

ОСОБЕННОСТИ ОБОГАЩЕНИЯ ГРАФИТОВЫХ РУД ТОПОЛИХИНСКОГО УЧАСТКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ «СОЮЗНОЕ» С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ КРУПНОЧЕШУЙЧАТОГО КОНЦЕНТРАТА

Назаренко Л.Н., Бузунова Т.А., Шихов Н.В.
ОАО «Уралмеханобр», г. Екатеринбург, Россия

Графитовые руды в зависимости от структуры содержащегося в них графита разделяются на три типа: чешуйчатые (массовая доля углерода 3-15 %), плотнокристаллические (60-70 %) и скрытокристаллические (70-80 %). Промышленно-ценные графиты согласно их классификации по размерам кристаллов и характеру строения делятся на следующие группы: 1) явно кристаллические: чешуйчатые и плотнокристаллические; 2) скрытокристаллические (плотные); 3) графитоиды; 4) угли [1].

Руда Тополихинского участка месторождения «Союзное» относится к кристаллическому типу графитовых руд. Главными породообразующими минералами являются кварц и графит, примесями – полевой шпат и слюда. Графит мелко и средне чешуйчатый, находится в двух видах: кристаллический в виде чешуй и в виде пылевидной массы.

В России потребителями графитовой продукции являются более 360 предприятий, их совокупная потребность в кристаллическом графите составляет порядка 40-42 тыс. тонн, добывается всего 6 тыс. тонн.

Термическая и химическая стойкость, а также высокая теплопроводность графита позволяют использовать его в качестве огнеупорного материала. Наиболее ценным и дорогим является чешуйчатый графит, представляющий собой кристаллические слоистые агрегаты («чешуйки») крупностью более 0,2 мм [2].

В период с 2012 по 2015 гг. в ОАО «Уралмеханобр» были проведены многоплановые технологические исследования графитовых руд Тополихинского участка месторождения «Союзное», расположенного на Дальнем Востоке [3, 4].

Цель исследований состояла в разработке такой технологии обогащения графитовой руды, которая бы позволила максимально сохранить «чешуйки».

Исследования проводили на пробах руды с массовой долей углерода твердого – 12,56 – 13,40 %, углерода карбонатного – 0,2 – 0,25 %, серы общей – 2,2 %. Зольность руды составляет 84,9 %.

Из минералогического анализа пробы следует, что чешуйки графита, встречающиеся по отдельности, образуют неравномерную вкрапленность в нерудном базисе. Чешуйки графита на самом деле – это собранные в плотные пакеты листовые агрегаты с размером поверхности до 3х5 см и мощностью до 0,5 мм. Пакеты графита между листочками часто содержат лин-

звидные включения нерудных минералов (рис. 1). Минимальный размер такого рода включений 0,02x0,02 мм при толщине линзы в 0,005 мм (рис. 2).

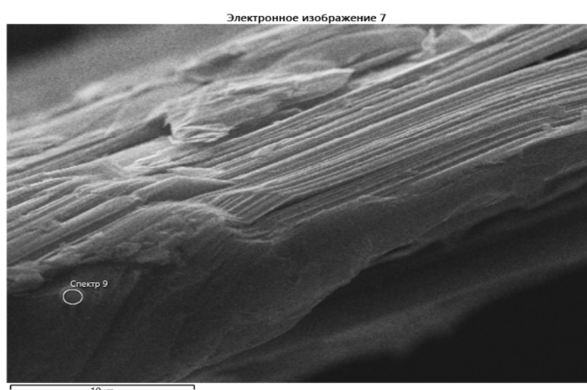


Рисунок 1 – Электронное изображение листового графитового агрегата на электронном сканирующем микроскопе EVA-MA 15

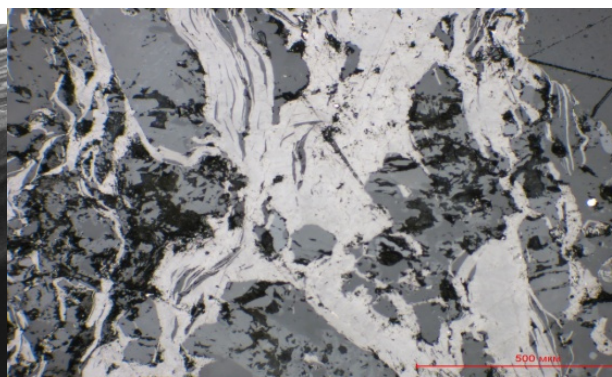


Рисунок 2 – Графитовый агрегат (светло-серое) в нерудном базисе (темно-серое)
Полированный шлиф, отраженный свет, без анализатора 100^x

Для обогащения графитовой руды применяли сухие методы обогащения [3, 5] и флотацию [3, 4].

Ранее были проведены исследования по сухому обогащению руды этого месторождения в ООО «Русская корона». Был получен концентрат крупностью +0,16 мм с выходом 2 % с содержанием углерода в нем 91 % и концентрат крупностью –0,16 мм с выходом 8,8 % с содержанием углерода в нем 90,6 %. Извлечение графита в общий концентрат составило 93-94 % [5].

Технология сухого обогащения включала дробление до крупности 6 мм и центробежное измельчение исходной руды до крупности –0,315+0,0 мм, сушку с тремя операциями коронно-электростатической сепарации, три операции центробежного доизмельчения промпродуктов, магнитную и электростатическую доводку концентратов с предварительным грохочением на фракции +0,16 и –0,16 мм.

При сухом обогащении, проведенном в ОАО «Уралмеханобр» на представительной пробе месторождения, получен черновой концентрат с выходом 15,2 % при массовой доле $C_{\text{общ}}$ 41,5 % и извлечением 44,3 %. При этом основные потери графита связаны с тонкими фракциями (–0,063 мм), выход которых составил 25 %.

При дроблении руды до крупности минус 6 мм образуется до 15 % класса –0,044 мм с содержанием углерода 14,8 %, а в крупности –0,0315+0 мм доля этого класса возрастает до 24 %. Наличие большого количества мелкого графита привело к снижению его извлечения в концентрат электросепарации.

Наиболее распространенным способом механического извлечения графита из руд является флотационное обогащение. Хорошо кристаллизованный графит обладает высокой природной флотуемостью и может извлекаться в пенный продукт с применением собирателя, пенообразователя и регулятора среды, однако для полного отделения графита от породы необходимо обеспечить эффективную степень раскрытия графита на стадии рудоподготовки.

Схема рудоподготовки включает одну-две стадии дробления с классификацией и измельчение. Измельченная руда подается на флотацию. Процесс флотации обычно состоит из основной и контрольной операций и пяти-семи перечистных, в промежутке которых 3-4 стадии доизмельчения.

Как показывает практика, оптимальная крупность измельчения графитовой руды перед флотацией составляет 50-60 % класса $-0,063$ мм; в отдельных случаях она может изменяться в пределах 40-95 % класса $-0,063$ мм [2].

Измельчение графитовой руды проводили в стержневой мельнице МСЛ 300 \times 450, выбор которой основан на сохранении крупной графитовой чешуйки в черновом концентрате. В технологии измельчения графитовых руд используются именно стержневые мельницы [1]. Крупность питания частиц в стержневую мельницу составляла 3 мм, содержание твердого в питании – 50 %.

Для флотационного обогащения измельченной руды предусмотрено две стадии доизмельчения черного графитового концентрата. Для сохранения чешуи крупностью $+0,200$ мм в I и II стадиях доизмельчения сравнивали кинетику доизмельчения в шаровой мельнице МЛ-40 с металлическими шарами диаметром 10-15 мм, а также МШЛК-4 с керамическими цельпесами диаметром 25 мм (рис. 3).

В табл. 1 приведены оптимальные значения степени доизмельчения в I и II стадиях доизмельчения и полученные при этом показатели массовой доли класса $+0,200$ мм в грубом концентрате и массовая доля углерода в нем при использовании различных мелющих тел.

Таблица 1 – Качественные показатели класса $+0,2$ мм, полученного при доизмельчении с различными мелющими телами

Стадия доизмельчения (содержание класса $-0,063$ мм)	Тип мелющих тел			
	керамические цельпесы		металлические шары	
	Массовая доля, %		Массовая доля, %	
	класса $+0,2$ мм в грубом концентрате	углерода в классе $+0,2$ мм	класса $+0,2$ мм в грубом концентрате	углерода $+0,2$ мм в грубом концентрате
I стадия доизмельчения (38-40 %)	8,00	57,50	6,80	58,50
II стадия доизмельчения (70-72 %)	2,36	91,70	0,80	91,95

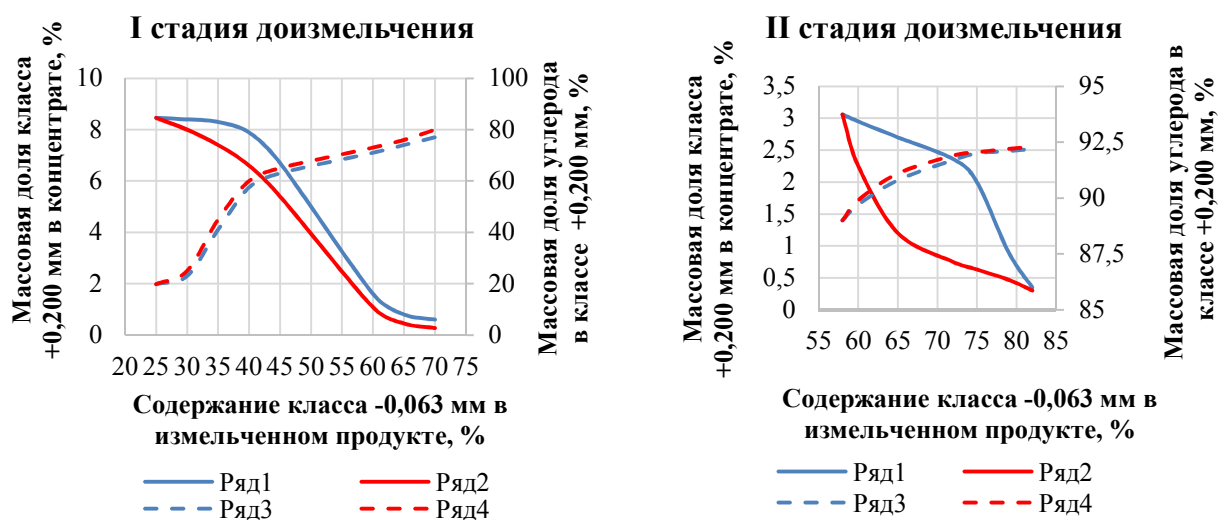


Рисунок 3 – Распределение массовой доли графитового концентрата крупностью +0,2 мм по стадиям доизмельчения и массовой доли углерода в нем:

ряд 1 и ряд 3 – керамические мелющие тела;
ряд 2 и ряд 4 – металлические мелющие тела

Класс +0,2 мм, полученный после двух стадий доизмельчения и двух перечистных флотаций является крупночешуйчатым концентратом.

Оптимальное значение выхода крупночешуйчатого концентрата и массовой доли углерода в нем было достигнуто при содержании класса -0,063 мм 38-40 % в I стадии доизмельчения и 70-72 % во II стадии доизмельчения. Временные показатели, соответствующие содержанию класса -0,063 мм в измельченном продукте, соответствуют в I стадии доизмельчения – 10 мин, во II стадии доизмельчения – 10 мин. При повышении содержания класса -0,063 мм в измельченном продукте увеличивается массовая доля углерода в крупночешуйчатом концентрате, но при этом происходит переизмельчение крупной графитовой чешуи [4]. Данные приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Сравнительные данные по доизмельчению графитовой руды в шаровой мельнице с керамическими и металлическими телами в течение 20 минут

Тип мелющих тел	Крупночешуйчатый концентрат		
	Выход от руды, %	Выход от валового концентрата, %	Количество при переработке 1 тонны сырья, кг
керамические цельпёбсы	0,47	2,36	4,7
металлические шары	0,16	0,5	1,6

Эксперименты показали, что после 20 минут доизмельчения в шаровой керамической мельнице с керамическими телами получается готовый

тигельный концентрат крупностью +0,2 мм с выходом 0,47 % от руды, с массовой долей углерода 91,7 %. Зольность – 8 % (по ГОСТ 4596-75 – не более 7,0-10,0 %). Выход летучих 0,21 % (по ГОСТ 4596-75 – не более 1,5 %) [4].

Выводы:

1. По испытанной технологии сухого обогащения графитовой руды Тополихинского участка месторождения «Союзное» кондиционный графитовый концентрат не получен. Измельченный продукт центробежной мельницы содержит значительное количество пылевой фракции (24 %), что приводит к снижению извлечения графита при электросепарации.

2. При обогащении графитовой руды флотацией установлено, что в I и II стадиях доизмельчения использование керамических мелющих тел повышают выход крупночешуйчатого графита в 2,9 раза, чем в случае применения традиционной шаровой мельницы с металлическими шарами.

3. Общее время доизмельчения должно составлять не более 20 минут (по 10 минут в I и II стадиях доизмельчения).

4. С целью сохранения крупночешуйчатого графитового концентрата, полученного после II перемешивающей флотации, необходимо его выводить из технологии с помощью классифицирующего оборудования на получение готовой продукции.

5. Керамические мельницы в промышленных масштабах не изготавливаются, поэтому рекомендовали использовать типовую шаровую мельницу с резиновой футеровкой и керамическими цельпесами диаметром 25 мм.

Литература

1. Эйгелес М.А. Обогащение неметаллических полезных ископаемых, Промстройиздат, Москва, 1952 г., 563 стр.

2. Абдурахмонов Э.А., Донияров Н.А. Курс лекций по предмету «Технология обогащения нерудных полезных ископаемых», Изд-во НГГИ, Навои, 2008 г., 144 стр.

3. Отчет «Технологические исследования на обогатимость графитовой руды Тополихинского участка месторождения «Союзное». ОАО «Уралмеханобр», Екатеринбург, 2013 г.

4. Технологический регламент на проектирование предприятия по обогащению графитовой руды Тополихинского участка месторождения «Союзное». ОАО «Уралмеханобр», Екатеринбург, 2015 г.

5. Отчет «Исследования на обогатимость руды Тополихинского участка Союзного месторождения графита методами сухого обогащения». ООО «Русская корона», Екатеринбург, 2012 г.