

ЛИТЕРАТУРА

1. Способ переработки сидеритовых руд (варианты). Колокольников В.М., Клочковский С.П., Смирнов А.Н. Патент 2536618 РФ, 2014.
2. Разработка физико-химических основ комплексного использования высокомагнезиальных сидеритов / Клочковский С.П., Савченко И.А., Смирнов А.Н. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. № 1 (49). С. 26-31.

КОМПЛЕКСНЫЕ ПОДХОДЫ К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОКИСЛЕННЫХ НИКЕЛЕВЫХ РУД

**Садыхов Г.Б., Анисонян К.Г., Гончаров К.В.,
Заблоцкая Ю.В., Хасанов М.Ш., Олюнина Т.В.**

*Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова
Российской академии наук, 119991, Москва, Ленинский проспект, 49,
e-mail: sadykhov@imet.ac.ru*

Ключевые слова: окисленные никелевые руды, шахтная плавка, электроплавка, доменная плавка, кричный процесс, автоклавная технология, аммиачно-карбонатная технология.

В окисленных никелевых рудах (ОНР) сосредоточено около 70% мировых запасов никеля. Эти руды разделяют на магнезиальные силикатные под названием сапролиты и железистые латеритные руды. На долю силикатных приходится около 25-30% ОНР. Остальное состоит из железистых лимонитовых и гематитовых руд, отличающихся относительно низким содержанием Ni и повышенным содержанием Co. 70% Ni сконцентрировано в железистых рудах, а 30% в силикатных.

Силикатные никелевые руды перерабатываются пирометаллургическими, а железистые – гидрометаллургическими способами. Пирометаллургические способы объединяют шахтную плавку руды на штейн, электроплавку после предварительного восстановительного обжига руды во вращающихся трубчатых печах с получением ферроникеля, доменную плавку с получением никелевого чугуна, а также кричного процесса – высокотемпературного восстановительного обжига руды во вращающихся печах с получением черного ферроникеля, содержащего от 6 до 22% Ni. В шахтной и доменной плавках используется дорогостоящий кокс, электроплавка характеризуется большим расходом электроэнергии, вследствие чего существенно увеличивается себестоимость получаемых продуктов. Эти отрицательные факторы могут быть устранены в кричном процессе, в котором энергетические затраты в основном связаны с использованием недорогого угля. Однако восстановительный обжиг силикатных руд во вращающихся печах сопряжен определенными трудностями, связанными с подготовкой шихты, тепловым режи-

мом печи, шлаковым кольцеобразованием в печи на границе перехода материала из твердого в полужидкое вязкое состояния и др. По этим причинам кричный процесс не получил развития. В течение долгих лет он успешно применяется только на одном заводе в Японии. В последние годы интенсивные работы по использованию кричного процесса ведутся в Китае.

В пирометаллургических способах повышение содержания железа в руде отрицательно влияет на технико-экономические показатели процесса и на качество получаемого продукта. В шахтной плавке это приводит к увеличению расхода флюсов и кокса, а в электроплавке и кричном процессе сопряжено со снижением содержания Ni в ферроникеле.

Извлечение Ni и Co из железистых руд в промышленности осуществляется в основном двумя технологиями: автоклавным серноокислотным выщелачиванием и аммиачно-карбонатным выщелачиванием после предварительного восстановительного обжига руды. Для промышленного применения разработаны и предложены еще две серноокислотные технологии: атмосферное и кучное выщелачивания. В серноокислотных технологиях извлечение Ni и Co не является селективным, при выщелачивании происходит полное разложение железистых рудных минералов, что требует большого расхода кислоты (до 500-600 кг на 1 т руды). При нейтрализации это приводит к образованию большого объема железистых гипсовых отходов (около 2 т на 1 т руды), что создает серьезную экологическую нагрузку на окружающую среду. Осуществление процесса в автоклавах позволяет несколько уменьшить расход кислоты (до 230-300 кг/т), однако при этом наряду с использованием дорогостоящего оборудования возникают другие проблемы, которые отрицательно влияют на технико-экономические показатели процесса.

Принцип селективного извлечения Ni и Co заложен в основу аммиачно-карбонатной технологии. При предварительном восстановительном обжиге руды происходит только металлизация Ni и Co, которые затем растворяются при аммиачно-карбонатном выщелачивании. Однако при этом достигается очень низкое извлечение Ni (60-70%) и особенно Co (20-40%), что связано с характерными особенностями процесса аммиачного выщелачивания. Эта

технология допускает присутствие в руде до 30% сапролита. Однако из-за разных условий восстановления Ni и Co в железистых и силикатных рудах присутствие сапролита отрицательно влияет на показатели процесса восстановительного обжига. Для достижения максимальной степени восстановления Ni и Co требуется присутствие в восстановленной руде до 2,0-2,5% Fe_{мет}. При аммиачном выщелачивании с подачей воздуха Fe_{мет} растворяясь переходит в раствор, затем в виде гидроксида железа выделяется в осадок. Это сопровождается соосаждением металлов, что приводит к существенному снижению степени их извлечения. Указанные противоречия не позволяют улучшить показатели аммиачно-карбонатной технологии. Помимо этого, в этой технологии для извлечения Ni аммиачно-карбонатные растворы подвергаются дистилляции. Возгоняемые аммиак и углекислый газ поглощаются водой и в виде рабочего раствора возвращаются в процесс выщелачивания. Процесс дистилляции, во-первых, существенно увеличивает энергетические расходы, и, во-вторых, создает дополнительную нагрузку на окружающую среду.

Совокупность присущих промышленным технологиям отрицательных факторов при низких мировых ценах никеля сильно снижает эффективность как пирометаллургических так и гидрометаллургических способов переработки ОНР. По этой причине в последнее время во многих предприятиях различных стран производство Ni и Co было законсервировано.

Учитывая актуальность проблемы разработаны комплексные подходы для улучшения технико-экономических показателей извлечения Ni и Co из ОНР пиро- и гидрометаллургическими способами. Для силикатных руд разработан усовершенствованный вариант кричного процесса, для железистых (лимонитовых) никелевых руд разрабатывается новый гидрометаллургический процесс по схеме «восстановительный обжиг – выщелачивание». Высокожелезистые гематитовые руды («красная шапка» месторождения), могут быть эффективно переработаны высокотемпературным восстановительным обжигом в карусельных печах для производства никелевого чугуна (2,0-2,5% Ni) и глинозёмистого шлака (до 35-40% Al₂O₃), пригодного использования в качестве флюса в кричном процессе.