

带钢

连续热镀锌

(第3版)

李九岭 著



 冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

带钢连续热镀锌

(第3版)

李九岭 著

北京
冶金工业出版社
2010

内 容 提 要

本书详细阐述了宽带钢连续热镀锌的生产工艺、设备特点及操作经验,有关钢基和锌液中各种元素以及带钢表面状态对镀锌的影响等热镀锌理论问题也做了专门论述。全书共分5篇15章,主要包括:热镀锌薄钢板生产的发展,热镀锌理论;热镀锌原板,开卷焊接,脱脂,连续退火与仪表控制;陶瓷锌锅,热镀锌及热镀铝锌硅操作与自动调节;镀锌后的机械处理,化学处理工艺及作用;成品检验项目与方法。书末还附有换算、速算表等。

本书适于带钢连续热镀锌生产厂工程技术人员、工长和工人阅读,也可供其他镀锌生产部门和本专业设计人员、研究人员、大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

带钢连续热镀锌/李九岭著. —3版. —北京:冶金工业出版社,2010.5

ISBN 978-7-5024-5236-0

I. ①带… II. ①李… III. ①带钢—镀锌 IV. ①TQ153.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第045240号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷39号,邮编100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmp.com.cn

责任编辑 李梅 王楠 美术编辑 李新 版式设计 葛新霞

责任校对 刘倩 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-5236-0

北京百善印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

1981年11月第1版,1995年6月第2版,

2010年5月第3版,2010年5月第1次印刷

787 mm×1092 mm 1/16; 29.25印张;709千字;457页

86.00元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街46号(100711) 电话:(010)65289081

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

序

热镀锌钢板作为防腐镀层产品,在我国建筑、家电、汽车等领域,应用的广度和深度不断扩大,是国民经济建设中常用的、基础的、节能环保的循环经济用材。

三十多年来,我国从整机引进带钢连续热镀锌生产线,到消化、吸收国外先进技术,积极推动了涂镀装备国产化进程,我国热镀锌钢板的生产和装备发生了质的飞跃。相继建设的带钢连续热镀锌生产线,从一条发展为现在的三百多条;技术和成套设备从完全依赖进口,发展为拥有完全自主知识产权;从事热镀锌生产及其研究、开发、制造相关行业的人数,从不足百人发展到几十万人。热镀锌板生产已成为我国钢铁深加工的重要产业。

然而,国内外有关带钢连续热镀锌的专著为数不多,广大读者都迫切希望系统地了解这方面的生产工艺技术及相关设备知识。本书作者不顾七十多岁高龄,长期深入在不同装备水平的带钢连续热镀锌生产第一线,在为企业的生产和操作解决一系列技术难题的同时,积累和总结了丰富的理论和实际经验。应广大读者要求,作者在保持原著系统、实用特点的基础上,又在第3版中增添和充实了大量新观点、新技术,是一本理论与实践、前沿技术与生产装备、工艺生产与操作诀窍紧密结合的好书,对从事热镀锌生产、新技术开发、设备操作与维护以及装备设计制造的广大工作者极具参考价值。

多年来,在本书作者的指导下,黄石山力科技发展有限公司开发了FK气刀、大型立式退火炉、四辊湿光整机、立式电解脱脂等热镀锌工艺关键设备,完善和改进了带钢连续热镀锌、热镀锌、连续退火、连续彩色涂层等成套装备;建立了集带钢连续热镀锌、彩涂实习培训和涂镀生产线专用高温合金设备检测与制造为一体的两大基地;形成了围绕涂镀板装备这一领域的技术研发、设计、制造、配套、安装、调试、中试、培训与备品备件供应的企业技术中心和工程技术研究中心,成为了我国从事涂镀装备行业最早的公司之一。公司还拥有十多项发明、实用新型专利和多项重大科技成果,先后成套建设了八十多条生产线,为我国涂镀层装备本地化、国产化做出了贡献。

尽管我国带钢连续热镀锌生产与装备取得了重大技术进步,但是在汽车板等高附加值产品开发方面,在大型、高速、稳定的成套装备方面,与国际先进水平相比依然存在差距。相信《带钢连续热镀锌》(第3版)的出版,将会推动我国带钢连续热镀锌生产与装备制造更上一层楼。

黄石山力科技企业技术中心主任 马国和

2010年1月

第3版前言

《带钢连续热镀锌》一书于1981年发行第1版,1995年发行第2版,到2001年第4次印刷,总计6650册,深受广大读者喜爱。

近年来,我国带钢连续热镀锌产业发展迅速,从1979年的一条生产线,发展到现有的300多条,约占全世界拥有量的二分之一。与此同时,新工艺、新装备的发展也日新月异,在撰写本书第3版之际,把这些新技术充实到本书中,以回报广大读者。

三十多年来,由于带钢连续热镀锌工艺发展与技术进步,本书第2版的内容已经不能满足广大读者的需求,故在第3版中新增了脱脂、陶瓷锌锅、铝锌硅等三十多节、三十多万字的新内容,新增及改写篇幅超过了百分之六十,使本书第3版以崭新的面貌与读者见面。

在第3版编写过程中,武钢冷轧总厂宋木清教授、张雨泉高工、宫贵良高工,武钢热轧总厂陈永钊教授、武钢研究院郑洪道高工,黄石山力科技李运城高工、张才富高工、巫嘉谋高工、房振彦高工、柯江军高工、杨春峰高工,武汉吉瑞科技集团汪晓林高工等提出了许多宝贵意见,在此一并表示衷心感谢。

限于编者水平,书中难免存在不足之处,欢迎广大读者批评指正。

李九岭
2010年1月于武汉

第 1 版前言

随着我国国民经济的发展,热镀锌钢板的用量愈来愈多,对质量的要求也愈来愈高。单张钢板熔剂法热镀锌因产量低、成本高、质量差、操作环境恶劣,目前正在被先进的带钢连续热镀锌所取代。然而到现在为止,国内还没有一本系统介绍带钢连续热镀锌生产的专著。广大从事带钢连续热镀锌生产的工程技术人员、操作人员迫切需要获得这方面的专业技术知识。为此,根据国外资料和国内生产情况编写了本书。

限于编者水平,书中缺点错误在所难免,欢迎广大读者批评指正。

本书编写过程中,武钢冷轧厂及北京钢铁研究总院顾国城同志提出了许多宝贵意见,在此一并表示衷心感谢。

李九岭
1980年元月于武汉

目 录

第一篇 概 论

第一章 热镀锌薄钢板生产的发展	1
第一节 热镀锌层的保护作用	1
第二节 热镀锌工艺的发展	5
第三节 改良森吉米尔法工艺特点	8
第四节 全辐射美钢联法的兴起	11
第五节 带钢连续热镀锌的技术进步	16
第六节 热轧带钢热镀锌	25
第七节 带钢连续热镀锌生产成本的控制	28
第八节 带钢连续热镀锌的发展趋势	34
第二章 热镀锌理论	39
第一节 热镀锌经典理论	39
第二节 热镀锌理论新发展	46
第三节 热镀锌新理论对生产实践的指导作用	54
第四节 锌液中各元素对热镀锌的影响	57
第五节 带钢表面状态对热镀锌的影响	63
第六节 钢基中各元素对热镀锌的影响	65

第二篇 镀 前 处 理

第三章 热镀锌原板	73
第一节 热镀锌原板的钢种	73
第二节 热镀锌钢种的技术进步	76
第三节 热镀锌原板的生产工艺	83
第四节 热镀锌对原板的质量要求	93
第四章 开卷与焊接	95
第一节 开卷	95
第二节 切头	96
第三节 焊接	98

第五章 脱脂	106
第一节 脱脂的意义	106
第二节 脱脂原理	109
第三节 脱脂工艺与设备	115
第四节 脱脂液的处理	124
第五节 脱脂与带钢热镀锌的发展	128
第六章 带钢连续退火	132
第一节 连续退火炉的发展	132
第二节 退火炉概述	140
第三节 NOF 炉	142
第四节 还原炉	152
第五节 冷却段及均衡段	160
第六节 退火炉热平衡计算	165
第七节 辐射管	172
第八节 燃烧气体	179
第九节 保护气体的制造	188
第十节 保护气体的成分控制	195
第十一节 开炉和停炉	198
第十二节 连续退火炉的安全措施	200
第十三节 退火炉事故处理	201
第十四节 炉内穿带	204
第十五节 连续退火炉工艺曲线的制订	210
第七章 连续退火炉仪表控制	213
第一节 NOF 炉的炉温测量与控制	213
第二节 全辐射还原炉的炉温控制	216
第三节 带钢温度的测量与控制	220
第四节 炉内露点的测量与控制	227
第五节 炉内残氧与氢气含量的测量	232

第三篇 热 镀 锌

第八章 陶瓷锌锅	237
第一节 锌锅的种类	237
第二节 锌锅热平衡计算	241
第三节 锌锅的制造	249
第四节 锌锅的操作	251

第五节 锌锅的测试	254
第六节 锌锅的维护	256
第七节 锌锅的大修	259
第九章 热镀锌设备与操作	263
第一节 锌锅设备	263
第二节 锌锅工艺参数控制	268
第三节 加锌与捞渣	274
第四节 气刀	280
第五节 镀锌层厚度的控制	287
第六节 热镀后的冷却	295
第十章 热镀铝锌硅合金设备与操作	301
第一节 热镀铝锌硅合金的发展	301
第二节 镀层形成机理	305
第三节 设备与工艺特点	311
第四节 生产难点及对策	320
第五节 热镀铝锌硅与热镀锌的转换	324
第十一章 热镀锌机组的自动调节	329
第一节 带钢张力控制	329
第二节 带钢纠偏控制	333
第三节 镀锌层厚度连续测定	338
第四节 镀层厚度闭环控制	343
第四篇 镀后处理	
第十二章 镀后机械处理	347
第一节 镀锌层的合金化处理	347
第二节 锌花结构	355
第三节 小锌花处理	358
第四节 光整	362
第五节 拉伸弯曲矫直	370
第六节 带钢卷取	376
第十三章 镀后化学处理	378
第一节 涂油	378
第二节 铬酸盐钝化处理	383
第三节 无铬钝化处理	388

第四节	耐指纹处理	392
第五节	磷化处理	397
第六节	彩色涂层	403

第五篇 热镀锌带钢质量检验

第十四章	表面缺陷检查	409
第一节	热镀锌缺陷	409
第二节	原板缺陷	421
第三节	运输和储存造成的缺陷	423
第十五章	热镀锌带钢性能检验	425
第一节	取样与数据处理	425
第二节	力学性能检验	427
第三节	热镀锌层黏附性试验	431
第四节	锌层重量测定	432
第五节	铬酸钝化膜测定	435
第六节	耐指纹膜测定	436
第七节	镀层耐腐蚀试验	439
第八节	表面粗糙度测定	441
第九节	原板表面污染物测定	444
第十节	时效试验	446
第十一节	硫酸铜试验	447
第十二节	镀锌层金相检验	448
附录	450
附表 1	热镀锌机组易损件化学成分表	450
附表 2	锌层厚度 - 锌层重量换算表	451
附表 3	机组生产率速算表	451
附表 4	保护气体露点和水分含量关系表	452
附表 5	有关金属及氧化物氧化、还原平衡常数表	454
参考文献	456

第一篇 概 论

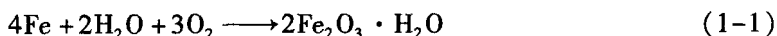
第一章 热镀锌薄钢板生产的发展

第一节 热镀锌层的保护作用

一、防止钢材腐蚀的方法

钢材的防腐问题,随着国家工业化的发展,在整个国民经济中具有重要的经济意义。

腐蚀会造成极大的经济损失。据统计,世界上每年因腐蚀而报废的金属制品质量大约相当于金属年产量的三分之一,即使考虑在腐蚀报废的金属制品中有三分之二可以回收,每年还有相当于年产量大约百分之十的金属被腐蚀损失掉了。况且,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,为了节约钢材并保证生产的正常进行,必须相应地解决生产中防止钢材腐蚀的问题。空气中总含有氧气和水分,因此铁就不断地遭受腐蚀,反应见下式:



特别在工业区,空气中还含有大量的二氧化碳、二氧化硫等腐蚀性气体,更会加快腐蚀的速度。所以,钢材生锈也是自然界中的一个客观规律。长期以来,人们与钢铁腐蚀进行了一系列的斗争,创造了许多防止钢材腐蚀的有效方法。这些方法概括起来有两大类:一类是合金防腐法;另一类则是表面包层防腐法。

合金防腐法,例如把钢制成含有一定镍铬的不锈钢。由于此钢种的生产工艺复杂,价格昂贵,所以它的普遍应用受到了限制。而包层法,例如,金属镀层、非金属涂层(如涂漆、涂塑料)和非金属膜(如铬酸钝化和磷酸盐处理)等,由于原材料来源充足,制造容易且生产成本低,所以得到了广泛的应用。

目前金属镀层的方法有热镀法、电镀法、渗镀法、包镀法、喷镀法、气相镀法等。

热镀锌便是热镀法的一种。另外还有热镀铝、热镀锡、热镀铅和新发展的热镀锌-铝合金法。

二、热镀锌层的保护原理

很久以来,钢板之所以进行热镀锌,是因为锌在腐蚀环境中能在表面形成耐腐蚀性良好的薄膜。它不仅保护了锌层本身,而且保护了钢基。所以,经热镀锌之后的钢材,大大地延长了使用寿命。而使用寿命与镀层及其所处的环境有关,通过对热镀锌薄板进行的大气腐蚀试验,便可证实这一点,见表1-1。

表 1-1 热镀锌板的大气腐蚀状况

腐蚀环境气氛	腐蚀速度/ $\mu\text{m} \cdot \text{a}^{-1}$	15 年的腐蚀损失(双面)		厚 $50 \mu\text{m}$ ($350 \text{g}/\text{m}^2$) 腐蚀时间
		厚度/ μm	重量/ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$	
距海岸 100 m 的岛内, 盐分浓度大	15	225	3150	3 年 4 个月
距海岸 17 km 的岛内, 盐分浓度较小	6	90	1260	8 年 4 个月
工业城市, 空气污染严重	8	120	1680	6 年 3 个月
一般城市, 空气较新鲜	3	45	630	16 年 8 个月
农村, 空气新鲜	1	15	210	50 年

由表 1-1 可清楚看出, 热镀锌薄板在不同的环境气氛中, 其腐蚀速度不同, 从理论上讲这种腐蚀可能按两种不同的方式进行, 即化学腐蚀与电化学腐蚀。

(一) 化学腐蚀

化学腐蚀是金属与周围介质发生直接的化学作用。例如, 干燥(绝对无水分的)气体及不导电的液体介质(非电解质), 对锌所起的化学作用均称之为典型的化学腐蚀, 其化学反应见下式:



上述式 1-2 在高温下进行, 例如热镀锌时 400°C 以上生成致密氧化锌薄膜。式 1-3 和式 1-4 均在锌红热下才进行。所以, 上述三式的化学反应在室温下进行得非常缓慢。在高温下氧化锌薄膜以每 100 h 增加厚度 0.1 nm 的速度直线上升, 经 500 h 以后可以得到 0.5 ~ 0.6 nm 的厚度。在 200°C 以下的温度这层薄膜增长得很慢。在 400°C 时, ZnO 的白色才显示出来, 它的增长速度为 $0.88 \times 10^{-10} \text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$ 。这层薄膜的厚度在 20 nm 以下时肉眼是不能觉察的。它的生长起始于锌的结晶体, 而且和它下面的金属锌结合得很牢固。有人认为紧接着金属锌还生成一层致密的假同晶体 ZnO, 它具有阻止氧向金属间扩散的作用。

假如这种 ZnO 保护膜的厚度增加到 30 ~ 40 nm, 由于生成了干扰颜色肉眼才能觉察到。因为由锌生成的 ZnO 其体积要比锌大 44% ~ 59%, 所以此膜就会因内部产生的应变而破裂, 其保护作用也即失去。

(二) 电化学腐蚀

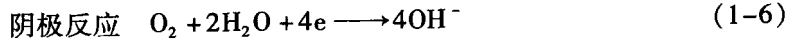
电化学腐蚀是指金属在潮湿气体以及导电的液体介质中(电解质), 由于电子的流动而引起的腐蚀。例如, 锌在酸、碱、盐溶液中和海水中发生的腐蚀以及锌在潮湿空气中的大气腐蚀, 均属于电化学腐蚀。当空气中的水分积存于镀锌板表面的凹坑处, 并且空气中的二氧化碳、二氧化硫或其他腐蚀介质溶于水之后, 便形成了电解液。这样, 一个微电池就形成了。有关介质的标准电极电位见表 1-2。

表 1-2 有关介质的标准电极电位

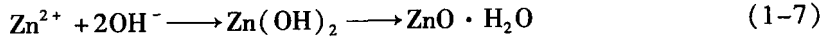
电极过程	标准电极电位/V
$\text{Zn} - 2\text{e} \longrightarrow \text{Zn}^{2+}$	-0.762
$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e} \longrightarrow 4\text{OH}^-$	+0.401
$\text{Fe} - 2\text{e} \longrightarrow \text{Fe}^{2+}$	-0.439
$2\text{H}^+ + 2\text{e} \longrightarrow \text{H}_2 \uparrow$	0.000

由表 1-2 可判断出此微电池中发生的电化学反应为:





在阳极发生了锌的溶解反应,在阴极发生的反应称为氧的去极化反应。因为水中溶解有一定量的氧,特别是在电解液和空气接触的界面处,此反应进行得更为剧烈,常常称为界面腐蚀。反应结果产生的锈蚀产物是:



如果大气没有被污染、酸性介质的浓度很低,具体来说当 pH 值大于 5.2 时,腐蚀结果就可能产生非溶性的化合物,例如,氢氧化锌 ($\text{Zn}(\text{OH})_2$)、氧化锌 (ZnO) 或者是碳酸锌 (ZnCO_3)。这些腐蚀产物以沉淀的形式析出,并构成致密的薄膜,其厚度一般可达 $8 \mu\text{m}$ 。这种薄膜既具有足够的厚度,也有良好的黏附能力,并且又不容易溶解于水,因此,对防止腐蚀来说,是极其重要的。

如果镀锌层一点也没有被破坏,那么它就可以防止腐蚀介质接触铁表面。这样,它就和任何其他保护层一样起到防腐作用。如果由于某种原因,镀锌层发生了破坏,铁表面露出个别不太大的部分时,锌将作为铁-锌微电池的阳极发生溶解,以电化学作用仍然保护着铁,这就是锌作为阳极的保护作用(或称阴护作用),见图 1-1。在热镀锌中,直接与铁接触的镀层组成部分不是纯锌,而是含铁量较高(约 20%)的 γ 相。尽管如此,它和含铁量 10% 的 δ_1 相一样,还是具有比铁较低的电位,于是与铁组成微电池之后,仍然能起着对阴极的保护作用。

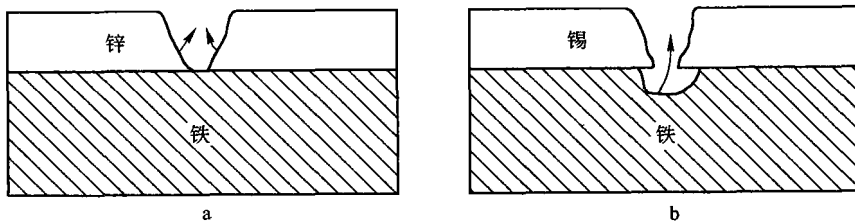


图 1-1 锌阳极与锡阴极对铁的保护作用

a—锌为阳极;b—锡为阴极

但如果铁表面暴露得太大,以致电解液笼罩不了被损伤的表面时,那么,铁就好像未受到任何保护一样,将很快地遭到腐蚀。

在实际中,如果镀锌层上没有形成由自身腐蚀产物所造成的保护薄膜,那么,作为阳极的镀锌层将会以电化学腐蚀很快被溶解完,这样镀锌层就不能耐久。锌的腐蚀产物随大气中的腐蚀性介质不同而不同。例如,在清洁的空气中,腐蚀产物为 ZnO 或 $\text{Zn}(\text{OH})_2$;在海水气氛下出现 ZnCl_2 ;当大气中含有 H_2S 、 SO_2 时,生成 ZnS 、 ZnSO_3 ;若周围环境中 CO_2 增多时,生成 ZnCO_3 产物。这些腐蚀产物通称为白锈。

总之,热镀锌板在大气中受着化学腐蚀和电化学腐蚀双重腐蚀作用,其腐蚀过程是相当复杂的。胡森(Hudsen)和哈尼(Haynie)等人提出了在工业污染区锌层大气腐蚀的经验公式:

$$t_f = 0.0086G_z + 0.5 \quad (1-8)$$

式中 t_f ——防护持续时间, a;

G_z ——镀锌层平均重量, g/m^2 。

$$U_{Zn} = 0.001(\psi - 50)f \quad (1-9)$$

式中 U_{Zn} ——镀锌层腐蚀速度, $\mu\text{m}/\text{a}$;
 ψ ——周围气氛的相对湿度;
 f ——二氧化硫的浓度, $\mu\text{g}/\text{m}^2$ 。

由上述式 1-8 和式 1-9 可以看出,热镀锌层的保护作用主要取决于镀层厚度和环境气氛。实践证明,镀层的结构对其耐腐蚀性也有一定的影响。例如,纯锌层中的杂质可加快锌层的腐蚀速度,见表 1-3。

表 1-3 不同镀层结构和锌层损失 (mg/dm^2)

镀锌层结构	腐蚀时间/天			
	130	230	310	380
纯锌层	6.69	30.53	47.58	49.91
纯锌 + 1.78% Fe	7.20	32.08	46.50	53.63
纯锌 + 1.95% Pb	4.80	27.43	40.92	49.91
纯锌 + 0.98% Cd	5.37	34.10	45.88	55.80
纯锌 + 0.88% Sb	11.70	36.73	51.92	56.73

三、热镀锌板的展望

热镀锌目前呈现生机勃勃的发展景象,而热镀锡已经完全被电镀锡所取代。之所以两者会有不同的发展前景,完全由它们的用途和特性所决定。镀锡板主要用于室内,诸如罐头盒、茶叶盒之类的包装品,所以它不要求太厚的镀层。另外,镀锡层是作为电化学腐蚀的阴极,一旦露铁之后,则铁作为阳极而溶解,镀锡层便完全失去了保护作用。所以,作为镀锡板往往是要求均匀无孔且较薄的镀层,电镀锡的特点正好能满足这些要求。

热镀锌板主要用于户外,其腐蚀环境比较恶劣,所以要求较厚的镀层。此外,当电化学腐蚀发生时镀锌层是阳极保护着铁阴极,所以镀层愈厚使用寿命愈长,热镀锌镀层的特点正好能满足这些要求。

电镀锌层均匀,与钢基结合牢固,并且表面缺陷也少,具有非常好的装饰性,但是电镀锌的镀层厚度较薄,仅为热镀锌镀层厚度的五分之一到七分之一。若使电镀锌镀层增厚不仅耗电量大,而且需要在电解液中停留时间增长,这样就要相应增加设备。电镀锌的镀层重量一般最大约为 $90 \text{ g}/\text{m}^2$,所以其使用范围就受到了限制。而且它的生产成本较高、产量也低,目前在全世界的生产能力仅为热镀锌的七分之一左右。虽然电镀锌的产量在不断地增长,但它只能限定某一使用领域,还不会成为热镀锌发展的劲敌。

热镀铝板虽有稳定的市场,但它主要是用于耐高温、耐酸性介质腐蚀的特殊场合,而且铝的价格也比锌高得多,例如,生产 1 t 锌仅需要耗电 $6000 \text{ kW} \cdot \text{h}$,而生产 1 t 铝却需要耗电 $25000 \text{ kW} \cdot \text{h}$,所以热镀铝板的价格较高,另外在发生电化学腐蚀时铁是阳极,铝镀层是阴极,所以一旦露钢,则镀铝层就完全失去了保护作用。由于以上原因,热镀铝板只适用于一些特殊场合,它的发展也不会对热镀锌板构成威胁。

虽然新近研究的铝锌硅合金镀层钢板显示了一定的发展前途,但是,这种产品生产成本低、工艺控制难度大、镀层合金层厚而脆使其深冲性能不够理想、表面装饰性也不如热镀锌

板,所以用途较窄,目前主要用于建材领域,还不能完全取代热镀锌板的用途。

热镀锌板主要用于建筑业、家电制造业、动力车辆业、机械工业、容器制造业与包装业等。例如,修建房屋的屋面、房骨架、边墙、门窗、雨搭、水道、通风管道等;家用电器中的空调设备、洗衣机、电冰箱、电脑机箱等;制造汽车的外壳、内板、底板、边梁等;用于农业的拖拉机、播种机、施肥机、粮仓及各种容器等,都需要大量热镀锌板。

一般来讲,热镀锌板的用途是由钢板厚度和镀层厚度所决定的。例如,钢板厚度在 1.25 mm 以上双面具有 375 g/m^2 镀层重量的品种,可用于建筑构件和排水系统管道,也可以制造铁路车厢的顶盖和边墙;钢板厚度为 0.20 ~ 0.50 mm 并且双面具有 275 g/m^2 镀层重量的品种一般用作屋面的瓦垄板和墙壁板;钢板厚度为 0.50 ~ 1.0 mm 并且双面具有 175 g/m^2 镀层重量的品种常常用于家用电器的制造;钢板厚度为 0.10 ~ 0.20 mm 并且镀层厚度双面低于 90 g/m^2 的品种主要用在包装业方面,这时外层还必须进一步涂漆或涂塑料,属于这类用途的镀锌板,最好是采用电镀锌板。

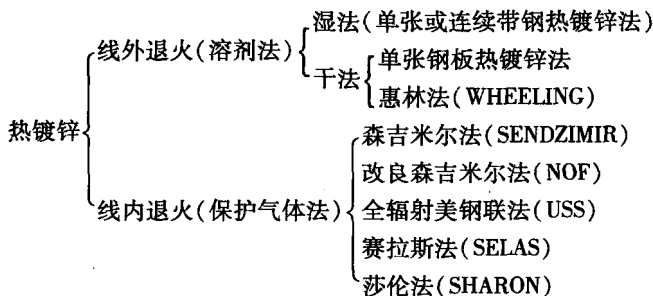
由此可以看出,热镀锌板具有广泛的用途,在今后一个时期,将有更广阔的发展远景。

第二节 热镀锌工艺的发展

一、概述

热镀锌是应用最广泛的金属防锈方法,它是由较古老的热镀锌方法发展而来的。自从 1836 年法国把钢板热镀锌应用于工业生产以来,已经有一百七十多年的发展史了。然而,热镀锌工业还是近三十年来伴随冷轧带钢的飞速发展而得到了大规模发展的。

热镀锌板的生产工序主要包括:原板准备→镀前处理→热浸镀→镀后处理→成品检验等。按照习惯往往根据镀前处理方法的不同把热镀锌工艺分为线外退火和线内退火两大类,即:

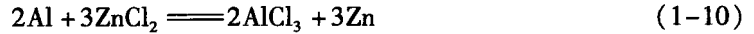


二、线外退火

线外退火,就是冷轧钢板进入热镀锌作业线之前,首先在连续式退火炉或罩式退火炉中进行再结晶退火,这样在镀锌线内就不存在退火工序了。钢板在热镀锌之前必须保持一个无氧化物及其他脏物存在的洁净的纯铁活性表面。这种镀锌方法是先由酸洗的方式把经退火的钢板表面氧化铁皮清除,然后涂上一层由氯化锌或者由氯化铵和氯化锌混合组成的溶剂进行保护,从而防止钢板再被氧化。如果钢板表面涂的溶剂不经烘干(即表面还是湿的)就进入其表面覆盖有熔融态溶剂的锌液进行热镀锌,此方法即称之为湿法热镀锌。

锌。为了减少浸锌时间和降低锌液对锌锅的浸蚀以及容易捞取锌渣,这种方法往往是在锌锅的下部充有大量的铅液。钢板进入锌锅时,首先接触熔融熔剂,然后进入铅层,只在锌锅出口处,钢板才在短时间内和锌液接触,所以又常常称作铅-锌法热镀锌。

湿法镀锌不能向锌液中加入铝,因为铝很容易和熔融态熔剂发生下列化学反应:



较不活泼的金属锌从其化合物中被活泼金属铝所代替,但是生成的 AlCl_3 即使在 123°C 的低温下也能沸腾,因此很快地就从熔剂中蒸发出来被消耗掉。同时 AlCl_3 也可能和氯化铵作用生成 $\text{AlCl}_3 \cdot \text{NH}_3$, 而 $\text{AlCl}_3 \cdot \text{NH}_3$ 也在 400°C 就沸腾了。因为湿法热镀锌只能在无铝状况下镀锌,所以镀层的合金层很厚且黏附性很差。另外,生成的锌渣都积存在锌液和铅液的界面处而不能沉积在锅底(因为锌渣的密度大于锌液,而小于铅液),这样钢板因穿过渣层而被污染了表面,所以此镀锌方法目前已基本被淘汰。

单张钢板干法热镀锌机组,由于对原始工艺进行了一系列的改革,例如,改进了清洗、烘干传动方式,特别是采用辊镀法控制镀层厚度之后,镀锌质量获得了显著的提高。

这种工艺方法一般是采用热轧叠轧薄板作为原料。首先把经过退火的钢板送入酸洗车间用硫酸或盐酸清除钢板表面的氧化铁皮。酸洗之后的钢板立即浸入水箱中浸泡等待镀锌,这样可防止钢板再氧化。镀锌之前向水箱中加入盐酸,使浓度达到 $5 \sim 15 \text{ g/L}$, 以便清洗钢板表面的残存黄锈。钢板以人工送进镀锌作业线,先由循环水清洗,若板面酸洗灰严重时,可采用高压水喷洗。经橡胶辊挤干后钢板浸入由 $50.5\% \text{ ZnCl}_2$ 和 $5.5\% \text{ NH}_4\text{Cl}$ 组成的溶剂中,然后在烘干炉中(烘干温度约为 250°C)将溶剂烘干,接着就浸入含 AlO $10\% \sim 0.12\%$ 的锌液中,镀锌温度一般保持在 $445 \sim 465^\circ\text{C}$ 。在锌锅出口依靠一对镀锌辊来控制镀层。钢板出锌锅之后经吹风冷却,由传送链送入多辊反复弯曲矫直机中矫直。镀锌板经分类之后再送入涂油或铬酸钝化机组中进行防锈处理。这种方法生产的热镀锌板比湿法镀锌的成品质量有显著提高,对于小规模生产还具有一定的价值。因此,直到目前,在东南亚一带还仍然保留有这种方法。

单张钢板溶剂法热镀锌生产率为 $2 \sim 3 \text{ t/h}$ 、耗锌量为 $90 \sim 100 \text{ kg/t}$ 、锌渣锌灰生成量为 $8 \sim 12 \text{ kg/t}$,所以生产成本较高,而热镀锌板质量却很差。同时由于酸雾和溶剂的挥发恶化了操作环境,所以此镀锌方法基本上已被先进的连续作业方法所取代。

有关单张钢板热镀锌的生产工艺已在其他著作中有专门介绍^[5,13],这里不再赘述。

关于线外退火的另一种形式,就是著名的惠林法。此法是美国惠林钢铁公司工程师柯克·诺尔特曼(Cook Norteman)于1953年设计的,所以也常常称作柯克·诺尔特曼法。

采用惠林法的热镀锌作业线,其中包括碱液脱脂、盐酸酸洗、水冲洗、涂溶剂、烘干等一系列前处理工序,而且原板进入镀锌线之前还需进行罩式炉退火。总之,这种方法的生产工艺复杂,生产成本也高,更为主要的是此方法生产的产品常常带有溶剂缺陷,影响镀层的耐腐蚀性。并且锌锅中的铝常常和钢板表面的溶剂发生作用生成 AlCl_3 而耗掉,使镀层的黏附性变坏。因而,此方法并未得到发展。

三、线内退火

线内退火,就是由冷轧车间直接提供带卷作为热镀锌的原板,在热镀锌作业线内进行氢气保护下的再结晶退火。这种热镀锌方法包括:森吉米尔法、改良森吉米尔法、全辐射美

钢联法、赛拉斯法、莎伦法。

森吉米尔法是线内退火最早有代表性的一个例子。波兰人森吉米尔首先成功地把退火工艺和热镀锌工艺联合起来,并于1931年在波兰建设了第一套宽度为300 mm的带钢连续热镀锌作业线。1933年建设了第二套,宽度为700 mm。1934年建设了第三套,宽度为1000 mm,机组操作速度为3 m/min。1936年美国 and 法国也都建了一套同类型机组,宽度为1000 mm,机组作业速度为10 m/min。后来建设的森吉米尔型带钢连续热镀锌机组的操作速度有很大提高。1960年机组作业速度已提高到90 m/min,经过改良后其机组作业速度可达180 m/min。森吉米尔法的线内退火炉主要包括氧化炉、还原炉两个组成部分。带钢在氧化炉中由燃气火焰直接加热到450℃左右,此时,可把带钢表面残存的轧制油烧掉,起到净化表面的作用。在还原炉中由分解氨生成的含75% H₂、25% N₂的保护气体把带钢表面的氧化铁皮还原为海绵状纯铁,由此形成适合于热镀锌的活性表面。并且通过大约900℃炉温的还原炉,把带钢加热到700~800℃,完成了再结晶退火。经冷却段控制适当的带钢入锌锅温度大约为480℃,最后在不接触空气的情况下直接进入锌液中进行热镀锌。因为森吉米尔法产量高,镀锌质量也很好,所以此法曾获得广泛应用。

美国钢铁公司于1948年设计并投产的一条热镀锌线,称为美钢联法。此法也是森吉米尔法的一个变种,它仅仅是利用一个碱性电解脱脂槽取代了氧化炉的脱脂作用,其余的工序和森吉米尔法基本相同。它也是直接用冷轧带钢作为镀锌原板。原板进入镀锌作业线之后,首先进行电解脱脂,之后水洗、烘干,再通过有保护气体的还原炉进行再结晶退火,最后在密封情况下导入锌锅进行热镀锌。

这种方法因带钢不经过氧化炉明火加热,所以表面的氧化层较薄,可适当降低还原炉中保护气体的氢含量,对炉子安全和降低生产成本有利。但是,带钢由于得不到预加热就进入还原炉中,提高了还原炉的热负荷,或需建设较长的全辐射加热炉,这样一来又大大提高了投资成本。因此,这种方法在很长一段时间内发展缓慢。

1947年由美国赛拉斯公司制造并投入生产的热镀锌作业线称为赛拉斯法。这个机组和其他连续热镀锌方法具有根本的区别,因为它的退火采用燃气火焰直接加热,所以又称为火焰直接加热法。这种方法可采用未退火和退火的原板。在作业线中带钢首先经碱洗脱脂,而后用盐酸清除表面的氧化铁,并经水洗、烘干后,再进入由燃气火焰直接加热的立式线内退火炉。通过严格控制炉内燃气和空气的燃烧比例,使之在燃气过剩和氧气不足的情况下进行不完全燃烧,从而使炉内形成还原气氛,见表1-4。

表 1-4 赛拉斯法炉内气氛

成分	含量/%
氧	0
一氧化碳+氢	4~8
二氧化碳	6.2~7.7
水蒸气	18.2~18.7
氮	67.6~69.6

对于已在罩式炉中退火的原板,在炉内加热到510℃左右即可;对于未退火的带钢可以根据需要提高炉温,最高可达1000~1300℃,使带钢得到快速加热,从而达到再结晶温度。这时还需要在低氢(15%以下)保护气氛下冷却带钢,最后在密闭情况下浸入锌液,进行热镀锌。

赛拉斯法设备紧凑,投资费用低廉,产量较高(最高可达50 t/h)。但是,生产工艺较复杂,特别是在机组停止运转时,为了避免烧断带钢,需要采用将炉子横移出带钢外的方式,这