

氯化精炼在镍钴湿法冶金中的应用探索

吉永亮¹, 李树兴¹, 陈胜利¹, 卢建波¹, 房春娟²

(1. 金川集团股份有限公司 镍冶炼厂, 甘肃 金昌 737100;

2. 金川集团股份有限公司 检测中心, 甘肃 金昌 737100)

[摘 要] 本文以某公司镍精矿为原料,通过借鉴国内外氯化精炼工艺的研究成果和生产实践,在实验室验证了氯化浸出-萃取-电积工艺生产高品质电积镍的可行性,试验结果表明:镍精矿经过镍精矿+阳极泥法置换沉铜后,首先进行氯气浸出,在较佳的工艺参数条件下,置换沉铜率高达99.8%,氯气浸出过程中镍、铜、铁和钴的浸出率分别达到96.02%、100%、100%和63.33%;置换后液首先进行针铁矿法除铁,然后采用N235-P204联合萃取,在较佳工艺参数下,除铁后液铁含量仅为0.0031 g/L,除铅离子以外,萃余液中的其他杂质金属离子含量均已达到电积新液的要求;对萃余液采用氯气+碳酸镍法进行氧化除铅,除铅后液含铅为0.0001 g/L,在较佳的电积工艺参数下,可生产出纯度99.99%的电积镍。

[关键词] 镍精矿;氯化体系;氯化精炼;高品质电积镍;净化;除铅;N235-P204 溶剂萃取;不溶阳极电积

[中图分类号] TF815; TF803.2⁺1 [文献标志码] A [文章编号] 1672-6103(2022)01-0038-06

DOI:10.19612/j.cnki.cn11-5066/tf.2022.01.007

随着国内外镍产能的不断扩大,特别是以红土矿为原料的镍铁对金属镍市场造成很大冲击,镍金属价格在低位运行已成常态^[1]。同时,现阶段金属镍产品市场需求更趋多元化,航空航天、电镀、电池、传统不锈钢等行业细化了镍产品市场需求。传统硫化镍可溶阳极电解工艺存在工艺流程冗长、生产成本偏高、产品品质不高、市场竞争力不强、各工序返渣量大、处理复杂等问题^[2]。氯化精炼工艺与传统可溶阳极电解工艺相比,具有工艺流程短、加工成本低、产品质量高、技术经济指标先进等优势^[3-5]。

1978年法国SLN公司的勒·哈弗尔应用氯化精炼工艺,年产电积镍可达到2万t;1981年挪威鹰桥公司克里斯蒂安松利用氯化精炼工艺完全取代传统工艺,形成年产6.8万t镍和4万t铜的规模;1993年日

本住友公司新居滨厂形成的先进氯化精炼工艺已全部替代传统工艺^[6]。我国在1986年“七五”科研攻关中将氯化精炼工艺列为重点攻关课题,随后,北京矿冶研究院、清华大学和金川集团股份有限公司(以下简称“金川公司”)联合攻关氯化精炼项目,取得了丰硕的成果^[7]。此后,一些研究者对氯化精炼的关注也越来越多,薛文颖等^[8]以铜电解渣为原料,通过氯化浸出-净化-不溶阳极电积法生产电镍,结果表明,镍和铜的浸出率分别为99.3%和98.5%,电镍品级率为99.94%,阴极电流效率为98%;包福毅等^[9]以镍精矿和铜合金为原料,通过氯化浸出-N235萃取-电积工艺实现半工业试验,结果表明,镍和钴的回收率高达99.9%和97%。

本文以某公司镍精矿为原料,通过借鉴国内外研究成果和生产实践探讨了利用氯化浸出-萃取-电积工艺生产电积镍的可行性,通过实验室小试,获得了氯化精炼工艺生产高品质电积镍的较佳工艺参数。

1 工艺介绍

镍精矿经球磨机湿磨至-280目^①(>90%)后

[收稿日期] 2021-08-16 [修订日期] 2021-09-23

[录用日期] 2021-09-25 [出版日期] 2022-02-28

[作者简介] 吉永亮(1993—),男,甘肃天水人,硕士,工程师,主要从事湿法冶金技术的研发工作。

[通讯作者] 陈胜利,男,甘肃金昌人,博士,高级工程师,主要从事湿法冶金技术的研发工作。

[引用格式] 吉永亮,李树兴,陈胜利,等.氯化精炼在镍钴湿法冶金中的应用探索[J].中国有色冶金,2022,51(1):38-43.

① -280目表示粒径小于53 μm。

进入置换沉铜工序,过滤后滤渣进入氯化浸出,在一定条件下通过控制氧化还原电位选择性浸出镍和钴等有价金属,将部分铜、硫和贵金属抑制在渣中,氯浸渣可返回置换沉铜工序作氧化剂,氯浸液可直接进行电积脱铜,形成铜的开路。置换沉铜后液通过针铁矿除铁法去除溶液中的铁,铁渣送火法集中处理,除铁后液再利用 N235 (三异辛胺) + P204 (二(2-乙基己基)磷酸酯) 溶剂萃取法深度去除溶液中的铜、铁、锌、锰、钙和镁等杂质,合格的萃余液用氯气氧化除去溶液中的铅,最后形成合格的新液。最后经过不溶阳极电积,产出合格的电积镍产品。氯化浸出-萃取-电积工艺流程简图见图 1。

2 试验原料及设备

2.1 试验原料

本次试验研究以某公司镍精矿为原料,其主要成分如表 1 所示,镍精矿中的镍主要以 Ni_3S_2 和 NiS 形式存在。

表 1 镍精矿主要化学成分										%
成分	Ni	Cu	Fe	Co	Pb	Zn	Ca	Mg	Mn	水分
含量	65 ~ 68	2.6 ~ 3.0	2.7 ~ 3.1	1.0 ~ 1.2	0.04 ~ 0.06	0.002 7 ~ 0.003 0	0.12 ~ 0.15	0.058 ~ 0.061	0.002 4 ~ 0.002 6	8.5 ~ 9.0

2.2 主要试验设备

- 1) 加热板。型号 ML-3-21,额定电压 220 V,额定功率 3 000 W,表明最高温度 400 ℃,主要用于对溶液的加热。
- 2) 蠕动泵。型号 YZ15,功率 220/50 Hz,温度 0 ~ 40 ℃,主要用于除铁过程中氧化剂的缓慢加入和萃取过程中溶液和有机物的加入。
- 3) 温度计、氧化还原电位计和 pH 计。三种检测联用,型号 PHB-4,用于实时检测试验过程中的温度、电位及 pH 值。
- 4) 萃取箱。型号 CWX-1J,槽体材质为 PP,主要用于萃取试验。
- 5) 烧杯。用于除铜、除铁和除铅等过程。

3 各工序试验

3.1 置换沉铜

在湿法冶金中除铜工艺主要有镍精矿 + 阳极泥法^[10-11]、活性硫化镍法^[12]、 H_2S 法和硫代硫酸镍法等。镍精矿 + 阳极泥可以达到补充镍离子的目的,

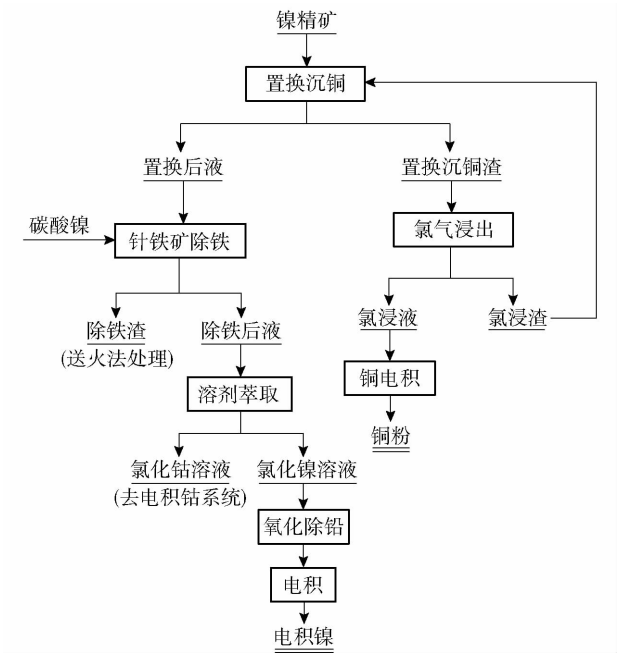
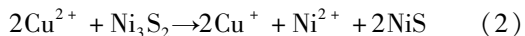
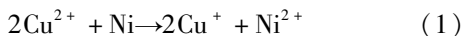


图 1 氯化精炼工艺流程

但是沉铜渣量大、贵金属损失多;活性硫化镍沉铜,可以大大减少沉铜渣量,贵金属的损失少,还可以除去部分 Pb、Zn 和 As,同时铜渣处理流程短,但是,制备的活性硫化镍很容易失活,增加了电镍生产成本。采用国内成熟的 H_2S 除铜,控制氧化还原电位为 -50 至 -80 mV 可抑制 Ni^{2+} 和 Co^{2+} 因沉淀而进入除铜渣中,同时可以去除部分 Pb、Zn 和 As 等杂质,但是 H_2S 毒性大,对设备的密闭性要求高,且适用于处理低浓度 Cu^{2+} 溶液。用硫代硫酸镍除铜具有引入杂质少、无污染和除铜彻底等优点,但是硫代硫酸镍的制备条件苛刻,而且溶液中的硫代硫酸镍不稳定,很容易发生分解,在工业化应用上难以实现。

综合考虑现有沉铜工艺的优缺点,本文选用镍精矿 + 阳极泥法进行置换沉铜。该方法沉铜渣含铜较高,通过 $\text{Cu}^+/\text{Cu}^{2+}$ 之间的电子传递可有效提高镍的浸出率,而且沉铜渣经氯化浸出后渣量会大大减少,有利于有价金属的回收。沉铜过程中的还原-置换反应见式(1)~(2),硫化沉铜反应见式(3)~(4)。

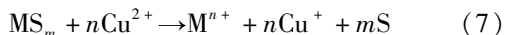
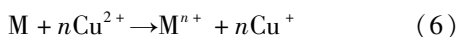
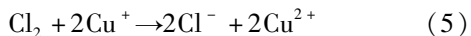


通过实验室试验发现,在镍精矿:阳极泥:[Cu^{2+}]混合比(3~5):1:1、反应温度 60~100℃、反应时间 3.0~5.0 h 和 pH 值 1.0~4.0 的条件下,置换沉铜效果最好,除铜后液含铜 0.05 g/L,除铜率高达 99.8%;同时,沉铜渣可通过氯化浸出回收有价金属,将硫和贵金属抑制于渣中,氯化浸出液中的铜以电积脱铜的方式生产海绵铜形成开路。

3.2 氯气浸出

针对镍含量为 65% 的镍精矿原料,目前的处理工艺主要有传统硫化镍可溶阳极电解工艺、氨法浸出工艺、加压酸浸工艺和氯化浸出工艺。传统硫化镍可溶阳极电解工艺早在 20 世纪 60 年代就在加拿大汤普森厂、日本志村精炼厂和别子精炼厂应用,但是传统硫化镍可溶阳极电解工艺存在流程长、产品品质不高、劳动强度大等缺点。氨法浸出工艺对 Ni、Cu 和 Co 具有选择性浸出,同时几乎不与 Fe、Ca、Mg、Mn 等杂质反应,可以在浸出段去除大量的杂质金属,但是,氨浸效率并不高,适用于处理低品位矿石,同时氨气毒性大、现场环境条件差,对设备要求高,导致生产成本偏高^[13]。硫酸化加压浸出以 20 世纪 70 年代芬兰奥托昆普公司哈贾伐尔塔精炼厂为主,国内金川公司镍冶炼厂和新疆阜康冶炼厂也采用硫酸化加压浸出,具有浸出率高和流程短等优点,但是产品品质依然不高^[14]。氯化浸出以鹰桥公司克里斯蒂安松氯气浸出工艺为主,随后在日本住友新居滨厂为了适应自身原料特点进行改造,形成适用于自身原料特点的氯化浸出工艺^[15]。

本工艺采用氯化浸出方法浸出沉铜渣中的镍、铜和钴等有价金属。在置换沉铜渣中通入氯气进行浸出, Cu^+ 与 Cu^{2+} 的电子传递作用提高了浸出反应速率。沉铜渣及镍精矿中的硫和贵金属及部分铁不被浸出,仍留在氯浸渣中。浸出过程中的氯气吸收反应见式(5),有价金属及硫化物的浸出反应见式(6)~(7),式中 M 指 Ni、Co、Fe。



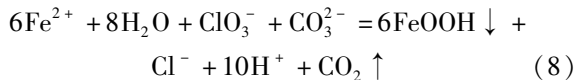
通过实验室试验发现,利用氯气浸出置换沉铜

渣,在氧化还原电位 450~600 mV、温度 80~130℃、反应时间 1.0~4.0 h、氯气流量 20~50 mg/h 的条件下,镍、铜、铁和钴的浸出率分别为 96.02%、100%、100% 和 63.33%。

3.3 针铁矿除铁

湿法冶金镍精矿浸出液中铁的去除工艺主要有中和水解法、黄钠铁矾法^[16]、针铁矿法^[17]和赤铁矿法^[18]等。中和水解除铁生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 的胶体,不仅过滤效果不好,而且对镍、钴等金属离子的夹带严重;黄钠铁矾除铁要保证溶液中 Na^+ 和 SO_4^{2-} 足量,因此在氯化体系中不适合采用黄钠铁矾除铁;对于赤铁矿法要求在高温高压的环境下除铁,其成本较大,对设备的要求严格;针铁矿除铁法渣型好,容易过滤,而且条件简单可控,相应的成本较低,所以针铁矿除铁法得到了越来越多研究者的关注。

本文选用针铁矿法进行除铁,该方法的氧化剂选择尤为重要。利用空气氧化 Fe^{2+} 时,其氧化速率相对较慢; H_2O_2 作为氧化剂可以避免引入新的杂质离子,而且在反应过程中生成的 H_2O 不会对整个体系产生任何影响,但是 H_2O_2 在高温下容易分解;以 NaClO_3 作为氧化剂不仅氧化效率高, Na^+ 还可以通过碳酸镍制备过程中上清液外排(实际生产过程中碳酸镍制备工序是为了平衡体系中的金属平衡、体积平衡、硫平衡和钠平衡)。SHEN Yong-feng^[19] 等以合金废弃物为原料,以氯酸钠为氧化剂进行针铁矿除铁,结果表明,在 pH 值 2.0 和温度 90℃ 的条件下,逐滴加入氯酸钠和 18% 碳酸钠溶液,铁的去除率高达 99.99%,除铁后含铁 0.001 g/L。针铁矿法除铁的主要化学反应见式(8)。



通过实验室试验发现,以 NaClO_3 为氧化剂进行针铁矿法除铁,在 pH 值 1.0~4.0、反应时间 2.0~5.0 h、反应温度 55~95℃ 的条件下,铁离子的去除效果最好,除铁后液铁的浓度为 0.003 1 g/L;除铁渣经 pH 值 1.0~3.0 的酸溶液进行三次洗涤后,除铁渣含镍 2.92%,含铁 52.98%,含铜 0.016%。

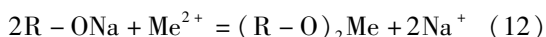
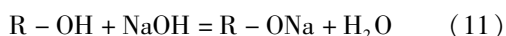
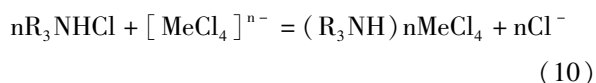
3.4 N235-P204 溶剂萃取

因溶剂萃取法具有选择性萃取和直收率高的特点,所以利用萃取进行深度除杂和镍钴分离在镍钴湿法冶金中应用较为广泛,常用萃取剂主要有磷酸类萃取剂(如 P204、P507 和 C272)和胺类萃取剂

(如 N235)。

在氯化体系中利用磷酸类萃取剂进行镍钴分离的研究较少,究其原因主要是在氯化体系中 Cu^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Co^{2+} 和 Zn^{2+} 以络阴离子的形式存在,同时氯化浸出液 pH 值较低,抑制了磷酸类萃取剂的萃取能力。周斌等^[20]以废弃铬镍电池为原料,经盐酸浸出后进行 N235 萃取分离浸出液中的镍钴,结果表明,HCl 的浓度和 Cl^- 浓度是影响萃取的主要因素,当有机相配比为 30% N235 + 20% TBP + 50% 磺化煤油、相比 O/A = 0.5 以及 Cl^- 浓度 ≥ 200 g/L 时,镍钴分离效果最优;经三级逆流萃取后,萃余液中镍含量高达 99.9%;负载有机相以水为反萃剂,经二级逆流反萃基本可回收全部的钴。挪威鹰桥公司克里斯蒂安松利用氯化浸出-N235 萃取-电积工艺生产高品质电镍;国内成都电冶厂和重庆冶炼厂采用 N235 溶剂萃取进行镍钴分离。

因 N235 对溶液中的 Ca、Mg、Mn 的萃取能力很弱,N235 萃余液需要进一步采用 P204 萃取除杂,所以本文采用 N235-P204 两段萃取进行镍钴分离。N235 萃取机理见式(9)~(10),P204 萃取机理见式(11)~(12),式(10)和式(12)中的 Me 表示金属离子 Cu^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Co^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 Mn^{2+} 等。



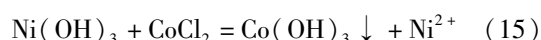
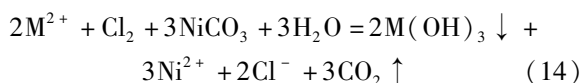
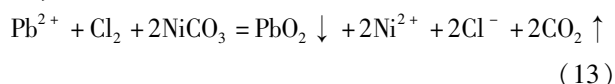
通过实验室试验发现,采用 N235 为萃取剂进行镍钴分离时,在有机相配比为 A% N235 + B% 异辛醇 + C% 溶剂油、相比 O/A 为(1.0~3.0):1 的条件下,萃取效果最优,萃余液中各金属的含量为 $\text{Cu} 0.000\ 8$ g/L、 $\text{Fe} 0.001$ g/L、 $\text{Zn} 0.000\ 3$ g/L、 $\text{Co} 0.002$ g/L;采用 P204 对 N235 的萃余液做进一步除杂,在有机配比 D% P204 + E% 溶剂油、相比 O/A (1.0~3.0):1 的条件下,除杂效果较优,萃余液中 Ca、Mg 和 Mn 含量均不高于 0.001 g/L,可以达到电积新液的要求。利用不同浓度的 HCl 溶液对 N235 和 P204 负载有机相进行反萃,产生的氯化镍溶液返回生产系统重新利用,氯化钴溶液送钴系统生产钴产品,氯化铁和氯化铜等溶液进入废水处理厂。

3.5 氧化除铅

目前研究较多的除铅工艺主要有树脂除铅^[21]、

碳酸钡除铅、 H_2S 除铅和氯气氧化除铅。对于树脂除铅,其适用于处理低浓度深度除铅,而且树脂的预处理和反洗工作量大,同时反洗耗水量大,容易引起溶液体系体积膨胀。碳酸钡除铅主要通过溶度积原理进行除铅,形成硫酸铅钡混晶沉淀 $[\text{Ba}(\text{SO}_4)_2 - \text{Pb}]$,但在氯化体系中不能形成该混晶沉淀,因此该工艺不适合在氯化体系应用。对于 H_2S 除铅,主要原理是利用硫化氢和铅反应生成稳定的 PbS 和 Pb_2S 沉淀,同时还会沉淀其他杂质离子,例如 Cu 和 As 等,但是萃余液中其他杂质离子含量较低,不能和铅形成共沉的效果。氯气氧化除铅主要是生成 PbO_2 的沉淀,挪威克里斯蒂安松和日本住友应用该方法进行除铅,可以达到除铅的效果。

该公司镍精矿经氯化浸出后溶液中含铅 0.11 g/L,含铅浓度较大,不适用于树脂除铅,所以本文采用氯气+碳酸镍法进行除铅。向氯化镍溶液中通入氯气,将 Pb^{2+} 氧化成 Pb^{4+} 并形成二氧化铅沉淀析出,反应过程中同时加入碳酸镍中和反应产生的酸,使反应不断正向进行。发生的主要化学反应见式(13)~(15),式(14)中的 M 表示 Ni、Co、Cu 等金属元素。



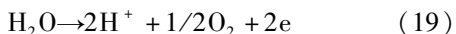
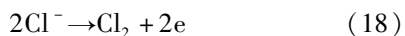
通过实验室试验发现,在 pH 值 3.8~4.5、氧化还原电位 1 040~1 070 mV 的条件下,除铅后液含铅为 0.000 1 g/L,去除率高达 99.99%。

3.6 不溶阳极电积

在镍钴湿法冶金行业中,电镍的生产主要有传统可溶阳极电解工艺和不溶阳极电积工艺两种。可溶阳极电解工艺以镍精矿浇铸生产高硫阳极板为主,存在流程长、电耗高,成本高等不足;对于不溶阳极电积工艺,阳极主要采用材质是钛涂铱/钛涂二氧化铅阳极板,金属阳极板导电性能好,更换周期长,所以电耗低,产品质量好。以硫酸体系为主的不溶阳极电积工艺在国内应用企业主要有金川公司和阜康冶炼厂;氯化体系不溶阳极电积工艺主要以鹰桥公司克里斯蒂安松和日本住友新居滨厂的应用为主。

本文采用氯化体系不溶阳极电积工艺进行镍提

纯,由于电积过程中阳极会产生氯气,易造成现场环境的恶化,所以对于阳极产生的氯气要进行回收再利用,这样既可以改善现场环境,同时也节约了生产成本。镍电积过程中阴极发生的电化学反应见式(16)~(17);阳极发生的电化学反应见式(18)~(19)。



通过实验室试验发现,以氯化体系为主的镍电积试验在槽电流 20 000 ~ 25 000 A、槽电压 2.0 ~ 3.8 V、温度 50 ~ 85 ℃、电积新液 pH 值 1.0 ~ 3.0、电积新液含镍 60 ~ 90 g/L 的条件下,可生产纯度为 99.99% 的电积镍。

4 结论

本文以某公司镍精矿为原料,通过借鉴国内外氯化精炼工艺的研究成果和生产实践,在实验室验证了氯化浸出-萃取-电积工艺生产高品质电积镍的可行性,主要得出以下结论。

1) 置换沉铜试验小结。采用镍精矿 + 阳极泥法进行置换沉铜,在镍精矿:阳极泥:[Cu^{2+}]混合比(3~5):1:1、反应温度 60 ~ 100 ℃、反应时间 3.0 ~ 5.0 h 和 pH 值 1.0 ~ 4.0 的条件下,置换沉铜效果最好,除铜后液含铜 0.05 g/L,除铜率高达 99.8%。

2) 氯气浸出试验小结。利用氯气浸出置换沉铜渣,在氧化还原电位 450 ~ 600 mV、温度 80 ~ 130 ℃、反应时间 1.0 ~ 4.0 h、氯气流量 20 ~ 50 mg/h 的条件下,镍、铜、铁和钴的浸出率分别为 96.02%、100%、100% 和 63.33%。

3) 针铁矿除铁小结。以 NaClO_3 为氧化剂进行针铁矿法除铁,在 pH 值 1.0 ~ 4.0、反应时间 2.0 ~ 5.0 h、反应温度 55 ~ 95 ℃ 的条件下,铁离子的去除效果最好,除铁后液铁的浓度为 0.003 1 g/L;除铁渣经 pH 值 1.0 ~ 3.0 的溶液进行三次洗涤后,除铁渣含镍 2.92%,含铁 52.98%,含铜 0.016%。

4) N235-P204 溶剂萃取小结。采用 N235 为萃取剂进行镍钴分离时,在有机相配比为 A% N235 + B% 异辛醇 + C% 溶剂油、相比 O/A 为 1.0 ~ 3.0:1 的条件下,萃取效果最优,萃余液中各金属的含量为 Cu 0.000 8 g/L、Fe 0.001 g/L、Zn 0.000 3 g/L、Co

0.002 g/L;采用 P204 对 N235 的萃余液做进一步除杂,在有机配比 D% P204 + E% 溶剂油、相比 O/A (1.0 ~ 3.0):1 的条件下,除杂效果较优,萃余液中 Ca、Mg 和 Mn 含量均不高于 0.001 g/L,可以达到电积新液的要求。

5) 氧化除铅小结。采用氯气 + 碳酸镍法进行除铅,在 pH 值 3.8 ~ 4.5、氧化还原电位 1 040 ~ 1 070 mV 的条件下,除铅后液含铅为 0.000 1 g/L,去除率高达 99.99%。

6) 不溶阳极电积小结。采用氯化体系不溶阳极电积工艺进行镍提纯,在槽电流 20 000 ~ 25 000 A、槽电压 2.0 ~ 3.8 V、温度 50 ~ 85 ℃、电积新液 pH 值 1.0 ~ 3.0、电积新液含镍 60 ~ 90 g/L 的条件下,可生产纯度 99.99% 的电积镍。

[参考文献]

- [1] 符剑刚,王晖,凌天鹰,等.红土镍矿处理工艺研究现状与进展[J].铁合金,2009,40(3):16-22.
- [2] 马治卿.镍电解高杂原料的处理方法及生产应用[J].世界有色金属,2018(15):8-9.
- [3] MUIR D M, HO E. Process review and electrochemistry of nickel sulphides and nickel mattes in acidic sulphate and chloride media [J]. Mineral Processing and Extractive Metallurgy IMM Transactions section C, 2006, 115(2): 57-65.
- [4] 黄忠森,刘振华,吴筱锦.控制电位氯气浸出高冰镍动力学研究[J].有色金属工程,1992(1):65-69.
- [5] 杨显万,李敦飠,何葛平,等.高冰镍氯气浸出基础研究——浸出过程热力学[J].有色金属工程,1994(1):45-57.
- [6] 刘大星.溶剂萃取在钴镍精炼中的应用(上)[J].资源再生,2005(10):27-29.
- [7] 赵祥麟.氯化精炼工艺在金川湿法冶金中的应用前景[J].有色冶炼,1999,28(1):106-108.
- [8] 薛文颖,申勇峰,赵宪明,等.氯气浸出-电积工艺从铜渣中提取镍[J].有色金属,2008,60(1):77-79.
- [9] 包福毅,杨明德,方军,等.氯化浸出镍溶液净化全流程研究[J].有色金属工程,1995(1):28-36.
- [10] 汤玉莲.氯气浸出在金川一次合金与铜渣联合浸出中的应用[J].甘肃有色金属,1997(4):20-24.
- [11] 李之本.影响镍精矿除铜效率的物理化学过程[J].有色金属(冶炼部分),1985(3):34-39.
- [12] 吴新明,古国榜,程飞,等.活性硫化镍除铜(II)的机理研究[J].化工冶金,1995(4):297-301.
- [13] 梁新星,胡磊,欧阳全胜.铜钴矿研究进展及发展趋势[J].湖南有色金属,2014,30(3):42-45.
- [14] 李启厚,王娟,刘志宏.世界红土镍矿资源开发及其湿法冶金技术的进展[J].矿产保护与利用,2009(6):42-46.
- [15] MAKINO S,苑春.住友公司镍精炼厂 MCLE 工艺的生产实践[J].金川科技,2000(1):50-54.

- [16] 宋焕笔, 胡业藏. 用黄钾铁矾法从某铀矿浓酸浸出液中除铁的研究 [J]. 铀矿冶, 1997(1): 13-18.
- [17] 陈松, 安然, 李继洲. 镍精矿氯气浸出液净化除铁工艺 [J]. 中南工业大学学报, 2000, 31(5): 419-421.
- [18] 马荣骏. 热酸浸出针铁矿除铁湿法炼锌中萃取法回收铜 [J]. 湿法冶金, 1997(2): 155-158.
- [19] NIU X Y. Recovery of Co(II) and Ni(II) from hydrochloric acid solution of alloy scrap [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2008, 18(5): 1262-1268.
- [20] 周斌, 康思琦, 罗爱平. N235 萃取分离废旧镉镍电池中钴和镍的研究 [J]. 五邑大学学报(自然科学版), 2003, 17(2): 22-22.
- [21] 杨明德, 包福毅, 党广悦, 等. 离子交换净化除铅 [J]. 有色金属工程, 1995(1): 49-52.

Application of chloridizing refining in nickel-cobalt hydrometallurgy

Ji Yong-liang¹, Li Shu-xing¹, CHEN Sheng-li¹, LU Jian-bo¹, FANG Chun-juan²

(1. Nickel Smelter, Jinchuan Group Co. Ltd., Jinchang 737100, China;

2. Inspection & Test Center, Jinchuan Group Co. Ltd., Jinchang 737100, China)

Abstract: With the nickel concentrate from xxx company as raw material and by reference to the study results and production practice of the chloridizing refining process at home and abroad, the feasibility of adopting the chloridizing leaching-solvent extraction-electrowinning process to produce high-quality cathode nickel has been verified in a laboratory. The test results show that as the nickel concentrate is subjected to Cu replacement and precipitation by adding anode slime, followed by chlorine leaching, under the condition of preferable process parameters, the Cu replacement & precipitation rate is up to 99.8%, and during the chlorine leaching, the leaching rate of Ni, Cu, Fe and Cu reaches 96.02%, 100%, 100% and 63.33% respectively; as the solution after Cu replacement further goes through Fe removal by using hematite method, followed by N235-P204 combined extraction, under the condition of preferable process parameters, the Fe content in the solution after Fe removal is only 0.0031 g/L, the contents of ionic metal impurities, except Pb ion, in the raffinate can meet the requirement of the purified solution for electrowinning; the raffinate is further subject to Pb removal using the chlorine + nickel carbonate method, the solution after Pb removal contains Pb of 0.0001 g/L, under the condition of preferable electrowinning process parameters, cathode nickel with a purity of 99.99% can be produced.

Key words: nickel concentrate; chlorination system; chloridizing refining; high-quality cathode nickel; purification; Pb removal; N235-P204 solvent extraction; insoluble anode electrowinning

2021 年有色金属行业运行整体平稳

工信部日前发布了 2021 年有色金属行业运行情况。2021 年,有色金属行业克服疫情反复不利的影响,把握国内和国际市场复苏机遇,持续深化供给侧结构性改革,保障产业链供应链有效供给,加快推进传统产业智能化、绿色化、高端化,行业运行整体平稳。

产量平稳增长。据国家统计局数据,2021 年,十种有色金属产量 6454 万吨,同比增长 5.4%,两年平均增长 5.1%。

价格高位运行。据中国有色金属工业协会统计,2021 年,大宗有色金属价格持续高位运行,铜、铝、铅、锌现货均价分别为 68490 元/吨、18946 元/吨、15278 元/吨、22579 元/吨,同比上涨 40.5%、33.5%、3.4%、22.1%。

进出口金额大幅增长。据海关总署数据,2021 年,铜精矿进口 2340.4 万吨,同比增长 7.6%,进口金额 567.6 亿美元,同比增长 55.6%;未锻轧铜及铜材进口 552.9 万吨,同比下降 17.2%,进口金额 524.5 亿美元,同比增长 20.5%;未锻轧铝及铝材出口 561.9 万吨,同比增长 15.7%,出口金额 194.7 亿美元,同比增长 48.7%。

(资料来源:中国有色金属报)