

水解去除二次铝灰中的氮化铝及其机制研究

林晓燕^{1,2,3}, 王东兴^{2,3}, 马致远^{2,3}, 饶 帅^{2,3},
谢武明¹, 江海灵¹, 曹洪杨^{2,3}

(1. 广东工业大学 环境科学与工程学院, 广东 广州 510006;

2. 广东省科学院资源利用与稀土开发研究所, 广东 广州 510650;

3. 稀有金属分离与综合利用国家重点实验室, 广东 广州 510650)

摘要:氮化铝的去除是二次铝灰无害化处理的关键工序之一。研究了在氧化钙-葡萄糖水解体系中去除二次铝灰中的氮化铝,考察了氧化钙添加量、葡萄糖添加量、水解温度、水解时间、液固体积质量比对氮化铝去除率的影响,并探究了添加剂促进氮化铝水解去除的机制。结果表明:在水解温度 90 °C、水解时间 2 h、液固体积质量比 10 mL/1 g、氧化钙添加量 10%、葡萄糖添加量 0.75% 最佳试验条件下,氮化铝去除率达 95.42%。通过分析表征确定,在氧化钙-葡萄糖水解体系中,葡萄糖起缓凝剂作用,可抑制氮化铝颗粒表面铝酸钙包裹层的形成,使氮化铝水解反应彻底进行,从而提高其去除率。

关键词:二次铝灰;氮化铝;水解;氧化钙;葡萄糖;去除

中图分类号:TF803.25;TF09 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-2617(2024)03-0314-08

DOI:10.13355/j.cnki.sfyj.2024.03.014

铝灰是铝冶炼及废铝回收过程产生的工业废渣^[1],可分为一次铝灰和二次铝灰。二次铝灰是将一次铝灰提取金属铝后剩余的残渣^[2],属于危险废物,其含有的氮化铝、金属铝具有较高的反应活性,遇水会产生氨气、氢气等有毒、易爆气体^[3]。据统计,每生产 1 t 原铝会产生 25~50 kg 铝灰,由于缺乏大规模的规范处理技术,约 95% 的铝灰被堆存或填埋^[4],不仅占用大量土地,还可能因泄漏导致二次污染,对环境和公共卫生造成严重影响。因此,推动我国二次铝灰无害化处置势在必行。

二次铝灰含有的氮化铝是其反应性的主要来源之一^[5]。目前国内外已经开展了很多关于降低二次铝灰反应性的研究,处理方法主要分为火法工艺和湿法工艺。火法工艺通常将铝灰与氧化钙、氯化钙等添加剂混合后,通过高温焙烧来去除铝灰中的氮化铝^[6],该工艺虽能降低铝灰中氮化铝含量,但存在能耗高、气体产物成分不明等问

题,且生成的氮氧化物会污染环境。相较火法工艺,湿法工艺可高效且低能耗地脱除二次铝灰中的氮化铝。湿法工艺中采用纯水体系脱除氮化铝时,若要达到较高的脱氮效果,则要求水解温度较高、水解时间较长^[7]。为进一步提高二次铝灰中氮化铝去除效率,研究人员提出了在水解过程中加入添加剂来提高脱氮速率^[8],采用球磨等辅助手段来强化氮化铝水解反应^[9],但常用的添加剂氢氧化钠价格昂贵且消耗量大,球磨设备投资和运行成本高。因此,目前湿法工艺处理二次铝灰仍存在成本较高问题。

相较氢氧化钠,氧化钙更具成本优势,作为添加剂也可促进二次铝灰中氮化铝的水解去除,但氧化钙在水解过程中易形成铝酸钙类包裹物,阻碍水解过程顺利进行。有研究^[10]表明,水泥水化过程中添加糖类作为缓凝剂,可延缓水泥凝结,因此,本课题组提出了在添加氧化钙的同时加入少

收稿日期:2024-03-06

基金项目:国家自然科学基金资助项目(52104395,52304365);广东省自然科学基金资助项目(2023A1515011847)。

第一作者简介:林晓燕(1999—),女,硕士研究生,主要研究方向为湿法冶金。

通信作者简介:马致远(1988—),男,博士,高级工程师,主要研究方向为湿法冶金。E-mail:mzy1988@163.com。

量葡萄糖作为缓凝剂,延缓铝酸钙类水化物的生成,从而促进氮化铝水解反应的充分进行。试验以降低成本和提高脱氮率为目标,通过单因素试验考察了水解温度、水解时间、添加剂用量、液固体积质量比等条件对氮化铝去除率的影响,得到最佳工艺参数。同时,通过水解产物物相组成分析、微观形貌分析,探究了添加剂促进氮化铝水解去除的机制,以期为二次铝灰的低成本无害化处理提供新的思路,丰富二次铝灰无害化处理相关理论,促进铝工业的可持续发展。

1 试验试剂及仪器

1.1 试验原料

试验用的二次铝灰原料由广东兴发铝业有限公司提供,主要化学组成见表 1。通过 XRF 检测可知,二次铝灰中主要含有 Al、Cl、Na、Mg、K、Ca 等元素。采用 XRD 进行物相组成分析(图 1)可知,二次铝灰的主要物相包括 Al_2O_3 、 MgAl_2O_4 、 Na_3AlF_6 、NaCl 和 AlN。用凯氏定氮法测定二次铝灰中氮化铝质量分数为 10.77%。

表 1 二次铝灰的主要化学组成

	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Na	Mg	%
	18.78	0.80	0.68	11.06	1.01	0.55	0.59	6.82	2.27	

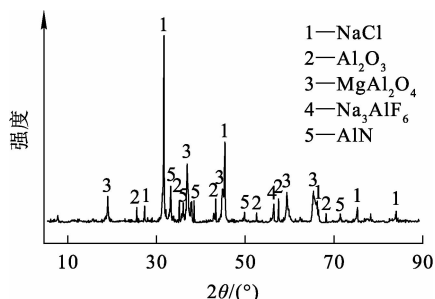


图 1 二次铝灰的 XRD 物相分析结果

1.2 试验试剂及仪器

主要试剂:葡萄糖、氢氧化钠、盐酸、硼酸、硫酸、磷酸,分析纯,广州化学试剂厂;氧化钙,分析纯,天津市大茂化学试剂厂;甲基红,分析纯,国药集团化学试剂有限公司;溴甲酚绿,分析纯,天津市大茂化学试剂厂。

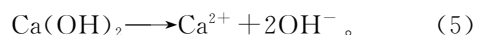
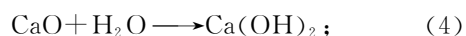
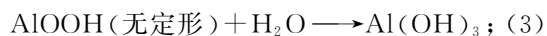
主要仪器设备:超纯水机,UPR-III-20T 型,四川优普超纯科技有限公司;万用电炉,DRT-250 型,盐城垒固科技有限公司;数显搅拌器,MS-135 型,盐城垒固科技有限公司;水浴锅,HSJ-4A 型,常州澳华仪器有限公司;电热恒温鼓风干燥箱,DHG-9420A 型,上海一恒科学仪器有限公司;循环水式多用真空泵,SHZ-DIII 型,上海予华仪器设备有限公司;电子分析天平,FA1104 型,上海良平仪器仪表有限公司。

1.3 试验原理及方法

1.3.1 试验原理

二次铝灰中氮化铝的水解过程一般会发生式(1)~(3)的化学反应,添加氧化钙后还会发生式

(4)~(5)的化学反应。一般来讲,碱性条件有助于氮化铝水解产物氨气的释放,从而促进氮化铝水解反应进行。研究发现,水解过程中部分氧化钙会反应生成水化铝酸钙,水化铝酸钙覆盖在氮化铝的表面形成包覆层,阻碍氮化铝进一步水解,而添加葡萄糖缓凝剂,可促进氮化铝的充分水解。



1.3.2 试验方法

首先对二次铝灰进行预处理,即用 60 目标准筛对二次铝灰进行初筛以除去大块杂质,筛下部分进行混料均匀化处理后作为试验原料。在水解试验中,通过单因素试验研究水解温度(40~90 °C)、水解时间(1~7 h)、液固体积质量比(5~30 mL/1 g)、氧化钙添加量(氧化钙/二次铝灰质量百分比,5%~80%)、葡萄糖添加量(葡萄糖/二次铝灰质量百分比,0.25%~3%)对二次铝灰中氮化铝水解过程的影响。用凯氏定氮法测定原料铝灰及水解残渣的氮化铝含量,并计算氮化铝去除率。

1.3.3 分析方法

通过 X-射线衍射法(XRD)对样品物相组成进行分析;通过扫描电子显微镜-能谱仪(SEM-EDS)对样品微观形貌进行分析。

氮化铝含量是本试验重点关注指标,通过凯

氏定氮法对样品中氯化铝含量进行分析,所用装置如图2所示,其具体操作步骤如下:1)准确称取研细烘干样品0.4 g,置于200 mL烧杯中;2)加1/1磷硫混合酸20 mL,缓慢加热至样品完全分解。冷却后移入250 mL容量瓶中稀释定容;3)从上述容量瓶中准确移出50 mL溶液于反应瓶中;4)按图2装好蒸馏试验装置,吸收瓶中加入2%的硼酸溶液100 mL;5)反应瓶中加入20%氢氧化钠溶液200 mL,慢慢加热蒸馏至氨完全逸出并被吸收,停止蒸馏;6)取下吸收瓶并加入溴甲酚绿甲基红指示剂8滴,用0.1 mol/m³盐酸滴至由绿色变为粉红色即为终点,同时进行空白试验,氯化铝质量分数用公式(6)计算:

$$w = \frac{N(V_1 - V_2) \times 0.014}{m \times 50 \div 250} \times 2.926 \times 100\% \quad (6)$$

式中:w—氯化铝质量分数,%;N—盐酸当量浓度, mol/m³;V₁—样品用盐酸体积, mL;V₂—空白试验用盐酸体积, mL;m—样品质量, g;0.014—氮的毫克当量, mg;2.926—氮对氯化铝的换算系数。

用式(7)计算氯化铝去除率:

$$\eta = \frac{m_1 w_1 - m_1 w_2}{m_1 w_1} \times 100\% \quad (7)$$

式中:η—氯化铝去除率,%;m₁—二次铝灰质量, g;w₁—二次铝灰中氯化铝质量分数,%;m₂—水解后二次铝灰质量, g;w₂—水解后二次铝灰中氯化铝含量,%。

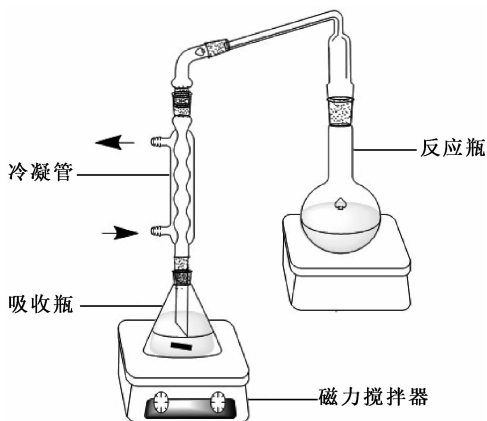


图2 凯氏定氮法仪器

2 试验结果与讨论

2.1 液固体积质量比对氯化铝去除率的影响

在水解温度60℃、水解时间4 h条件下,考

察纯水体系中液固体积质量比对氯化铝去除率的影响,试验结果如图3所示。

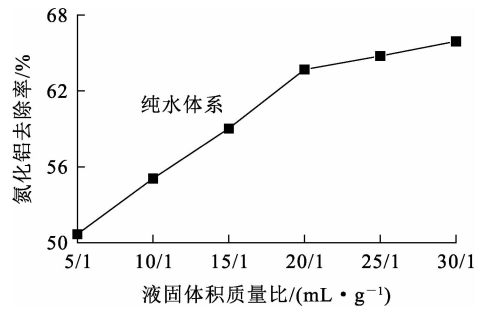


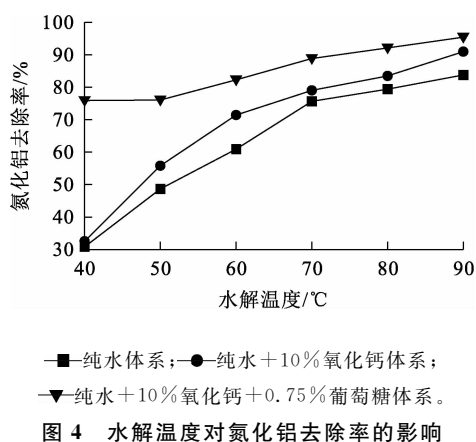
图3 纯水体系中液固体积质量比对氯化铝去除率的影响

由图3看出,随液固体积质量比增大,氯化铝去除率逐渐升高:液固体积质量比由5 mL/1 g增至20 mL/1 g时,氯化铝去除率从50.67%迅速升至63.7%;但随液固体积质量比继续增至30 mL/1 g,氯化铝去除率升幅很小,仅升高2.23%。这是因为液固体积质量比较小时,料浆黏稠度较高,传质条件较差,不利于氯化铝水解反应发生;液固体积质量比增大后,传质条件改善,且反应产物浓度降低,有利于水解反应进行。但液固体积质量比增至一定程度后,传质条件及反应物浓度的累积不再是水解反应的限制性环节,因此,氯化铝的去除率升高幅度较小。

2.2 水解温度对氯化铝去除率的影响

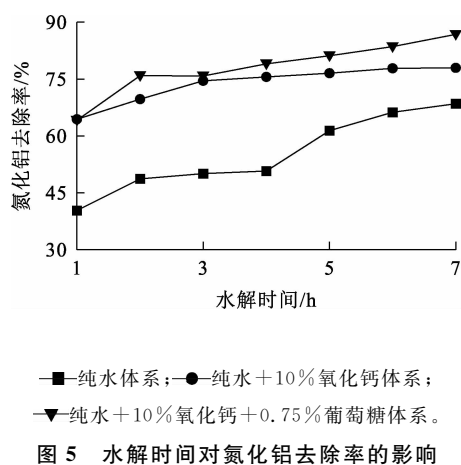
在水解时间2 h、液固体积质量比10 mL/1 g条件下,考察纯水、纯水+10%氧化钙、纯水+10%氧化钙+0.75%葡萄糖3种不同水解体系中水解温度对氯化铝去除率的影响,试验结果如图4所示。可以看出:随水解温度从40℃升至90℃,3种水解体系中氯化铝去除率均有所提升,这是由于温度升高既有助于提高化学反应速率,也能加速反应过程的传质和扩散,从而促进氯化铝水解反应的进行;3种水解体系在同一温度下的氯化铝去除率排序为纯水体系<纯水+10%氧化钙体系<纯水+10%氧化钙+0.75%葡萄糖体系,可见氧化钙和葡萄糖的加入有利于氯化铝水解反应的进行,水解温度90℃时,氯化铝去除率可达95.42%。氧化钙促进氯化铝水解的原因是添加氧化钙后形成的碱性环境可加速氨气溢出,从而促进氯化铝水解反应;纯水+10%氧化钙+0.75%葡萄糖体系中,氯化铝去除率随温度升高而升高,但升幅较小,这可

能与水解过程中糖类起缓凝作用的温度范围有关。根据文献[11]对葡萄糖在不同温度下延缓水泥水化效果的研究结论可知,随温度升高,葡萄糖在水泥水化过程中缓凝剂作用逐渐减弱。添加了氧化钙的二次铝灰水解体系中可能生成了类似铝酸钙水泥的组分,葡萄糖在水解体系中起到缓凝作用,随温度升高,葡萄糖的缓凝作用减弱,因此,较高温度下其对氮化铝的去除效果与氧化钙体系较为接近。由于高温下葡萄糖的缓凝作用会减弱,为保证试验数据准确,后续试验在水解温度 50 °C 下进行。考虑到葡萄糖体系在 40 °C 与 50 °C 氮化铝去除率相近,为节约能源,选择葡萄糖体系在水解温度 40 °C 下开展。



2.3 水解时间对氮化铝去除率的影响

在液固体积质量比 10 mL/1 g 条件下,考察纯水、纯水+10%氧化钙、纯水+10%氧化钙+0.75%葡萄糖 3 种不同水解体系(水解温度分别为 50、50、40 °C)中水解时间对氮化铝去除率的影响,试验结果如图 5 所示。



由图 5 看出:随水解时间从 1 h 延长至 7 h 时,各水解体系下氮化铝去除率均有所提升,说明随水解时间延长,二次铝灰中氮化铝与水溶液接触更充分,水解反应进行更彻底;3 种体系氮化铝去除率均随水解时间延长先快速提高后趋于平缓,其原因是在水解过程中,氮化铝颗粒表面逐渐包裹上无定形或结晶不良的薄水铝石,该产物会抑制氮化铝与水的进一步接触^[12],随水解时间的延长,未反应的氮化铝颗粒被包裹层完全覆盖,导致继续延长水解时间后,氮化铝去除率提高效果不明显。葡萄糖体系氮化铝去除率比仅添加氧化钙体系有所增加,这说明葡萄糖的添加有利于提高脱氮率。

2.4 添加剂用量对氮化铝去除率的影响

在水解温度 40 °C、水解时间 2 h、液固体积质量比 10 mL/1 g 条件下,分别考察了氧化钙、葡萄糖添加量对氮化铝去除率的影响,试验结果如图 6、7 所示。

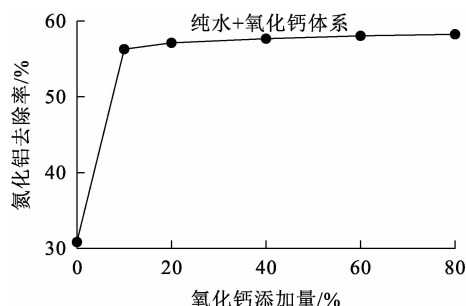


图 6 氧化钙添加量对氮化铝去除率的影响

由图 6 看出:随氧化钙添加量从 0% 增至 80%,氮化铝去除率从 30.83% 高至 58.26%,说明增加氧化钙添加量有利于氮化铝的去除;但随氧化钙添加量超过 10% 后氮化铝去除率升幅变小,这可能是因为氮化铝等活性物质与水接触^[13],反应形成 Al(OH)₃,而新生成的 Al(OH)₃ 沉积在二次铝灰颗粒表面直至完全覆盖,随氧化钙添加量增加,溶液中氢氧根离子增多,碱性环境下氨气更易释放,从而使得氮化铝去除率升高;但氢氧化钙溶解度较低,过量添加后不能完全溶解,其提高溶液碱度的能力易达到上限。

由图 7 看出:在氧化钙添加量为 10% 条件下,随葡萄糖添加量从 0% 增至 0.75%,氮化铝去除率从 56.29% 提升至 75.89%;继续增加葡萄糖

添加量,氮化铝去除率由 75.89%降至 27.41%。氮化铝去除率先升高后降低是因为糖类的缓凝有一定的作用范围^[14-15],葡萄糖添加量不超过 0.75%时,缓凝作用较明显,氮化铝去除率升高;葡萄糖添加量超过 0.75%时,缓凝作用逐渐减弱;葡萄糖添加量超过 1%时,则表现为促凝作用,使氮化铝去除率下降。

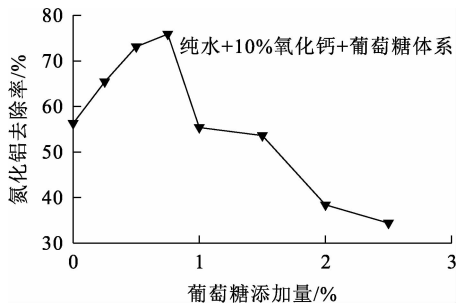
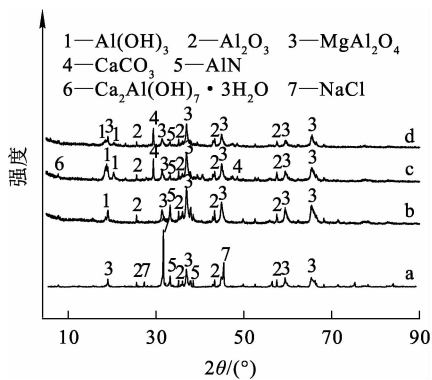


图7 葡萄糖添加量对氮化铝去除率的影响

2.5 氮化铝水解机制分析

2.5.1 水解残渣的物相分析

根据上述试验确定在水解时间 2 h、水解温度 40 °C、液固体积质量比 10 mL/1 g 条件下,在纯水、纯水+10%氧化钙、纯水+10%氧化钙+0.75%葡萄糖体系中对二次铝灰进行水解处理,水解后残渣的 XRD 分析结果如图 8 所示。



a—未水解;b—纯水体系水解残渣;
c—纯水+10%氧化钙体系水解残渣;
d—纯水+10%氧化钙+0.75%葡萄糖体系水解残渣。

图8 二次铝灰及水解残渣的 XRD 图谱

由图 8 看出:水解后二次铝灰主要物相是 $Al(OH)_3$ 、 Al_2O_3 、 $MgAl_2O_4$ 、 AlN , 与水解前相比, $NaCl$ 衍射峰消失,说明水解过程中可溶性盐

已被溶解去除;同时,水解后二次铝灰的 AlN 衍射峰强度有不同程度减弱,表明经水解处理后 AlN 含量降低;c 谱线与 d 谱线相比,有铝酸钙的衍射峰出现,表明葡萄糖的加入可减缓铝酸钙的产生,促进氮化铝去除,这与试验结论相符。

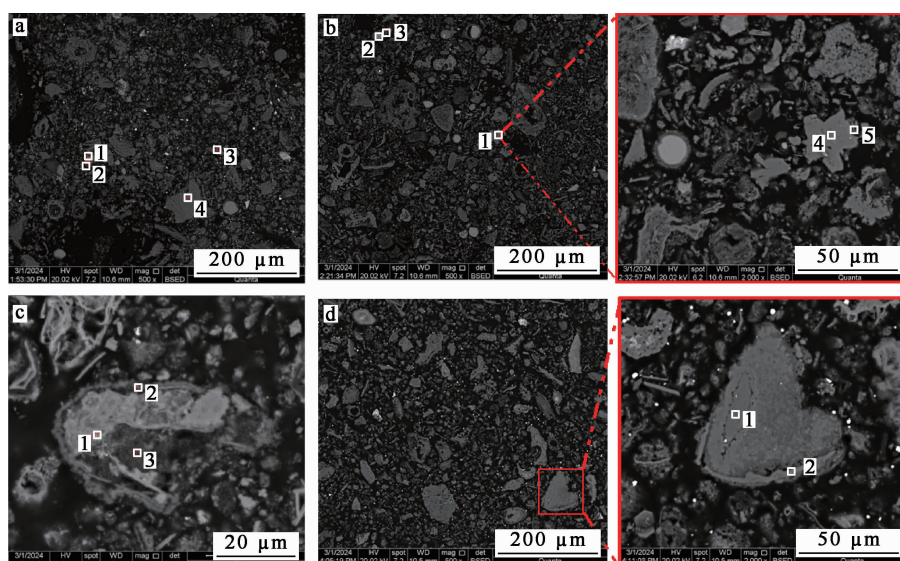
2.5.2 水解残渣的微观形貌分析

对二次铝灰原料和水解残渣进行了 SEM-EDS 表征分析,结果如图 9、表 2 所示。筛分后未经水解处理的二次铝灰原料的 SEM 照片如图 9(a)所示。可以看出,二次铝灰颗粒大小形貌不规则。用 EDS 测定图中 4 个不同区域的元素组成,结果见表 2。推测原料中的物相组成为:区域 1 为金属铝颗粒,其外侧包裹有铝氧化物(区域 2);区域 3 为氯化钠颗粒;区域 4 氮含量较高,为富集了氮化铝的颗粒。

二次铝灰在 40 °C 下的纯水体系中水解 2 h 所得残渣的 SEM 照片如图 9(b)所示。用 EDS 测定图中 5 个不同区域的元素组成,结果见表 2。可以看出:水解残渣中存在未反应的金属铝颗粒(区域 2),其表面覆盖有铝氧化物(区域 3);对渣中有未分解完全的氮化铝颗粒(区域 1),放大观测,发现颗粒中心为富含氮化铝的部分(区域 4),外部形成了铝氧化物包裹体(区域 5)。纯水条件下对二次铝灰进行水解,氮化铝颗粒表面易形成铝氧化物包裹,阻碍氮化铝继续水解,从而导致氮化铝去除效果不佳。

二次铝灰在 40 °C 下的纯水+10%氧化钙体系中水解 2 h 所得残渣的 SEM 照片如图 9(c)所示。选择图中 3 个区域进行 EDS 分析,结果见表 2,可以看出:颗粒内部含有未反应的氮化铝(区域 1),外部包裹层(区域 2、3)为铝氧钙化合物,结合 XRD 分析结果推测该包裹层为水化铝酸钙。水解过程中氧化钙的加入使氮化铝颗粒外部包裹了一层水化铝酸钙,阻碍了内部氮化铝的进一步水解。

二次铝灰在 40 °C 下的纯水+10%氧化钙+0.75%葡萄糖体系中水解 2 h 所得残渣的 SEM 照片如图 9(d)所示,对其中富含铝的颗粒进行放大后,选取 2 个区域进行 EDS 分析,结果见表 2。可以看出:颗粒内部无氮化铝(区域 1),颗粒外部区域为铝氧化物(区域 2),几乎没有水化铝酸钙包裹。葡萄糖的加入可有效防止氮化铝水解过程中水化铝酸钙包裹物的形成,有利于氮化铝颗粒与溶液充分接触,使得水解反应进行更彻底,因而氮化铝的去除效果最好。



a—二次铝灰;b—纯水体系水解残渣;c—纯水+10%氧化钙体系水解残渣;
d—纯水+10%氧化钙+0.75%葡萄糖体系水解残渣。

图 9 二次铝灰及水解残渣的 SEM 照片

表 2 二次铝灰及纯水水解残渣的 EDS 元素分析结果

元素	二次铝灰				纯水水解体系残渣					氧化钙水解体系残渣			葡萄糖水解体系残渣	
	区域 1	区域 2	区域 3	区域 4	区域 1	区域 2	区域 3	区域 4	区域 5	区域 1	区域 2	区域 3	区域 1	区域 2
N	—	—	—	18.81	19.13	—	—	19.13	11.77	22.51	—	—	—	—
Al	95.94	43.91	24.94	44.24	71.97	98.22	50.51	72.24	71.75	58.75	43.87	37.56	34.44	32.38
O	2.30	40.27	32.42	24.82	8.37	1.14	42.95	8.11	15.77	13.54	52.33	59.72	58.50	58.14
Na	—	—	10.80	2.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cl	—	2.16	19.95	0.68	—	—	0.42	—	—	—	—	—	—	—
Ca	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.12	0.46	0.05	0.20

2.5.3 氮化铝的水解机制分析

二次铝灰在纯水体系中水解时,氮化铝先与水发生反应生成非晶相的 $AlOOH$ 和氨气,氨气溶解在水中生成氨水,氨水部分电离产生 OH^- ,导致溶液 pH 升高, $AlOOH$ 在一定温度及酸度条件下与水反应产生 $Al(OH)_3$ ^[16]。在纯水+氧化钙体系中,氧化钙可与水反应释放 OH^- 产生碱性环境,加速氮化铝水解产物氨气的释放,在化学平衡移动的推动作用下,氮化铝的水解反应得以更彻底进行,从而促进氮化铝的去除。然而,水解过程中部分氧化钙会生成水化铝酸钙覆盖在氮化铝颗粒表面形成包覆层,阻碍氮化铝的进一步水解,导致氮化铝的去除效率降低。纯水中同时添加氧化钙和葡萄糖能进一步促进二次铝灰中氮化铝的

去除,这是由于葡萄糖对铝酸钙类水化产物的形成具有缓凝作用,葡萄糖的添加可有效减少水解过程中氮化铝颗粒表面水化铝酸钙包裹物的形成,有利于氮化铝颗粒与溶液充分接触,使得水解反应进行更彻底,氮化铝去除效果更好。

3 结论

采用纯水+氧化钙+葡萄糖水解体系去除二次铝灰中氮化铝是可行的。最佳水解条件为:氧化钙添加量为二次铝灰质量的 10%,葡萄糖添加量为二次铝灰质量的 0.75%,水解温度 90 °C,水解时间 2 h,液固体积质量比 10/1。在该条件下,氮化铝去除率可达 95.42%。水解过程中添加氧

化钙能够促进氮化铝的去除,但氧化钙会在氮化铝颗粒表面生成水化铝酸钙包裹层,阻碍水解反应的继续进行。添加适量的葡萄糖后可显著提高氮化铝去除效果,葡萄糖起缓凝剂作用,阻止氮化铝颗粒表面上铝酸钙包裹层的形成,从而促进水解反应的持续进行。

参考文献:

- [1] ZHANG Y B, XU J M, LIU J C, et al. A novel value-added utilization route for washed residue of secondary aluminum dross: preparing corundum-spinel ceramic spheres for high-temperature heat storage[J]. *Ceramics International*, 2024, 50(1): 1379-1388.
- [2] HUANG K P, YI X M. Resource utilization and high-value targeted conversion for secondary aluminum dross: a review [J]. *JOM*, 2023, 75(2): 279-290.
- [3] QU Y, LUO H J, GAO G L, et al. Two-step harmless treatment of secondary aluminum dross(SAD) by vacuum distillation and alkaline roasting[J]. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 2023, 25(2): 1130-1141.
- [4] DAVID E, KOPAC J. The assessment of the recycling process of aluminum hazardous waste and a new route of development[J]. *Materials Today: Proceedings*, 2019, 10: 340-347.
- [5] 龙於洋, 蔡俊达, 贾佳, 等. 二次铝灰低耗脱氮优化研究[J/OL]. *环境科学学报*: 1-12[2024-03-22]. <https://doi.org/10.13671/j.hjkxxb.2023.0381>.
- [6] 柏阳, 赵志强, 陈福新, 等. 利用二次铝灰钙化焙烧合成铝酸钙过程基础研究[J]. *轻金属*, 2023(10): 12-18.
- [7] 王葶, 张东杰. 水浸对电解铝二次铝灰中氯化物的影响研究[J]. *中国资源综合利用*, 2022, 40(4): 22-25.
- [8] LYU H, ZHAO H L, ZUO Z P, et al. A thermodynamic and kinetic study of catalyzed hydrolysis of aluminum nitride in secondary aluminum dross [J]. *Journal of Materials Research and Technology*, 2020, 9(5): 9735-9745.
- [9] GUO Q, LI H L, FU M B, et al. Enhanced hydrolysis of aluminum nitride from secondary aluminum dross through combination of wet-stirred milling and alkaline leaching[J]. *Waste and Biomass Valorization*, 2023, 14(12): 4257-4268.
- [10] 沈卫国, 周明凯. 蔗糖对水泥水化过程影响机理研究[J]. *建筑材料学报*, 2007(5): 566-572.
- [11] JUENGER M C G, JENNINGS H M. New insights into the effects of sugar on the hydration and microstructure of cement pastes[J]. *Cement and Concrete Research*, 2002, 32(3): 393-399.
- [12] LI Q, YANG Q, ZHANG G F, et al. Investigations on the hydrolysis behavior of AlN in the leaching process of secondary aluminum dross[J]. *Hydrometallurgy*, 2018, 182: 121-127.
- [13] LI Y, QIN Z Y, LI C L, et al. Hazardous characteristics and transformation mechanism in hydrometallurgical disposing strategy of secondary aluminum dross [J]. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2021, 9(6). DOI:10.1016/j.jece.2021.106470.
- [14] 钟梅英, 兰扬华. 蔗糖对硅酸盐水泥缓凝机理的分析[J]. *福建建材*, 2003(3): 10-11.
- [15] 王子明, 陈镇, 庞晓凡, 等. 促凝组分对掺蔗糖水泥浆体的缓凝消除作用及机理分析[J]. *新型建筑材料*, 2021, 48(2): 7-12.
- [16] 徐林伟. AlN粉末的水解行为及抗水解性能研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2010.

Removal and Mechanism of Aluminum Nitride from Secondary Aluminum Ash by Hydrolysis

LIN Xiaoyan^{1,2,3}, WANG Dongxing^{2,3}, MA Zhiyuan^{2,3}, RAO Shuai^{2,3}, XIE Wuming¹,
JIANG Hailing¹, CAO Hongyang^{2,3}

(1. *School of Environmental Science and Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China;*

2. *Guangdong Academy of Sciences, Institute of Resources Utilization and Rare Earth Development, Guangzhou 510650, China;*

3. *State Key Laboratory of Separation and Comprehensive Utilization of Rare Metals, Guangzhou 510650, China)*

Abstract: The removal of aluminum nitride is one of the keys processes of the harmless treatment of secondary aluminum ash. The removal of aluminum nitride from secondary aluminum ash in calcium oxide-glucose hydrolysis system was studied. The effects of calcium oxide addition amount, glucose addition amount, hydrolysis temperature, hydrolysis time and liquid volume to solid mass ratio on the removal

rate of aluminum nitride were examined. The mechanism of aluminum nitride hydrolysis removal promoted by additives was investigated. The results show that under the optimum hydrolysis conditions of hydrolysis temperature of 90 °C, hydrolysis time of 2 h, liquid volume to solid mass ratio of 10 mL/1 g, calcium oxide addition amount of 10%, glucose addition amount of 0.75%, the removal rate of aluminum nitride reaches 95.42%. Through analysis and characterization, it is determined that in the calcium oxide-glucose hydrolysis system, glucose acts as a retarder, which can inhibit the formation of calcium aluminate coating layer on the surface of aluminum nitride particles, make the hydrolysis of aluminum nitride thoroughly, and improve its removal rate.

Key words: secondary aluminum ash; aluminum nitride; hydrolysis; calcium oxide; glucose; removal

欢迎订阅 2024 年《湿法冶金》

《湿法冶金》(双月刊)创刊于 1982 年,全国中文核心期刊,由中国核工业集团有限公司主管、核工业北京化工冶金研究院主办,主要内容涉及有色金属、稀有金属、稀散金属、稀土金属、贵金属的选矿及湿法冶金工艺,相关材料(萃取剂、离子交换树脂、吸附剂、絮凝剂等)的合成工艺,冶金过程自动控制系统,设备及仪器仪表的研发技术,分析测试方法,三废治理、二次资源综合回收流程,是一本湿法冶金技术综合性刊物,可供相关科研、设计、生产人员及高校师生参阅。

《湿法冶金》国内统一连续出版物号 CN 11-3012/TF,国际标准连续出版物号 ISSN 1009-2617,广告发布登记为京通市监广登字 20190002 号,由《湿法冶金》编辑部编辑出版。2024 年定价 15.00 元/期,全年 90.00 元,全国各地邮局均可订阅,邮发代号 80-181。编辑部常年办理订刊业务。

通信地址:北京市通州区九棵树 145 号《湿法冶金》编辑部

邮政编码:101149

开户银行:工行北京九棵树支行

开户名:核工业北京化工冶金研究院

账号:0200 0498 0900 8800 221(汇款备注:《湿法冶金》订刊费)

联系电话:010-51674124,51675321

电子邮箱:shifayejin@163.com

投稿网址:<https://sfyj.cbpt.cnki.net>

广告联系:13911227093(陈先生)

