

异辛酸镍的电化学合成

杨声海, 李为轮, 吴彦增, 王长红, 陈永明

(中南大学 冶金与环境学院, 湖南 长沙, 410083)

摘要: 研究异辛酸镍的电化学合成, 考察支持电解质氢氧化钠浓度、氯化钠浓度、电流密度和温度对合成过程中的影响, 确定各个影响因素的最佳条件。并通过溶解过滤洗涤对产物进行除杂, 再通过蒸馏分离有机溶剂获得产品。使用红外光谱定性分析确定产物结构。通过稀盐酸溶解产物来对产品中的镍质量分数进行分析。最后对电解液进行重复循环利用。研究表明: 在最佳实验条件下, 即氢氧化钠浓度为 0.2 mol/L、氯化钠浓度为 2.0 mol/L、电流密度为 2 380 A/m² 和温度为 60 °C 时, 产率在 95% 以上, 产物镍金属质量分数在 10% 以上, 技术指标符合 Q/FMH02—2011 标准要求。通过红外光谱表征, 确定产物为异辛酸镍。通过电解液的循环利用实验, 5 次循环实验中产品中的镍质量分数、产率以及产品杂质钠质量分数均比较稳定, 可以实现电解液的循环使用。

关键词: 电化学合成; 异辛酸镍; 循环利用; 红外光谱

中图分类号: TQ151

文献标志码: A

文章编号: 1672-7207(2019)07-1521-06

Electrochemical synthesis of nickel isooctanoate

YANG Shenghai, LI Weilun, WU Yanzeng, WANG Changhong, CHEN Yongming

(School of Metallurgy and Environment, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: The electrochemical synthesis of nickel isooctanoate was studied systematically. The effects of supporting electrolyte NaOH concentration, NaCl concentration, current density and temperature on the electrochemical synthesis process were investigated, and the optimal condition for each influencing factor was determined. The impurities were removed by dissolving and filtering, and finally the organic solvent was separated by distillation to obtain a final product. The product was qualitatively analyzed using FT-IR to determine the structure of the product, and the product was analyzed by dilute hydrochloric acid lysate. Finally, the electrolyte was repeatedly recycled. The results show that the optimal experimental condition is as follows: NaOH concentration of 0.2 mol/L, NaCl concentration of 2.0 mol/L, current density of 2 380 A/m², temperature of 60 °C. The yield is above 95%, the nickel content of the product is above 10%, and the technical indicators meet the requirements of Q/FMH02—2011. The product is identified as nickel isooctanoate by FT-IR. Through the circulation use experiment of the electrolyte, the nickel mass fraction, the yield and the impurities sodium mass fraction of the product in the five-cycle experiments are relatively stable, and the electrolyte can be recycled.

Key words: electrochemical synthesis; nickel isooctanoate; recycling; FT-IR

异辛酸及其盐类是重要的精细化学品^[1], 异辛酸的金属盐以其相比较高的酸值、较稳定的相对分子量、优良的酸值稳定性、高效的催干性能、较浅的产

品外观物理颜色等优势成为环烷酸盐最好的替代品, 在涂料、医药、化纤、塑料、制革、农药等化工及材料领域发挥着很重要的作用^[2]。其中异辛酸镍具有优

收稿日期: 2018-10-18; 修回日期: 2019-02-25

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金资助项目 (51374254) (Project(51374254) supported by the National Natural Science Foundation of China)

通信作者: 陈永明, 博士, 副教授, 从事清洁冶金研究; E-mail: csuchenyongming@163.com

异的贮存稳定性,可以做高档油墨中的催化剂^[3],合成橡胶催化剂^[4]、环氧树脂中温固化催化剂^[5]、不饱和和聚酯固化剂促进剂^[6]、石油工业催化剂^[7]、制备加氢均相催化剂的中间物料^[8]、涂料催干剂^[9]等,还可以做研磨分散剂、紫外光吸收剂等^[10]。在材料科学^[11]中的应用也很广泛。随着我国经济的快速发展,其消费量也不断增加,所以,研究异辛酸镍的合成机制是很有必要的。目前,关于异辛酸盐的制备的研究大多来自国内研究人员,鲜有关于此方面的国外文献。异辛酸盐的制备工艺主要有 4 种:熔融法、沉淀法^[12-13]、低温直接法^[14]和氨法。熔融法是最古老的方法,因产物杂质多,产品的金属含量难以稳定等缺点逐步被淘汰。秦毅红等^[13]利用沉淀法合成异辛酸钴,在最优工艺条件下钴的转化率达 96.5% 以上。王彤等^[15]在低温条件下利用异辛酸、粉状氧化铋和催化剂直接合成了异辛酸铋。此外,在当今强调环保和回收的环境下,出现了利用废旧二次电池等为原材料制取异辛酸盐的工艺^[16]。但是,对于异辛酸镍合成的研究较少。张侦祥等^[17]利用含镍的酸性脱洗液为原料,通过化学沉淀除铝再与皂化得到的异辛酸盐反应得到异辛酸镍。上述合成异辛酸盐的工艺都采用皂化-复分解方法,取得了很好的效果,但是,这些工艺中存在着水资源消耗大、形成大量的硫酸钠废液,难以处理,造成环境危害,反应温度高,有机溶剂易挥发,对操作环境造成危害等。为解决上述存在的水资源消耗大、电解液用量多、合成过程对环境造成污染等问题,本文作者提出电化学方法来合成异辛酸镍的工艺,系统研究电化学合成过程中支持电解质中氢氧化钠的浓度、氯化钠的浓度、电流密度、温度等因素对产物中的镍金属质量分数、产物产率以及杂质钠质量分数的影响,通过循环实验确定电解液循环使用的可能。通过红外光谱对最终产物进行检测,确定生产产物为异辛酸镍。与化学合成相比,本方法一步合成异辛酸镍产物,经过分液、蒸馏后即可得到产物异辛酸镍,产物易分离,省略了化学合成中皂化-分解等步骤,所以,该方法步骤简单。反应过程后的电解液可循环利用,电解液的消耗量降低,能耗降低,符合绿色环保的理念,从而有利于工业化生产。

1 实验

1.1 实验原料

本实验采用的镍材采购于深圳华辉铂业有色金属公司,镍板的长×宽为 7.0 cm×6.0 cm。通过 ICP-AES(Agilent 7500A)分析检测,镍板的纯度>99.99%。

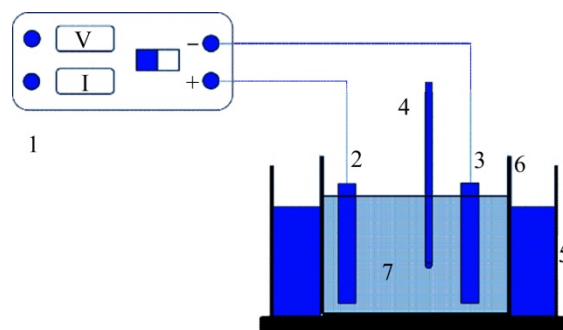
实验中所用的异辛酸采购于深圳金腾龙实业有限公司,纯度为 99%。实验中所应用的其他化学试剂均为分析纯。

1.2 研究内容

电化学合成异辛酸镍的基本条件如下:电解液中氢氧化钠浓度为 0.2 mol/L,氯化钠浓度为 2.0 mol/L,加入异辛酸 300 mL,温度为 60 °C,阴阳极均为镍板,电流为 2 A,极距为 4 cm。分别改变氢氧化钠浓度、氯化钠浓度、电流密度与温度的条件进行实验,探究各个条件对产物中镍质量分数和产物产率的影响;选取最佳条件,进行 5 次循环电解液的综合条件实验。

1.3 实验装置及表征方法

电化学合成实验装置如图 1 所示。实验在 1.5 L 的自制电解槽(长×宽×高为 15 cm×10 cm×20 cm)中进行,温度由超级恒温水浴槽(SC-15,上海比朗仪器制备有限公司,精度为±0.1 °C)控制。以纯金属镍板为阴、阳极,其中阳极有效面积为 6 cm×6 cm,阴极有效面积为 6 cm×7 cm。电解液为异辛酸、氢氧化钠、氯化钠的水溶液。每次实验前用砂纸打磨极板至平整光亮,再用蒸馏水和无水乙醇洗涤干净后于鼓风干燥箱(101-1EBS,上海科恒实业发展有限公司)内干燥。接入直流稳压电源(RXN-605D-II,深圳兆信电子设备有限公司),调整电压电流进行电化学合成。



1—直流稳压稳流电源; 2, 3—金属镍板; 4—温度计;
5—恒温水浴锅; 6—电解槽; 7—电解液。

图 1 电化学合成实验装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of experimental set-up for electrochemical synthesis

电解完成后,将电解混合溶液通过分液漏斗进行分离,上层液相为电解液;下层油相即为异辛酸金属盐产物,将油相用石油醚溶解加水 and 几滴体积比为 10:1 的盐酸溶液洗涤,分液,蒸馏石油醚后得到最终产物异辛酸镍。

对镍质量分数的分析采用滴定的方式^[18],杂质氯化钠的检测采用 ICP-AES(Agilent 7500A)。最终的异

辛酸盐产品通过红外光谱(FI-IR)来进行结构分析表征。本文中的产率以实际产品中的金属含量与理论金属溶解量之比来计算。

金属的理论溶解量 m_{theory} 按照法拉第电解定律公式计算如下:

$$m_{\text{theory}} = (It \cdot M) / (nF) \quad (1)$$

式中: n 为离子的价态; F 为法拉第常数, C/mol; I 为电流, A; t 为电解时间, h; M 为镍的摩尔质量, g/mol。

2 工艺流程和反应原理

2.1 异辛酸镍的电化学合成以及除杂提纯工艺流程

异辛酸镍的电化学合成以及除杂提纯工艺流程如图2所示。

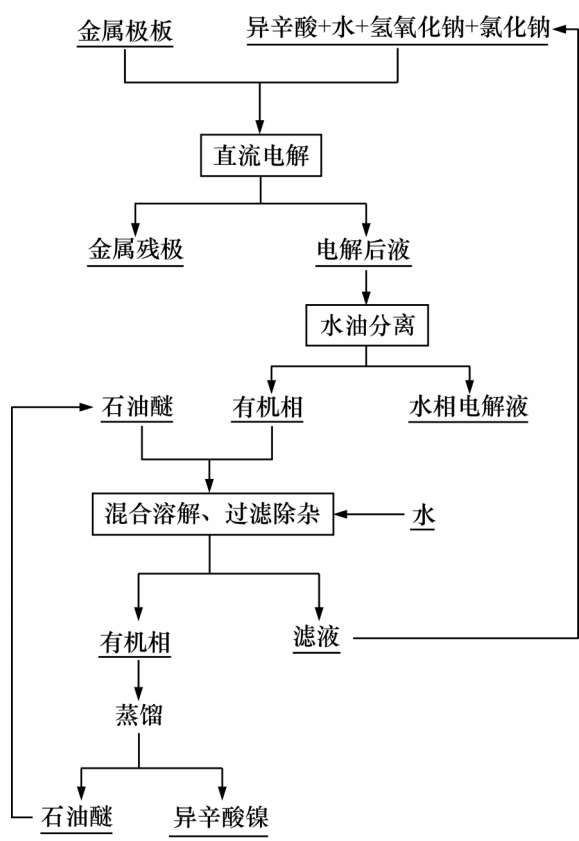


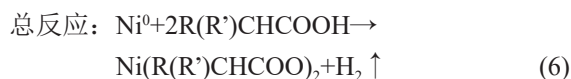
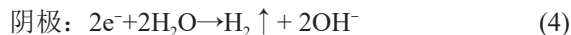
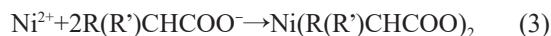
图2 镍异辛酸盐电化学合成以及除杂提纯工艺

Fig. 2 Flow sheet of electrochemical synthesis of nickel isooctanoate and purification process

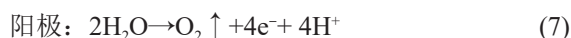
2.2 电化学合成异辛酸镍的反应原理

在电解过程中, 金属镍因为氧化而不断失去电子发生溶解以离子形式进入电解液, 与电解液中的异辛酸根离子反应生成异辛酸镍, 水在阴极发生还原生成氢气和氢氧根离子, 氢氧根离子继续与异辛酸反应生

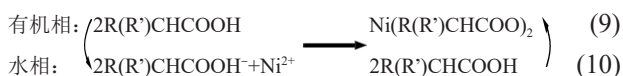
成水和异辛酸根离子, 进而与阳极产生的镍离子反应生成产物。过程中发生的反应如下:



可能发生的副反应为:



在搅拌所形成的乳状液中的电解液介质中, 反应过程如下式所示:



其中: R 表示 $-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$; R' 表示 $-\text{CH}_2\text{CH}_3$ 。

3 结果与讨论

3.1 氢氧化钠浓度对电化学合成的影响

固定研究的基本条件不变, 氢氧化钠浓度分别为 0, 0.1, 0.15, 0.20, 0.25 和 0.30 mol/L 时, 对电化学合成异辛酸镍中的镍质量分数和产率的影响如图3所示。由图3可知: 当氢氧化钠浓度为 0~0.20 mol/L 时, 产物镍质量分数以及产率随氢氧化钠浓度升高而不断升高。在氢氧化钠浓度为 0~0.10 mol/L 的变化过程中, 镍质量分数和产率升高尤为明显, 镍质量分数从 6.35% 迅速升至 9.37%, 产率也从 47.00% 升至 80.92%; 当氢氧化钠浓度为 0.20 mol/L 时, 产物镍金属质量分数达到最高 10.45%, 产率达到 91.41% 与最高产率 0.30 mol/L 时的 92.45% 相差很少。当氢氧化钠浓度为 0.20 mol/L 以上时, 产物镍质量分数都在 10% 以上, 产率在 90% 左右, 变化不大。因为未加氢氧化钠时, 异辛酸镍只有少量生成, 溶解在异辛酸中, 密度小还浮在上层, 流动性很好, 溶解的氯化钠含量偏高。氢氧化钠添加浓度在 0.15~0.25 mol/L 范围内杂质钠含量较少且较为稳定, 氢氧化钠浓度为 0.2 mol/L 时镍质量分数仅为 1.7×10^{-7} 。

从产物镍质量分数和产率为主要考虑指标, 其他因素为次要考虑指标条件下, 选择氢氧化钠浓度为 0.2 mol/L 为最佳条件。

3.2 氯化钠浓度对电化学合成的影响

固定研究的基本条件不变, 氯化钠浓度分别为 0.2, 0.6, 1.0, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0 和 2.2 mol/L 时, 对电化学合成异辛酸镍中的镍质量分数和产率的影响如图4所示。由图4可知: 随氯化钠浓度的升高, 产

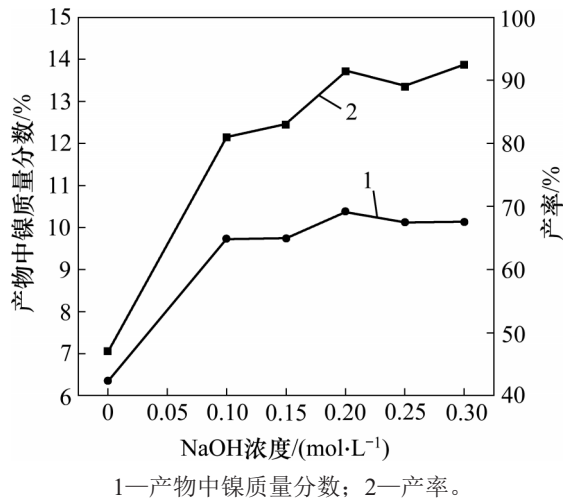


图3 NaOH浓度对产物镍质量分数及产率的影响
Fig. 3 Effect of NaOH concentrations on Ni mass fraction and yield of products

物中镍的质量分数缓慢增加,但是增加幅度不大,出现小幅波动,基本维持在10%以上。当氯化钠浓度达到2.0 mol/L时,产物中镍质量分数达到11.06%。产率也随着氯化钠浓度的增大而缓慢增加,在氯化钠浓度为2.0 mol/L时最大为99.25%。当氯化钠浓度为2.2 mol/L时,产物中镍质量分数及产率都明显降低。随着氯化钠浓度增加,杂质钠的质量分数也逐渐增加,但其质量分数总体仍保持在 $0\sim 3\times 10^{-6}$ 之间。因此,从产物镍质量分数和产率为主要考虑指标,其他因素为次要考虑指标条件下,综合考虑选择氯化钠的最佳浓度为2.0 mol/L。

3.3 电流密度对电化学合成的影响

固定研究的基本条件不变,电流密度分别为476, 952, 1 428, 1 904, 2 380和2 857 A/m²(电流分

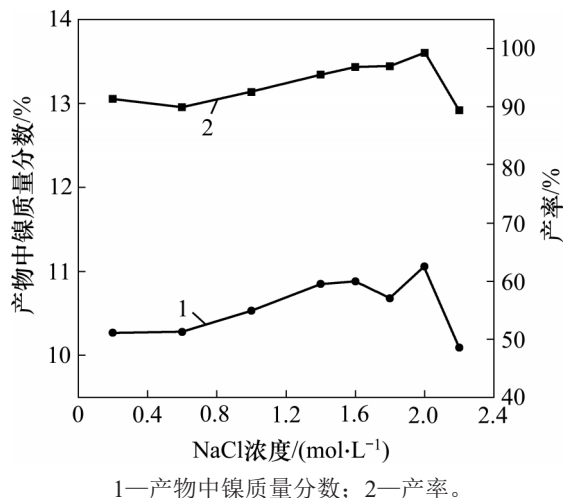


图4 NaCl浓度对产物镍质量分数及产率的影响
Fig. 4 Effect of NaCl concentrations on Ni mass fraction and yield of products

别为2, 4, 6, 8, 10和12 A)时,对电化学合成异辛酸镍中的镍质量分数和产率的影响如图5所示。由图5可知:在电流密度变化下产物镍质量分数变化幅度都很小,虽然出现波动,但镍质量分数稳定在11%左右,在2 380 A/m²时达到最高为11.46%。而产率变化更小,差别几乎可以忽略,稳定在99.80%左右。随电流密度的变化,杂质钠的质量分数依然没有太大的变化,为 10^{-6} 等级。因此,从产物镍质量分数和产率为主要考虑指标,其他因素为次要考虑指标条件下,综合考虑选定电流密度为2 380 A/m²。

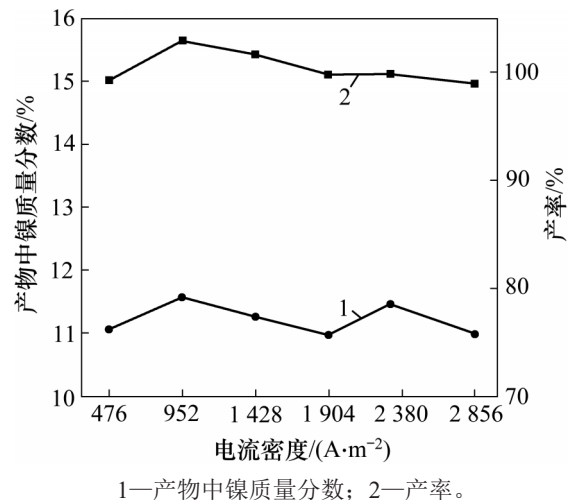


图5 电流密度对产物镍质量分数及产率的影响
Fig. 5 Effect of current density on Ni mass fraction and yield of products

3.4 温度对电化学合成的影响

固定研究的基本条件不变,合成温度分别为30, 45, 60, 75和90 °C时,对电化学合成异辛酸镍中的镍质量分数和产率的影响如图6所示。由图6可知:

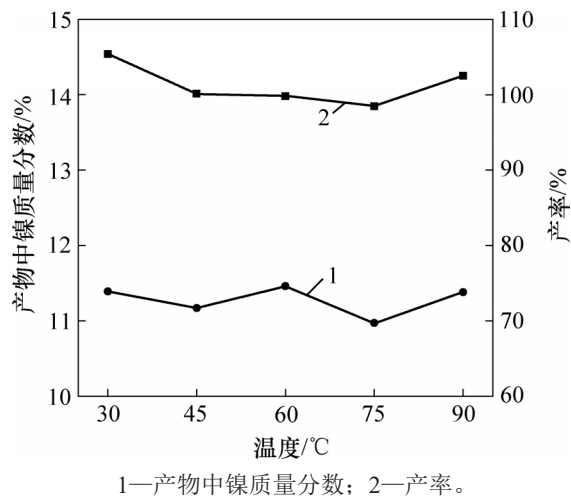


图6 温度对产物镍质量分数及产率的影响
Fig. 6 Effect of temperature on Ni mass fraction and yield of products

温度变化对产物异辛酸镍的镍金属质量分数以及产率的影响很小。产物中的镍金属质量分数稳定在11%左右,产率稳定在99%左右。产物中杂质钠质量分数虽然有变化,但其保持在 10^{-6} 等级,影响不大。综合考虑到电压以及温度的升高会造成能耗的增加,当温度在30℃和45℃时电解自身放热还会导致体系温度的升高,所以,选择60℃为最佳温度。

3.5 电解液的循环实验

在确定以上影响因素的最佳条件后,对电解液循环使用进行实验,其中反应中因蒸发而损失的水分由洗涤石油醚溶解的异辛酸镍有机相的液体来补充至750 mL,实验中首先以0.2 mol/L氢氧化钠和2 mol/L氯化钠的750 mL水溶液,异辛酸150 mL混合再补加异辛酸22 g的混合液为电解液,控制温度为60℃,极距为4 cm,电流为10 A(电流密度为2 380 A/m²),加机械搅拌速率为300 r/min,使电解液变为乳液液,电解完成后,取剩余的电解液用洗涤液将体积补充至750 mL,然后加入150 mL异辛酸,以同样条件进行电解,循环5次。产品镍质量分数及产率变化如图7所示。由图7可知:5次循环实验中异辛酸镍产品的镍质量分数在10.91%~10.98%之间,产物中的杂质钠的质量分数依然保持在 10^{-6} 等级,产率稳定在96%以上。各次循环的电解液中各个物质成分的含量基本保持不变,因此,可以实现电解液的循环利用。

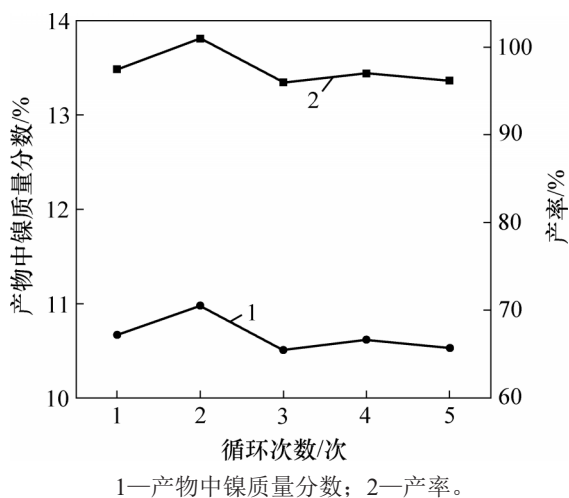


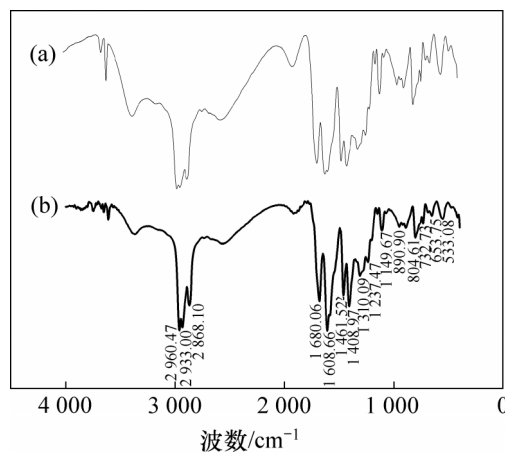
图7 不同循环次数下的产物镍质量分数和产率

Fig. 7 Ni mass fraction and yield of products under different cycle times

3.6 异辛酸镍产品的表征

从佛山市顺德区畅驰新材料有限公司购买的异辛酸镍产品(购买产品)和本实验制得的异辛酸镍产品(实验产品)的外观均为绿色透明黏稠液体。

图8所示为购买产品与实验产品的红外光谱对比图。由图8可知:图8(a)与8(b)相比,主要峰均相同,其中实验产品中3 900~3 300 cm⁻¹处的几个峰对应的



(a) 购买产品; (b) 实验产品

图8 购买产品与实验制得异辛酸镍的红外光谱图

Fig. 8 Infrared spectra of commercial product and experimental preparation of nickel isoctanoate

是部分残余水分,2 960.47 cm⁻¹和2 868.10 cm⁻¹处的峰是甲基不对称伸缩振动峰和对称伸缩振动峰,2 933.00 cm⁻¹处的峰为亚甲基的不对称伸缩振动峰,2 566.10 cm⁻¹处的峰为C=O—O—铵带的峰,1 680.06 cm⁻¹和1 608.66 cm⁻¹处的峰为低C=O伸缩振动峰,1 461.34, 1 310.09和1 149.67 cm⁻¹处的峰分别为亚甲基的剪式振动峰、摇摆扭曲振动峰和摇摆扭曲振动峰,1 408.97 cm⁻¹和1 237.47 cm⁻¹处的峰为C—O—基团的伸缩振动峰,1 109.47~804.61 cm⁻¹处的峰为—C—C—基团的伸缩振动峰,732.73 cm⁻¹处的峰为亚甲基的摇摆振动峰,653.75 cm⁻¹和553.08 cm⁻¹处的峰为Ni—O的振动峰^[19]。

将该购买产品取样3次进行分析样品中镍质量分数和杂质钠质量分数,结果显示购买产品镍质量分数均在10%±0.2%之间,钠质量分数为 10^{-6} 等级,且分析误差小于2%。5次循环实验中异辛酸镍产品的镍质量分数在10.91%~10.98%之间,钠质量分数为 10^{-6} 等级,表明电化学合成的异辛酸镍的指标达到工业产品的指标,符合Q/FMH02—2011标准要求。

综合以上表征,可以确定利用电化学方法合成的物质为异辛酸镍产品。

4 结论

1) 电化学合成过程中氢氧化钠浓度、氯化钠浓度对产品的镍质量分数和产率有显著影响,而电流密度和温度对产品的镍质量分数和产率几乎没有影响。实验中产品中杂质钠质量分数保持在 10^{-6} 等级,可以忽略其影响。

2) 通过条件实验,确定4个影响因素的最佳条件如下:氢氧化钠浓度为0.2 mol/L,氯化钠浓度为2.0

mol/L, 电流密度为 2 380 A/m², 温度为 60 ℃。产物中镍质量分数达 10% 以上, 产率在 95% 以上, 符合 Q/FMH02—2011 标准要求。通过对产物进行红外光谱表征, 分析产品的结构, 确定产物为异辛酸镍。

3) 通过电解液的循环使用实验, 5 次循环实验中产品镍质量分数、产率、杂质钠质量分数均比较稳定可以实现电解液的循环使用。

参考文献:

- [1] 松文. 异辛酸的生产技术与市场[J]. 乙醛醋酸化工, 2008(10): 30-31.
SONG Wen. Production technology and market of isooctanoic acid[J]. Acetaldehyde Acetic Acid Chemical Industry, 2008(10): 30-31.
- [2] 张耀中. 分子氧氧化异辛醇生成异辛酸的催化反应研究[D]. 西安: 西北大学化工学院, 2010: 3-4.
ZHANG Yaozhong. Study on catalytic reaction of molecular oxygen oxidation of isooctyl alcohol[D]. Xi'an: Northwest University. School of Chemical Engineering, 2010: 3-4.
- [3] 高攀. 脂肪酸盐的合成及应用研究[D]. 合肥: 合肥工业大学化学与化工学院, 2017: 3.
GAO Pan. A study on the synthesis and application of fatty acid salts[D]. Hefei: Hefei University of Technology. School of Chemistry and Chemical Engineering, 2017:3.
- [4] MUIZEBELT W J, HUBERT J C, VENDERBOSCH R A M, et al. Aluminum compounds as additional crosslinkers for air-drying high-solids alkyd paints[J]. Journal of Coatings Technology, 1998, 70(7): 53-59.
- [5] 马晓坤, 张东杰, 杨晓峰, 等. 一种碳纤维预浸料用环氧树脂中温固化体系的调配方法: 中国, 201310416300.3[P]. 2013-09-13.
MA Xiaokun, ZHANG Dongjie, YANG Xiaofeng, et al. Method for preparing intermediate temperature curing system of epoxy resin for carbon fiber prepreg: China, 201310416300.3[P]. 2013-09-13.
- [6] 陈永杰, 刘公召, 关瑾. 钴与其它金属的复合物对不饱和聚酯固化的促进作用[J]. 辽宁化工, 1997, 26(5): 276-277.
CHEN Yongjie, LIU Gongzhao, GUAN Jin. Promoting effect of complex of cobalt and other metals on unsaturated polyester resin curing[J]. Liaoning Chemical Industry, 1997, 26(5): 276-277.
- [7] GORMAN D B, TOMLINSON I A. ChemInform abstract: iron (III) 2-ethylhexanoate as a novel, stereoselective hetero-Diels-Alder catalyst[J]. Chemical Communications, 1998, 29(1): 25-26.
- [8] 张宪仁. HC-402-2 型苯加氢均相催化剂的研究[J]. 合成纤维工业, 1990, 13(3): 8-13.
ZHANG Xianren. The study of HC-402-2 homogeneous catalyst for benzene hydrogenation[J]. China Synthetic Fiber Industry, 1990, 13(3): 8-13.
- [9] SHIRAZ N Z, LETAFAT B, SHARIFZADEH E S, et al. Synthesis and improvement of activity of cobalt organic salts as drier[J]. ISRN Inorganic Chemistry, 2013, 2013: 1-4.
- [10] 杨声海, 吴彦增, 陈永明, 等. 一种电化学合成异辛酸盐的方法: 中国, 201611139737.7[P]. 2016-12-12.
YANG Shenghai, WU Yanzeng, CHEN Yongming, et al. Method for electrochemically synthesizing isooctanoate: China, 201611139737.7[P]. 2016-12-12.
- [11] LALA S M, MONTORO L A, DI DONATO E, et al. Synthesis of LiCoO₂ by metallo-organic decomposition-MOD[J]. Journal of Power Sources, 2003, 114(1): 127-132.
- [12] MICCICHÈ F. The combination of ascorbic acid derivatives/iron salts as catalyst for the oxidative drying of alkyd-based paints: a biomimetic approach[J]. Technische Universiteitindhoven, 2005, (8): 59-63.
- [13] 秦毅红, 何汉兵, 程玉贤, 等. 异辛酸钴合成工艺研究[J]. 有色金属(冶炼部分), 2005(6): 39-41.
QIN Yihong, HE Hanbing, CHENG Yuxian, et al. Study on the synthesis of cobalt isooctanoate[J]. Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy), 2005(6): 39-41.
- [14] CUKIERNIK F D, IBN-ELHAJ M, CHAIA Z D, et al. Mixed-valent diruthenium (II , III) long-chain carboxylates. 1. molecular design of columnar liquid-crystalline order[J]. Chemistry of Materials, 1998, 10(1): 83-91.
- [15] 王彤, 陈冬旭, 陈凌霞, 等. 一种异辛酸铋的合成方法: 中国, 106117041A[P]. 2016-11-16.
WANG Tong, CHEN Dongxu, CHEN Lingxia, et al. A synthetic method of bismuth octylate: China, 106117041A[P]. 2016-11-16.
- [16] 张明. 一种利用废旧锂电池正极钴酸锂制取异辛酸钴方法: 中国, 200910013221.1[P]. 2009-08-18.
ZHANG Ming. Method for preparing cobalt isooctylate by using lithium cobalt oxide cathode lithium cobaltate: China, 200910013221.1[P]. 2009-08-18.
- [17] 张侦祥, 邢志军, 李望明, 等. 一种异辛酸镍的制备方法: 中国, 201410678015.3[P]. 2014-11-21.
ZHANG Zhenxiang, XING Zhijun, LI Wangming, et al. Preparation method of nickel isooctanoate: China, 201410678015.3[P]. 2014-11-21.
- [18] 王敏, 黄一平, 李培欣. 乙二胺四乙酸络合滴定法测定异辛酸镍中镍质量分数[J]. 石化技术与应用, 2006, 24(5): 401-402.
WANG Min, HUANG Yiping, LI Peixin. Measurement of nickel content in nickel iso-caprylate by ethylenediamine tetraacetic acid complexometric titration[J]. Petrochemical Technology & Application, 2006, 24(5): 401-402.
- [19] 胡皆汉, 郑学仿. 实用红外光谱学[M]. 北京: 科学出版社, 2011: 35-259.
HU Jiehan, ZHENG Xuefang. Practical infrared spectroscopy [M]. Beijing: Science Press, 2011: 35-259.

(编辑 杨幼平)