叫水化离子。硫酸亚锡的电离是在水溶液中变成带正电荷的二价锡离子(Sn^{2+})和带负电荷的硫酸根离子(SO_4^{2-})。图 1-4 所示为硫酸亚锡在水中的电离过程状态示意图。

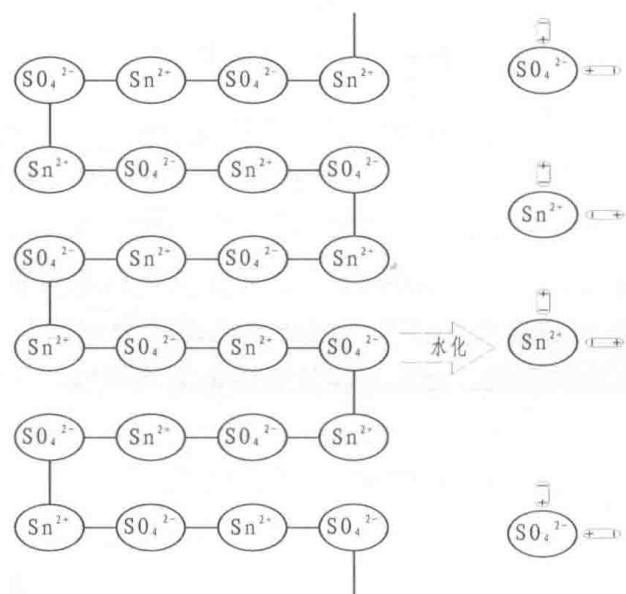


图 1-4 硫酸亚锡在水中的电离状态

(四) 电离度

弱电解质溶解在水中之后，一方面它的分子电离成离子，另一方面电离后生成的离子会重新结合成分子。当分离和结合的两个过程的速度相等时，这时未电离的分子和已电离生成的离子的浓度保持不变，分子和离子间建立了一种平衡，这种平衡就叫电离平衡。电离度是当电离达到平衡时，已电离的电解质分子数和溶剂分子总数之比的百分数。若电离度用符号 α 表示，则其关系为：

$$\text{电离度} (\alpha) = \frac{\text{已电离的电解质分子数}}{\text{溶剂分子的总数}} \times 100\%$$

根据电离度的大小，可以衡量各种弱电解质的电离程度。强电解质在水中是全部电离的，不存在电离平衡，它们的电离度理论上应当等于 100%。但事实并不是完全如此，由实验测得的强电解质的电离度小于 100%。这是因为离子是带电的粒子，受到相互牵制的作用，也就是说溶液中的离子并不是完全自由的，所以由实验测得的强电解质的电离度，或多或少反映在溶液中离子之间牵制作用的程度。为了区别真正的电离度，由实验测得的强电解质的电离度叫做表观电离度。

(五) 电镀液的主盐

电镀液的主盐就是电解质溶液中能在阴极上沉积出所要求金属的盐，也可以说主盐所含的金属离子就是要镀到被镀材料上的金属。对于电镀锡的镀液来说，硫酸亚锡就是主盐，它所含的二价锡离子 (Sn^{2+}) 就是要被镀到冷轧薄钢板上的锡的金属离子。主盐都有一个合适的浓度范围并与镀液中其他的成分保持恰当的浓度比值。在冷轧薄钢板电