



SHIYONG
REDUXIN JISHU

实用

热镀锌技术

苗立贤 苗瀛 编著



化学工业出版社



实用热镀锌技术

SHIYONG
REDUXIN JISHU

苗立贤 苗 瀛 编著



化学工业出版社

本书结合作者多年的工作经验,介绍了热镀锌的基础理论和热镀锌工艺技术,分别对钢带、钢丝、紧固件、钢管、钢制构件热镀锌生产技术做了介绍;重点介绍了热镀锌实用技术,突出介绍了热镀锌生产典型工艺和新工艺的应用,并对热镀锌工艺所用设备进行了简要介绍。

本书适宜从事热镀锌工作的技术人员以及相关企业的管理者使用。

图书在版编目(CIP)数据

实用热镀锌技术/苗立贤,苗瀛编著. —北京:
化学工业出版社, 2014. 8
ISBN 978-7-122-20582-7

I. ①实… II. ①苗… ②苗… III. ①热浸镀锌-生
产工艺 IV. ①TQ153.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第089056号

责任编辑:邢涛
责任校对:吴静

文字编辑:颜克俭
装帧设计:韩飞

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 装:三河市延风印装厂
787mm×1092mm 1/16 印张 26½ 字数 870千字 2014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:128.00元

版权所有 违者必究



序

钢铁材料是人类社会无可替代的工程结构材料，但它易腐蚀生锈，所以必须对其进行防腐处理。在众多的防腐蚀方法中，热镀锌是综合性能最佳、性价比最优的防腐工艺。即使在科学技术日新月异的今天，这个古老的防腐蚀技术在表面工程技术领域依然占有重要地位，其产品产量仅次于涂料防腐。

热镀锌工艺按被加工钢材的形状，分为带钢、钢丝、钢管及钢制构件等专门的工艺过程，每种工艺过程所需的设备、工艺条件及影响因素均有所不同。带钢产品因为可采用自动化连续生产方式生产，工艺参数的控制受操作人员人为因素影响较小，所以产品质量较为稳定。但钢丝、钢管、钢制件等产品的热镀锌生产，受产品形状及尺寸限制，难以实现全部自动化连续生产，有些工艺参数的控制需要操作人员手动进行，有些参数甚至需要凭借操作者的经验、感觉，导致这些产品的热镀锌生产盲目性大，产品质量散差大，生产成本控制不稳定，生产管理随意性强等问题。因此，需要不断把实际生产中成熟的经验规范化，并总结为可学习重复的技术知识。

苗立贤高级工程师从事热镀锌生产、技术工作数十年，积累了大量的生产技术经验；本书既是作者多年积累的知识与经验的总结，又是对热镀锌行业的无私奉献。书中第一至四章介绍了热镀锌的基本理论；第五、六章介绍了钢铁制件热镀锌生产工艺及降低锌耗的方法；第七章为带钢热镀锌；第八、九章为钢丝热镀锌；第十章为钢管热镀锌；第十一章为紧固件热镀锌；第十二章为高速公路护栏、电缆桥架、电力铁塔、高碳钢及铸铁等典型产品的热镀锌；第十三章为钢件热镀锌表面缺陷分析及控制；第十四章为热镀锌主要设备；第十五章为热镀锌生产过程的三废治理；第十六章为热镀锌产品质量标准介绍；第十七章为热镀锌新技术新工艺的应用；第十八章为热镀锌生产中常用的分析方法；第十九章为附件、附表，包含最有实用价值的作业指导书。本书涵盖了理论、工艺、设备、操作方法、质量控制、成本控制、环保、镀层质量标准、分析方法及新技术新工艺等所有方面，尤其第九章钢丝典型热镀锌工艺是目前为止最为全面的对钢丝热镀锌的技术总结。

作者多年从事热浸镀领域生产和研发工作，在多个热镀锌企业从事过不同产品的热镀锌生产的技术研究与管理，不但积累了大量生产一线的宝贵经验，而且作者经历十分丰富，有不同的案例才会产生比较，有比较才会产生创新，因此获得了众多科研成果。该书是作者特殊经历及经验的升华、知识的集合、技术的凝练，可作为热浸镀领域的科技工作者及高校相关专业的实用参考书，可为工程技术人员解决热镀锌的实际生产问题提供有效的帮助与借鉴。为此，本人特为之作序推荐。

李国喜
于东北大学
2014年4月



前言

热镀锌技术是目前世界上钢材防腐蚀方法中一种最基本、最古老、最广泛的方法，钢材热镀锌工艺与其他金属防腐蚀方法相比，在镀层电化学保护性、镀层的致密性、镀层耐久性、镀层免维护性、镀层与基体结合力、镀层经济性以及热镀锌工艺对钢制件形状和尺寸的适应性、生产的高效性方面所具有的优势是其他工艺所无法比拟的。热镀锌技术从18世纪初期到现在近二百年时间里，经过发展和不断的完善，热镀锌已经由初期简单的在钢铁制品上镀上一层锌作为防腐蚀的一种方法，发展到如今已经有了长足的发展和进步，广泛用于冶金、建材、建筑、电力、交通、车船制造、机电和农业等国民经济的各个领域，热镀锌技术正在进入功能性、低能耗、低污染、高质量和自动化时代。

我国内地热镀锌技术的应用相对于欧美等国家发展较晚，早期的热镀锌技术亦相对落后；在改革开放思想的指引下，伴随着国家的工业化和经济建设较快发展的步伐，热镀锌金属制品的需求量逐年扩大，具有相当生产规模的热镀锌企业亦逐年增多，生产量日益扩大，热镀锌生产技术也在不断提高。但是在钢制品热镀锌生产工艺技术方面仍然存在着各厂技术参差不齐，工艺仍然较为落后，相对于国际上钢带、钢管、钢丝热镀锌技术方面的成熟度，还有一定的差距。同时，人们对热镀锌生产工艺的研究较多，且大部分集中在热镀锌的助镀剂、镀锌层的钝化等一些方面，而且比较凌乱；而较全面、系统的介绍钢制品实用热镀锌技术在实践方面的专著却很少，这对于目前热镀锌技术日益发展的需要，特别是与节能减排、热镀锌环保治理，建设绿色中国、科学发展观方面的要求，存在较大的差距。

基于以上的认识，结合笔者在热镀锌工作上积累的一些实际经验，汲取国内外有关热镀锌新技术、新工艺，笔者编写了本书。本书遵循理论与实践并举的原则，在书中介绍了热镀锌的基础理论和热镀锌工艺技术，分别对钢带、钢丝、紧固件、钢管、钢制构件热镀锌生产技术做了介绍；本着去粗取精、去伪存真的原则，使书中的内容具有一定的先进性、实用性，重点介绍了热镀锌实用技术，用较多的篇幅突出介绍了热镀锌生产典型工艺和新工艺的应用；所述的新工艺是近几年来在国内刊物上已发表的，有些是已获得国家授权专利的技术；所述的工艺参数、操作程序，均有一定的参考价值；所介绍的热镀锌用新设备具有一定的先进性、新颖性和可操作性强的特点，对企业的设备改造和选型可起到一定的借鉴和帮助作用。

本书内容取材比较广泛，文字通俗易懂，为热镀锌企业中的技术人员、工人提供了一本既能了解热镀锌技术基本原理，又能了解热镀锌最新技术成果的参考资料；同时集中介绍了热镀锌生产过程中产生的“三废”处理技术和方法，实用性较强，为热镀锌企业环保治理提供了新的思路和方案，适合广大热镀锌工作者阅读。

本书内容主要包括四个部分。

第一部分介绍了热镀锌基础的发展历史和热镀锌技术基础理论，该部分内容总结了国内外大量文献资料，着重介绍了热镀锌反应的基本原理及热镀锌层的性能特点，并介绍了钢材成分、锌液成分和钢材表面状态等对热镀锌反应的影响。

第二部分较具体地介绍了热镀锌生产工艺技术，其中包括钢带、钢丝、钢管和钢制构件等金属制品的热镀锌。并分别介绍了一些典型的具有代表性的生产应用工艺技术以及热镀锌产品的质量标准 and 检收。

第三部分介绍了在热镀锌生产方面的最新工艺技术，突出节能降耗的主题，重点对降低锌耗的方法作了论述和实现降低锌耗的最新的设备、新技术等相关措施作了详尽的介绍。

第四部分用较大的篇幅介绍了热镀锌生产中“三废”的产生原因，结合实际列出了对“三废”处理的具体方法措施，达到无废物排放、再生循环使用的目的。所介绍提供的处理方法是近几年来投资少、效果好、应用广泛的行之有效的处理方法。

本书在编写过程中参阅和引用了大量文献和技术资料。主要参考文献已列于全书之末，限于篇幅恕不能一一列举，在此谨向有关作者致以谢意。

限于作者的经验与水平有限，书中不当之处，诚恳欢迎同仁和读者给予批评指正。

苗立贤

2014年1月18日完稿于山东泰安市



目 录

第一章 热镀锌技术发展概述 1

第一节 热镀锌发展的历史	1
一、热镀锌的由来	1
二、中国热镀锌的里程碑	1
第二节 热镀锌发展现状	2
一、热镀锌在金属防腐上的意义	2
二、热镀锌镀层耐大气腐蚀的性能	3
三、热镀锌应用范围	3

第二章 热镀锌的理论基础 5

第一节 钢铁材料热镀锌的性质	5
第二节 金属锌的结构与性质	6
一、金属锌的结构	6
二、金属锌的热力学性质	6
第三节 金属锌的物理学性质	8
一、金属锌的物理学性质	8
二、锌锭的化学成分	9
三、热镀锌镀层的防腐原理与防护性	9

第三章 热镀锌反应原理 13

第一节 铁-锌二元平衡相图及铁锌金属间化合物相	13
第二节 热镀锌镀层的形成及其特征	14
一、热镀锌镀层的形成	14
二、镀锌层的特性	15
三、热镀过程中各合金相的形成	16
第三节 钢制件的化学成分对镀锌层的	

影响	18
第四节 其他因素对镀锌层的影响	21
一、钢制件预加工的影响	21
二、镀锌层结晶速度的影响	21
三、其他因素对镀锌层附着强度的影响	21
第五节 锌液温度和浸锌时间对镀锌层的影响	21
一、镀锌温度的范围	22
二、镀液温度对镀层的影响	23
三、浸锌时间对镀层的影响	23
四、镀锌温度对合金层成长速率的影响	25

第四章 锌液中不同金属元素对铁锌反应的影响 27

第一节 锌液中各元素对镀层的影响	27
第二节 含硅活性钢对热镀锌的影响	32
一、硅活性钢对热镀锌的反应	32
二、硅对铁锌金属间化合物相层生长的影响	33
三、硅对镀锌层的影响	33

第五章 热镀锌生产工艺 36

第一节 热浸镀锌工艺分类	36
一、热浸镀锌工艺分类	36
二、热浸镀锌工艺流程	37
第二节 热镀锌镀前处理	37
一、脱脂除油	38
二、脱脂清洗效果的检验	40

三、除旧漆	41
四、酸洗除锈	41
五、酸洗操作注意事项	45
六、酸洗液常用的缓蚀剂	46
七、水洗	46
第三节 钢铁制件的助镀剂处理	47
一、助镀剂处理的意义	47
二、助镀剂的作用机理	47
三、助镀剂成分及工艺参数的影响	49
四、助镀溶剂烟气的控制	52
第四节 钢制件助镀处理后的烘干	52
一、助镀剂烘干的作用	52
二、助镀剂烘干的方式	52
第五节 钢铁制件的热镀锌	52
一、热镀锌的基本要求	52
二、热镀锌中影响镀层的因素	53
三、热镀锌用锌的质量要求	53
第六节 热镀锌生产操作	53
一、锌液温度	53
二、浸锌时间	54
三、钢制件进入、提出锌液的速度	54
四、锌液中的其他成分的影响	56
五、扒锌灰和捞锌渣	57
六、水冷却	57
第七节 钢制件的镀锌后处理	57
一、防白锈钝化处理	57
二、钝化操作要点	59
三、钝化膜的测定	59
四、镀层白锈的预防及处理	59
五、钝化后的干燥	60
第八节 镀锌件的检验、修整与存放	61
一、镀锌件的检测与修整	61
二、镀层的修复	61
三、包装与存放	62
四、镀锌件的标记、打印	62

第六章 热镀锌降低锌耗工艺

64

第一节 热镀锌工艺对锌耗的影响因素	64
一、传统镀锌工艺对锌耗的影响	64
二、锌灰产生的原因及减少的措施	66

三、锌渣产生的原因及减少的措施	66
四、操作过程中锌的损失及预防 措施	67
第二节 钢构件镀层的钝化技术	67
一、三价铬钝化工艺流程	68
二、钝化工艺参数	68
三、钝化后的干燥	68
四、耐腐蚀试验	68

第七章 带钢热镀锌生产

69

第一节 带钢热镀锌的种类	69
一、溶剂法带钢热镀锌	69
二、改良的森吉米尔法带钢热镀锌	69
第二节 热镀锌钢板新品种	70
一、常规热镀锌板	70
二、锌合金镀层钢板	71
三、ZAM钢板	71
第三节 提高热镀锌钢带表面质量的 趋势	71
一、提高镀锌钢带镀层的黏附性	71
二、提高镀层的力学性能	72
三、提高耐腐蚀性能	73
四、提高涂着性能	73
五、改善镀层的均匀性和板形	73
第四节 钢带热镀锌过程控制自动化	73
一、数据传输、跟踪	73
二、锌层厚度的反馈控制	73
三、参数的自动设定	74
四、退火周期的控制	74
五、工艺参数的记录、显示	74
第五节 钢带热镀锌一般流程	74
一、开卷	74
二、切头	75
三、焊接	76
四、焊机操作及其维护	77
第六节 带钢连续退火	78
一、退火炉概述及炉压控制	78
二、预热炉	79
三、还原炉	85
四、带钢的冷却段	87

第七节 带钢热镀锌	90
一、带钢热镀锌设备	90
二、带钢热镀锌	90
三、气吹抹拭	93
四、带钢的冷却	97
第八节 热镀锌机组的自动调节	98
一、带钢的张力控制	98
二、带钢跑偏的控制	99
三、镀锌层厚度的连续测定	101
四、镀锌层厚度的自动控制	102
第九节 带钢的镀后机械处理	104
一、镀锌后的机械处理	104
二、热镀锌薄板的光整处理	106
三、镀锌板的拉伸弯曲矫直	109
四、带钢的卷取	112
第十节 镀锌后的化学处理	113
一、涂油处理	113
二、铬酸盐防锈处理	114
三、防锈处理要点	114
第十一节 热镀锌薄板的质量检验	115
一、镀锌层表面缺陷检验	115
二、镀前原板缺陷	117
三、运输和储存造成的缺陷	118
第十二节 热镀锌带钢的性能检验	118
一、取样规定	118
二、力学性能的检验	119
三、镀锌层重量的测定	121
第十三节 带钢热镀锌超薄镀层生产	
工艺	122
一、实现超薄镀锌层的意义	122
二、影响锌层厚度的因素	122
三、减薄镀锌层的技术措施	124

第八章 钢丝热镀锌生产工艺 125

第一节 钢丝热镀锌工艺流程	125
一、镀锌前的处理	125
二、中、高碳钢的助镀溶剂处理	127
三、镀锌前的烘干处理	128
第二节 钢丝热镀锌	128
一、钢丝热镀锌的条件	128

二、钢丝热镀锌操作	129
三、钢丝镀锌后的冷却	131
四、钢丝的放线	131
五、镀锌后钢丝的收线	131
六、锌灰和锌渣的清除	132
第三节 影响钢丝镀层结构的因素	132
一、影响镀层结构的外部因素	132
二、微量元素的影响因素	134
三、影响镀层厚、薄的因素	135
四、热镀锌钢丝直径与走线速度的	
关系	135
第四节 热镀锌钢丝的力学性能	137
一、钢丝的抗拉强度	137
二、钢丝的延伸率、弯曲和扭转	138
三、钢丝的疲劳强度	138
第五节 镀锌钢丝表面缺陷原因及纠正	
措施	138
一、镀锌层表面缺陷形态	138
二、镀层缺陷的原因及措施	139

第九章 钢丝热镀锌典型工艺 142

第一节 一般用途低碳钢丝热镀锌生产	
技术	142
一、原材、辅料的主要技术要求	142
二、工艺流程	142
三、工艺技术指标	143
四、工艺操作规定	145
五、镀锌钢丝的质量要求	146
六、检验制度	146
七、钢丝检验、试验依据	146
第二节 环保型钢丝热镀锌生产工艺	147
一、传统镀锌工艺对环保的影响	147
二、环保型钢丝热镀锌生产新工艺	148
三、节锌设备、抹拭和放线方法	150
第三节 铠装电缆用钢丝热镀锌镀层	
工艺	151
一、生产工艺流程	151
二、钢丝热镀锌	153
三、镀层抹拭、冷却方法	153
四、收线方法	154

第四节 还原法钢丝热镀锌-5%铝-稀土合金镀层工艺	154	第十一节 热镀锌钢绞线钝化工艺	175
一、还原法镀锌的原理和条件	155	一、钝化工艺流程	175
二、热镀 Galfan 合金镀层工艺	155	二、钝化液配置与操作	175
三、热镀 Galfan 合金镀层性能	157	三、钢绞线钝化后的处理	176
第五节 双镀法钢丝热镀锌-10%铝-稀土合金镀层工艺	158	四、腐蚀试验及外观	176
一、双镀法生产工艺流程	158	第十二节 防止 Q345 钢热镀锌灰暗镀层的措施	176
二、双镀法镀锌镀层步骤	159	一、灰暗镀层形成的原因	176
三、氮气抹拭方法	161	二、解决灰暗镀层的工艺措施	178
四、镀层缺陷及纠正措施	161	三、解决灰暗镀层的操作措施	178
五、结论	162	第十三节 低碳钢丝连续生产热镀锌技术	179
第六节 单镀法热镀锌-10%铝-稀土合金镀层工艺	162	一、钢丝盘条的规格与要求	179
一、单镀法热镀 Zn-10%Al-Re 合金镀层的原理	162	二、钢丝的拉拔	179
二、热镀 Zn-10%Al-Re 合金镀层(24 线)工艺	163	三、盘条表面的清洗	180
三、钢丝表面电解沉积锌	164	四、配模工艺	180
四、钢丝热镀 Zn-10%Al-Re 合金镀层	164	五、钢丝镀锌前的退火处理	181
五、镀层性能测试	165	六、钢丝的热镀锌生产	184
六、结论	165	七、镀锌层的后处理	186
第七节 钢丝热镀锌清洁化生产工艺	165		
一、钢丝热镀锌对环境的影响	166		
二、清洁化生产的途径	166		
三、推广环保技术	168		
第八节 钢丝焊网热镀锌生产工艺	168		
一、传统生产工艺存在的问题	168		
二、工艺改进措施	169		
三、锌液温度与镀网速度	170		
第九节 钢丝热镀锌生产用复合盐酸清洗液	171		
一、盐酸除锈机理	171		
二、常温快速酸洗液	172		
三、最佳盐酸浓度控制与测定	172		
四、效果分析	173		
第十节 电磁擦拭法在钢丝热镀锌中的应用	173		
一、电磁擦拭法的原理	173		
二、对现有生产装置的改造	174		
三、电磁擦拭效果分析	174		
		第十章 钢管热镀锌生产技术	187
		第一节 钢管热镀锌的基本概念	187
		一、钢管热镀锌的基本概念	187
		二、钢管镀锌与温度、浸锌时间和抽出速度的关系	187
		三、钢管热镀锌方法	188
		四、镀锌层的表面处理	189
		第二节 钢管热镀锌的废料	189
		一、锌灰的产生与利用	190
		二、锌渣的产生与利用	190
		第三节 热镀锌钢管的缺陷分析及消除措施	190
		第四节 钢管热镀锌预处理设备	191
		一、预处理用的清洗槽	191
		二、钢管受料台和供管设备	192
		第五节 钢管热镀锌设备	193
		一、镀锌锅	193
		二、钢管热镀锌机	193
		三、磁力辊道牵引设备	195
		四、永磁和电磁结合的牵引设备	195

五、钢管外表面喷吹设备	196
六、钢管内表面喷吹设备	197
七、钢管热镀锌机组	197
八、钢管干燥设备	198
九、锌锅加热设施	198
第六节 钢管镀层缺陷及原因分析	203

第十一章 紧固件热镀锌生产工艺 205

第一节 紧固件热镀锌的工艺流程	205
一、紧固件典型的工艺流程	205
二、预处理	205
三、助镀溶剂处理	212
四、烘干处理	216
第二节 紧固件热镀锌	216
一、紧固件热浸锌工艺过程	216
二、镀锌锅的选型与维护	218
三、镀锌后的表面处理方法	219
四、冷却	219
五、防白锈钝化处理	219
第三节 紧固件热镀锌常用添加的合金	221
一、铝对紧固件热镀锌的作用	221
二、镍对紧固件镀锌的作用	221
三、常用合金的化学成分	222
第四节 紧固件的镀锌层质量要求和试验方法	222
一、镀层的外观要求及试验方法	222
二、镀层厚度要求及试验方法	223
第五节 镀锌层常见表面缺陷及控制方法	225
第六节 热镀锌螺纹两种容纳镀锌层的方法及标准	226
一、在内螺纹上容纳的镀锌层	226
二、在外螺纹上容纳的镀锌层	228
第七节 高强度紧固件热浸镀锌质量控制	229
一、高强度紧固件应用及重要性	229
二、材料的选择	229
三、热浸镀锌过程防止氢脆产生	230
四、产品的检测	231

第十二章 钢结构件典型生产工艺 232

第一节 波形梁护栏热镀锌生产工艺	232
一、锌液温度与浸镀时间对镀锌层的影响	232
二、工艺流程与技术要求	232
三、热浸镀锌护栏的质量要求	233
第二节 电缆桥架热镀锌生产工艺	233
一、生产工艺流程	233
二、电缆桥架热镀锌	234
三、水冷却	235
四、钝化处理要求	235
五、水漂洗、干燥	235
六、镀锌层的技术要求及试验方法	235
第三节 电力铁塔构件热镀锌生产工艺	236
一、传统生产工艺流程	237
二、改进的酸洗、助镀工艺	237
三、铁塔构件热镀锌	238
四、镀锌后钢构件的后处理	240
五、卸料、包装、标示、入库、运输	241
第四节 中、高碳钢及球铁、玛钢件热镀锌生产工艺	241
一、预处理工艺	241
二、热镀锌	242
第五节 钢制件热镀锌-镍合金生产工艺	242
一、热浸锌-镍合金工艺	242
二、热浸锌-镍合金的操作	243
三、锌-镍合金镀层性能	244

第十三章 钢制件热镀锌表面缺陷分析及控制 245

第一节 钢制件热镀锌表面缺陷分析及控制	245
一、热镀锌层表面缺陷原因分析	245
二、热镀锌工艺方面存在的问题	248
三、镀层表面缺陷的控制	248
第二节 电力绝缘子金具镀锌层缺陷分析与控制	250

一、热镀锌镀层表面缺陷原因分析	250
二、镀层表面缺陷的控制方法	252
第三节 钢制件镀锌降低锌耗的优化管理	253
一、锌耗高的原因分析	253
二、助镀剂有效工作条件	255
三、助镀剂中铁离子的控制与去除方法	255
四、助镀剂 pH 值的控制范围	255
五、降低锌耗的综合措施	256

第十四章 热镀锌主要设备 258

第一节 预处理设备	258
一、酸、碱清洗槽材料的选取	258
二、预处理槽的制造	258
第二节 熔锌锅	259
一、熔锌锅的种类	259
二、铁制锌锅	260
三、陶瓷型热镀锌锅	269
四、电磁感应锌锅	271
第三节 热镀锌炉的加热系统设备	271
一、燃烧加热炉种类	272
二、燃气及燃油的加热系统的形式	272
三、燃烧系统设备	273
四、燃烧控制要点及措施	277
五、电阻加热镀锌炉系统	277
六、热镀锌炉的测温、控温系统	278
第四节 热镀锌锅的热量计算	279
第五节 煤气发生炉	282
一、煤气发生炉操作要点	282
二、煤气发生炉的点火操作	283
三、煤气发生炉的故障排除	284
四、煤气发生炉的停炉操作	284
五、煤气管道常见的故障与处理	285
六、煤气管道泄漏的原因分析与修复	285
七、煤气发生炉的煤气分析及煤气热量计算	286
八、煤气发生炉规格选择及数据的收集	287
九、煤气发生炉操作工岗位职责	288
第六节 热镀锌用浸入式燃气内加热器	288
一、传统的内加热方式	288
二、浸入式燃气内加热器的应用	289
第七节 陶瓷锌锅内加热器	290
一、电内加热器的优点	290
二、电内加热器的结构形式	291
三、电内加热器使用故障排除	291
第八节 燃气燃烧器	292
一、燃烧器的基本要求	292
二、燃气烧嘴的种类	292
三、燃气烧嘴的选用	293
四、燃烧器的安装	293
五、燃烧器的点火与熄火	293
第九节 热镀锌供热炉基础设计	294
一、燃烧炉底部基础设计	294
二、炉体基础	295
三、地下水对炉体基础的影响	296
四、炉体地基压力的计算	296
第十节 液体换热器装置	297
一、液体换热器的种类	297
二、液体换热器的设计原则与计算	297
第十一节 气刀、镀锌振动器和离心机	298
第十二节 锌液、燃烧炉的测温装置	299
一、热电偶的性能	299
二、热电偶的安装与使用	300
三、热电偶的故障与排除	300
第十三节 氮气设备与制氮气	301
一、分子筛制氮机	301
二、变压吸附制氮气的工作原理	302
三、制氮机规格和消耗指标	302

第十五章 热镀锌生产过程的三废处理 303

第一节 废气的控制与处理	303
一、热浸镀锌过程产生的三废的主要成分	303
二、三废控制与处理	304
三、运用实际例子	308

四、酸洗废气的综合处理	310
第二节 热镀锌中废液的控制与处理	311
一、热镀锌废水的处理	311
二、废水处理后的利用	313
第三节 固体废料的控制与处理	314
一、锌渣的控制	314
二、锌渣的处理	314
三、锌灰的控制	315
四、锌灰的处理	315
第四节 镀锌车间的环保辅助设备	316
一、镀锌车间的有害气体	316
二、降低有害气体的方法	316
三、酸洗工段的通风设备	316

第十六章 钢铁制件热浸镀锌标准及质量要求

318

第一节 钢铁制件热浸镀锌层的标准概况	318
一、国内外热浸镀锌的主要标准	318
二、热浸镀锌层的质量要求	319
三、镀锌层的检验方法	323
第二节 钢丝镀锌层试验细则及方法	326
一、钢丝镀锌层重量试验细则	326
二、镀锌钢丝锌层重量的测定	327
三、镀锌层面厚度测定	327
四、钢丝镀层的附着性要求	328
五、镀锌钢丝的试验项目和实验方法	328

第十七章 热镀锌新技术新工艺的应用

330

第一节 钢铁件酸洗用的耐腐蚀、耐碰撞的酸洗槽	330
一、新型耐酸液腐蚀耐碰撞的酸洗槽	330
二、新型酸洗槽的制造技术要点	331
三、效果分析	331
第二节 热镀锌助镀溶剂新技术	331
一、助镀剂的添加剂	331

二、添加剂的配制方法和技术指标	332
三、效果分析	332
第三节 防止钢丝热镀锌漏镀的助镀剂	333
一、防止钢丝热镀锌漏镀的助镀剂的开发意义	333
二、背景技术	333
三、技术内容及要点	334
四、新技术的有益效果	334
第四节 助镀剂再生循环使用技术	335
一、干法镀锌溶剂的作用	335
二、去除助镀剂中铁离子的原理及方法	335
三、助镀剂除铁后溶液的使用效果	337
四、经济效益评估	338
第五节 钢制件热镀锌无白烟助镀剂技术	338
一、常规助镀剂工艺应用现状	338
二、无白烟助镀剂的开发与应用	339
三、使用无白烟助镀剂时镀锌操作	339
第六节 锌浴中添加多元合金技术	340
一、熔融锌液中添加多元合金技术	340
二、锌液中添加锌-锡-铋-稀土合金技术	341
第七节 锌-锡-铋-铝-稀土合金技术	341
一、锌-锡-铋-铝-稀土合金	341
二、锌-锡-铋-铝-稀土合金的应用	342
三、锌-锡-铋-铝-稀土合金增加流动性的因素	342
四、作用与效果	343
第八节 双镀法钢丝热镀锌-10%铝-稀土合金镀层技术	344
一、双镀法钢丝热镀锌-10%铝-稀土合金镀层技术	344
二、钢丝双镀锌-10%铝-稀土合金镀层	344
第九节 热镀锌钢绞线防白锈的钝化技术	346
一、热镀锌钢绞线钝化技术	346
二、钝化技术内容	347
三、双组分钝化剂的涂覆方法	348
四、钝化涂覆装置	348

五、效果分析	348
第十节 热镀锌无锌渣产生的锌锅	
技术	349
一、无锌渣产生的新型热熔锌锅	349
二、现有镀锌锅的形式	349
三、新型镀锌锅的制造方法	350
四、使用效果	350
第十一节 耐锌液腐蚀的热电偶保护套管	
技术	351
一、耐熔融锌液腐蚀的套管	351
二、背景技术	351
三、新型套管的技术要点	351
四、使用效果	352
第十二节 双层卷焊铜管连续热镀锌-5%铝-稀土合金镀层工艺	352
一、生产工艺	352
二、结果与讨论	353
三、合金液熔锅、热浸镀	354
四、镀层性能	355
五、结论	356
第十三节 新型耐锌腐蚀的特种焊条	356
一、锌锅腐蚀损坏的原因	356
二、延长锌锅使用寿命的方法	356
三、焊接前的处理方法、步骤	356
第十四节 BGF 型耐锌蚀涂料在锌锅上的应用	357
一、试验材料及方法	357
二、结论	358
第十五节 镀锌层无六价铬钝化技术	358
一、三价铬钝化技术	358
二、无铬钝化剂	359
第十六节 特殊情况下的热镀锌技术	359
一、超强热镀锌工艺	359
二、预电镀镍工艺	359
三、无酸洗环保紧固件热镀锌技术	359
第十七节 氯化锌、铵溶剂中添加 KBB 热镀锌技术	360
一、氯化锌、铵溶剂中添加 KBB 热镀锌工艺	360
二、助镀溶剂的管理方法	360

第一节 碱性脱脂剂的分析方法	363
一、脱脂剂中含碱量的分析方法	363
二、氢氧化钠、碳酸钠、磷酸钠混合溶液的分析方法	363
第二节 酸性溶液的分析方法	365
一、工业盐酸总酸度的测定	365
二、工业硫酸中硫酸含量的测定	366
三、酸洗槽中盐酸的测定	367
四、盐酸溶液中亚铁含量的测定	367
五、磷酸液中的各成分的分析方法	368
六、硼砂溶液含量的分析方法	370
第三节 水的总碱度的测定方法	371
一、冷却水总碱度的测定	371
二、锅炉用水碱度的测定	371
第四节 钝化剂中铬含量的测定	372
一、钝化剂中三价铬的测定	372
二、光度法测定白色钝化液中铬(VI)和铬(III)方法	373
三、热镀锌层六价铬的测定方法	374
四、含铬废水中微量铬的测定	376
第五节 助镀溶剂中各成分含量的分析	376
一、助镀剂中氯化锌和氯化铵混合溶液中氯化锌的测定	376
二、助镀剂中氯化锌和氯化铵混合溶液中氯化铵的测定	377
三、助镀剂为单一氯化铵溶液的分析方法	377
四、助镀剂中二价铁的测定	377
第六节 锌液中铁、铝、镍、锡含量的测量	378
一、锌液中含铁量的测定	378
二、锌液中含铝量的测定	378
三、钢丝镀层中含铝量的测定	379
四、锌液中微量镍含量的测定	380
五、锌液中微量锡含量的测定	381
六、锌液中有害元素含量的测定	382
第七节 化学分析中有效数字和数字修约的规定	383

一、有效数字的规定	383
二、有效数字的运算规则	384
三、数字修约规则	385
第八节 化验室仪器设备、化学药品的管理 规定	385
一、玻璃仪器的管理	385
二、化学试剂和药品的管理	385
三、电子天平等的管理	385
四、化验室废料的管理	386
五、进入化验室的规定	386
六、交接班的规定	386

附件一 低碳钢丝热镀锌作业指导书	387
附件二 还原法热镀锌-5%铝-稀土合金镀层钢丝 作业指导书	393
附件三 钢制件热镀锌生产作业指 导书	397
附件四 钢铁制件热浸镀锌 技术条件及试验方 法 (节选)	400
附件五 热浸镀锌的影响因素	402

第一章

热镀锌技术发展概述

第一节 热镀锌发展的历史

一、热镀锌的由来

众所周知，由于钢铁在空气、水或土壤中很容易生锈，甚至完全损坏，每年因腐蚀造成的钢铁损失是巨大的，据不完全统计其损失约占整个钢铁产量的 1/3。1999~2001 年发布的中国腐蚀调查报告指出，我国每年为腐蚀支付的直接费用（据不完全统计）已达人民币 2000 亿元以上。如果考虑间接损失，国民经济花费在腐蚀方面的费用总和估计可达 5000 亿元，约占国民经济总产值的 5%，每人平均每年大约要支付 400 元的腐蚀费用。这是一笔相当可观的损耗，它大于各自然灾害所造成的损失的总和。世界上发达国家多年的统计数字表明腐蚀损失一直在 3%~5% 之间，其中最严重、最复杂的是金属的腐蚀。腐蚀对现代工业造成的严重破坏，甚至会危及人民的生命和财产的安全。即使考虑在腐蚀报废的金属制品中有 2/3 可以回收，每年也还有相当于年产量大约 10% 的金属被腐蚀损失掉了。何况，腐蚀损失的价值是不能仅仅以损失了多少吨金属来计算的。因为，被腐蚀报废的金属制品的制造价值往往要比金属本身的价值高得多。

由此可见，钢铁的腐蚀造成了材料及能源的极大浪费。实现腐蚀控制、减少钢材的因腐蚀失效而造成的损失，在整个国民经济中具有重要的经济意义和深远的战略意义。

很早以来，人们就试图用一些办法减少钢铁的腐蚀，比如采用涂漆、涂油等涂层的办法来保护钢铁免受腐蚀，随着科学技术的发展，人们逐渐采取一些方法在钢铁件表面涂覆一层铅、锡、铜等较好地使钢铁件防腐的年限延长。后来人们发现在所有的金属之中锌具有一定耐腐蚀性，并具有与钢铁件的良好结合力，外观也较美观，试图将锌黏附在钢铁制品上，在 1742 年由法国化学家马罗英博士（P. T. Molouins）首创把熔融的锌镀在钢铁制品上。到 1836 年法国人索里尔（Stanistans Sorel）申请了热镀锌专利，提出了使用原电池（Galvanic）法保护钢的构想，提出了在铁的表面上镀锌防锈的工艺，并将热镀法应用于生产。18 世纪中期由英国人克劳福（H. W. Grawford）申请了以氯化铵为溶剂的溶剂法镀锌专利，经过不断改进，使溶剂法成为热浸镀金属镀层的重要工艺之一。随着热镀锌制品生产的发展，1931 年美籍波兰人森吉米尔（Sendzimir, T.）提出用气体保护还原法进行带钢连续热镀锌，故通称“森吉米尔法”。该法首先获得美国专利，并于 1937 年在美国建成了第一条带钢连续热镀锌生产线，开创了带钢连续、高速、高质量热镀锌的新纪元。

二、中国热镀锌的里程碑

我国学者把 1837 年索里尔的专利和 1937 年森吉米尔法的诞生称为热镀锌历史上两个最重要的转折点和里程碑，前者在马罗英博士报告后历经了一个世纪发明了溶剂法热镀锌工艺，至今批量热镀锌生产仍沿用这一方法；后者在溶剂法发明 100 年后发明了气体还原法，从而为现代化连续热镀锌钢材的生产奠定了基础。20 世纪溶剂法热镀锌工艺没有重大变更，但气体还原法工艺在不断地改进，目前主要采用改良森

吉米尔法和美钢联法,前者可用于生产一般用途的镀锌钢板,后者可生产高质量的镀锌钢板。

近半个世纪热镀材料有着长足的发展,20世纪50~60年代,美国、日本、英国、德国、法国、加拿大等国相继生产镀铝钢板。70年代初,美国伯利恒钢铁公司发明了商品名为Galvalume的铝-锌-硅镀层材料,其合金成分为55%Al-43.4%Zn-1.6%Si,耐蚀性为纯锌镀层的2~6倍,广泛用于镀层带钢生产中。80年代国际铅锌研究组织(ILZRO)资助比利时列日冶金研究中心(CRM)开发出商品名为Galfan的锌铝稀土镀层材料,其合金成分为Zn-5%Al-RE,其耐蚀性为纯锌镀层的2~3倍,广泛用于带钢和钢丝生产中。

20世纪60年代加拿大率先开展锌中镍对抑制含硅活性钢的热镀研究并得到ILZRO的支持。20世纪80年代,欧洲、北美和澳大利亚等地迅速推广热镀锌-镍合金工艺,其工艺命名为Technigalva。目前在此基础上又开发出Zn-Ni-Sn-Bi,其适用于Si含量为0.5%以下的钢材,可以明显抑制含硅钢热镀时的圣德林效应。

20世纪90年代日本日新制钢公司开发了商品名为ZAM的锌铝镁镀层材料,其化学成分为Zn-6%Al-3%Mg,其耐蚀性为传统镀锌层(Zn-0.2%Al)的18倍,被称为继第三代高耐蚀镀层Galvalume、Galfan以后的第四代高耐蚀镀层材料。此外,Zn-4.5%Al-0.1%Mg; Zn-0.5%Mg; Zn-15%Al-0.5%Sn; Zn-Al-Pb; Zn-0.1%Bi合金也获得了一定的应用,合金镀的开发是20世纪后半期热浸镀的最重要进展。

我国大陆热镀锌工艺发展较晚,于20世纪40年代在鞍山首次用溶剂法生产单张热镀锌钢板,于1953年开始热镀锌钢管,但现代化连续热镀锌生产线始于20世纪50年代初,鞍钢第二薄板厂从当时苏联引进了我国第一条单张钢板溶剂法热镀锌机组。20世纪60~70年代又先后复制了15条作业线。1979年武钢从德国引进了我国第一条改进的森吉米尔型连续带钢热镀锌生产线,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。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。截至2005年不完全统计,国内已有30多家连续宽带热镀锌生产线,2002年,年产量达300万吨,镀锌钢管产量达400万吨,镀锌钢结构件达200万吨,获得钢丝生产许可证的有100余家,至2004年底全国镀锌钢丝产量近80万吨。中国内地经济的快速增长促进了钢铁工业的快速发展。钢产量从2002年的1.82亿吨上升到2008年的5.4亿吨。2009年钢产量达到5.68亿吨,2013年中国钢产量7.8亿吨,首超世界总产量的一半。

第二节 热镀锌发展现状

一、热镀锌在金属防腐蚀上的意义

热镀锌的意义在于钢铁表面有一层镀锌层覆盖后,耐腐蚀性能大幅度提高,能节省材料和资源,发挥良好的经济效益和环境效益。

镀锌层对钢铁表面的保护作用主要有以下几种情况。

① 当镀锌钢铁制件表面完好时,只发生锌的腐蚀,由于锌腐蚀的产物对锌有较好的保护作用,所以腐蚀速度非常慢,寿命是未镀锌钢制件的15~30倍。

② 最常见的情形是镀锌钢铁件在使用中,表面发生划伤,或其他原因使镀层遭到局部破坏,钢铁从伤口中暴露在环境之中,如果镀层是非金属类的物质,暴露出钢基体很快就会被腐蚀掉,但镀锌钢制件特有的牺牲保护性能,使腐蚀速度变得很慢。这是因为镀层中的锌与钢铁中的铁在潮湿的环境中组成了原电池,由于锌的标准电极电位只有-1.05V,低于铁的-0.036V,因而锌作为阳极被氧化,而铁作为阴极得到保护。由于锌腐蚀以后的生成物很致密,反应速度很慢,也就是说总体的耐腐蚀性能大幅度提高。这种防腐方法叫牺牲防腐。

③ 一般情况下,镀锌钢件的腐蚀并不是表面的镀锌层全部均匀地腐蚀掉,而是在镀层与钢件基体结合较差的地方镀层首先被腐蚀掉,从而造成局部严重腐蚀失去使用性能的。从这一点上讲,镀锌层的附着力,特别是整体的附着力的好坏比镀锌层的厚度更为重要。如果镀锌层局部附着力不好,即使镀锌层再厚,也会从附着力不好处开始锈蚀。这跟“水桶原理”差不多,这是热镀锌生产技术人员必须认识的