

doi: 10.3969/j.issn.1001-3849.2023.06.012

热镀锌锌液有效铝控制技术研究

金永清*, 李响, 蒋英箴, 邓 菡

(攀钢集团攀枝花钢铁有限公司板材厂, 四川 攀枝花 617000)

摘要: 锌液有效 Al 含量是影响热镀锌产品镀层表面和性能的关键参数, 针对其精确和稳定控制难度大的问题, 研究了不同生产条件下锌液 Al 含量消耗规律和不同锌锭 (Al 含量为 0.4 wt.%, 0.8 wt.% 和 4.2 wt.%) 加入后对 Al 含量的影响。结果表明: 通过常规锌锭 Al 含量的合理设计, 单独添加时可保证 Al 含量最低达到目标区域下限附近, 然后根据条件采用不同调 Al 锌锭进行优化调节, 可以达到锌液有效 Al 含量精确和稳定控制目标。

关键词: 热镀锌; 锌液; 有效铝; Fe_2Al_5 ; 锌渣

中图分类号: TG174.4 **文献标识码:** A

Study on effective Al control technology of hot-dip galvanizing bath

Jin Yongqing*, Li Xiang, Jiang Yingzhen, Deng Han

(Plate Plant of Panzhihua Steel & Vanadium Co., Ltd., Panzhihua 617000, China)

Abstract: The effective Al content of molten zinc is a key parameter that affects the surface and properties of hot-dip galvanized products. Aiming at the difficulty of accurate and stable control of the effective Al content, the consumption law of Al content in molten zinc under different production conditions and the influence of different zinc ingots (Al content was 0.4 wt.%, 0.8 wt.% and 4.2 wt.%) on Al content were studied. The results showed that through the reasonable design of the Al content of conventional zinc ingots, the Al content could be guaranteed to reach near the lower limit of the target area when it was added alone, and then the effective Al content of molten zinc could be controlled accurately and stably by using different Al adjusting zinc ingots according to the conditions.

Keywords: hot-dip galvanizing; molten zinc; effective Al; Fe_2Al_5 ; zinc slag

钢铁表面热镀锌是固态金属与液态金属间的反应和扩散过程。在镀纯锌时, 带钢表面容易形成脆性的铁锌化合物, 导致镀层附着性和成型性变差^[1]; 锌液中添加铝元素后, 在钢基上首先形成致密的 Fe_2Al_5 中间层, 紧密结合钢基和锌层, 抑制铁的扩散, 从而提高锌层的附着性和加工性^[2-3], 减少锌渣缺陷, 提高质量。同时, 锌液中的 Al 和底渣 FeZn_7 进行置换反应, 生成 Fe_2Al_5 和 Zn, 消除锌锅底渣, 提高产品表面质量^[4-5]。锌液中的铝以两种方式存在^[6],

其一是游离态的铝 (后称有效铝), 可以直接参与镀锌反应, 影响镀层质量和性能。其二是化合态的铝, 也就是锌渣中的铝, 不与带钢直接反应。鉴于对镀层质量和性能的重要意义, 有效铝成为热镀锌生产中的关键控制参数。攀钢热镀锌市场定位于对品质要求极高的家电用板^[7]。研究表明, 有效铝含量在 0.185 wt.% ~ 0.195 wt.% 时, 镀层质量和性能较理想, 因此, 锌锅中有效铝精确稳定控制在上述范围是管控的重点。

收稿日期: 2022-09-02

修回日期: 2022-10-08

*通信作者: 金永清 (1974—), 男, 工程硕士, 高级工程师, email: 980227506@qq.com

1 铝含量变化的影响因素

1.1 锌层质量

锌液的铝含量与生产中锌层质量关系密切。生产薄锌层时,气刀压力大,加速了锌液中Al的氧化和消耗。生产厚锌层时,气刀压力低,减少了Al的氧化和消耗。表1是不同镀层重量镀锌产品生产时的产渣率和Al含量变化情况,表中有效Al含量降低为负值,升高为正值。由表1可见,在生产薄镀层时,锌液产渣率高,导致锌液中的Al含量快速降低;在生产厚镀层时,产渣率低,锌液中的Al含量消耗变慢,甚至在添加普通锌锭时会出现Al含量升高的情况。

表1 不同锌层质量生产时锌液产渣率和Al含量变化情况

Tab.1 Variation of slag yield and Al content in molten zinc during production with different weight of zinc layer

锌层质量/ (g·m ⁻²)	锌液产渣率/(wt.%)	有效铝8h变化情况/ (wt.%)
60	12.67	-0.007
80	8.52	-0.005
120	5.85	-0.003
180	4.23	0.002

1.2 锌液温度

锌液温度对铝含量有较大影响,锌液温度通常为460℃。文献[8]指出,随着锌液温度升高,带钢铁损随之升高,从而增加了锌渣和Al的消耗。当锌液温度超过480℃后,铁损呈抛物线式急剧增加,在带钢表面生成脆性合金层,恶化镀层加工性能^[9]。因此,生产热镀锌产品锌液温度应控制在455~465℃。

1.3 带钢入锌锅温度

热镀锌时带钢入锌锅温度与锌液温度通常相差10~15℃,适当提高带钢入锌锅温度,有利于中间合金层超比例吸收Al元素,形成完整的Fe₂Al₃合金层,提高锌层附着力,但Fe₂Al₃中间层从锌液中多带走约30 wt.%的铝^[10],导致锌液的Al含量下降。同时,过高的带钢温度将提高锌液温度,加快造渣反应,使锌液中的铝含量降低。

1.4 生产速度

在其他生产条件相同时,提高生产速度将增大气刀压力,加快锌液中Al的氧化和消耗,导致铝含量迅速降低;反之,降低生产速度会减缓Al的氧化,锌液Al含量降低速度变慢。

2 镀液铝含量稳定控制技术

2.1 锌锭铝含量控制策略

由于Fe₂Al₃中间层和锌渣会带走大量的铝,要保证锌液中铝含量的稳定,加入的铝应接近带走的铝^[11],因此,锌锭的铝含量应高于锌液。锌液铝含量的控制是通过添加常规锌锭和调铝用合金锭完成的。常规锌锭是锌液中铝的主要来源,其铝含量应满足在不同状态单独添加时,锌液Al含量能保持在工艺下限附近。通过研究,常规锌锭R76铝含量为0.40 wt.%时,锌液铝含量维持在0.16 wt.%~0.19 wt.%内,保证热镀锌不同生产条件下的基本铝含量,有利于后续精确控制。调Al锌锭主要采用R80(铝含量为0.8 wt.%)和R05(铝含量为4.2 wt.%)两种锌锭,其中R80锌锭调整较温和,适应于铝含量检测值与目标值相差不大时使用;而R05锌锭主要用于快速提升Al含量。

2.2 锌锭对有效铝含量变化规律的研究

为研究不同锌锭添加对锌锅有效铝含量的影响,在镀层重量为80 g/m²时,分别添加R76、R05和R80三种锌锭,并对有效铝含量进行检测跟踪。其中R76锌锭加入4 t(每2 h加入1 t),R05-1锌锭加入1 t,R80锌锭铝含量为1 t。锌锭加入后铝含量走势图及对铝含量影响情况见图1~3和表2所示。图1为单独添加R76锌锭时Al含量走势图,单独添加R76锌锭无法全部补充带走Al,锌液Al含量会缓慢下降,平均加入1 t锌锭,Al含量约下降0.0013 wt.%。图2为添加R05锌锭时有效Al含量的走势图,R05锌锭加入的Al远高于带走的Al,会快速提升Al含量,加入1 t锌锭时,Al含量约提高0.013 wt.%。图3为添加R80锌锭时有效Al含量的走势图,R80锌锭介于上述两种锌锭之间,起到温和提升Al含量的作用,加入1 t锌锭,Al含量约提高0.004 wt.%。

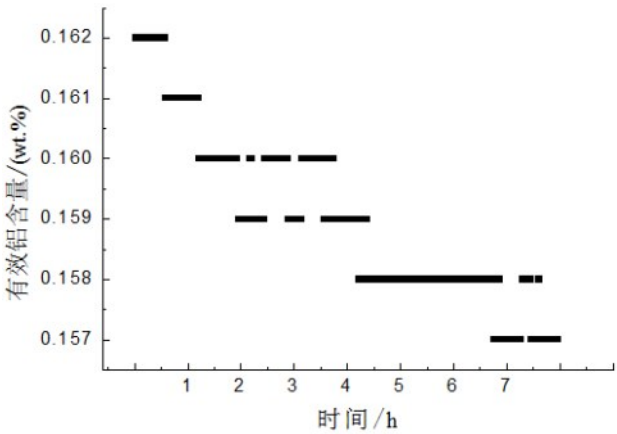


图 1 添加 R76 锌锭时有效 Al 含量走势图

Fig.1 The trend of effective Al content after addition of R76 ingot

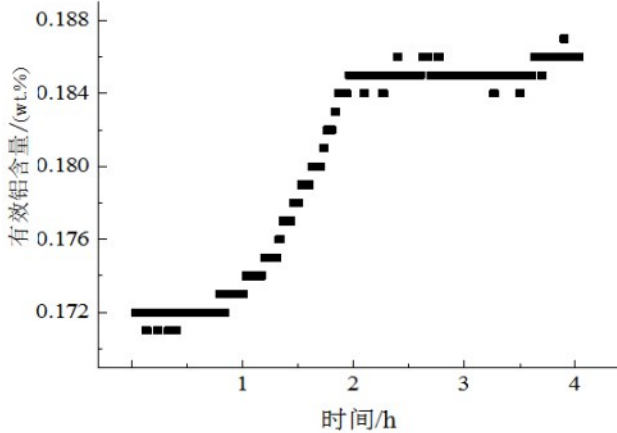


图 2 添加 R05 锌锭时锌液有效 Al 含量走势图

Fig.2 The trend of effective Al content after addition of R05 ingot

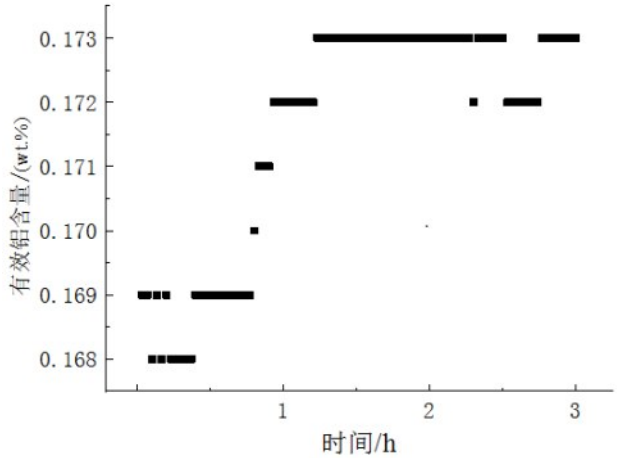


图 3 添加 R80 锌锭时锌液有效 Al 含量走势图

Fig.3 The trend of effective Al content after addition of R80 ingot

表 2 加入不同锌锭后锌锅有效铝变化情况

Tab.2 Changes of effective Al content in zinc pot after adding different zinc ingots

锌锭种类	添加量/t	有效铝变化/(wt.%)
R76	1	-0.0013
R05	1	0.013
R80	1	0.004

2.3 锌锭添加标准

热镀锌机组锌液铝含量测定方法包括化学法和定铝探头连续测量法。化学法测量周期长,调节滞后,要准确稳定控制锌液铝含量,需根据锌层厚度进行前馈添加锌锭,并结合化验反馈值微调。表 3 为不同锌层厚度生产时锌锭添加方法,表中列举的周期为 8 h(即 1 个班),在该班生产中根据镀层质量,分别添加表中对应的参考锌锭及重量。锌锭的添加根据锌锅液位消耗情况进行,R76 锌锭每次添加 1 t,R05 或 R80 锌锭在班中 4 h 左右添加,以保证 Al 含量均匀性。对于采用定铝探头连续测量的机组,通过测量值和目标值对比添加锌锭,如表 4。当检测值高于目标值时,根据锌锅液位消耗情况只添加 R76;若检测值低于目标值时,则根据差值大小分别添加 R80 或 R05 锌锭,从而快速和稳定地将 Al 含量调节到目标范围。

表 3 生产不同锌层厚度时锌锭添加方法

Tab.3 Adding method of zinc ingot for production of different zinc layer thickness

镀层重量/ ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)	R05 添加量/t	R80 添加量/t	R76 添加量/t
60	0.55	0	3
80	0.33	0	4
120	0	1	6
180	0	0	8

表 4 根据锌锅有效铝成分的锌锭添加方法

Tab.4 Adding method of zinc ingot according to the effective Al content in zinc pot

有效 Al 含量/(wt.%)	锌锭牌号	每次加入量/t
>0.195	R76	1
0.185~0.195	R76	1
0.180~0.185	R80	1
<0.180	R05	0.5

2.4 有效铝含量控制实绩

图4为攀钢镀锌机组在应用本技术后锌液有效铝控制情况。由图4可见,控制期间500个锌液有效铝含量值全部控制在目标0.185 wt.%~0.195 wt.%范围内,均值为0.191 wt.%,稳定性好,期间生产的镀锌产品表面质量良好且稳定,满足了家电用户的需求。

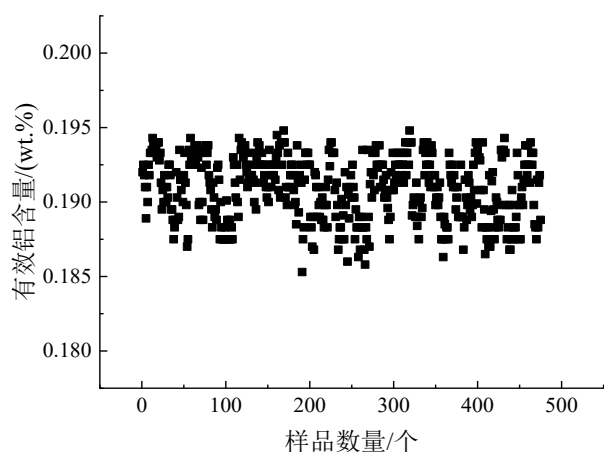


图4 控制期间有效铝含量控制效果

Fig.4 The control effect of effective aluminum content during control period

3 结论

锌液有效铝含量的精准和稳定控制的关键是锌液中铝的加入和消耗达到平衡。由于Al的氧化、产渣和 Fe_2Al_3 中间层等反应的复杂性,导致锌液有效铝含量的控制难度加大。研究不同生产条件下Al含量消耗规律,结合不同锌锭加入后对有效Al含量

的影响,摸索并确定不同条件下的锌锭添加标准,是锌液有效铝精准和稳定控制、提升产品质量的关键。

参考文献

- [1] 王子昂, 赵兴时. 本钢浦项热镀锌锌锅铝含量成分稳定控制[C]//第十二届中国钢铁年会论文集, 北京: 中国金属学会, 2019: 146-150.
- [2] 李九岭. 带钢连续热镀锌(第3版)[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2010.
- [3] 张启富, 刘邦津, 黄健中. 现代钢带连续热镀锌[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2007.
- [4] 唐迺泳. 计算机程序Pal实现锌液自动化和优化管理[C]//中国2002带钢连续热镀锌发展论坛, 北京: 中国金属学会, 2002: 36-40.
- [5] 周国平, 于磊, 谷田, 等. 带钢表面锌渣产生的机理及控制措施[J]. 冶金管理, 2020, 32(15): 6-7.
- [6] 李德超, 韦加利, 刘强, 等. 热镀锌GI锌锅的铝含量稳定控制研究[J]. 安徽冶金科技职业学院学报, 2014, 24(1): 1-3.
- [7] 亢业峰. 家电用微碳热镀锌钢板开发与生产实践[J]. 金属世界, 2020, 35(4): 78-80.
- [8] 梁振威, 刘大亮, 解鸽. 锌锅温度场的研究及应对措施[J]. 冶金管理, 2020, 32(6): 57-58.
- [9] 刘力恒, 车淳山, 孔纲, 等. 热镀Zn-0.2wt.%Al镀层中Fe-Al抑制层失稳机理及其热力学评估[J]. 金属学报, 2016, 52(5): 614-624.
- [10] 李九岭, 许秀飞, 李守华. 带钢连续热镀锌生产问答[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2011.
- [11] 张海尉. 热镀锌机组锌锅有效铝含量精确控制技术[J]. 宝钢技术, 2009, 26(1): 39-41.