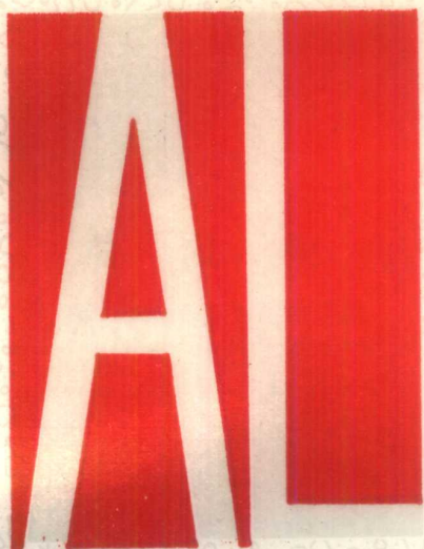




钢材的热浸镀铝

刘邦津 编著



冶金工业出版社



数据加载失败，请稍后重试！

钢材的热浸镀铝

刘邦津 编著

冶金工业出版社



数据加载失败，请稍后重试！

前 言

钢铁材料在各种介质条件下使用时的腐蚀速度是很高的。据统计,我国每年由于钢铁材料的腐蚀而造成的损失就相当于一个年产 300 万 t 钢的钢铁厂的全部产量。无疑,减少钢材的这种损失就等于增加了钢的产量。为此,人们开发了各种耐蚀的高效钢材。表面涂镀层钢材就是这种耐蚀高效钢材的一个重要组成部分。

镀铝钢材是表面涂镀层钢材一个主要品种。它是把钢基体的高强度和镀铝层的良好耐蚀性结合起来而构成的一种新材料,因而具有强度高、耐蚀性好的特性。此外,镀铝层还赋予这种新材料以良好的耐热性。

钢材的热镀铝可追溯到上个世纪末,在 1893 年就已出现了钢件热镀铝的第一个专利。然而,由于铝的熔点较高、化学活性大,热镀铝工艺在技术和设备上遇到了很大困难,直到本世纪中期才逐步解决。同时还开发了许多其他镀铝方法,例如渗镀、电镀、电泳、喷涂、真空沉积、包覆等。各种工艺有各自的特点,但实践证明,在这些镀铝方法中,以热浸镀工艺最经济,应用范围最广,并且在许多情况下,可以用普通碳钢代替不锈钢和高合金镍铬钢,节约大量昂贵的合金元素。

近年来,我国的一些企业、科研单位及高校,为适应节约钢材的需要,开始了镀铝钢材的开发和应用,并取得了明显的效果。目前镀铝钢材已经广泛应用于电力、石油、化工、冶金、交通等部门。据冶金报 1994 年 2 月 20 日报道,由于镀铝钢材的良好性能、节约资源等原因,未来我国的镀铝钢材将有较大的发展。

面对镀铝钢材的发展形势,当前需要有一本既有理论基础又有工艺方法的较系统的关于钢材热镀铝的专业书。鉴于目前国内尚无这样的书,为帮助读者了解与掌握钢材热镀铝的知识,以指导生产,促进我国镀铝钢材的发展,更好的为四化建设服务。特编写了这本书。

书中从钢材热镀铝的基本原理入手，着重介绍钢材热镀铝的现代化生产工艺技术。其原理部分参考了 B. P. 里亚博夫 (Рябов) 的“镀铝钢”及其他一些国内外学者的研究结果。工艺部分除综合国外有关文献资料，特别是近 10 余年在这方面研究工作较多的日本学者的文献资料外，还补充了国内的生产实践经验。因此它是一本较完整的关于钢材热镀铝的入门书籍。通过它不仅可以了解到钢材热镀铝的基本原理，而且对于实际应用此项技术指导生产及开发新的镀铝技术也会有所裨益的。

本书由毛永勤审稿。在编写过程中得到国内同行提供的资料及热情帮助，在此表示衷心的感谢。由于编者水平所限，书中不妥之处，敬请读者批评指正。

编著者

一九九五年六月



内 容 提 要

本书介绍了钢材热镀铝的基本原理和镀铝层的形成机制,着重阐明钢材(包括钢板、钢丝、钢管及钢件等)热镀铝工艺方法、流程、设备、工艺操作等,镀铝钢材性能、用途、产品标准和检测方法等。书中还广泛收集了国外关于镀铝钢材近几年的研究成果与发展动态的最新资料。书中讲述的内容系统全面,注意理论联系实际和实用性。

本书读者对象为镀铝钢材生产厂家的工程技术人员、科研设计人员以及大专院校有关专业师生。

ISBN 7-5024-1590-4

TG·205 定价 16.00 元

目 录

1 概论	(1)
1.1 镀铝钢材发展概况	(1)
1.2 镀铝工艺概述	(3)
1.2.1 粉末填充渗铝法	(3)
1.2.2 热喷涂法	(4)
1.2.3 真空镀铝法	(4)
1.2.4 电镀法	(5)
1.2.5 热浸镀法	(5)
2 Fe-Al 二元系金属间化合物性质及生成热力学	(9)
2.1 Fe-Al 二元系金属间化合物性质	(9)
2.1.1 显微硬度	(9)
2.1.2 强度性质	(11)
2.1.3 扩散系数	(12)
2.1.4 比电阻	(14)
2.1.5 线膨胀系数	(14)
2.2 Fe-Al 二元系状态图及热镀铝过程中形成的金属间化合物相	(15)
2.3 Fe-Al-Si 三元系状态图及热镀铝过程中形成的金属间化合物相	(18)
2.4 镀铝过程中各种金属间化合物相形成的热力学	(21)
2.4.1 浸镀纯铝	(21)
2.4.2 浸镀 Al-Si 合金	(24)
3 铁在液态铝中浸润、溶解的机理和 Fe-Al 合金层形成的动力学	(25)
3.1 液态铝对固态铁的漫流和浸润过程	(25)
3.2 增大铝液对钢基体浸润性的方法	(28)

3.3	铁在液态铝中溶解的机理和动力学	(30)
3.4	钢镀铝时 Fe-Al 反应扩散动力学	(36)
3.5	钢镀铝时金属间化合物相区的形成	(40)
4	Fe-Al-第三组分三元系	(47)
4.1	研究目的和方法	(47)
4.1.1	合金的制备	(47)
4.1.2	合金的热处理	(48)
4.1.3	X 射线相分析	(48)
4.1.4	显微结构分析	(48)
4.2	三元系的结晶学特征	(48)
4.2.1	Fe-Al-Be 三元系	(48)
4.2.2	Fe-Al-Mg 三元系	(49)
4.2.3	Fe-Al-La 三元系	(49)
4.2.4	Fe-Al-Ce 三元系	(50)
4.2.5	Fe-Al-Ti 三元系	(50)
4.2.6	Fe-Al-V 三元系	(52)
4.2.7	Fe-Al-Cr 三元系	(53)
4.2.8	Fe-Al-Mo 三元系	(53)
4.2.9	Fe-Al-Mn 三元系	(54)
4.2.10	Fe-Al-Ni 三元系	(55)
4.2.11	Fe-Al-Co 三元系	(56)
4.2.12	Fe-Al-Cu 三元系	(57)
4.2.13	Fe-Al-Zn 三元系	(60)
4.2.14	Fe-Al-C 三元系	(62)
4.2.15	Fe-Al-Si 三元系	(62)
4.2.16	Fe-Al-Y 三元系	(63)
4.2.17	Fe-Al-Sc 三元系	(63)
4.2.18	Fe-Al-Zr 三元系	(63)
4.2.19	Fe-Al-Hf 三元系	(65)
4.2.20	Fe-Al-Ag 三元系	(67)

4.3	钢热镀铝及钢铝连接时合金化元素的选择·····	(68)
5	钢材的镀铝性·····	(71)
5.1	钢基体化学成分对其镀铝性的影响·····	(71)
5.1.1	碳的影响·····	(72)
5.1.2	镍和铬的影响·····	(75)
5.1.3	锰的影响·····	(77)
5.1.4	硅、钛和钒的影响·····	(78)
5.2	铝液的化学成分对钢基体镀铝性的影响·····	(81)
5.2.1	硅的影响·····	(81)
5.2.2	铜的影响·····	(84)
5.2.3	锌的影响·····	(84)
5.2.4	锰和镍的影响·····	(86)
5.2.5	铁的影响·····	(88)
5.2.6	镁的影响·····	(88)
5.2.7	铍的影响·····	(89)
5.2.8	稀土金属的影响·····	(89)
5.3	镀铝工艺制度对镀铝层厚度和性质的影响·····	(91)
6	镀铝钢板生产·····	(94)
6.1	镀铝钢板的生产工艺·····	(95)
6.1.1	阿姆柯公司法·····	(95)
6.1.2	美国钢铁公司法·····	(96)
6.1.3	英国涂层金属公司法·····	(96)
6.1.4	美国夏伦公司法·····	(98)
6.1.5	改进的森吉米尔法·····	(98)
6.1.6	镀锌镀铝两用生产线·····	(103)
6.2	钢带连续热镀铝生产线的工艺技术参数·····	(106)
6.2.1	退火炉·····	(106)
6.2.2	保护气体·····	(108)
6.2.3	镀铝锅和镀层控制·····	(110)
6.2.4	镀铝钢带的冷却与精整·····	(114)

6.3	钢带连续热镀铝用镀锅的结构和材质	(115)
6.4	镀铝锅中结构件的材质	(120)
7	镀铝钢丝生产	(125)
7.1	概述	(125)
7.2	钢丝的热镀铝工艺	(126)
7.2.1	熔剂法	(126)
7.2.2	熔盐预热法	(131)
7.2.3	超声波振动法	(133)
7.2.4	铅-铝法	(135)
7.2.5	氢还原法	(136)
7.3	钢丝热镀铝工艺中的几个影响因素	(140)
7.3.1	镀铝合金的选择	(140)
7.3.2	钢丝的提升速度	(143)
7.3.3	钢丝的冷却速度	(144)
7.4	镀铝锅的维护	(146)
8	镀铝钢管及钢件生产	(148)
8.1	概述	(148)
8.2	钢管的热镀铝工艺	(149)
8.2.1	预镀金属法	(149)
8.2.2	预涂有机膜法	(150)
8.2.3	表面钝化法	(150)
8.2.4	熔剂法	(151)
8.3	熔剂法钢管热镀铝原理	(151)
8.4	熔剂的组成与配方	(158)
8.4.1	已用于工业生产的熔剂	(158)
8.4.2	各种熔剂配方汇总	(160)
8.5	熔剂法钢管热镀铝工艺	(162)
8.5.1	钢管的前处理	(162)
8.5.2	助镀处理	(164)
8.5.3	烘干与预热	(165)

8.5.4	热浸镀铝	(165)
8.5.5	后处理	(167)
8.5.6	成品检验	(168)
8.6	钝化法钢管热镀铝原理	(168)
8.7	钝化法钢管热镀铝工艺	(169)
8.8	熔剂法与钝化法镀铝钢管性能比较	(169)
8.9	钢管镀铝锅的形式和材质	(171)
8.9.1	钢管镀铝锅的形式	(171)
8.9.2	钢管镀铝锅的材质	(174)
9	镀铝钢材的性能和用途	(176)
9.1	镀铝钢板的性能	(176)
9.1.1	耐热性 (耐高温氧化性)	(176)
9.1.2	耐蚀性	(180)
9.1.3	对光和热的反射性	(184)
9.1.4	力学性能	(185)
9.1.5	焊接性	(187)
9.2	镀铝钢丝的性能	(191)
9.2.1	耐蚀性	(191)
9.2.2	力学性能	(196)
9.3	镀铝钢管的性能	(200)
9.4	镀铝钢材的用途	(203)
9.4.1	镀铝钢板	(203)
9.4.2	镀铝钢丝	(204)
9.4.3	镀铝钢管	(204)
10	镀铝钢材产品标准及检测方法	(206)
10.1	镀铝钢材产品标准	(206)
10.2	镀铝钢材的检测方法	(207)
10.2.1	镀层的连续性	(207)
10.2.2	镀层的均匀性	(208)
10.2.3	镀层重量	(209)

10.2.4	镀层厚度	(211)
10.2.5	镀层的附着性	(213)
10.2.6	镀铝钢材的耐热性	(214)
10.2.7	镀铝钢材的耐蚀性	(214)
11	镀铝钢板的新进展	(222)
11.1	改变钢基体化学成分	(222)
11.1.1	高耐热镀铝钢板	(222)
11.1.2	高耐热高强度镀铝钢板	(229)
11.1.3	高耐蚀镀铝钢板	(240)
11.2	改变镀层成分	(249)
11.2.1	复合镀层系列	(249)
11.2.2	添加元素系列	(256)
11.3	改变热镀铝工艺制度	(260)
11.4	超薄镀铝钢板	(265)
11.5	单面镀铝钢板	(269)
11.5.1	镀层阻止剂	(269)
11.5.2	单面镀铝钢板的生产过程	(270)
11.5.3	单面镀铝钢板的性能	(270)
11.6	不锈钢镀铝板	(273)
	参考文献	(279)

1 概 论

1.1 镀铝钢材发展概况

一个世纪前人们就认识到,钢铁材料镀铝后构成的新材料带给人们的利益,即它既具有钢的强度又具有铝的特性。钢材表面的镀铝层不仅有铝的银白色外观和耐蚀性,而且它与基体形成的合金层还具有好的耐热性。尽管在1893年就出现了钢铁材料热浸镀铝的第一个专利,但由于工艺和技术上的原因一直未能获得应用,直到1931年德国人A. 豪特曼(Hauttman)发表关于热镀铝钢耐热性的研究报告^[1],以后镀铝钢材的生产和应用才逐渐扩展开来。1939年美国阿姆柯钢铁公司利用原有的森吉米尔(Sendzimir)钢带连续热镀锌生产线经过改造,用铝锅代替锌锅而开始生产镀铝钢板,从而使镀铝钢板的生产进入较大规模的工业生产时期^[2]。

50年代随着汽车工业的发展,镀铝钢板被大量用于汽车排气系统用材,制造排气管和消音器,从而进一步促进了各国镀铝钢板迅速发展。1959年美国钢铁公司、美国内陆钢铁公司也相继开发与生产镀铝钢板^[3]。

50年代初,日本开始研究钢材镀铝技术,有八幡制铁、富士制铁、日本钢管和日新制钢等公司。经过数年的开发研究,日新制钢开始生产宽200mm的镀铝钢带。日本钢管公司从美国阿姆柯公司引进了钢带连续热镀铝技术^[4]。与此同时,德国蒂森(Thyssen)、英国涂层金属公司、法国柴格勒(Ziegler)钢铁公司、加拿大钢铁公司等也相继开发与生产镀铝钢板。起初,阿姆柯公司生产的镀铝钢板在铝液中添加7.5%~9%的硅,以提高铝液的流动性及钢板的加工性,该公司将此种成分镀层的镀铝钢板称为Ⅰ型镀铝钢板。后于1955年开始生产纯铝镀层钢板(在铝液中不加硅),而称为Ⅱ型镀铝钢板。目前世界各国仍延用此种叫法。

70年代后,国外钢带连续热镀铝生产工艺技术得到了迅速发展,其主要动向是:

(1) 生产工艺设备向高速、自动化、大型化方向发展,机组的速度由每分钟几十米提高到每分钟百余米以上。例如美国阿姆柯公司1972年投产的4号钢带连续热镀铝生产线,机组速度达137m/min,年生产能力达25万t^[5];1983年比利时菲尼克斯厂3号镀铝生产线投产,其机组速度达150m/min,年生产能力达30万t。

(2) 采用新技术装备,以提高产品质量。例如用立式还原退火炉代替卧式炉;采用感应加热的陶瓷锅代替铁锅;增设镀层在线测厚仪及微机刀具镀层厚度控制系统;采用拉伸弯曲矫直机对产品在线矫直;增加光整设备及镀层的钝化处理工序等。

(3) 研究开发新的镀层品种,以提高其耐热性及高温强度。例如,用含钛钢板或超低碳钢板(含有合金化元素)作为基板进行热镀铝。这方面有美国内陆钢铁公司开发的知名商品,名为Aluma-Ti等^[6,7,8]。至于钢丝和钢管的镀铝,其发展并不明显。所用工艺主要为熔剂法。其发展集中表现在熔剂配方的研究上^[9,10,11]。目前采用的熔剂成分仍以氯化物和氟化物的混合盐类为主。

国内镀铝钢材的发展始于60年代。1964年天津轧钢一厂曾引进日本一套熔剂法钢带连续热镀铝的旧设备,可以生产宽500mm、厚0.3~0.8mm的镀铝钢带,用于制作民用火炉烟囱。但其工艺技术落后、产品质量差、产品的价格高、生产的烟囱滞销,最终被拆除。1965年北京黑色冶金设计院曾在北京南苑试验厂建设森吉米尔法钢带连续热镀铝试验机组,摸索钢带连续镀铝的工艺参数,后因故未进行工业化生产。70年代初,上海钢管厂独立开发出镀铝钢管,可生产 $\phi 25\text{mm}$ 以下长6m的镀铝钢管^[12],主要用于石油、化工、化肥、冶金等行业。存在的主要问题是锅体腐蚀严重、寿命短,以及镀层不够连续,有漏镀现象。70年代末,湖北省云梦县化工机械厂采用钝化法开发出镀铝钢管,其主要用途

是发电厂锅炉的水冷壁管,许多电厂应用后均取得良好的效果。在此基础上进一步扩大使用范围,例如硫酸生产中的换热器、炭黑生产装置的高温预热器、硫磺回收装置的热交换器、炼油厂及化肥厂造气装置的换热设备等。在此期间,河南焦作市线材厂采用铅-铝法开发出镀铝钢丝,产品为低碳镀铝钢丝。对于强度高的高碳钢丝镀铝在技术上存在一定问题,故其使用范围受到了限制。进入 80 年代,我国钢材镀铝有了一个较大的发展。许多企业把镀铝技术应用于空腹钢门窗和汽车排气管和消音器的生产中。河北霸县钢窗厂、江苏宜兴船厂等单位用熔剂法生产空腹镀铝钢门窗。辽宁铁岭镀铝钢材厂用熔剂法生产单张镀铝钢板和排气管,为国内汽车生产厂配套。冶金工业部钢铁研究总院于 1987 年承担了钢带连续热镀铝的攻关任务,在半工业连续热浸镀机组上利用改良森吉米尔工艺,成功地试制出宽 100mm 的镀铝钢带,其性能完全符合 ISO—5000 标准的规定。该院目前正为我国第一条宽 1m 的钢带连续热镀铝生产线的设计提供工艺技术参数,此外还开展了铝合金镀层的研究与推广。近几年钢材热镀铝技术又被扩大用于大尺寸钢管、翅片管及高速公路护栏等部件上。湖北武汉有色冶金机械厂可生产长 7m 的大尺寸钢管。广州新市镇热浸镀铝厂成为国内首家生产高速公路用镀铝护栏的厂家。此外还有许多小企业在生产镀铝的电偶保护管、各种金具以及上面提到的镀铝产品。另外还有一些大小镀铝厂或车间正在筹建中^[13,14]。

1.2 镀铝工艺概述

1.2.1 粉末填充渗铝法

本法是将欲渗铝的工件埋在粉末状渗剂内并在高温下处理一定时间,在工件表面获得渗铝层。工件首先经清洗以除去表面的油污,然后进行酸洗或喷砂处理,除去表面的氧化铁皮及氧化膜。将工件置于密封盒内,用预先配制并混合均匀的粉末渗剂埋好。工件与密封盒壁的间距应大于 20mm,以保证有充足的渗剂。作为渗剂的粉末混合料的配方有许多种,最常用的为铝粉(<300 目)和

氧化铝粉 (<300 目), 其配比为 1:1 (重量比)。同时, 在其中配入一定量的活化剂。一般采用氯化铵作为活化剂, 其配入量为 1%~3%。配入氧化铝的目的是防止渗料在高温下烧结^[15,16]。

在工业生产中, 为降低成本一般采用 Fe-Al 合金粉作为渗剂的主要成分, 并在其中配入少量活化剂。渗剂的配比为 Fe-Al 合金粉占 99.5%, NH_4Cl 占 0.5%。也可在其中配入一定量的 Al_2O_3 粉。工件和渗剂装入渗盒后, 加盖并密封, 然后放于高温炉内进行扩散处理, 将渗盒加热到 800~1000℃, 保温 2~5h。具体的处理温度和时间根据工件的大小及所要求的渗铝层厚度而定。

经过高温扩散处理后, 随炉冷却, 从炉中取出渗盒, 从粉末渗料中取出工件, 清洗工件表面粘附的渗剂, 便可获灰色的渗铝层。层的厚度一般为 0.02~1.3mm。

粉末填充渗铝法比较适用于外形复杂的工件。此种工艺周期长、成本高并有粉尘污染。

1.2.2 热喷涂法

本法的实质是将经涂油污及锈的工件用火焰加热涂层金属成为半熔化状态, 并用压缩空气将其粘附于工件表面的方法。为增大铝层与基体的结合力, 一般采用喷丸或喷砂处理提高表面粗糙度。用金属喷枪 (氧-乙炔火焰喷枪、电喷枪或等离子喷枪) 和压缩空气将铝粉或铝丝在枪口熔化并喷射到工件表面, 凝固后形成堆积层。为了增加其与钢基体的结合, 一般将工件预热到 250~350℃^[16,17]。

喷涂的铝层是由单独的铝层和铝的颗粒构成的, 因此, 此种镀层具有较多的孔隙 (约有 20 个微气孔/ mm^2)。由于铝颗粒表面的氧化, 致使铝颗粒之间的粘结受到阻碍, 所以在实际应用时往往需要封孔处理。所用封孔剂大多为水玻璃, 或用硅溶胶与 Al_2O_3 (或 MgO) 粉末的混合液封孔。用毛刷涂刷此混合料浆于喷涂层表面并在 100~150℃下烘烤。

1.2.3 真空镀铝法

本法是将工件放在真空室内 (真空度为 $133.322 \times 10^{-3} \sim$