

# 连续带钢真空蒸发镀膜设备设计

彭军杆

(珠海富山爱旭太阳能科技有限公司, 广东 珠海 519175)

**摘要** 本文叙述了一套带钢真空蒸发镀膜装置, 并对该装置的工艺流程、各个部分的结构与性能进行较为详尽的分析; 介绍了一种利用真空蒸镀技术, 将带钢表面镀上一层金属膜的方法。实验结果表明, 本装置可在带钢表面制备出防护效果良好的锌-镁锌复合薄膜。

**关键词** 连续带钢; 真空蒸发镀膜; 设备设计

中图分类号: TQ153

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)07-0058-03

热镀锌是一种非常重要的电镀工艺, 在我国的快速发展下, 汽车、建筑、制造业和家用电器等工业部门对镀锌板的需求急剧上升, 因此, 在过去的几年里, 镀锌板已经成为我国市场上消耗最大、进口量最大的钢材品种。真空沉积是指在真空条件下对薄膜进行沉积的一种工艺, 它可以分为两种: 一种是物理气相沉积, 另一种是化学气相沉积<sup>[1]</sup>。

## 1 连续带钢真空蒸发镀膜设备设计原则

### 1.1 真空镀膜的预处理工艺

预处理具有四种功能: 去除污染物、表面活化、腐蚀、交联。对于后续的化学镀层, 一般采用适当的化学清洗方法就可以了, 但是要达到真空镀层, 就必须满足新的要求, 如去鳞等。热镀锌层的氧化膜及冷轧钢板的氧化层均会对镀层与镀层的附着力产生不利影响。所以, 在进行真空涂覆之前, 一定要将其表面残留的杂质及氧化层清除干净。目前, 有效的真空表面处理技术有如下几种。

#### 1.1.1 等离子体预处理

等离子体处理是一种有效的方法, 它能有效地清除材料表面的杂质, 并起到激活、腐蚀的作用。若将氧引入等离子体预处理, 则可将氧离子引入金属基体中, 并与基体发生化学键合, 增强涂层与基体的结合力。刻蚀的深度由带钢的转移速率及电源决定。一般来讲, 等离子体预处理对被测物体的作用只有数个纳米, 且与溅射蚀刻所需的能量比较少, 因此, 本文提出了一种新的钢板预处理方法。

#### 1.1.2 溅射蚀刻试样的预处理

采用小电流等离子体蚀刻方法难以达到对钢板进行表面改性的目的。溅射蚀刻法是一种常用的方法, 可以有效地改善等离子体的净化效果。例如, 在磁控

制下, 以钢板为阴极接地, 在带钢的上部和下部分别装有阳极与电磁场, 采用氩气对金属材料的表面进行了电磁放电, 刻蚀速度可达 15 ~ 20 纳米 / 秒, 是一种理想的工艺。

#### 1.1.3 其他预处理技术

除了以上两种方法外, 还存在着电弧强化等离子体刻蚀方法, 目的是增加等离子体的能量, 增加刻蚀的效率, 增加刻蚀的深度<sup>[2]</sup>。

### 1.2 带钢的真空涂覆工艺

物理汽相淀积有很多种方法, 如热蒸镀、电子束蒸镀、磁控溅射法和离子镀覆等。

#### 1.2.1 热蒸镀工艺

蒸镀工艺是一种较为简单的工艺, 它是利用不同的加热方法, 将汽化物料在特定的容器内加热、汽化, 然后再淀积在基材上。其中一种方法是采用热蒸镀法, 在基板上形成狭缝, 使镀膜速度更快, 膜层品质更好, 水蒸气利用率高达 95%。

#### 1.2.2 电子束蒸镀

电子束蒸镀是利用电子束与待蒸物发生作用, 形成蒸气压力, 从而将蒸镀材料沉积于基材表面。电子束蒸镀是一种很好的方法。强流电子束辐照下, 可以实现高速度涂覆, 但被汽化的材料也会被破坏, 必须在气相中再结合。为此, 必须在高速与涂层结构之间做出权衡, 最佳的解决方案是在气相中引入离子源, 以提高气化产物的稳定性。

#### 1.2.3 磁控溅射法

溅射法是利用离子束在靶板上进行溅射, 在基底上沉积原子, 形成薄膜。另外, 还可通过加入其他活性气体来制备不同组分的膜。比如, 将氧元素导入其中, 就能生成各种各样的氧化物。大面积磁控溅射法

在玻璃、塑胶工业中得到了广泛的应用。对带钢而言，主要是在其表面形成太阳光吸收层或高反光膜，或为增强其附着力而采用的中间层体系<sup>[3]</sup>。

这些方法都有各自的优势和不足。就淀积材料而言，热蒸镀仅能制备低熔点的金属，其他方法均可制备金属或氧化物。就膜厚而言，磁控溅射法仅能制得薄层，但其均匀度及表面品质均比较好，而其他方法则能快速成膜，且成膜质量不佳。

## 2 连续带钢真空蒸发镀膜设备设计技术

目前，真空薄膜涂层研究的发展趋势是：通过对已有材料进行表面修饰，如在已有材料上沉积数十个纳米厚度的材料。为在苛刻的环境中应用，例如耐腐蚀的产品，研制出具有优异性能的电镀产品。新一代的环境友好的表面处理技术，例如用氧化二铝代替磷化，钝化，再用有机辊涂。新型多用途电镀产品，例如：复合电镀等。其中，多功能涂层体系是该工艺的核心，而传统的电镀工艺很难达到。涂层体系的选择是该工艺能否产业化的关键所在<sup>[4]</sup>。该系列产品广泛应用于汽车、家用电器、建筑、光伏、化工等领域。由于其具有大面积、连续等特征，所以一直以来，国内外学术界对其研究还不够深入。自 20 世纪 90 年代开始，欧洲煤钢联合欧洲多家科研机构开展了大面积薄板坯真空涂覆处理的试验室与应用研究，部分企业已研发出相应的工艺。随着高功率电子束快速蒸发技术的出现，蒂森克虏伯等大型钢铁企业开始重新重视该技术，并已建成多条中试生产线。

近年来，国际上主要钢铁企业纷纷成立了相应的中试生产线，以实现快速产业化。采用物理气相沉积技术制备的连续带钢具有环境友好、成膜特性好、涂层材料种类多等优点。该工艺产业化的关键是选择合适的产品，并对其进行市场定位。自 2000 年以来，世界主要钢铁企业已将此项技术引入工业生产中，并掀起了新一轮的研究热潮。作为一种革新的涂层新技术，虽然近几年来，我国的镀锌钢板生产迅速发展，国内自给率也在不断地提升，但从总体上来看，尽管在生产能力上，我国的镀锌钢板已经能够满足国内市场的需要。但是，在技术品质上仍然有一些欠缺，一些高附加值的产品尚不能满足需求，加之衬底的供给有限，我国每年都需大量的进口热镀锌板制品。目前，我国众多的钢铁企业都看到了这方面的巨大潜力，相继研制了各种类型的电镀设备。

在可持续发展理念的指引下，世界范围内的电镀

工艺有了长足的发展。这一技术的发展主要表现为：新型的抗腐蚀性金属涂料、特种功能涂料、绿色环保涂料。镀锌镁合金是一种综合性能优异的合金，生产成本仅比镀锌条稍高，但耐腐蚀能力却大大提高。镁元素的最大优势之一是能有效地保护钢板的切口，同时，含有镁的锌基腐蚀产物会在切口处生成一层保护膜。镀层的方法有很多种，例如化学镀、电镀、真空蒸镀；其中，真空蒸镀薄膜是一种通过材料在真空环境下的相变和热输运过程，将材料分子沉积到基底上的一种技术。本发明的优点是：可对多种金属、非金属进行电镀。为了适应各种需要，可对镀层的厚度及均匀程度进行控制。该方法能在较低温度下完成，且对基材无热损害。在此基础上，提出了一种高效、低成本的解决方案。本课题拟研制一套可用于 2000 米长、500 毫米宽度、0.5 毫米厚度的带钢真空蒸发涂层装置，并在其两端制备出 4 微米厚的锌—镁锌复合防护膜。该装置的主要作用是：

1. 对带钢进行真空连续汽化喷涂，并在此基础上实现了带钢的双侧连续多层膜层的制备。

2. 完成了开卷、抽真空、加热、离子束吹扫、喷镀、抽真空、冷却、卷绕等一系列工序。按照工艺流程，该装置主要包括绕线系统、差分抽气系统、感应加热系统；包括离子源前处理系统、蒸发镀膜系统等。在本装置中，卷取装置用来保证带钢平稳地通过生产线。差分抽气系统的主要功能是在空气中完成由常压向低真空，再由低真空向高真空过渡，从而保证了该过程所需要的真空环境。感应加热系统的功能是对带钢表面进行加热、烘干和脱气，从而改善后续的生产工艺，同时对带钢在各个生产阶段的温度进行控制。离子源前处理装置以阳极霍尔离子源为离子源，用于对带钢两侧进行离子束吹扫，有效地清除带钢表面的杂质，改善带钢表面的洁净及后续喷涂成膜的质量。它的优点是结构容易调节，操作参数的选择范围广。真空蒸镀主工艺区的功能是将涂覆材料加热至汽化温度，生成蒸汽，然后在带钢表面沉积<sup>[5]</sup>。

### 2.1 卷取方式

卷取装置主要有送料小车，液压升降、缩放卷组，液压剪切+焊接平台，前转向辊水冷，挤压辊和风刀；S 辊组，液压剪切机，液压伸缩卷取机；出料小车及电气控制系统。

### 2.2 感应供暖装置

在带钢从室温进入离子清洁室之前，必须先用感

应加热装置对其进行加热。该系统的电感线圈是一种单匝的纵场，在20千赫的频率下具有很好的发热效果，并且具有很好的均匀性。

### 2.3 离子源的预处理装置

斜直线和竖线之间会产生交叉点，而在其交叉点所对应的带速条件下，某一个辊子在进行运转的过程当中，其频率就等于带钢的某些固有的频率，在这时，塔顶辊偏心或者是锅内的被动辊晃动时所产生的水平分量必然会导致带钢出现共振的现象，同时塔顶辊偏心或者是锅内的辊被动地进行晃动的过程当中，其铅垂的分量也会引起带钢出现张力方面的波动，在交叉点的带速条件下，如果张力波动还有着辊子转频的两倍频分量的话，那么我们就可以根据 Floquet 定理进行相应的推论。

除了已经出现的支承运动强迫振动共振以外，带钢还会出现同频率的参数激励振动，如果某辊子在进行运转的过程当中，其转频的一半和带钢的某些固有频率之间产生了重合，而且带钢张力波动当中是包含着该辊子的转频成分的，那么在这时同样需要选择利用 Floquet 定理，带钢进行正式涂覆之前，必须选择利用离子源的预处理装置对其进行物理、化学的清洗，这样做能够把表面的油污包括铁锈等一系列的杂质清理干净，在离子清洗室的上方位置和下方位置需要分别设置五个离子源。铜卷带钢的钢卷密度规格都是一定的，弯曲或者扭摆的固有频率与带钢张力的平方根呈现着正比例的关系。所以，这也就意味着可以选择通过改变带钢的张力来对共振或者参激振动发生的条件进行破坏，但是正是因为带钢的固有频率和张力的平方根本身呈现着正比例的关系，因此小幅度地对张力进行调整时，整体的作用并不是非常大，尤其是处在高张力水平的条件下，10%左右的张力的改变对于引起带钢固有频率所产生的变化本身就是有限的，这也就是在抖动非常大的时候对张力进行调动不如直接对速度进行调动的效果更快的主要原因。但是对张力进行改变其实就等于改变锅内被动辊的具体负荷，所以整体的运转条件也会受到一定的影响。但是这一影响在出现的时候本身就是双向的，也会使整体的运转效果变得更好，同时也可能变得更差，所以选择使用张力调节的方式来抑制带钢的抖动是需要更加丰富的经验的。另外，工艺条件对张力的调节也会产生非常严格的限制，不同规格包括不同钢种的钢卷在工艺上都有参考张力值方面的约束。

### 2.4 蒸镀装置

蒸镀系统的蒸镀源主要包括坩锅、加热器和电源；温度传感器，温控装置等。本文介绍了一种用于高纯度锌、镁合金加热炉的石墨坩锅。据了解，锌的沸点是906摄氏度，镁沸点是1090摄氏度，要想获得成功的锌—镁镀层，就必须在100摄氏度以上的高温条件下，与锌、镁等液态金属及蒸汽长期接触，才能获得较好的热稳定性。通常，石墨坩锅的断裂是由于金属的浸蚀作用，使其进入石墨内部，破坏其整体结构，并使其在受热或冷却过程中因热膨胀系数的不同而被破坏。为提高石墨坩锅的使用寿命，必须选用组织致密的石墨，以减缓金属物质对石墨的渗入。本文介绍了利用等静压制石墨坩锅的方法。在此过程中，金属在气化过程中加热，形成熔池，气化。利用石墨混合腔提高了蒸煮的时间与空间的均匀性。石墨喷嘴是一种超声速喷嘴，它可以使金属蒸汽产生超声速射流。坩锅炉的加热方式为感应加热，电感线圈与电源构成的加热系统。该电感线圈由18×18毫米厚的紫铜方管环卷制而成，用来加热石墨坩锅。盘管与绝缘层之间的距离小于10毫米，采用水冷的方式。

### 3 结束语

在对高质量、高性能、高附加值板带产品的需求不断增长的今天，对带钢的连续涂层工艺提出了更高的要求，同时也有了更大的发展空间。今后还需对装备进行进一步的优化和提高，使其多样化、可靠性得到持续的提高，并加大对新一代连续板真空涂层的研发与推广；扩大产品的使用范围，提高产品的市场竞争能力。

### 参考文献：

- [1] 孙振华,赵哲,王丁,张帆.连续带钢真空蒸发镀膜设备设计[J].真空,2023,60(05):42-46.
- [2] 同[1].
- [3] 阳江宏旺实业有限公司.一种冷轧连续带钢用的退火设备:CN202211562259.6[P].2023-05-23.
- [4] 朱海军,田秀平,赵洋斌.热轧带钢连续酸洗线酸循环泵流量计算方法[J].轧钢,2023,40(03):81-84,91.
- [5] 陈瑾,陈赞,李龙,等.带钢连续热镀锌常见缺陷原因分析及解决方法[J].金属材料与冶金工程,2023,51(06):45-49.