

# 制备高纯度锌所用阳极材料的研究

陈越 冯绍棠 谭国寅 汤皓元 李恒

(昆明冶金研究院有限公司, 云南昆明 650503)

**[摘要]** 从金属锌制备的源头即在电解过程中关注锌纯度, 主要从杂质去除和阳极板合金优化两方面改造锌电解阳极板材料, 并对比了新型阳极板和传统铅银阳极板的物理化学性能。通过分析各种元素电化学反应的还原电位, 在阳极锌的熔铸过程中加入适量的 Al 和 Cu, 使其与 Fe、Cd 形成稳定的金属间化合物, 降低 Fe、Cd 的还原电位, 使它们不在阳极上氧化, 进而达到除去目的。通过分析各元素对铅基合金性能的影响, 选择添加 Ag、Ca、Sr、RE 等元素优化阳极板合金。制备的新型阳极板抗拉强度明显提升, 硬度有所增强, 塑性降低较少, 产出的锌产品中 Pb、Ni 等杂质含量均比传统铅银阳极板低, 锌产品纯度有明显提升。

**[关键词]** 锌电解; 高纯度锌; 杂质去除; 阳极板; 铅基合金; 物理化学性能

**[中图分类号]** TF813 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1008-5122(2022)04-0023-06

**DOI:** 10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2022.04.005

## 0 前言

锌是常见的有色金属之一, 具有良好的机械和物理化学性能, 且金属越纯净, 其性能越好。我国把纯度大于 99.999% 的锌产品称为高纯锌。高纯锌物理化学性能非常优异: 抗腐蚀性能好, 塑性特别是延展性大幅提高, 作为合金和化合物的基材可提升其合成物的性能, 光学指向性和光反射率高<sup>[1]</sup>。

基于这样的优良性能, 锌广泛应用于机械、化工、国防等方面: 作为电子、光电子的重要基础材料与 II—VI 族元素制备多元化合物半导体; 出于环保要求, 用于生产无汞锌粉电池; 车用薄壁铸件<sup>[2]</sup>。

随着技术的发展, 金属锌的提纯手段呈多样化, 已知的有真空蒸馏法、区域熔炼法、偏析法等<sup>[1,3]</sup>。本文从金属锌制备的源头管控, 即在电解过程中关注锌的纯度, 从锌电解阳极材料入手来提升锌产品的纯度。

目前工业上锌湿法电积阳极应用最广泛是 Pb-

Ag(0.5%~1%) 阳极, 生产实践表明, 阳极 Pb 对阴极析出的锌产品产生污染。在基本不改变现有电解槽结构的前提下, 为了制备高纯锌, 同时兼顾阳极板生产成本低、析氧超电位低、阳极泥捕集性能和耐腐蚀性能优异的特点, 对锌电解阳极板材料进行改造, 主要从杂质去除和极板合金优化两个方面对铅阳极进行优化<sup>[4]</sup>。

## 1 阳极板优化

### 1.1 杂质去除

杂质带入方面, 根据 Nernst 方程, 相关元素电极反应的标准还原电位见表 1。在离子浓度较低时, 以浓度代替活度, 计算各种金属元素在电解液不同杂质浓度和阴极不同杂质浓度条件下的平衡还原电位, 结果<sup>[4]</sup>见表 2。

从表 1 的数据可知, 阳极板中的 Mg、Mn、Al、Sr 元素容易溶解进入电解液中, 但因其还原电位较 Zn 的负, 电解时不会在阴极上析出, 因此富集在电解液中。元素 Cr 的还原电位较 Zn 略高, 容易在阳极上溶解进入电解液中。由于三价铬容易水解, 在 pH = 5.0 条件下的溶解度 ( $K_{sp} = 6.3 \times 10^{-31}$ ) 为 0.03 mg/L, 电化学析出时很快达到极限电流密度, 电解液中 Cr 的浓度也很低, 电解时阴极锌基本上达到高纯锌的要求, 可以不考虑 Cr 在电解过程中的行为。Ag、Cu、Ni、Pb、Sn、Co、As、Bi、Ge 等还原电位比 Zn 高的元素在阳极上不能进行电化学氧化反应, 不会溶解

**[收稿日期]** 2022-03-21

**[基金项目]** 云南省科技计划项目(202104AR040008)

**[作者简介]** 陈越(1973—), 男, 高级工程师, 主要从事金属新材料的研究与开发, 合金的设计、熔炼、制备等关键技术的研究工作。

**[引用格式]** 陈越, 冯绍棠, 谭国寅, 等. 制备高纯度锌所用阳极材料的研究[J]. 有色冶金节能, 2022, 38(4): 23-28.

表 1 各种元素的电化学反应的标准还原电位  $\varphi^0$ 

电化学反应	$\varphi^0$	电化学反应	$\varphi^0$	电化学反应	$\varphi^0$
$\text{Ag}^+ + \text{e} = \text{Ag}$	0.799 6	$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e} = \text{Fe}$	-0.409	$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e} = \text{Ni}$	-0.230
$\text{HAsO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O} = \text{As} + 4\text{OH}^-$	0.247 5	$\text{Mn}^{2+} + 2\text{e} = \text{Mn}$	-1.029	$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e} = \text{Pb}$	-0.126
$\text{BiO}^+ + 2\text{H}^+ + 3\text{e} = \text{Bi} + \text{H}_2\text{O}$	0.320 0	$\text{Cd}^{2+} + 2\text{e} = \text{Cd}$	-0.403	$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e} = \text{Sn}$	-0.136
$\text{H}_2\text{GeO}_3 + 4\text{H}^+ + 4\text{e} = \text{Ge} + 3\text{H}_2\text{O}$	-0.130 0	$\text{Co}^{2+} + 2\text{e} = \text{Co}$	-0.280	$\text{Sr}^{2+} + 2\text{e} = \text{Sr}$	-2.890
$\text{SbO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{e} = \text{Sb} + 4\text{OH}^-$	-0.660 0	$\text{Cr}^{3+} + 3\text{e} = \text{Cr}$	-0.740	$\text{Al}^{3+} + 3\text{e} = \text{Al}$	-1.706
$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e} = \text{Mg}$	-2.375 0	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e} = \text{Cu}$	0.345	$\text{Tl}^+ + \text{e} = \text{Tl}$	-0.336
$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e} = \text{Zn}$	-0.763 0				

表 2 各元素在电解液和阴极不同杂质浓度条件下的还原电位

电解液杂质含量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	阴极锌杂质含量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	Ag	As	Bi	Ge	Sb	Mg	Fe	Mn	Cd	Co
1	$1 \times 10^{-3}$	0.622	0.484	0.458	0.106	-0.423	-2.464	-0.498	-1.118	-0.491	-0.369
	$1 \times 10^{-4}$	0.562	0.464	0.438	0.092	-0.404	-2.493	-0.527	-1.147	-0.521	-0.398
电解液杂质含量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	阴极锌杂质含量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	Cr	Cu	Ni	Pb	Sn	Sr	Al	Tl	Zn*	
1	$1 \times 10^{-3}$	-0.829	0.252	-0.319	-0.215	-0.225	-2.979	-1.765	-0.514	-0.763	
	$1 \times 10^{-4}$	-0.858	0.222	-0.348	-0.244	-0.255	-3.008	-1.785	-0.573		
电解液杂质含量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	阴极锌杂质含量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	Ag	As	Bi	Ge	Sb	Mg	Fe	Mn	Cd	Co
0.1	$1 \times 10^{-3}$	0.681	0.504	0.478	0.121	-0.443	-2.434	-0.468	-1.088	-0.462	-0.339
	$1 \times 10^{-4}$	0.622	0.484	0.458	0.106	-0.424	-2.464	-0.498	-1.118	-0.491	-0.369
电解液杂质含量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	阴极锌杂质含量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	Cr	Cu	Ni	Pb	Sn	Sr	Al	Tl	Zn*	
0.1	$1 \times 10^{-3}$	-0.799	0.281	-0.289	-0.185	-0.195	-2.949	-1.745	-0.454	-0.763	
	$1 \times 10^{-4}$	-0.829	0.252	-0.319	-0.215	-0.225	-2.979	-1.765	-0.514		

注：\* 锌的电位为标准电位，与杂质的浓度变化无关

进入电解液，从而不会在阴极上析出。与 Zn 氧化和析出电位差异不大的 Fe、Cd 容易在阳极上氧化溶解进入电解液，也容易在阴极上析出，因此必须提高它们的氧化电位，使它们在阳极上不被氧化，从而减少进入电解液中的量，达到除去杂质的目的。

提高 Fe、Cd 氧化电位的方法之一就是在阳极锌的熔铸过程中加入适量的添加剂，使其与 Fe、Cd 形成稳定的金属间化合物，降低其还原电位，使它们不在阳极上氧化，进而达到除去的目的。添加剂通常为微量的 Al 和 Cu，Al 与 Fe 形成  $\text{Fe}_3\text{Al}$  金属间化合物，Cu 与 Cd 形成  $\text{Cu}_3\text{Cd}$  金属间化合物。

## 1.2 极板优化合金设计

作为锌电解的阳极板，极板材料中的合金元素要求具有低析氧电位、高电导率、在硫酸溶液中稳定性好、无明显晶界偏聚、与铅相溶等特点。各合金元

素对铅基合金阳极性能的影响如下：

1) Ag 易在亚晶和晶界处偏聚，使得晶界和枝晶界区域更耐腐蚀；可改善机械强度和抗蠕变强度，但效果有限；可促进致密氧化膜层形成，当质量含量达到 0.5% ~ 1.0% 时可减少腐蚀速率，降低阳极电位约 120 mV。

2) 添加质量含量 0.01% ~ 0.08% 的 Al 可以细化 Pb 合金的晶粒，降低晶界的迁移速率，改善合金机械性能。Al 主要作为氧化牺牲元素，在 Pb-Ca、Pb-Ca-Sn-Ce 合金制备过程中降低 Ca 和 Ce 的氧化烧损。

3) As 可降低 Pb-Ag 阳极的腐蚀速率，增加氧化层的厚度，降低阳极电阻。As 的加入不会造成阳极电位大幅增加。As 加入 Pb-Sb 合金可以起到晶粒细化剂作用。

4) Ba可大大改善合金的机械性能,稳定晶粒结构,避免组织过度失效;可减小高温下的蠕变,进而降低腐蚀速率。

5) Bi在纯铅中的溶解质量含量可达21.56%,很多人提出了Bi对腐蚀和析氧的作用<sup>[5]</sup>,但是仍存在很大分歧。

6)加入质量含量0.08%的Ca可改善合金的机械强度,但加入过量的Ca会加快腐蚀速率。Ca的作用随着工作时间延长而慢慢变弱,这是因为Ca会在表面氧化层中溶解。

7)Cd使得铅基合金呈现更小的枝晶,同时细化共晶组织。然而在Pb-Sb合金中,Cd易偏聚在富Sb区域,含Cd的Pb-Sb阳极表面氧化层更致密,Cd作用的本质是封闭PbSO<sub>4</sub>层的空隙。它促进氧化物的形核,但效应短暂,随时间延长而减弱。

8)Ce可以细化晶粒;Ce加入Pb-Ca-Sn合金中可以改善合金的机械强度和耐腐蚀性;Ce可以抑制Pb(II)和PbO<sub>2</sub>膜层的生长。

9)Co的加入可以大大降低阳极的能耗,因此受到研究者的广泛关注。技术上,Co并不与Pb相溶,因此无法获得Pb-Co二元合金。因此一般先将Co与Sn、Sb或Bi形成合金,然后再与Pb形成多元合金。此外,还可以采用机械合金化和高温熔融快速冷却的方法,但常常遇到其他问题。总的来说,Co可催化析氧反应从而降低阳极的过电位,减少阳极腐蚀,抑制PbSO<sub>4</sub>形成,在阳极表面形成的Pb氧化膜更薄。

11)Cr的电导率比Pb高,但对铅的腐蚀有消极影响。

12)当质量含量为0.04%的Cu加入Pb-Sb(2%~5%)合金,可以显著细化晶粒。

13)Hg在纯Pb中的溶解质量含量为26.37%,Pb-Hg表面的氧化物电导率低,不能作为Pb的保护合金元素。

14)Li在纯铅中的溶解质量含量为0.1%,Li加入Pb-Ca-Sn合金中可降低腐蚀速率,抑制表面膜层的生长。

15)尽管Mo可以降低合金的腐蚀速率,但会使表面氧化膜呈不稳定的鳞片状,因此Mo不是理想的合金元素。

16)加入Nb可使合金获得良好的机械强度,但是导电性较差。

17)Sb在纯铅中的溶解质量含量为3.492%,Pb-Sb合金具有很好的机械强度和抗蠕变强度。Sb促进Pb在晶界处的氧化,Sb的含量增加提高合金的腐蚀速率,并增大氧化膜的厚度。在铅酸电池中发现Sb会溶解进入电解液,电解过程容易出现烧板现象,因此Sb有可能恶化阳极性能,还可能导致阴极产品的污染。

18)Se是常用的晶粒细化剂,可以改善Pb-Ag(Ca/Se)合金的机械强度,但值得注意的是,Se的作用会随着时间延长而减弱,具有明显时效性。

19)Sm在纯铅中溶解含量质量为1.093%,Sm的影响取决于其含量。Sm含量小于0.1%可以使合金获得更厚的氧化膜,Sm对PbSO<sub>4</sub>向PbO<sub>2</sub>的转化几乎无影响;然而当Sm含量高于0.1%时,合金表面氧化膜变薄,Sm促进PbSO<sub>4</sub>向导电性的PbO<sub>2</sub>转变,抑制钝化层的生长。

20)Sn的加入可以降低钝化程度、减小腐蚀、改善机械强度,降低阳极电位,增加晶粒尺寸,降低PbO<sub>2</sub>钝化层厚度,在Pb-Ca-Sn合金中抑制PbSO<sub>4</sub>的形成,促进更多导电性PbO<sub>2</sub>的生长。由于限制PbO的生长和减少O<sub>2</sub>的释放,Sn的存在促进O<sub>2</sub><sup>-</sup>的扩散,改善Pb-Sb合金的铸造性能,促进微量元素(如Ag、Co)的均匀分布。

21)Sr的加入不会大幅度增加阳极电位,可以减少氧化物的剥落,因此延长阳极的寿命,提高阴极产品纯度。

22)Te细化晶粒,提高极板的耐腐蚀性。

23)Ti可明显改善阳极机械强度,但电导率比Pb低5倍,因此大大增加Pb的腐蚀速率,容易产生大量阳极泥,缩短极板使用寿命。

24)Tl在纯铅中溶解质量含量为90.08%,可以细化Pb的晶粒,使Ag更均匀分布,因此,可以提高合金的耐腐蚀性。

25)W氧化物膜不稳定且成鳞片状,尽管Pb-W的机械性能可以达到要求,但其电导率低。

26)Zr在硫酸溶液中表现出优越的耐腐蚀性,因为Zr在电解液中可以形成氧化层。

综合杂质带入和极板优化这两方面的考虑,Ag还原电位比Zn高,不会溶解进入电解液,不会在阴极上析出;加入微量的Ca可改善合金的机械强度,提升极板的可加工性能;Sr的加入可以降低氧化物的剥落数量,延长阳极的寿命,提高阴极产品纯度;稀土元素(RE)的加入主要起到细化晶粒的作用,所

以新型铅基合金阳极板选用 Pb-Ag-Ca-Sr-RE。

## 2 实验

### 2.1 阳极板制备

阳极板生产工艺流程如图 1 所示,先合金化,然后机械加工成型,最后焊接上导电部分。

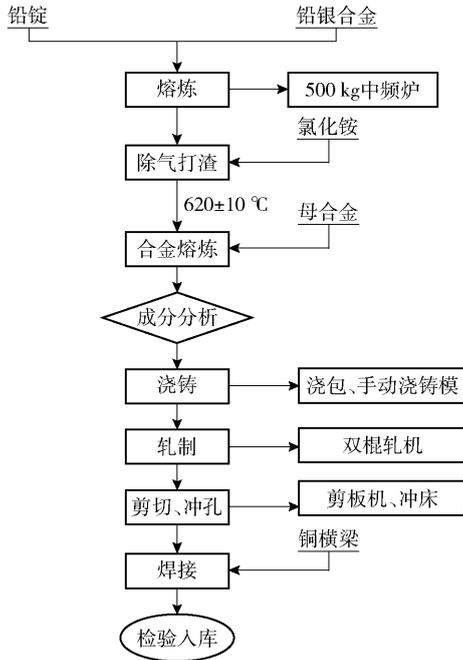


图 1 合金工艺流程图

### 2.2 新型阳极板性能

#### 2.2.1 物理化学性能

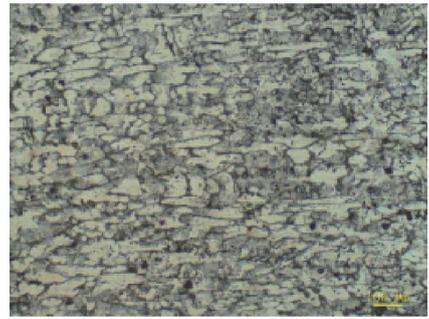
新型阳极板与传统铅银阳极板的物理化学性能对比见表 3。从表 3 可以看出,相对于传统的铅银阳极板,新型阳极板的抗拉强度有明显提升,硬度有所增强,塑性降低较小,这些性能的改变对于阳极板的加工成型是友好的。

表 3 新型阳极板与传统铅银阳极板的物理化学性能对比

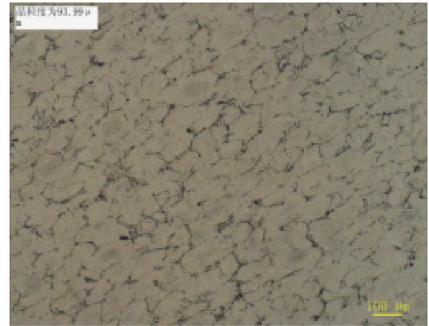
指标	抗拉强度/MPa	延伸率/%	硬度/ HB	槽电压/V	电流效率/%
铅银阳极板	24.00	37.00	5.50	3.232	88.52
新型阳极板	48.20	35.80	7.35	3.105	90.87

#### 2.2.2 金相照片对比

传统铅银阳极板和新型阳极板的金相照片如图 2 所示。从图 2 可以看出,新型阳极板的晶粒尺寸大小均匀,走向较为一致;传统铅银极板晶界明显,晶粒尺寸相对分布范围广。



(a) 铅银极板



(b) 新型阳极板

图 2 铅银阳极板和新型阳极板的金相照片

### 2.3 在生产条件下考核新型阳极板制备锌产品的质量

#### 2.3.1 A 公司对比试验

##### 2.3.1.1 试验条件

采用新型阳极板(未镀膜);试验槽数为 2 槽。对比组:传统铅银阳极 2 槽。

##### 2.3.1.2 新型阳极板性能指标

采用的新型阳极板性能指标见表 4。电积工艺控制参数为:酸锌比 4.5~5.0,电解液温度 36.5~38.5 °C,电流密度 400 A/m<sup>2</sup>。

表 4 新型阳极板性能指标

性能指标	导电率/% IACS	硬度/ HB	抗拉 强度/MPa	延伸 率/%	极板 形状/孔
阳极板	7.90	7.14	47.40	33.0	90

##### 2.3.1.3 试验内容

生产初期,流出的电解废液呈深褐色;4 个周期后,电解液澄清;至第 9 个周期,电解液中杂质含量在控制范围内,直接进入生产大系统。

##### 2.3.1.4 试验数据

新型阳极板在 A 公司的试验数据见表 5。由表 5 可知,新型阳极板的产锌量较传统铅银阳极板稍高,对杂质 Ni、Pb、Fe 的控制明显,锌产品的纯度有明显提升。

## 2.3.2 B公司对比试验

## 2.3.2.1 试验条件

采用新型阳极板(镀膜),镀膜工艺为:在  $Zn^{2+}$

浓度为 45 ~ 50 g/L、 $H^+$  浓度为 90 ~ 100 g/L 的溶液体系中,电流密度为 450 A/m<sup>2</sup>,极化时间 2 d。

表 5 新型阳极板在 A 铅锌公司的试验数据

时间	铅银阳极板产锌量/(kg/槽)	铅银阳极板析出锌的杂质含量					新型阳极板产锌量/(kg/槽)	新型阳极板析出锌的杂质含量				
		Ni/%	Pb/%	Cu/%	Cd/%	Fe/%		Ni/%	Pb/%	Cu/%	Cd/%	Fe/%
10-23	446.29	0.00004	0.00086	0.00051	0.00062	0.00025	453	0.00008	0.00037	0.00040	0.00047	0.00015
10-25	486.23	0.00004	0.00064	0.00054	0.00055	0.00036	506	0.00007	0.00054	0.00044	0.00045	0.00016
10-28	471.94	0.00002	0.00074	0.00049	0.00044	0.00021	474	0.00007	0.00032	0.00038	0.00030	0.00016
11-08	600.00	0.00003	0.00092	0.00067	0.00057	0.00033	626	0.00008	0.00012	0.00046	0.00048	0.00025

试验槽数:新型阳极板 2 槽(B 锌业股份有限公司电解车间的老系统)。对比组:传统铅银阳极板 2 槽。

## 2.3.2.2 新型阳极板性能指标

试验所用的新型阳极板性能指标见表 6。电积工艺控制参数为:酸锌比 2.3 ~ 2.5, 电解液温度 36.5 ~ 38.5 °C, 电流密度 400 ~ 410 A/m<sup>2</sup>。

表 6 新型阳极板性能指标

性能指标	导电率/% IACS	硬度/ HB	抗拉强度/MPa	延伸率/%	极板形状/孔
阳极板	8.05	7.2	38.71	33.0	13

## 2.3.2.3 试验数据

新型阳极板在 B 公司的试验数据见表 7。由表 7 可知,与传统铅银阳极板相比,新型阳极板的性能稳定,产出的阴极锌片质量稳定,析出的锌产品中各杂质含量均较低,特别是对 Pb、Ni 的控制明显,锌产品的纯度有明显提升。

## 2.3.2.4 生产指标

生产指标对比见表 8。从表 8 可以看到,采用新型阳极板的电解槽产量增加了约 10%,电效提升了约 3%,电耗下降。这表明采用新型阳极板一方面有助于提高生产效率,另一方面降低了企业的生产成本。

表 7 新型阳极板在 B 公司试验数据

时间	铅银阳极板产锌量/(kg/槽)	铅银阳极板析出锌的杂质含量					新型阳极板产锌量/(kg/槽)	新型阳极板析出锌的杂质含量				
		Ni/%	Pb/%	Cu/%	Cd/%	Fe/%		Ni/%	Pb/%	Cu/%	Cd/%	Fe/%
07-18	481	0.00004	0.00070	0.00021	0.00072	0.00026	490	0.00008	0.00031	0.00020	0.00071	0.00021
07-19	473	0.00002	0.00070	0.00021	0.00077	0.00029	457	0.00006	0.00022	0.00020	0.00071	0.00028
07-21	456.5	0.00004	0.0015	0.00022	0.00059	0.00023	447	0.00006	0.00021	0.00021	0.00055	0.00022

表 8 电锌电解工序生产指标

时间	阳极板	槽号	产量/t	电流/kA	交流电量/ kW·h <sup>-1</sup>	交流电单耗/ kW·h/t. Zn	直流电量/ kW·h <sup>-1</sup>	直流电单耗/ kW·h/t. Zn	电效/ %	析出 周期/h
2022-03-14	铅银阳极板	1-1	38.844	24.00	138 778	3 572.70	131 839	3 394.06	78.01	23.00
	新型阳极板	1-2	42.317	24.00	143 131	3 382.35	135 974	3 213.22	81.78	23.90
2022-03-16	铅银阳极板	1-1	39.715	24.58	154 623	3 893.31	146 892	3 698.65	71.93	24.90
	新型阳极板	1-2	43.939	24.08	145 569	3 312.98	138 291	3 147.34	83.93	24.10

## 2.3.2.5 阳极板损耗情况

采用称重和测量壁厚的方式对生产中的阳极板损耗情况进行考量,结果见表 9。

由表 9 可知,使用 1 个月,新型阳极板重量减轻

1 kg,厚度减小 0.4 mm,铅银板减重 1.3 kg,厚度减小 0.7 mm;使用 3 个月,新型阳极板重量减轻 2 kg,厚度减小 0.5 mm,铅银板重量减轻 4.3 kg,厚度减小 1.41 mm。从阳极板实际重量和厚度减小的数据

表 9 阳极板重量和壁厚测量结果

时间	铅银板		新型阳极板	
	重量/kg	壁厚/mm	重量/kg	壁厚/mm
2021年8月15日	64.00	7.00	64.00	7.00
2021年9月15日	62.70	6.30	63.00	6.60
2021年11月15日	59.70	5.59	62.00	6.50

来看,相对于传统的铅银阳极板,新型阳极板在生产过程中损耗较小,也就意味着新型阳极板的使用寿命得以延长。

#### 2.4 成分与成本对比

相对于传统铅银极板,新型阳极板为五元合金,新增了Ca、Sr、RE合金元素(表10),在制备上增加了合金化等工序。

表 10 铅银阳极板与新型阳极板的成分对比

	Ag	Sr	RE	Ca	Pb
铅银阳极板含量/%	0.5~1.0	—	—	—	余量
新型阳极板含量/%	0.3~0.4	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	余量

阳极板的生产成本主要由原材料、加工、包装、运输等成本构成,由于新型阳极板在制备过程中增加了合金化等工序,因此加工成本有所上升,但新型阳极板显著降低了银的含量,在材料成本上面有所降低,所以最终并未造成极板成本的较大变化。铅银极板与新型阳极板的成本对比见表11,此为2021年8月极板制造成本的计算(已包含13%增值税)。

表 11 铅银极板与新型阳极板制造成本对比

成本	原材料	加工	包装	运输	元/1.2m <sup>2</sup> 块
					合计
铅银阳极板	2 886	113	10	18	3 007
新型阳极板	2 518	472	10	18	3 018

### 3 结束语

本文从杂质去除和合金优化两方面改造传统铅银阳极板。新型阳极板在保证其电学性能不低于传统铅银阳极板的条件下,其抗拉强度和硬度都有提升。

在工业生产的条件下,新型阳极板产出的阴极锌片的产量和质量稳定,生产效率有提高,单吨电耗降低,使用寿命延长。电解锌产品的杂质含量得到降低,纯度有了显著的提高。

#### [参考文献]

- [1] 王优,罗远辉,尹延西,等.高纯锌制备技术[J].矿冶,2008,17(4):40-46.
- [2] 李逸,解增光,王学森.高纯锌及其延伸产品生产实践简述[J].有色矿冶,2019,35(6):38-40,22.
- [3] 王瑞恒,王子谦.高纯锌的生产[J].有色金属(冶炼部分),2001(2):39-41,44.
- [4] 徐鑫坤,王先黔,万倩.用电解精炼法制取高纯锌的研究[J].有色金属(冶炼部分),1992(4):15-17.
- [5] 梁景志,唐明成,李爱菊,等.铅铋合金腐蚀行为研究[C]//第二十七届全国化学与物理电源学术年会论文集,2006:350-351.

## A Study of the Anode Materials for Producing High-Purity Metallic Zinc

CHEN Yue, FENG Shao-tang, TAN Guo-yan, TANG Hao-yuan, LI Heng

**Abstract:** The study aims at better controlling the purity of metallic zinc by improving from its upstream: modification of zinc electrolytic anode plate from impurity removal and alloy optimization, and compared the improved anode with the conventional Pb-Ag anode in terms of their physical and chemical performance. During the experiment, after analyzing the reduction potential of various elements in electro-chemical reactions, proper amounts of additives were dosed during the casting process of zinc anode, to form stable intermetallic compounds together with Fe and Cd in order to lower the reduction potential of Fe and Cd, prevent them from oxidation on the anode sheet. After analyzing the effect of various elements on Pb base and metallurgical performance, Ag, Ca, Sr, RE, etc. were chosen as the additives to improve the performance of the anode alloy. The improved anode sheets have shown notable increase in tensile strength, mild increase in hardness, and limited decrease in plasticity. Compared with the product zinc produced with conventional Pb-Ag anodes, the levels of various impurities of product zinc produced with the new node are lower, and the purity of the product zinc has increased markedly.

**Key words:** zinc electrowinning; high-purity zinc; impurity removal; anode sheets; lead-based alloy; physical and chemical properties