

文章编号: 1002-0268 (2003) S1-0156-03

# 钢构件热镀锌防腐层附着性能及其测定

周志伟, 徐春华, 李晓蕾  
(交通部公路科学研究所, 北京 100088)

**摘要:** 热镀锌附着性能直接影响钢构件的防腐层质量, 本文分析了影响镀锌层附着性能的几种因素及附着性能的测定方法。

**关键词:** 热镀锌; 防腐层; 附着性能

**中图分类号:** U491.5 **文献标识码:** A

## Adhesion Performance and Test of Steel Parts' Hot-dip Galvanized Anticorrosion Coating

ZHOU Zhi-wei, XU Chun-hua, LI Xiao-lei

(Research Institute of Highway, Ministry of Communications, Beijing 100088 China)

**Abstract:** The adhesion of hot-dip galvanizing directly affects the quality of the steel parts anticorrosion coating. This article analyzes several impact factors on the adhesion performance of hot-dip galvanized coating and the test methods.

**Key words:** Hot-dip galvanizing; Anticorrosion layer; Adhesion

近年来, 随着高速公路的飞速发展, 沿线设施越来越完善, 各种各样的安全设施产品不断涌现并且对其质量要求越来越高。其中, 钢构件热镀锌产品正在广泛应用。这是因为空气中总含有氧气和水分, 腐蚀无处不在, 因此钢构件产品就会不断遭受腐蚀, 反应式为:  $4\text{Fe} + 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 。

并且在有些地区, 气候潮湿, 空气中还含有大量的  $\text{CO}_2$ 、 $\text{SO}_2$  等腐蚀性气体, 更会加快腐蚀的速度。而热镀锌是应用最广泛的金属防腐方法。钢材之所以热镀锌, 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, 也保护了钢基。经热镀锌之后的钢材, 大大延长了使用寿命。

### 1 影响镀锌层附着性的几种因素

镀锌层的附着性和多种因素有关。例如: 锌液的温度、钢基体的化学成分、锌液的化学成分及前处理等其它因素都可影响镀锌层的附着性能。

#### 1.1 锌液的温度对热镀锌附着性能的影响

锌液温度对热镀锌附着性能有显著的影响。温度

升高能加快铁-锌之间的扩散速度。在低于  $480^\circ\text{C}$  镀锌时, 铁损系按照地抛物线规律随浸锌时间而变化。当温度接近  $480^\circ\text{C}$  时, 铁-锌合金层就会增厚, 导致镀层的塑性变坏。当锌液温度超过  $480^\circ\text{C}$ , 特别是达到  $500^\circ\text{C}$  时, 铁损可用直线规律来表示。因为当温度超过  $480^\circ\text{C}$  时, 以  $\text{FeZn}_{13}$  为基础中间金属相的晶体形成速度变得很小, 仅能形成少许几个带有较大空隙的晶核, 这样液态锌就会浸入到这些空隙中, 并且一直深入到以  $\text{FeZn}_7$  位基础的中间金属相中, 因此加速了铁-锌之间的扩散作用, 导致合金层的剧烈增厚。并且当达到  $480^\circ\text{C}$  之后, 以  $\text{Fe}_5\text{Zn}_{21}$  为基础中间金属相的晶体主要靠牺牲以  $\text{FeZn}_7$  位基础中间金属相的晶体而长大, 导致镀锌层变脆, 附着性能下降。镀锌层厚度与锌液温度的关系见图 1。

#### 1.2 钢基中各元素对热镀锌附着性能的影响

(1) 碳元素的影响 碳元素的含量不仅影响了钢材的性能, 而且对钢材热镀锌也有较大的影响。简单的说, 钢材中含碳量越高<sup>[1]</sup>, 在热镀锌过程中铁-锌反映就会越剧烈, 见图 2, 这样铁的损失就会增大, 导致

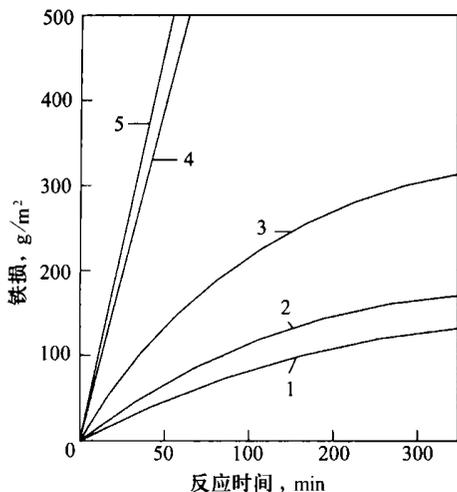


图1 低碳钢在锌液中的溶解损失

1-440℃; 2-470℃; 3-495℃; 4-500℃; 5-540℃

铁-锌合金层厚度增大,使镀锌层附着性能下降。因此,在生产过程中,根据需要,严格控制钢材的牌号。例如,高速公路波形梁钢护栏要求使用Q235牌号钢。

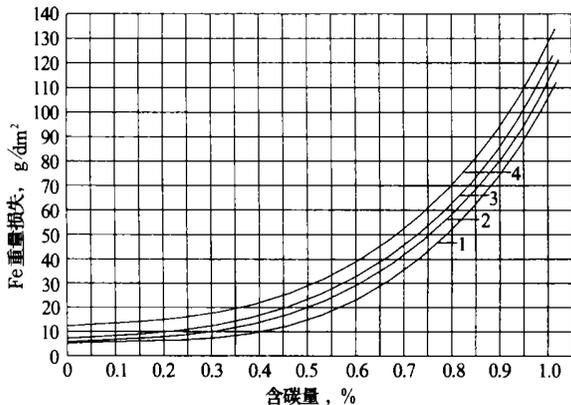


图2 钢中含碳量对铁在锌液中溶解度的影响

1-520℃; 2-500℃; 3-480℃; 4-460℃

(2) 硅元素的影响 在钢材中还含有一定量的硅元素。如果钢基中的硅元素含量过高,在热镀锌时就会引起镀锌层铁-锌合金层剧烈增厚,形成灰颜色的镀层,从而使镀锌层粘附性变坏。值得提出的是,钢基中的SiO<sub>2</sub>是影响热镀锌的主要因素。因此钢基中含硅量较高时,应防止硅的过多氧化,清除干净钢基中生成的SiO<sub>2</sub>,这样可获得较好的镀锌质量。

(3) 其它元素的影响 在钢材中还含有较少的磷、硫等元素,在热镀锌时它们起着不同的作用,尤其是磷元素,当它含量在0.15%左右时,镀层中便会出现无光泽的斑点,并且使镀层的粘附性变坏。

### 1.3 锌液中各元素对热镀锌附着性能的影响

(1) 铝的影响 在加铝法热镀锌中,锌液中所含的铝是对热镀锌影响最强烈的一个元素。如果锌液中含0.1%~0.2%的铝时,即会引起镀锌层的显著变

化<sup>[2]</sup>。通过铁-铝状态图可以得到,见图3。铝同铁形成3种化合物,即FeAl、FeAl<sub>2</sub>和FeAl<sub>3</sub>,在它们之中FeAl化合物生成热较大,易首先形成。此外,铝元素还可以和锌液内的氧化铁、氧化锌等杂质结合,形成不会与带钢相粘合的物质,并且能上浮到锌液表面,这样保证了锌层的纯度。在加铝热镀锌时,镀层的附着能力不取决于铁-锌合金层的厚薄,而取决于钢基和铁-锌合金层之间由Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>形成的中间层。由于铝对铁比锌对铁有较大的热力学亲和力,所以在加铝法带钢热镀锌中,在时间和温度的影响下,总是优先在钢基表面形成铁-铝化合物,这个薄而均质的中间层能够牢固的附着在钢基表面,实际上它是起着粘附镀层的媒介作用。带钢热镀锌时,如果浸锌温度、时间和锌液含铝量3个条件不具备,则Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>中间相层就不易形成,或者形成的不完整。这样,由于镀层缺乏粘附媒介,所以Fe-Zn合金层就是很薄,其镀层的粘附力也会很差,稍微弯曲即会发生锌层脱落。这时,若改变操作条件,例如:提高带钢入锌锅温度、延长浸锌时间(即降低带钢运行速度)或增加锌液中铝含量,便会促使中间层的形成,当具备了完整的粘附媒介层时,则镀层的附着力才有可能获得改善。

总之,在生产中造成镀锌层附着力差的主要原因有两种,一是没有形成粘附媒介作用的Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>中间层,这种产品镀层中的Fe-Zn合金层一般都较薄,但是镀层的附着力却不好,可通过回火加以改善;一是已经形成的Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>中间层又遭到破坏,这种产品镀层中Fe-Zn合金层一般较厚,不能通过回火得到改善。所以在生产中应把二者区别处理。由此我们可以得出,镀层中的铝含量是衡量粘附强度的一个重要标准。但是,在钢基表面的中间层中含有较高的铝量,仅仅是获得良好镀层附着力的必要条件,而不是充分条件。因为只有当锌在Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>中间层中的溶解不饱和而形成贫锌固溶体时,此层才能起到粘附作用和阻止Fe、Zn扩散的作用,并形成薄的铁-锌合金层,此时,镀层粘附性较好。若锌在Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>中间层中的溶解度达到饱和并生成富锌固溶体时,这时中间层中的铝的绝对含量虽然没有减少,但是铝的百分含量却有显著的下降,同时因为锌的过饱和而破坏了Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>中间层的均质性,有此便使中间层丧失了粘附作用和阻止扩散的作用,并且形成较厚的铁-锌合金层,此时,镀层的附着力也同时变坏。

(2) 铁的影响 当锌液温度为450℃时,铁在锌液中的最大溶解度为0.03%,如果铁量不断增加,则

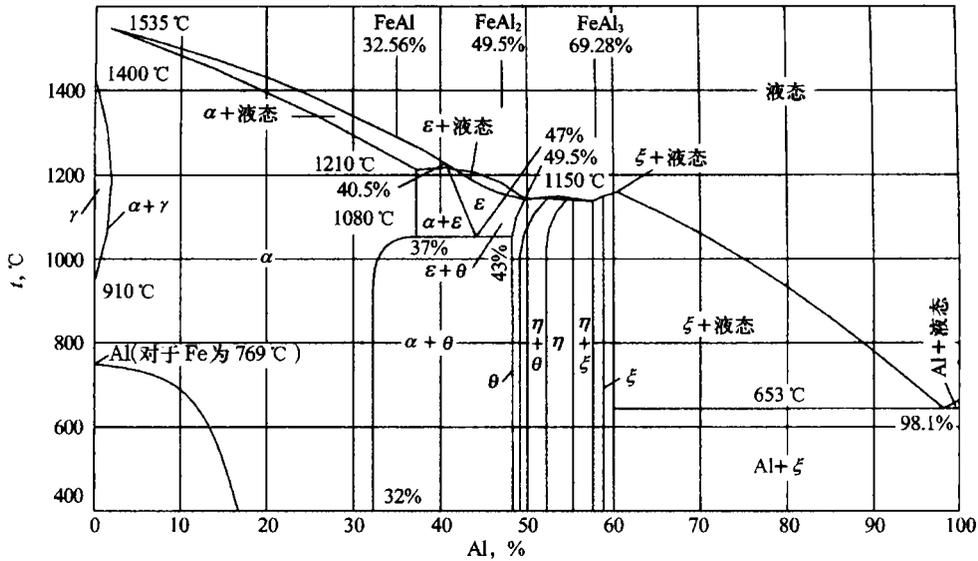


图3 铁-铝系状态图

铁易和铝结合生成底渣，减少了有效的铝含量，从而使镀层附着性能下降。因此应适当控制铁的含量，使能得到高质量的镀锌层。

(3) 镁的影响 合理控制镁元素的含量，因为过量的镁会使镀层表面变成乳白色，使镀层脆化，从而降低了镀锌层的附着性能。

(4) 其它元素的影响 在锌液中可能还会添加其它的一些元素，这些添加元素对于镀层性能有不同程度的影响，应适当控制元素的含量，不要一味追求某元素的作用，从而忽视了各元素彼此间的影响。例如：锌液中含有锡元素，可以获得美丽的锌花，但是过量的锡元素会使镀层的附着力下降，并且锡元素含量的不同不仅会直接影响铁-锌合金层的厚度，而且还会降低有效铝元素的作用。

1.4 其它因素对热镀锌附着性能的影响

(1) 钢材表面粗糙度对镀锌层附着性能的影响

在轧制过程中，由于轧辊的表面光洁度不同，这样得到的带钢表面粗糙度就会不同。若钢板表面越粗糙，则钢板表面的实际面积就会变大，这样在热镀锌时，镀锌层的附着性能就会提高。因此可以说，冷轧钢板表面的粗糙度再热镀锌时在一定程度上可以影响镀锌层的附着性能。

(2) 前处理对镀锌层附着性能的影响

前处理是将预镀件表面的油污、氧化铁皮等清除干净，其中酸洗，是清除钢板表面的氧化铁，若酸洗时间过长，则会增加钢材的表面粗糙度，经过热镀锌就会得到更多的上锌量。有时候当生产中发现镀锌层附着性能不良时，应采取提高预镀件入锌锅温度的方法，这样产品的附着性能将会得到改善。

2 热镀锌附着性能的测定

2.1 锤击试验

锤击试验一般适用于板状试样，试样面积不小于10 000mm<sup>2</sup>。例如：高速公路热镀锌波形梁钢护栏板。试件水平放置，锤头面向台架中心，锤柄与底座平面垂直后自由落下，以4mm的间隔平行打击五点，检查锌层表面状态。打击点应离端部10mm以外，同一点不得打击两次。经锤击试验后，镀锌层不剥离，不凸起为合格样品。

2.2 缠绕试验

缠绕试验一般适用于丝状试样，例如某高速公路热镀锌隔离栅网片样品，试件长度见表1。

表1

钢丝直径 mm	试样最小长度 mm	芯棒直径为钢丝 直径的倍数	缠绕圈数 不少于
2.0	350	5	6
>2.0~3.0	600	7	6
>3.0~4.0	800	7	6

注：芯棒直径不允许有正偏差。

将试样沿螺旋方向以紧密的螺旋圈缠绕在芯棒上。缠绕、松懈的速度应均匀一致，一般应为每分钟不大于60圈；必要时可减慢试验速度，以防止温度升高而影响试验结果。缠绕试验后，镀锌层不开裂或起层到用裸手指能够擦掉的程度为合格样品。

参考文献:

[1] 中国腐蚀与防护学会. 热镀锌 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1991.  
 [2] 李九岭. 带钢连续热镀锌 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2001.  
 [3] 唐, 邢波. 高速公路交通工程钢构件防腐技术条件 [S]. 北京: 国家质量技术监督局, 2000.