

连续热镀锌工艺进展与展望

徐秀清,王顺兴

(河南科技大学,河南洛阳 471003)

[摘要] 介绍了国内外近年来连续热镀锌工艺的进展及差距,主要包括热镀锌工艺方法、工艺流程和热镀锌生产线的核心设备;并进一步介绍了几种汽车用高强度镀锌钢板及应用前景。此外,针对目前热镀锌工艺存在的能源消耗量大的问题,指出应在还原工艺上进行改进和优化。

[关键词] 连续热镀锌;工艺过程;设备;高强度钢板;优化;汽车用钢板

[中图分类号] TG174.4;TQ153.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1001-3660(2007)01-0071-04

Development and Prospect of Continuous Hot-dip Galvanized Process

XU Xiu-qing, WANG Shun-xing

(Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China)

[Abstract] The progress and a gap between China and abroad of continuous hot-dip galvanized process were introduced in recent years, including technological method, technological process and the core equipment of hot-dip galvanizing line; even a few of the car used high strength galvanized steel sheets and prospect were introduced. In addition, the improvement and optimization in reduction process aimed at the existing energy waste problems of the hot-dip galvanization were put forward.

[Key words] Continuous hot-dip galvanization; Process; Equipment; High strength steel sheet; Optimization; Steel plate for automobile

0 引言

近年来,随着世界经济的发展,尤其是汽车、家电及建筑业的发展,对镀锌带钢的需求量大大增加,市场需求非常可观。在美、日等钢材生产大国,热镀锌钢板在钢材中所占比例高达13%~15%,而用于汽车行业的热镀锌板已占其总产量的40%以上^[1]。目前,日系轿车基本上全部采用热镀锌板作外板,而热镀锌带钢在我国市场一直是紧缺产品。正是这种需求大大促进了连续热镀锌技术的发展。

连续热镀锌与落后的单张镀锌相比,具有技术成熟,工艺稳定,生产成本低,镀层性能优,使用寿命长等优点。因此,被广泛用于建筑业、家用电器业、机电工业、汽车制造业等领域。本文仅就连续热镀锌工艺、国内外发展状况及适用于汽车外板的几种高强钢作一概述,并进一步介绍了其发展方向,以供参考。

1 带钢连续热镀锌工艺

1.1 连续热镀锌工艺方法

目前,带钢连续热镀锌工艺主要有森吉米尔法、改良森吉米尔法和美钢联法3种。

1) 森吉米尔(Sendzimir)法 该法工艺简单、产量高。其退

火炉主要包括氧化炉、还原炉两部分。由于带钢在氧化炉中由煤气火焰直接加热,所以影响带钢表面质量。

2) 改良森吉米尔法(M. S.) 该法的主要特点是把森吉米尔法中的氧化炉和还原炉,由一个截面积较小的过道连接起来,使得预热炉、还原炉和冷却段在整个退火炉内构成一个有机整体。但在生产中采用这种方法常常会出现锌层附着性差的问题。

3) 美钢联法(U. S. S.) 该法的特点是采用电解脱脂处理,退火阶段只由还原炉和冷却部分组成,加热部分全部采用辐射加热,并且在退火炉前设置清洗段。因此,20世纪90年代后新建的热镀锌线大部分采用美钢联法^[2,3]。该法后经改进,引入了立式退火炉,从而缩短了炉长,加快了机组速度,提高质量,降低成本。

1.2 热镀锌工艺流程

冷轧带钢热镀锌的典型生产工艺流程为:上料→开卷→夹送、矫直→焊接→表面预清洗→入口活套→退火→热浸镀锌→合金化→冷却→中间活套→光整→拉伸弯曲矫直→后处理→检查卷取(如图1^[4])。

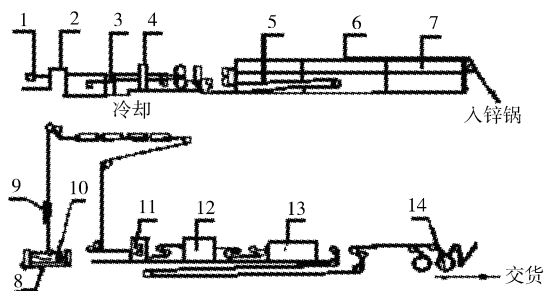
1.3 核心设备

1.3.1 连续退火炉

该炉炉壳一般采用陶瓷纤维外包不锈钢板,炉底采用耐火砖、隔热砖,炉辊采用单独传动,变频调速。通常,退火炉由预热段、加热段、冷却段和锌锅入口段组成,在前三段通入氢气和氮气的混合气体,使带钢在此还原气氛中加热至再结晶温度以上,并保温、均热、冷却,使带钢密封地进入锌锅中进行热镀锌。热镀锌钢板经过退火炉主要有两个目的:一是使带钢实现再结晶退火来消除轧制应力,恢复晶粒组织,提高带钢塑性;二是使带

[收稿日期] 2006-10-22

[作者简介] 徐秀清(1981-),女,黑龙江佳木斯人,硕士研究生,主要从事表面技术研究。



1. 开卷 2. 矫直 3. 剪切 4. 焊接 5. 预热段 6. 加热段 7. 冷却段 8. 锌锅 9. 锌层退火炉 10. 气刀 11. 平整 12. 拉伸矫直 13. 化学处理 14. 卷取

图1 连续热镀锌机组生产工艺流程

Figure 1 The technological process of continuous hot-dip galvanized unit
钢具有一个清洁的无氧化物的活性表面,使其具有很高的镀层附着能力。带钢经退火后可清除冷轧引起的加工硬化,使带钢具有良好的可塑性,同时也可以提高带钢的深冲性能。退火炉形式多样,主要有立式炉和卧式炉两种。不同的企业所采用的退火炉也不尽相同。宝钢4#热镀锌机组采用全辐射管加热立式退火炉^[5];而本钢由于生产规模和投资的限制,选用了法国的卧式退火炉^[6]。

1.3.2 气刀

气刀位于锌锅上方,是控制锌层厚度和均匀性的关键设备。目前,各镀锌机组上使用的气刀有:德马克气刀、科勒气刀和方登气刀。其中,方登气刀最为优秀,整个欧洲几乎全部使用该气刀,我国宝钢2号热镀锌机组也采用这种气刀^[7]。

1.3.3 锌锅

锌锅又称锌熔化炉,主要有电加热的铁制锅和感应加热的陶瓷锅。对于钢带连续热镀锌生产线,目前已由感应加热陶瓷锅逐步取代铁锅,延长了锌锅使用寿命,降低了由锌锅进入锌液中的铁含量。本钢、宝钢、武钢现用锌锅均采用的是感应加热式。这种加热系统可使锌液在磁场作用下,按照一定方向运动,

始终保持循环流动,从而使锅体内的锌液均匀加热。锌锅温度一般控制在450~460℃范围内^[8]。

感应加热式锌锅的主要特点是:1)温度容易控制;2)可以均匀加热全部锌液;3)由于锌液循环流动,铁-锌合金不易聚集就被带钢带走,从而减少锌渣数量,提高表面质量;4)炉子寿命长,一般正常使用可达20a左右。

1.3.4 光整机

光整机是镀后处理设备,用于平整不同板材的表面,以提高力学性能。目前,国外新建镀锌机组多采用带弯辊装置的四辊光整机,其产品适用于高级轿车板。而我国只有攀钢和宝钢二号热镀锌机组使用四辊平整机^[9]。

1.4 国内外发展状况及差距

目前,国际上大型宽带钢连续热镀锌线有500余条,其生产能力在1~2亿吨。新近投产的热镀锌或改造旧的热镀锌机组的生产能力和产品质量都有进一步提高,例如美日新建的Protec生产线可生产宽度达1900mm,厚度在0.4~2.3mm的热镀锌钢板,机组速度最高可达185m/min,合金化速度达136m/min,年生产能力达60万吨^[10]。我国几条主要热镀锌生产线几乎均是从国外引进,其生产线状况如表1^[4]。

国外在热镀锌方面起步较早,热镀锌板已经普遍应用于汽车工业,用作汽车外板,而国内起步较晚。随着汽车、家电、轻工等行业的快速发展,薄钢板消费逐年增加,国内生产的增长跟不上消费需求的增长,尤其是冷轧薄板、镀锌板、不锈钢薄板。我国热镀锌机组与国外先进水平的主要差距是:没有预清洗设备,不能完全保证镀锌表面质量;现有光整机都是比较简单的两辊光整机(攀钢、宝钢2号机组为4辊),无法更好地改善带钢的力学性能,特别是深冲性能;我国主要厂家(除宝钢2号机组)生产的热镀锌钢板均以建材、轻工、农业、交通等行业为主要用户。由于受现有热镀锌设备条件、工艺技术及原板性能的限制,实际生产可供汽车制造业使用的镀锌板很少。

表1 我国宽带钢连续热镀锌生产线状况

Table 1 The condition of hot-dip galvanized steel production lines in China

厂 家	带钢规格		工艺速度 (m·min ⁻¹)	生产方法	采用炉型	供货厂家	投产年代
	厚度 /mm	宽度 /mm					
武汉钢铁公司冷轧厂	0.25~2.50	700~1530	150	改良 森吉米尔法	卧式 NOF炉	德国 德马 克全套引进	1979
上海宝山钢铁公司冷轧厂	0.30~3.00	900~1850	183	改良 森吉米尔法	立式 NOF炉	美国 美钢 联全套引进	1990
广东三水西南钢铁厂	0.25~2.25	457~1219	90	美钢联法	电解脱脂+ 卧式还原炉	美钢联 旧设备	1994
辽宁本溪钢铁公司冷轧厂	0.5~2.50	700~1500	150	改良 森吉米尔法	卧式 NOF炉	德国德马克 部分引进合作	1996
攀枝花钢铁公司冷轧厂	0.25~2.50	720~1120	120	改良 森吉米尔法	卧式 NOF炉	日本三菱部分 引进合作制造	1996

2 汽车用高强度钢板

合金化镀锌板(GA钢板)具有良好的耐蚀性和可焊性。因此,大量用作汽车车身板,特别是汽车的外装钢板^[11]。随着汽车行业的飞速发展,汽车界又提出减重、节能的要求。这就要求钢板有优良的深冲性能、良好的抗凹陷能力和足够的强度,以适

用复杂断面的成型加工,避免在制造和使用中产生凹陷,并有一定的防冲撞能力。现将常用的能满足上述要求的几种高强度钢介绍如下。

2.1 IF钢

IF钢,即无间隙原子钢,是深冲性能良好的冲压用钢。该钢经热镀锌并合金化后更具有良好的耐蚀性、焊接性和涂装性,从而适应于汽车的内外面板。近年来在对IF钢的研究中发现,

略微增加 Mn、P、Si 等元素进行固溶强化可以提高 IF 钢的力学性能,同时保持 IF 钢良好的成形性能。其中以 P 为主要强化元素时, σ_b 可达 340~370MPa^[12]。但其含量较高时,超低碳有发生冷加工脆性的倾向,原因是 P 容易在晶界发生偏析使晶界脆化,解决方法是加入 B,它将在晶界处快速偏析而引起强化,同时抑制 P 的晶界偏析^[13]。

Ti、Nb 和 B 也具有提高 IF 钢强度的作用,而钢板强度的提高对汽车减重、节能有着重要作用。因此,开发和应用高强度 IF 钢成为深冲钢发展的新热点。

2.2 BH 钢

超低碳烘烤硬化 IF 钢板,简称 BH (Bakhardenable steel) 钢板,是兼有优良深冲性能和高温烘烤性能的优质汽车用薄板。其特点是冲压时在较低的屈服强度下可以冲出形状复杂的零件,易进行成形加工,并且在油漆烘干时,由于烘烤硬化可以使屈服强度提高,BH 钢板不影响成形件形状的稳定性和提高了抗凹陷性,有利于汽车外板减薄,近来得到了广泛的应用。这种钢板的高强度是通过应变时效强化来实现的,在超低碳钢中,使钢中固溶的 C、N 原子在冲压成形时产生位错,而后在涂漆烘烤过程中会析出 Fe-C 化合物而将位错固定,从而使屈服强度提高约 40MPa^[14]。

德国大众公司向中国一汽-大众公司提供的 Audi C5 轿车用料中有 5 种零件采用烘烤硬化钢板,采用的牌号为 ZSTE260BH70SB、ZSTE260BH70MB、ZSTE180BHZ75/75-05 等^[15]。我国宝钢与一汽合作也开展了 BH 钢的开发工作,正在逐步探索采用 BH 钢后减薄钢板厚度的可能性。

2.3 双相(DP)钢

双相钢是指低碳钢或低碳合金钢经过临界区热处理或控制轧制工艺而得到的主要由铁素体(F) + 少量(体积分数 < 20%) 马氏体(M)组成的高强度钢^[16]。它是通过改变钢的微观组织来提高其强度的。双相钢的主要特点是低碳低合金,屈服强度低,加工硬化指数高,成形性能好。目前,它的主要合金元素以 Si、Mn 为主,另外,根据生产工艺及使用要求不同,有的还加入适量的 Cr、Mo、V 元素,组成了以 Si-Mn 系、Mn-Mo 系、Mn-Si-Cr-Mo 系、Si-Mn-Cr-V 系为主的双相钢系列。由于双相钢含有较多的 Si、Mn 等元素,而这些元素易在基板表面富集,使得在热镀锌时会出现多种表面缺陷。日本通过化学成分的调整,特别是 Mo 元素的添加,实现了双相钢合金化热镀锌的商业生产。最近日本 JFE 钢铁公司又成功开发出了更高强度级别合金化热镀锌双相钢^[17]。目前,低 Si 含量双相钢已在传统热镀锌生产线上进行商业生产。而高 Si 含量的高强钢依然是目前研究的主要方向之一。

2.4 TRIP 钢

TRIP 钢(即相变诱发超塑性钢)具有优良的成形性、强度和耐冲击性,是汽车减重、节能的理想用钢。但传统的 TRIP 钢含 Si 量高,由于 Si 的富集易产生镀层漏镀现象,因此不适合在现有的热镀锌生产线上生产。X. VandenEynde 等人^[18]提出了将含 Si 型 TRIP 钢先预加热形成均匀的氧化层,然后进行自还原的新工艺,并发现这种工艺生产的热镀锌 TRIP 钢具有很好的可镀性。另有研究表明:用 Al 替代 Si 所得到的 TRIP 钢和传统 CMnSi 型 TRIP 钢性能相当,而且它适合于现有的热镀锌工艺,

具有很好的可镀性^[19]。但由于 Al 元素的添加,给炼钢和热轧带来一些问题,因而还未推广应用。目前,TRIP 钢还主要处于实验室研究阶段,并主要集中于可镀性和镀层结合力提高方面的研究。

目前,上述这些钢板的热镀锌及合金化处理,除 IF 钢和 DP 钢有少量热镀锌的研究以外,其它高强度钢板尚未开展研究^[20]。这些钢板的热镀锌和合金化处理技术上会有一定难度,需要我们去探索。

3 热镀锌技术的发展趋势

近十余年,随着经济的快速发展,尤其是汽车及家电业,使得整个市场对镀锌板的需求猛增,因而对镀锌板的质量提出了更高的要求。厂家纷纷对原有工艺及装备进行了改造,并相继建立全新的大型高速热镀锌生产线,这些生产线日趋向高产和节能方向发展。但改造设备需要大量投资,且提高机组速度也不能保证带钢的还原质量,而还原不好,会在很大程度上影响钢带的镀层性能。为此,需要制定出满足镀锌层性能要求的镀锌临界工艺参数,用以提高热镀锌层的质量,节约能源,增加经济效益。

1) 制订合理的退火工艺 在热镀锌连续退火过程中,冷轧变形后的带钢完成再结晶和晶粒长大。金属的再结晶退火温度与冷轧时的变形程度、基板的化学成分、加热速度、原始金相组织等因素有关^[21]。研究表明:冷轧变形后钢板在恒定 60s 退火时,在 650℃ 左右开始再结晶,在 780℃ 左右即可完成再结晶^[22]。如果再结晶未充分进行,其钢基组织大部分仍为冷轧态组织,成型性不好。要使再结晶过程充分进行,最为有效的方法是改变带钢在退火炉内加热和冷却时间。而机组生产速度的大小直接决定了实际退火时间的长短。同样,退火温度越高,再结晶的驱动力越大,完成再结晶的时间也越短;若降低退火温度,则完成再结晶所需的时间就会相应延长。然而在实际生产中,即使提高退火温度 1℃,也会消耗大量的热量,造成能源浪费。因此,必须制订合理的退火工艺,在保证再结晶充分进行的前提下,尽可能地降低退火温度,同时提高机组速度。

2) 还原段气氛控制 还原是热浸镀锌过程中最为重要的一部分,还原不好,产品的镀层黏附性就会受到很大影响,甚至于成为废品。通常,炉内气氛均控制为还原性气氛,通入的保护气体主要是 H₂ 和 N₂,目的是利用 H₂ 将带钢表面的氧化薄膜还原为纯铁,使带钢表面以活性海绵铁状态进入锌液。这样,基体与锌液的结合力就大大增强,使镀层性能进一步提高。因此,还原段的气氛必须通过调节 H₂ 和 N₂ 的比例来保证气氛的还原能力。

3) 还原时间的确定 还原时,由于钢带在无氧化段形成的氧化薄膜厚度不好确定,因此,H₂ 还原的时间也不好掌握。在实际生产过程中,钢板在还原炉里停留的时间差别很大,能否彻底将氧化物还原难以确定。还原时间过短(还原温度若过低),则原材料表面的氧化膜尚未被完全还原,将直接影响到热镀锌层的结合力,热镀锌板的质量将无法得到保障;还原段时间过长(还原温度若过高),虽氧化膜得到彻底清除,有利于热镀锌层的结合力的提高,但将造成能源消耗增加和生产率降低。

为此,需要研究钢带在镀锌过程中的氧化和还原动力学模型,评价氧化和还原程度,为优化工艺提供依据。

4 结 语

本文概述了近十年来国内外有关连续热镀锌的技术和关键设备,工艺上美钢联法成为主流,尽管我国热镀锌工业有了很大进展,但与国外相比仍存在着较大的差距。随着汽车工业逐渐向减重、节能方向发展,对汽车用镀锌钢板性能要求也进一步提高,因此出现了以研究开发 IF 钢、BH 钢等几种适用于汽车的高强度合金化镀锌钢板的热潮。此外,出于经济效益和节能方面的考虑,对热镀锌技术的某些还原工艺提出了改进方向。目前,我国热镀锌工业正处于飞速、持续发展的阶段,热镀锌行业的发展将给锌冶炼带来良好的发展前景。

【参 考 文 献】

- [1] 边军,刘相华,王国栋.我国热镀锌钢板生产现状及展望[J].钢铁研究,2002,126(3):57
- [2] 李九岭.从热镀锌史看美钢联法的发展[J].武钢技术,1995,(1):10-13
- [3] 张启富,刘邦津,仲海峰.热镀锌技术的最新进展[J].钢铁研究学报,2002,14(4):66
- [4] 纪凤玲.连续热镀锌生产工艺及现状分析[J].有色金属设计,1997,24(1):53
- [5] 张理扬,李俊,刘宝军,等.宝钢 4[#]热镀锌机组和热镀锌汽车板的生产[J].宝钢技术,2005,(1):12-13
- [6] 杨晓芳,王德顺.本钢连续热镀锌机组的装备水平及存在问题[J].轧钢,2000,17(5):41-42
- [7] 张理扬,李俊,左良.新型带钢连续热镀锌机组的发展[J].钢铁研究学报,2005,17(4):10-13
- [8] 梅建庭.热浸镀锌铝合金的研究[J].电镀与涂饰,2001,20(2):45-46
- [9] 边军,高彩茹,王国栋,等.热镀锌钢板生产及应用进展[A].中国金属学会·提高钢材的市场竞争力——2002 年全国轧钢生产技术会议暨中国金属学会第七届轧钢年会论文集[C].北京:冶金工业出版社,2002.167-169
- [10] Nivoche C, Cook E A. Protec USX/ KOBE new CGL annealing furnace [A]. The Use and Manufacture of Zinc Alloy Coated Sheet Steel Products into the 21st Century [C]. Chicago: The Iron and Steel Society, 1995. 15-20
- [11] 刘俊亮,钱华,李俊.热镀锌钢板镀层相结构研究[J].表面技术,2005,34(1):41
- [12] 杨锡勋.汽车用热浸镀锌钢板简介[J].技术与训练,1999,24(5):113-123
- [13] Yasuhara E. Effect of Boron on the resistance to secondary working embrittlement in extra-low-c cold rolled steel sheet [J]. ISIJ INT., 1987, 34(2):99
- [14] Mizui N. International Symposium Modern LC and ULC Sheet Steels for Cold Forming: Processing and Properties, ed. by Wolfgang Bleck. Aachen, Germany: 1998, 169-183
- [15] 姚贵升.采用烘烤硬化钢板(BH 钢)改善汽车车身外表零件的抗凹陷性能[J].宝钢技术,2000,(4):6-7
- [16] 党淑娥.双相钢的研究现状及应用前景[J].山西机械,2002,117(4):14-15
- [17] Iwama T, Kitano F, Nagataki Y, et al. Development of galvanized dual-phase ultra-high strength steel sheets with superior formability and spot-weldability [A]. GALVATECH04 [C]. Chicago: 2004. 539-545
- [18] Vanden Eynde X, Servais J P, Lamberigts M. Surface oxide maturation and self-reduction: a new process to ensure TRIP steel hot dip galvanizing [A]. GALVATECH04 [C]. Chicago: 2004. 361-372
- [19] Lee S J, Kim S, Koh M S, et al. Flow field analysis inside a molten Zn pot of the continuous hot-dip galvanizing process [J]. ISIJ International, 2002, 42(4):407-413
- [20] 飛山洋一,大澤一典.590MPa 級合金化熔融亜鉛めつき鋼板[J].川崎制鐵報,1999,31(3):37-41
- [21] 白保安,应铨.浅析热镀锌退火炉节能的措施和发展方向[J].冶金能源,2004,23(2):34-35
- [22] 程国平,袁明生,张红.连续热镀锌工艺对 IF 钢力学性能的影响[J].宝钢技术,2001,(2):10-13

专利名称:一种组合涂复系统及方法

专利申请号:01815959.1 公开号:1461234

申请日:2001-06-14 公开日:2003-12-10

申请人:美国通用电气公司

用于高产地形形成及分析一组材料涂层的系统和方法。这些方法包括有选择地将多种材料中至少一种传送到具有多个预定区域的基板表面,以便在每个区域上形成预定涂层。在材料的选择传送中,多种材料中的每一种设置可同时传送到基板上。系统包括基板,基板包括具有多个预定区域的表面,其提供了对基板进行涂覆的多种材料。设置了涉及多种材料的传送装置,以便将多种材料中的每一种同时传送到基板表面。此外,控制器用来控制传送装置有选择地传送多种材料,使基板的每个预定区域均具有预定的涂层。

专利名称:半导体衬底晶体材料生长真空系统

专利申请号:03140794.3 公开号:1461049

申请日:2003-06-05 公开日:2003-12-10

申请人:李明远

一种适用于半导体衬底晶体材料生长的真空系统,包括晶体生长真空室和高真空系统,所述高真空系统包括用于抽真空的直联旋叶式机械泵、钛离子泵和冷却阱,直联旋叶式机械泵经预真空阀门、真空管道接钛离子泵,钛离子泵经冷却阱、阀门、高真空管道、高真空阀接晶体生长真空室。本发明为半导体衬底晶体材料生长提供一个优质洁净的超高真空环境,真空室内极限真空度可达 3×10^{-8} Pa。