

利用 RKEF 技术生产镍铁合金的工艺研究

习雪康 (广东世纪青山镍业有限公司, 广东 阳江 529500)

摘要: RKEF 技术应用在镍铁合金生产项目中, 既能优化冶炼效果, 又能提升生产力。在此之上, 本文简要分析了 RKEF 技术的应用流程, 分别从回转窑还原烘焙技术、矿热炉冶炼技术、镍铁合金精炼技术、镍铁烟气处理技术等方面展开论述, 并对工艺优化措施进行分析, 旨在提高镍铁合金的生产效益, 为镍业领域的长远发展指明方向。

关键词: RKEF 技术; 镍铁合金; 烟气处理

0 引言

RKEF 技术实则指的是回转窑联合矿热炉技术。在红土镍矿生产过程中, 此项技术的充分运用, 可对红土镍矿冶炼效益的稳步提高产生促进作用, 借此满足当前的镍铁合金制造需求。对此, 技术人员需在冶炼作业中扩大 RKEF 技术应用范围, 结合红土镍矿的生产特征, 制定科学的冶炼计划, 便于红土镍矿实现高度开采, 促进镍业行业兴旺发展。

1 RKEF 技术的应用流程

RKEF 技术作为红土镍矿开采冶炼重要技术, 应当引起镍业企业密切关注。在利用 RKEF 技术过程中, 分别从煤原料、红土镍矿两个方向进行有效处理。其中在煤原料操作部分, 需先行将煤原料进行制备。在实践操作中煤粉的作用实则是借助燃烧嘴对矿产原料进行干燥、烘烧处理, 为后续红土镍矿的成功开采给予保障。在此环节还需要利用除尘系统, 对其中产生的粉尘进行回收。而在 RKEF 技术辅助下, 红土镍矿直接进入干燥窑中, 对其进行除湿处理。一般情况下, 红土镍矿中至少含有 35% 左右的水分。其中相关人员还需要注重矿产水分的合理去除, 对其实施干燥处理, 使之形成干燥镍矿。而后进入配料站中, 经过回转窑的焙烧还原操作, 过程中产生的细小粉尘颗粒与烟气一同进入除尘系统中, 收集的矿物粉尘直接与湿矿混合制粒再进入干燥系统, 自此在闭环冶炼中提高红土镍矿的金属回收率。在 RKEF 红土镍矿冶炼技术的应用中, 较为重要的环节应利用回转窑和矿热炉产生的高温烟气对红土镍矿进行干燥、镍矿与还原剂的配料环节控制着最终产品的品质、回转窑焙烧过程中焙烧温度的控制, 利用最少的热量对干矿进行焙烧并达到较好的预还原度、矿热炉冶炼过程中对镍矿中的氧化金属进行选择性还原。干燥过程中, 需将原本水分含量在 35% 以上的红土镍矿, 干燥成水分含量在 22% 左右的干矿, 湿度过大造成后续配料工序粘仓, 过于干燥则造成干矿输送过程扬尘大, 恶化工作环境。在配料工序中, 实现镍矿、还原剂按照工艺成分要求进行准确配料, 镍矿成分以及还原剂配入量的变化直接影响镍铁产品质量。回转窑焙烧工序主要作用是去除干矿中的剩余水分 (物理水、结晶水、结构水), 同时

因回转窑内高温及还原性气氛条件, 可以将镍矿中的氧化镍、氧化铁等金属氧化物起到一定的预还原作用。矿热炉选择性还原冶炼过程中对渣型、渣温、操作电阻、电流以及电压的使用等为该工序的主要工艺参数, 也是 RKEF 冶炼工艺中的核心环节。搭配着除尘器等粉尘回收装置, 保持 RKEF 技术的低能耗环保特性。据此, 相关人员在利用 RKEF 技术过程中, 需严格管理红土镍矿的生产流程, 继而达成高质量高效生产目标。

2 利用 RKEF 技术生产镍铁合金的工艺要点

2.1 回转窑还原烘焙技术

红土镍矿要想在 RKEF 技术作用下顺利生产镍铁合金, 应先行利用回转窑烘焙技术, 对其进行还原处理。考虑到红土镍矿中含有大量水分, 会影响烘焙能耗。因此, 可以从节能视角加强水分的去除。而后进入回转窑工序中。回转窑一般工作原理图如图 1 所示。

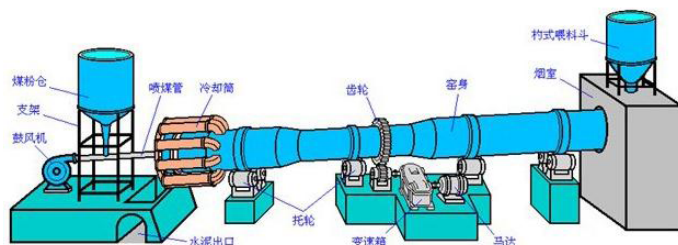


图 1 回转窑

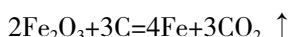
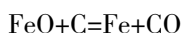
首先, 在红土镍矿中生产镍铁合金时, 需要先行针对矿产实施磨细处理, 而后与煤粉等原料进行混合, 并进入到回转窑内; 其次, 红土镍矿等混合料于回转窑内部发生燃烧反应, 即在煤粉燃烧中生成热气流。此时温度的变化会对红土镍矿提供干燥脱水条件, 自此将其烘焙成熔块。实际上, 在回转窑作用下, 所设定的烘焙温度保持在 1100℃ 范围内, 而后经过烘焙后形成的熔块温度则在 800℃ 左右。至于形成的烟气温度的变化, 则低于 400℃。由于红土镍矿含有水分, 故而在烘焙中需要实施升温操作, 在 700℃ 环境下持续升温, 将会发生还原反应, 借此保证红土镍矿中除镍铁成分外的钴氧化物也能被还原; 最后, 由于镍铁合金的生产需要镍铁金属处于半熔状态。所以, 在熔块生成中, 还应当继续对其进行磨细处理, 继而从中确保径长 3mm 的颗粒物顺利的

从矿产中脱离出来。一般而言,红土镍矿中的镍含量占据 22%,而磷硫成分占比 0.7%,碳含量为 0.1%。在回转窑烘焙中,若针对红土镍矿设计预还原条件,可为后续生产工序的进行给予保障。虽然在镍铁合金生产环节含有磷硫等有害成分。但后续冶炼中会对其进行脱硫脱磷设计,故而此处可忽略磷硫成分的残留。

正如在广东世纪青山镍业企业中,在镍铁合金项目中,专门修建 36MWA 矿热炉,并且针对原有的脱硫脱硝工艺实施有效改造,便于红土镍矿在开采冶炼中,能够有效去除杂质,为企业未来的产品研发以及管理事项提供新思路。

2.2 矿热炉冶炼技术

在 RKEF 技术下生产镍铁合金,对于红土镍矿的开采冶炼,还需要采用矿热炉冶炼技术。矿热炉作为镍铁合金生产中较为主要的部分,它能够红土镍矿提供还原条件,且借助电能实现电压的科学调节,便于矿产资源能够直接被还原成金属材料。矿热炉整体上包含矩形、圆形结构。对于不同类型的选择可根据镍业企业的空间与生产需求加以确定。在矿热炉供电后将进入高压运行状态,在高压作用下,红土镍矿中的碳成分也可充当还原剂,促使镍铁化合物得以还原。只有将原本富含在矿产中的镍铁成分冶炼成金属成分,才能保证镍铁合金产品的顺利生产。其中红土镍矿中的 FeO 、 Fe_2O_3 、 NiS 在与碳粉混合后将发生还原反应。



在还原反应中产生的 CO 成分本身较少。为了避免出现烟气损耗外问题,还可在镍铁合金生产中,对烟气进行回收利用。针对矿热炉中的冶炼作业,还需考虑在其炉渣回收时是否会出现堵塞情况,以免影响后期的回收效率。通常在炉渣中富含的成分多以氧化镍等氧化物为主。此类炉渣属于无害产物,可将其运输到渣场充当建材。而其余含有硫磷成分的炉渣则需要实施脱硫脱磷步骤,以免在生产镍铁合金阶段,对周边环境带来危害。

例如在广东世纪青山镍业企业中,对于红土镍矿冶炼工艺专门实施了有效改造,经由 RKEF 技术的辅助,对传统冶炼工艺提出了优化对策,继而为企业镍铁合金产量的提高带来重大保障。其他镍业企业也应当意识到 RKEF 技术的应用优势,充分使用矿热炉针对红土镍矿实施高效冶炼,满足企业生产需求。

2.3 镍铁合金精炼技术

在冶金与化工工程中,合金产品的冶炼一直都是较为关键的工作内容。而在红土镍矿中生产镍铁合金,还需要联合 RKEF 技术对矿热炉中形成的粗制产品进行精炼,进而符合镍铁合金产品的应用要求。为了提升镍铁合金的生产质量,需在矿热炉冶炼作业后,对其实施脱硫脱磷操作。例如相关人员可凭借传送带,将苏打灰材料运送到镍铁水中,按照 15kg/t 的掺入量实施脱硫处理。

通常在苏打灰辅助下,粗制镍铁产品中的硫成分含量将逐渐下降为 0.08% 左右,从而达到合金产品的冶炼标准。

另外,还可对镍铁水进行氧气供应操作,在氧气作用下,其中含有的硅成分会被氧化成氧化硅,而后随着炉渣成分的回收,降低镍铁水的含硅量。对于硅含量的去除可以为其提供酸性反应条件。伴随着酸性条件的化学反应,镍铁水将出现升温现象,由此转变镍铁水的状态,使其在半熔时形成镍铁合金。同时,还可为其实施碱性条件的设计,即镍铁水在酸性反应下还可通过石灰成分打造碱性反应环境。对于石灰成分的应用,实则是为了实现脱磷处理。与上述提及的脱磷原理相似,都是为了去除镍铁水中的有害成分。在镍业企业生产镍铁合金阶段。要想提高生产效率,还可在 RKEF 技术实际应用中联合冶炼装置,直接将半熔镍铁水制成镍铁合金,这样可促使企业获得更高的利润率。合金产品作为能够应用在汽车零部件制造等多个领域的产品,它的成功营销与推广,既能有效改善镍业行业的综合效益,又能节省一定成本,体现出环保特性,由此为我国镍业的良性发展给予保障。

2.4 镍铁烟气处理技术

在镍铁合金生产中,虽然产品质量及其产量能够直接影响企业效益,但为了践行可持续发展目标,各企业在利用 RKEF 技术的同时还需对烟气处理环节予以优化。通过改造烟气处理技术,促使整个项目展现出生态价值。在烟气处理技术优化阶段,具体指的是矿热炉冶炼工序的烟气回收模块。对于经过矿热炉冶炼后形成的煤气,需对其进行循环利用。由于煤气的主要成分为 CO_2 、 H_2 以及 CO 等,故而有着较强的开发价值。

例如在四川宏达铝铜企业中,每生产 1t 铁将产生 1000 m^3 烟气,其中不同成分占比分别为 10%、6%、75%,而且还包含烷烃气体。对于产生的大量烟气,因其属于 600 $^{\circ}\text{C}$ 高温气体,故而它的热能价值较大。相关人员可实现热量的有效回收。一方面,可将其连接到 RKEF 技术流程的除尘系统中,作为除尘设备去除粉尘的动力。在热能转换为电能的环境下,除尘系统可实现节能式除尘。另一方面,对于降温后的氧气,可将其回收到储气柜中,用于未来烟气利用事项上。整体回收率可超过 80%。然而,储气柜本身占地空间较大,造成企业承担的土地扩建成本有所加大。若从经济性角度探索烟气处理技术应用效益。假设每 1 m^3 矿热炉产生 2000Kcal 热量,则与天然气的 8000cal/3 元/ m^3 进行换算,则能够每 1 m^3 节省 1 元,继而达到省本环保目的。

此外还可以通过矿热炉烟气处理技术,完成整个烟气处理的过程。具体而言,在燃气锅炉发电过程中,烟气将会先后经过多道净化工序,主要包括重力除尘、布袋除尘,完成烟气净化除尘后,则会相应完成烟气输送,大量烟气将会被直接输送到储气柜当中,在储气柜的作用下,不仅能够完成稳压,同时还可以实现缓冲的作用。

效果, 稳压缓冲过后, 则可以相应进行燃烧, 燃气锅炉燃烧的同时, 将会相应产生大量蒸汽, 这些蒸汽可用于支持汽轮机的发电工作, 相应带动烟气向电能的转化。燃气锅炉发电方式具有较好的应用效果, 整体费用投入低, 但是由于长时期的燃气锅炉处理, 也很容易造成热量浪费问题。还可以将燃气锅炉和余热锅炉整合到一起, 形成联合发电的作用, 促使矿热炉废气能够在升压泵的作用下, 直接进入燃气轮机, 相应实现燃烧发电的作用效果, 燃烧发电的同时, 也会生成大量尾气, 这些尾气可以再次进入余热锅炉, 带动汽轮机发电, 全面提高能源利用率。烟气余热锅炉一般应用流程如图 2 所示。需要注意的是, 采用 RKEF 技术进行镍铁合金生产过程中, 将会耗费大量热量, 在进行烟气处理时, 也可以采用矿热炉烟气净化收集储存的方式, 完成能源利用和烟气回收。余热锅炉应用效果佳, 矿热炉温度高, 烟气最高能够达到 600°C , 这些高温蒸汽可以直接作用于发电, 还可以将其用于除尘风机的应用, 从而达成节电的作用效果。整体技术使用简单方便, 也很少会受到场地空间的限制, 烟气回收率最高能够达到 80%。

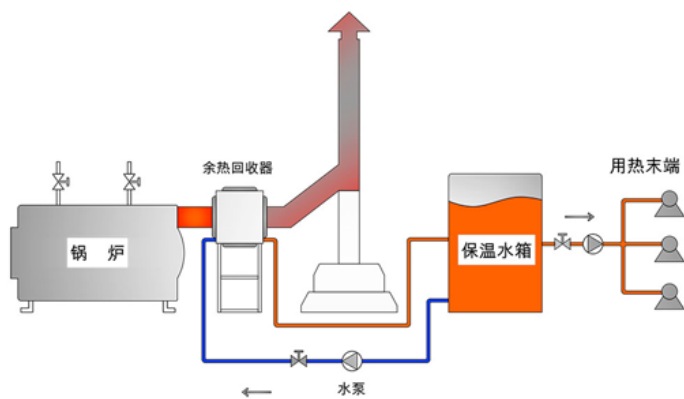


图 2 余热锅炉

3 工艺优化措施

3.1 加强烟气回收

镍作为一种重要的贵金属类别, 不仅自身抗腐蚀、耐氧化, 同时在机械强度和延展性方面都具有显著优势, 我国镍总体含量有限, 大多都处于品位较低的镍, 在冶炼过程中应用新型 RKEF 技术, 在现有的镍铁合金生产流程之余, 还需要着力加强工艺技术的优化和改进, 实现能源的充分利用, 切实减少能源消耗, 实现经济效益和社会效益的共同提高。在日常制备过程中, 将会不可避免地形成一些烟气, 这些烟气如果不能及时加以处理, 将会对社会环境造成污染和破坏。在此情况下, 则应当加强烟气回收和利用, 通过布置干燥窑, 促使干燥窑和回转窑能够相应发生作用, 直接处于电炉一旁, 形成良好的作用效果。也正是通过布置干燥窑的方式, 能够在一定程度上缩短烟气输送距离, 切实减轻烟道积灰情况, 还能够相应减少费用成本的投入。对于烟气中形成的一些中粗颗粒, 则可以直接进入到干燥窑内部, 通过干燥

红土镍矿的处理作业, 相应完成颗粒沉降, 实现烟尘含量的降低, 达成节能环保的作用效果。

3.2 运用自动化控制系统

自动化控制系统在镍铁合金冶炼过程中也是一种良好的应用方式, 基于技术手段的应用, 将 PLC、DCS 等多种自动系统整合到一起, 形成冶炼过程的实时检测和动态分析, 切实保证镍铁合金生产过程稳定可靠。通常而言, 自动化控制系统涉及内容多元, 不仅含有包括电炉冶炼、煤粉制备, 同时还有高压开关站、烟气收尘等多种功能。

3.3 注重环保治理

无论是镍铁合金冶炼生产, 还是其他产品制备, 环境治理工作始终是重点内容。利用 RKEF 技术生产镍铁合金则需要相应进行烟尘治理、水处理、脱硫处理、炉渣处理等多道工序, 切实降低冶炼能源耗费, 实现成本降低、能源高效利用的作用效果。对于烟尘治理, 则可以采用静电除尘等多种方式, 合理把控含尘浓度, 促使除尘器出口烟气含尘浓度能够保持在 $50\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以内, 这些经过处理的粉尘, 也可以直接输送到粉尘仓内, 用于后续原料冶炼。对于水处理, 则需要重点关注冷却用水的处理问题, 还可以相应设置循环水系统。对于脱硫处理, 运用 RKEF 技术生产镍铁合金的过程中, 将会在燃料煤、还原煤的作用下, 生成大量 SO_2 , 为了实现脱硫的作用效果, 则可以通过使用石灰石-石膏湿法脱硫工艺, 促使烟气排放能够达成效果。对于炉渣处理, 则可以采用水淬处理的方式。

4 结论

综上所述, 镍铁合金作为零件生产中的重要材料, 往往有着广阔的应用范围。为了促进镍铁合金的生产, 应在冶炼阶段充分运用 RKEF 技术, 经由回转窑还原烘焙、矿热炉冶炼、镍铁合金精炼、镍铁烟气处理等工艺技术, 确保 RKEF 技术在镍铁合金生产中发挥出显著效用, 为我国合金产品高质量制造带来助力。

参考文献:

- [1] 潘料庭, 薛正良, 黄茂琨. RKEF 工艺技术改革的几点思考 [J]. 铁合金, 2021, 52(04): 9-12.
- [2] 马健. 利用 RKEF 法镍铁不锈钢一体化冶炼废渣制备矿物掺合料的开发研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2020.
- [3] 黄浩才. 回转窑-矿热炉 (RKEF) 冶炼镍铁工艺的烟气处理技术探讨 [J]. 科技风, 2019(19): 156.
- [4] 冉登高. 采用 RKEF 技术生产镍铁合金的工艺 [J]. 中国科技信息, 2017(19): 2.
- [5] 费西. 红土镍矿采用高架短流程节能新型 RKEF 工艺生产镍铁合金的技术实践 [J]. 中国高新技术企业, 2014(30): 3.
- [6] 韩涛. RKEF 工艺技术生产镍铁的方案对比 [C]//2017 镍产业链峰会暨 APOL 年会, 2017.