УДК 669.23

В.Н.КОВАЛЕВ, *аспирант, kafmetall@mail.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

V.N.KOVALEV, *post-graduate student, kafmetall@mail.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ПЛАТИНОВЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ СУЛЬФИДНЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД

Проведен обзор перспективных техногенных источников платиновых металлов и современных технологий их переработки. Обоснована необходимость внедрения новых методов вовлечения в производство техногенного платиносодержащего сырья.

Ключевые слова: техногенные отходы, платиновые металлы, хвосты обогащения, «лежалый» пирротиновый концентрат, металлургические пыли.

MODERN TECHNOLOGY CONCENTRATION PLATINUM METALS FROM INDUSTRIAL WASTE BY PROCESSING OF SULPHIDE COPPER-NICKEL ORES

A review of prospective industrial sources of platinum metals and modern technologies to process them has been done. The need for introducing new methods of involvement in the production of man-made platinum-containing materials has been substantiated.

***Key words*:** industrial waste, platinum metals, tailings, «stale» pyrrhotite concentrate, metallurgical dust.

Металлы платиновой группы (МПГ) относятся к числу редких, содержание их в земной коре очень невелико, добыча обходится дорого, а на мировом рынке их цена часто выше цены на золото. Основу отечественной сырьевой базы МПГ составляют сульфидные медно-никелевые руды Норильского и Кольского промышленных регионов, разработку которых ведет ОАО «ГМК «Норильский никель» (ГМК «НН»).

Хранилища техногенных отходов ГМК «НН» являются крупнейшими техногенными месторождениями МПГ в мире, содержащими более 300 млн т сухого сырья [6]. Наиболее перспективными для вовлечения в переработку являются отвальные хвосты обогащения, «лежалые» пирротиновые концентраты (ЛПК) [4] и заскладированные пыли систем мокрой газоочистки. Способы извлечения МПГ из техногенных отходов определяются необходимостью добиться максимально полного и экономически целесообразного извлечения ценных компонентов и выбираются на основе химико-минералогических особенностей сырья.

Переработка хвостов обогащения. Основные потери ПМ ГМК «НН» связаны с отвальными хвостами обогатительных фабрик. Крупнейшим из норильских норильских техногенных месторождений является хвостохранилище Норильской обогатительной фабрики № 1 (НОФ) площадью 6,2 км^2, материал которого представлен однородной массой, содержащей от 0,2 до 5,5 г/т благородных металлов, в первую очередь платиноидов.

Наиболее актуальной проблемой вовлечения в производство заскладированных хвостов обогатительных фабрик является создание технологии механического обогащения, способной обеспечить получение качественного концентрата ценных компонентов, пригодного для дальнейшей переработки известными методами. Так, рядом ав-

торов [4] предлагается проводить гравитационное обогащение лежалых хвостов НОФ на центробежных сепараторах, что позволяет получить отвальные хвосты и гравитационный концентрат при извлечении в него 64,66 % Pt, 55,81 % Pd, 44 % Rh и 28 % Ni. Проведенные технологические испытания показали возможность получения из лежалых хвостов платиноидного концентрата, содержащего МПГ в количестве до 20 кг/т, и пригодного для введения в технологическую цепь ГМК «НН».

В качестве альтернативы предложен также вариант обогатительной технологии концентрирования МПГ из хвостов НОФ, в которой на завершающей стадии магнитной сепарацией из пульпы выделяют магнитные концентраты (МК), извлечение суммы Pt, Pd, Rh и Au в которые колеблется в пределах от 20 до 40 %. Для дальнейшей переработки получаемых МК предложена плавка на штейн в присутствии древесного угля [7].

Перспективным вариантом вовлечения в переработку заскладированных отвальных хвостов ГМК «НН» является проект, разработанный ЗАО «Механобр Инжиниринг», предусматривающий отработку хвостов гравитационным сепарацией на концентраторах «Knelson». По данным испытаний величина извлечения платины из песковой фракции текущих хвостов обогащения составляет 40 % при выходе гравиоконцентрата около 0,4 %. Предусматривается гравиоконцентрат с содержанием благородных металлов 4 кг/т и более перерабатывать в металлургическом цехе, а ниже 4 кг/т – в составе шихты на пирометаллургических переделах ГМК «НН».

Переработка ЛПК. Пирротинохранилища образовались за более чем 40 лет складирования никель-пирротиновых концентратов до внедрения технологии их переработки методом автоклавного окислительного выщелачивания. Запасы ЛПК насчитывают около 10 млн т с содержанием до 10 г/т и более МПГ, 0,3 г/т Au, более 10 г/т Ag. Благородные металлы в ЛПК рассеяны в сложной и тонкой композиции сульфидных минералов в виде вкраплений, что делает малоэффективными механические методы их отделения от породы путем применения существующих технологий [5].

В ГМК «НН» с 2000 г. ЛПК перерабатывается с помощью флотации, которой предшествуют гравитационное обогащение, классификация и измельчение гравиконцентрата в мельницах МШЦ для раскрытия слежавшихся зерен. Готовый концентрат ЛПК объединяется с общим никелевым концентратом Норильской обогатительной фабрики [3]. Недостатком этой технологии является то, что она приводит к обеднению общего никелевого концентрата и увеличению удельных затрат энергии при дальнейшей пирометаллургической переработке материала, так как ЛПК – это богатый по железу и бедный по никелю продукт [2]. Помимо этого, с июня 2009 г. началось вовлечение в переработку ЛПК по автоклавно-окислительной технологии переработки пирротиновых концентратов. ЛПК в количестве 25-30 % (масс.) подшихтовывается к пирротиновым концентратам Толнахской обогатительной фабрики для их совместной переработки на Металлургическом заводе. Недостатком этого способа является то, что потери МПГ при переработке пирротиновых концентратов по существующей технологии составляют до 60 %.

Для эффективной переработки ЛПК разработан ряд современных автоклавных гидрометаллургических схем. Одной из наиболее перспективных является ангидридная автоклавная технология [5] по которой предлагается проводить селективное выщелачивание пирротина под давлением SO_2. В этих условиях происходит разложение сульфидов железа на элементарную серу и сульфат Fe (II) с последующим отделением железистого раствора от сульфидов цветных металлов и серы. При этом как платиновые, так и цветные металлы практически не переходят в раствор: родий, иридий и рутений в нем не обнаруживаются, извлечение платины и палладия менее 1 %, золота – менее 5 %. Получаемый сульфидный концентрат благородных и цветных металлов пригоден для дальнейшей переработки в металлургическом цехе ГМК «НН».

Отдельного внимания при рассмотрении перспективных технологических схем, пригодных для переработки ЛПК, заслуживает вариант интегрированной технологии, совмещающей автоклавное окислительное

выщелачивание пирротиновых концентратов и сульфатную гидрометаллургическую технологию переработки медно-никелевого файнштейна [1]. По этой схеме наряду с получением богатого сульфидного концентрата (10-11 % Ni) утилизируются железистый кек и натриевые стоки, образующиеся в технологии переработки файнштейна. В процессе выщелачивания пирротинового концентрата образуется железистый осадок в форме хорошо раскристаллизованного ярозита, что существенно снижает потери МПГ с отвальными хвостами автоклавного окислительного выщелачивания, доходящие в действующей технологии до 60 %.

Другим вариантом комбинированной технологической схемы переработки пирротиновых концентратов и ЛПК на базе процесса автоклавного окислительного выщелачивания является совмещение с ним технологий переработки штейнов обеднительных электропечей Норильского Металлургического Завода и медных концентратов, выделяемых при флотационном разделении медленно охлажденных медно-никелевых файнштейнов [1]. Существенными достоинствами этой схемы являются возможность получения высококачественного медного концентрата («суперконцентрата»), содержащего до 75 % меди, и существенное повышение целевого извлечения платиновых металлов и кобальта.

Оригинальным вариантом вовлечения в переработку ЛПК является технология бактериального выщелачивания [2], основанная на применении хемолитотрофных микроорганизмов. Выщелачивание ЛПК предлагается проводить бактериальной массой, предварительно адаптированной к химико-минера логическому составу продукта. Предполагается применение двухстадийной схемы выщелачивания с получением селективных растворов с повышенной концентрацией никеля и меди. На первой стадии концентрируется основное количество меди, а затем после проведения 2-й стадии получается раствор, в котором концентрируется основная часть никеля. При этом наблюдается увеличение степени концентрирования МПГ в кеке выщелачивания на 67 %. Кроме того отмечается, что находящиеся в ЛПК минералы и интерметаллические соединения, содержащие МПГ, вскрываются и их извлечение с помощью гравитационных методов обогащения значительно упрощается.

Переработка отвальных полупродуктов металлургических переделов. Перспективными источниками благородных и цветных металлов являются пыли систем сухой и мокрой газоочистки обжиговых и плавильных печей, накопленные в виде донных остатков прудов-накопителей и хвостов ГМК «НН». Сегодня они практически не вовлекаются в переработку, что приводит к безвозвратному техногенному рассеянию благородных металлов. Исследования, направленные на создание технологии концентрирования МПГ из отвальных полупродуктов пирометаллургических переделов ГМК «НН»; осуществляются на кафедре металлургии цветных металлов Санкт-Петербургского горного института [8].

Согласно результатам определения химического состава пробы донных осадков содержат суммарно до 20 % Cu; Ni; Co и до 100 г/т Au, Ag и МПГ. Пробы имеют крайне тонкодисперсный характер – 85 % материала представлено крупностью менее 44 мкм. Для исследования минералогического состава проб проведены гранулометрический анализ с выделением 6 классов крупности; изготовление искусственных полированных шлифов из материала каждой фракции и изучение полированных шлифов с использованием микроскопа Oxioplan фирмы Opton, микрорентгеноспектральных анализаторов CamScan с EDS и системой Link Isis (качественный анализ) и MS-46 фирмы Cameca (количественный анализ рудных фаз).

Донные осадки содержат малоразмерные корольки шлака, штейна, металлической фазы Fe-Cu-Ni состава, а также промышленные сульфиды типа хизлевудита, халькопирита и пирротина. Концентрация сульфидизированной фазы в техногенном материале составляет около 10-15 %, что определяет принципиальную возможность коллектирования МПГ сочетанием методов механического обогащения. С целью концентрирования ценных компонентов опробованы гравитация; сухая магнитная сепарация (с применением барабанного электромагнитного сепаратора);

мокрая магнитная сепарация (с использованием трубки Девиса); флотоэкстрация и пенная флотация в кислой и щелочной средах. Предварительные результаты свидетельствуют, что сочетание методов гравитационного и флотоэкстракционного обогащения позволяет обеспечить заметное повышение содержания МПГ, золота и серебра (в 2-4 раза) в концентрате при его незначительном выходе.

Для дополнительного концентрирования МПГ может быть использована технология, включающая электроплавку на платиносодержащий штейн и низкотемпературную жидкофазную сульфатизацию, учитывая значительный опыт отечественных предприятий по использованию сульфатизации для удаления цветных металлов из шламов электролиза меди и никеля.

Согласно результатам исследований, проведение сульфатизации штейна не менее 4-6 ч при температуре 200 °С обеспечивает практически полное удаление меди, никеля, кобальта и железа в сернокислый раствор: Cu-99,9 %, Ni-98,6 %, Co-98,7 %, Fe-98,8 %. Заметного перехода в раствор платиновых металлов в этих условиях не зафиксировано. Прокаливание на воздухе (700 °С, 8 ч) кеков сульфатизации позволяет удалить остатки серы и селена, а так же получить богатые платинометалльные концентраты. Суммарное содержание МПГ в богатом платинометальном концентрате достигает 41,68 % [8].

В России имеется достаточное количество оригинальных и эффективных решений по переработке техногенных платиносодержащих материалов, но их реализация требует тщательного предварительного технико-экономического анализа на базе конкретных исследований, приближенных по масштабу и организации к полу- и опытно-промышленным условиям. Отработка техногенных месторождений МПГ на основе современных технологий может дать существенный экономический эффект и заметно улучшить экологическую обстановку в северных регионах страны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоклавная гидрометаллургия никель-пирротиновых концентратов – ключ к комплексному решению экологических и технологических проблем ЗФ ГМК «Норильский никель» / М.Н.Нафталь, М.Б.Шур, И.И.Асанова и др. // Цветные металлы. 2005. № 10. С.81-90.

2. *Брусничкина-Кириллова Л.Ю.* Исследование процесса бактериального выщелачивания техногенных отходов норильского обогатительного производства / Л.Ю.Брусничкина-Кириллова, Л.А.Большаков // Цветные металлы. 2009. № 8. С. 72-74.

3. Вовлечение в переработку сырья техногенного происхождения / Н.Г.Кайтмазов, Б.С.Пыхтин, В.Б.Фомичев и др. // Цветные металлы. 2001. № 6. С.41-42.

4. *Додин Д.А.* Суперкрупные техногенные месторождения платиновых металлов / Д.А.Додин, В.М.Изоитко // Обогащение руд. 2006. № 6. С. 19-23.

5. *Нафталь М.Н.* Платиносодержащие пирротиновые концентраты Норильска – новый взгляд на проблему комплексной переработки / М.Н.Нафталь, Р.Д.Шестакова // Цветные металлы. 2001. № 6. С. 43-48.

6. *Сенютина А.Б.* Экономическое обоснование разработки техногенных месторождений, содержащих металлы платиновой группы // Изв. вузов. Геология и разведка. 2006. № 6. С. 70-73.

7. *Федосеев И.В.* Концентрирование платиновых металлов из хвостов Норильской обогатительной фабрики с помощью магнитной сепарации // Цветные металлы. 2006. № 3. С. 39-40.

8. *Kovalev V.N.* State-of-the-art techniques of recovery platinum metals from the scrap of copper-nickel production / Challenges and solutions in Mineral Industry // Freiberg, 2009. P. 187-189.

REFERENCES

1. Autoclave hydrometallurgy of nickel-pyrrhotite concentrates – the key to solving the complex environmental and technological challenges of PD MMP «Norilsk Nickel» / M.N.Naftal, M.B.Shur, I.I.Asanova // Non-ferrous metals. Special Issue. 2005. № 10. P. 81-90.

2. *Brusnichkina-Kirillova L.J.* The study of bacterial leaching of Norilsk industrial waste processing industry / L.J.Brusnichkina-Kirillova, L.A.Bolshakov // Nonferrous metals. 2009. № 8. P.72-74.

3. Involvement in the processing of man-made raw / N.G.Kajtmazov, B.S.Pyhtin, V.B.Fomichev // Nonferrous metals. 2001. № 6. P. 41-42.

4. *Dodin D.A.* Superlarge man-made deposits of platinum metals / D.A.Dodin, V.M.Izoitko // Enrichment of ores. 2006. № 6. P. 19-23.

5. *Naftal M.N.* Platinum pyrrhotite concentrate of Norilsk – a new perspective on the problem of complex processing / Shestakova R.D. // Non-ferrous metals. 2001. № 6. P.43-48.

6. *Senjutina A.B.* The economic rationale for developing of man-made deposits containing platinum group metals // News of High schools. Geology and investigation. 2006. № 6. P. 70-73.

7. *Fedoseev I.V.* Concentration of platinum metals from Norilsk concentrator tailings by magnetic separation // Nonferrous metals. 2006. № 3. P. 39-40.

8. *Kovalev V.N.* State-of-the-art techniques of recovery platinum metals from the scrap of copper-nickel production / Challenges and solutions in Mineral Industry // Freiberg, 2009. P. 187-189.