

И Н С Т И Т У Т
М Е Х А Н И Ч Е С К О Й
О Б Р А Б О Т К И П О Л Е З Н Ы Х
И С К О П А Е М Ы Х
М Е Х А Н О Б Р

ПРОВЕРЕН

И Н О С Т Р А Н Н А Я Т Е Х Н И К А
Н А С Л У Ж Б Е С О Ц И А Л И С Т И Ч Е С К О Г О С Т Р О И Т Е Л Ъ С Т В А

406

ФЛОТАЦИЯ РУД

сборник статей
под редакцией
гори. инж. К. А. Разумова

№ 8167

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ БИБЛИОТЕКА
СИБИРСКОГО ГОРНОГО
ИНСТИТУТА



ВНТИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ
ГОРНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
москва ленинград 1932

ОТ РЕДАКТОРА

За последние годы флотационный процесс получил очень широкое распространение в нашем Союзе. Еще более широкие перспективы ему открываются в будущем. Между тем русская техническая литература по флотации очень бедна. Поэтому помещаемый в сборнике ряд статей, обобщающих опыт фирмы Саутсвестерн, фирмы, которая в своей лаборатории произвела испытания нескольких тысяч руд, полученных со всех концов света и с которой объединением Цветметзолото был заключен в свое время договор о технической помощи, должен безусловно представлять для нас интерес.

Помещаемые статьи могут оказаться полезными для учащихся втузов и техникумов при проработке некоторых отдельных вопросов, касающихся флотации. Целый ряд практических сведений относительно флотационных свойств минералов и различных реагентов, примеры применения флотации к разнообразным рудам, описание методов учета и контроля работы флотационных фабрик — все это представляет интерес как для работников производства, так и для лиц, занимающихся исследованием обогатимости руд. Наконец благодаря сравнительно популярной форме изложения, предлагаемый сборник является доступным для старших рабочих и мастеров фабрик.

В конце сборника помещена статья Парсонса «Селективная флотация» с многочисленными примерами флотации тяжелых сульфидных руд, которые являются столь распространенными в нашем Союзе.

Горн. инж. К. А. Разумов.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Заметки о флотационном процессе, с которыми читатель ознакомится ниже, являются результатом использования целого ряда трудов, опубликованных в *Southwestern Bulletin*, трехмесячном журнале Юго-западного об-ва инженеров Лос-Анжелеса. Они написаны Б. М. Снайдером — главным директором и Р. Лордом — главным металлургом о-ва и содержат описание различных моментов флотационного процесса, с включением в эти описания роли реагентов, масел, полезных минералов, вмещающих пород и растворимых солей. Описаны также флотационная аппаратура, флотационные фабрики и приведены результаты, достигнутые флотацией. Несколько глав составлено инженерами: S. E. Stein'ом, H. B. Menardi, O. D. Welsch'ем, D. E. Huffman'ом и E. K. Higgins'ом — сотрудниками о-ва.

Компания Саутсвестерн в течение последних 13 лет провела тысячи исследовательских работ с рудами, полученными со всех концов света. Эти работы имели характер не только лабораторный, но производились и в более широких, полупромышленных масштабах, до порций, измеряемых несколькими вагонами. Значительное количество этих испытаний было произведено с помощью флотации, причем получены очень интересные и заслуживающие внимания результаты. Настоящая работа основана именно на этих результатах, а также на личном опыте, изысканиях и производственной практике инженеров о-ва.

В наш план входит дальнейшее опубликование ряда таких работ в *Southwestern Bulletin*, причем всякое новое достижение в указанном направлении будет всегда описано простым и ясным языком, с практическим уклоном статей, имея в виду непосредственный интерес и пользу лиц, работающих в области флотационного процесса.

Б. М. Снайдер и Р. Лорд.

Б. М. СНАЙДЕР. ВВЕДЕНИЕ

Практическое применение метод флотации нашел впервые в 1898 г. Это было изобретение братьев Эльмор из Лондона, в основу которого был положен принцип всплывания сульфидов на поверхность воды при помощи большого количества керосина или других масел. Этот метод известен под названием процесса Эльмора, или масляного процесса флотации. Автор вспоминает груз, состоящий из нескольких кораблей эльморовских концентратов, прибывший для переплавки на завод в 1905 г. Концентраты были получены на фабрике Эльмора, находившейся на руднике Леруа № 2, в Россланде (Rossland), но этот способ был скоро оставлен, как не давший удовлетворительных результатов. Он требовал чрезмерных количеств масла, — от 1 до 5%, без всякого участия в процессе воздуха или газа.

Несколько лет позднее был введен в практику обогащения новый процесс флотации руд без масел — способ Маквистена (Macquisten). Он был основан исключительно на поверхностном натяжении воды, причем рудная пульпа подвергалась вращению в длинной трубе Маквистена для того, чтобы сульфиды, не смачивающиеся так легко, как пустая порода, всплывали на поверхность, в то время как несulfидные минералы падали на дно трубы. Процесс имел некоторое распространение по фабрикам в течение нескольких лет, но затем был совершенно вытеснен так называемой пенной флотацией. Существенной частью этого третьего процесса флотации является пена, состоящая из неисчислимого количества пузырьков воздуха, или газа, окруженных пленкой масла или каких-либо других веществ имеющих способность снижать поверхностное натяжение воды. Минеральные частицы пристаю́т к этим пузырькам и поднимаются вместе с ними на поверхность, причем зерна пустой породы остаются на дне. Первое практическое заводское применение пенная флотация получила вероятно в 1902 г. (способ Поттера и Дельпрата, Potter and Delprat). Этот метод был основан на выделении углекислого газа при действии кислот на карбонаты. Метод применялся с успехом, но вскоре было установлено, что, заменяя углекислоту воздухом, можно получить те же результаты значительно дешевле.

Сольман, Пикард и Бэллот (Sulman, Picard and Ballot) в 1906 г. запатентовали новый способ пенной флотации, который временно вытеснил все остальные (американский патент № 835 120). Этот патент, а также другой американский патент № 962 678, на растворимые минеральные пенообразователи того же Сольмана, совместно с Гринуэем и Хиггинсом (Greenway and Higgins), и подобные же иностранные патенты послужили основанием для образования компании Минерале Сепарейшен (Minerals Separation) с ее отделениями. Т-во Минеральс Сепарейшен скоро стало известным как компания, развивающая и применяющая на практике ранее других фирм метод пенной флотации.

Распространение и развитие флотационного метода представляет собою превосходный пример упрощения процесса, который в начале казался очень сложным и требующим различных существенных деталей, оказывающихся затем совсем ненужными. Компания Минерале Сепарейшен приобрела права на все патенты, касающиеся пенной флотации с применением 1 % масла, так как считалось, что добавка масел в большем количестве делает процесс на практике неосуществимым. Она применяла также кислоты и нагревание пульпы приблизительно до 130° Ф.¹ Новейшая практика доказала ошибочность этих идей, и ныне почти во всех случаях флотация совершается без подогрева при щелочных или нейтральных пульпах. Убеждение, что при флотации обязательно требуется применение масел, также оказалось ошибочным, и в настоящее время огромные количества руд флотируются без всякого участия масел, причем эти последние заменяются органическими химическими соединениями.²

Мысль о применении неорганических добавочных реагентов при флотации была в первое время принята неохотно, но затем множество руд удалось с успехом флотировать только после обработки их различными реагентами и химическими соединениями, вводимыми в пульпу. При этом пришлось прибегнуть к различным механическим приемам. Так Минерале Сепарейшен применяла более или менее энергичную агитацию пульпы, считая ее весьма важной частью процесса, причем в пульпу вводилось значительное количество воздуха, разбивавшегося в ней на мелкие пузырьки. The General Engineering Co ввела применение пневматических машин типа Калло, в которых воздух под давлением вдувался в пульпу, проходя через какую-либо пористую среду или ткань вроде холста. Этот метод получил большое распространение, но бестканевые машины с воздушным подъемом пульпы вероятно вытеснят все остальные типы. В таких машинах (патенты Welsch, Forrester, Hunt и Dunn) воздух вводят без всякого участия пористой среды, просто направляя его в пульпу через трубки или специальные отверстия.

Подобные машины вводит в практику компания Саутсвестерн в соответствии с договорами, которые она имеет с различными патентодержателями.

По количеству перерабатываемых руд флотация в настоящее время занимает главное место среди прочих методов обогащения руд цветных металлов. По всей вероятности более 75% всех обогащаемых руд обрабатываются ныне флотационным процессом. Развитие селективной флотации за последние несколько лет еще более увеличивает роль флотационного процесса в деле обогащения полезных ископаемых, и нет сомнения в том, что новые усовершенствования, которые будут внесены в эту область в ближайшем будущем, сделают указанный метод еще более распространенным.

Теоретической части флотационного процесса было посвящено большое количество работ, но в виду того, что флотационный процесс зависит от множества физических и химических факторов существует еще много вопро-

¹ 54° С.

² Здесь подразумеваются только масла-коллекторы. Прим. ред.

сов, по которым не достигнуто общего мнения. Но все же главные факторы более или менее уже установлены, и мы их вкратце коснемся ниже.

Всплывание сульфидов в процессе флотации зависит главным образом от двух физических явлений. Первое из них состоит из хорошо известного факта, что коллекторы (например масло или органические химические соединения) покрывают минеральные частицы сульфидов пленкой отчасти или полностью. Такая пленка может изменяться в своей толщине от мономолекулярной до слоя в несколько молекул толщиной. С другой стороны установлено, что частицы пустой породы скорее смачиваются водой, чем коллекторами.

Второе явление заключается в том, что когда воздух в виде мелких пузырьков вводится внутрь смеси, состоящей из воды, масла или иных добавляемых реагентов, а также тонкоизмельченной руды, то масло стремится собраться вокруг пузырьков воздуха, т. е. адсорбируется поверхностями, разделяющими воздух и воду. Другими словами пузырьки воздуха покрываются тонкой пленкой, которая делает их более устойчивыми и более эластичными вследствие понижения поверхностного натяжения воды. В результате совместного действия обоих этих явлений покрытые маслом минеральные частицы затягиваются в масляную пленку на поверхности раздела воздух — вода, в то время как пустая порода, смоченная водой, выпадает полностью из области воздушных пузырьков.

Действие добавляемых при флотации неорганических реагентов до сих пор остается недостаточно понятным. Многие авторитеты предполагают однако, что одни из добавляемых реагентов концентрируются или адсорбируются на поверхностях раздела воздух — вода, другие же на поверхности минерал — вода, вызывая этим химические изменения на минеральных частицах. Предполагается, что многие депрессоры также адсорбируются на гранях минерал — вода, покрывая пленкой поверхности минеральных зерен.

Придавая физическим явлениям главную роль во флотационном процессе, следует признать, что и явления химического характера имеют в нем весьма важное значение. Например употребление медного купороса при флотации цинковых сульфидов несомненно основано на химическом осаждении пленки медного сульфида на частицах цинковой обманки, чем облегчается их покрытие коллектором. С другой стороны кислый сульфат меди, находящийся в рудничной воде, является вредным, если последняя употребляется при флотации медных руд, и для получения достаточно удовлетворительного извлечения он должен быть удален химическими средствами.

Присутствие неорганических солей, содержащихся в фабричной воде или полученных вследствие растворения солей, встречаемых совместно с минералами, часто является причиной неудач, так как некоторые соли являются токсинами для флотационного процесса даже в очень незначительных количествах. Обычным способом устранения этих осложнений является добавление реагентов щелочного характера.

Теория адсорбции шламов была выдвинута Таггартом. Она находится в

полном согласии с другими теориями флотации. Таггарт утверждает, что многие сульфиды адсорбируют шламовую пленку, причем последняя не одинакова для различных руд. Эта теория по-видимому удовлетворительно объясняет замечательное действие многих добавляемых реагентов. Некоторые реагенты увеличивают или, наоборот, уничтожают шламовые пленки. Покрытие поверхностей некоторых минералов коллекторами может быть таким образом задержано присутствующей шламовой пленкой вплоть до того момента, пока она не будет уничтожена каким-либо реагентом, введенным с этой целью в пульпу.

Успех флотации зависит от многих факторов, как например от тонкости измельченного материала, соотношения воды и руды в пульпе, количества добавляемых коллекторов и пенообразователей, регулярности в подаче пульпы и реагентов, аэрации и пр., а также от присутствия солей и кислот в воде.

Все эти факторы имеют большое значение в деле обработки руд флотацией. Наиболее же важным фактором является правильный выбор коллекторов и пенообразователей и тщательное регулирование их количества.

В последнее время масла-коллекторы, употреблявшиеся ранее во флотационном процессе, с успехом заменяются некоторыми органическими соединениями. Сюда относятся щелочные ксантаты, тиокарбанилид, аэрофлот (фосфорно-крезиловая кислота) и др.

Растворимые соли и неорганические вещества, добавляемые при флотации, как говорилось выше, играют важную роль в процессе. Добавление кислот, щелочей или нейтральных соединений может уничтожить действие растворимых солей, находящихся в пульпе. Вообще говоря, очень редко приходится прибегать к кислотам для обеспечения успеха флотации, так как аналогичные результаты могут быть достигнуты применением более удобных реагентов, и в настоящее время флотация обычно производится в щелочной среде.

При обогащении окисленных и карбонатных руд, например карбоната свинца, добавление небольшого количества сернистого натрия дает сульфидную пленку на поверхности минеральных частиц, чем достигается их способность флотироваться.

Сернистый натр добавляется также и при флотации некоторых сульфидов, например пирита.

Другими наиболее обычными неорганическими реагентами являются: жидкое стекло, сульфат меди, углекислый и едкий натр. Ниже роль этих реагентов будет рассмотрена подробнее.

Регулярное питание, степень разжижения пульпы, количество реагентов, уровень пульпы в аппарате, аэрация ее и вообще все физические и механические условия играют очень важную роль при флотации. Неудачи большинства небольших фабрик в отношении получения хороших результатов флотации чаще всего объясняются отсутствием точного выполнения одного или нескольких из указанных требований.

Некоторые операторы стремятся добавлять реагенты при помощи пита-

телей примитивной конструкции, не дающих возможности осуществить точную регулировку добавляемых количеств. Колебания в скорости движения механизмов вследствие несовершенства энергетического оборудования бывают нередко причиной недостаточности аэрации пульпы на небольших обогатительных фабриках.

Существует пять главных типов машин или аппаратов для пенной флотации: 1) Минералс Сепарейшен с пропеллером на вертикальном валу; 2) с горизонтальным ротором, например флотационная машина К и К; 3) каскадная машина, основанная на переливании пульпы из одного сосуда в другой, впрочем, употребляющаяся редко; 4) аппарат Калло с подачей воздуха под давлением сквозь пористую среду и 5) машины с аэрлифтом, в которых воздух под небольшим давлением проходит в пульпу через трубку или отверстия без употребления пористой среды. Многие из применяемых ныне машин представляют изменения или различные комбинации перечисленных выше типов.

Пена, полученная при флотации, очень разнообразна, как по размеру воздушных пузырьков, так и по другим свойствам, в зависимости от типа машины. Пена обычно разрушается струей воды и подвергается уплотнению в сгустителях Дорра, причем нижний продукт направляется в вакуум-фильтры, где содержание влаги снижается до 8 — 25%.

Наиболее важной областью применения флотационного процесса является разделение сульфидов в полиметаллических рудах посредством метода селективной флотации. В этих случаях сначала получают легкую пену и выделяют в присутствии депрессора наиболее легко флотируемые минералы, например: свинцовый блеск или халькопирит, оставляя внутри аппарата железные сульфиды, цинковую обманку и пр. При этом применяют очень небольшие количества коллекторов, но много воздуха, вследствие чего поднимаются только те минералы, которые проявляют наиболее ярко выраженную тенденцию к всплыванию.

Пульпа до направления ее во вторую машину перемешивается с большими количествами пенообразователя и коллектора, причем в нее вводят добавочные реагенты, вроде сернистого натра, медного купороса или других солей, изменяющих условия и способность пены поднимать тот или иной минерал, присутствующий в пульпе. Сульфат меди например поднимает цинковую обманку. В некоторых случаях даже может быть получено три продукта, например добавкой сернистого натра можно сфлотировать пирит.

Почти все обогатительные фабрики применяют в той или иной степени методы селективной флотации, даже там, где получается только один концентрат. Например на медных обогатительных фабриках получают высокопроцентный медный концентрат, оставляя в хвостах сульфиды железа.

За последние годы появилось значительное число реагентов-коллекторов, применяемых для селективной флотации. Они оказывают двоякую пользу. Во-первых, заменяя масло, они дают возможность получить более чистый концентрат, во-вторых они помогают разделению присутствующим

щих минералов, активируя их в различной степени. Ниже этот вопрос будет рассмотрен подробнее.

Флотационный процесс был с успехом применен на разных обогатительных фабриках при обработке окисленных и карбонатных руд. Значительная часть окисленных минералов при соприкосновении с раствором сернистого натра покрывается с поверхности сульфидной пленкой, после чего частицы получают способность флотироваться. Это особенно применимо к карбонатным рудам свинца, а также к некоторым окислам и карбонатам меди.

Так одна американская компания (American Smelting and Refining Co) с успехом обогащает свинцовые карбонатные руды флотацией на своих фабриках в Santa Barbara Chihuahua в Мексике именно таким образом.

Флотационные методы обогащения, кратко здесь описанные, ниже будут разобраны более детально.