

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ХРОМИТОВЫХ РУД

Бахтерев В.В. – Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

Аннотация. Приведены основные особенности взаимодействия микроволнового излучения с различными диэлектриками. Установлена связь между минеральным составом хромитовой руды и эффективностью его взаимодействия (температурой нагрева) с микроволновым излучением. Результаты сопоставлены с данными электрического сопротивления, полученного при постоянном и переменном напряжении.

Микроволновое излучение, температура нагрева, диэлектрик, хромитовая руда, электрическое сопротивление.

FIRST RESULTS OF THE USE OF MICROWAVE RADIATION TO STUDY CHROMITE ORE
Bakhterev V.V. – Institute of Geophysics UB of RAS, Yekaterinburg

Abstract. The main features of the interaction of microwaves with different dielectrics. The connection between the mineral composition of chromite ore and efficiency of its interaction (heating temperature) with the microwave radiation. The results were compared with those of the electric resistance obtained by direct and alternating voltage.

Microwave radiation, heating temperature, dielectric, chromite ore, electrical resistance.

Введение

Микроволновым излучением принято называть неионизирующее электромагнитное излучение с частотой от 300 МГц до 300 ГГц. Микроволновое излучение вызывает движение молекул за счет перемещения ионов и вращения диполей, но не приводит к изменению в структуре молекул (Пробоподготовка..., 1991; Бердонос, 2001).

Взаимодействие микроволнового излучения с веществом может сопровождаться его отражением, поглощением и прохождением через объем образца без ослабления. По характеру взаимодействия с микроволновым излучением материалы можно разделить на три группы. Проводники, гладкая поверхность которых полностью отражает микроволновое излучение. При этом металл не нагревается, так как потеря энергии в его объеме практически нет. На использовании такого излучения и его отражательной способности основана работа радаров. Диэлектрики, пропускающие микроволновое излучение через свой объем практически без изменений (такowymi являются, например, полиэтилен, плавленый кварц, фарфор и др.). Наконец, диэлектрики, при прохождении через объем которых происходит поглощение микроволнового

излучения, сопровождающееся, в частности, разогревом образцов. Такими диэлектриками является большинство минералов и горных пород.

При наложении микроволнового поля движение диполей (полярных молекул или иных обособленных групп атомов) приобретает определенную ориентацию, связанную с характером налагаемого поля. «Когда интенсивность поля уменьшается, возникшая ориентация исчезает и хаотичность вращательного (и колебательного) движения молекул восстанавливается, при этом выделяется тепловая энергия. При частоте 2,45 ГГц ориентация диполей молекул и их разупорядочение может происходить несколько миллиардов раз в одну секунду, что и приводит к быстрому разогреву образца» (Бердонос, 2001, с. 33). Микроволновая обработка имеет целый ряд преимуществ перед обычными методами нагревания конденсированных сред (твердых тел и жидкостей): быстрота, низкая инерционность нагревания, отсутствие контакта «нагреваемое тело – нагреватель», равномерность нагревания образца по всему объему, возможность избирательного нагревания компонентов смеси вещества. Благодаря этим особенностям микроволновое излучение представляет большие

возможности для применения в горном деле (Ванецев и др., 2005; Рахманкулов др., 2008а; 2008б и др.).

Известны способы сортировки руд, например (Пат. 2102162; 2324549), основанные на нагревании микроволновым излучением и сепарации их по результатам измерения температуры. При этом установлено, что степень разогрева тем выше, чем выше уровень межповерхностной поляризации, вызванной движением свободных носителей заряда на «дефектных» участках пониженной проводимости: межкристаллитных прослойках, микротрещинах, флуктуациях химического состава. То есть, чем больше неоднородность горной породы, тем выше ее влияние на нагрев (Пат. 2102162).

В настоящее время теория взаимодействия микроволнового излучения с диэлектриками пока еще не достигла такой степени развития, которая позволила бы заранее предсказать, будет или нет наблюдаться заметное поглощение поля диэлектриком. Поэтому необходимы обширные исследования по изучению воздействия микроволнового излучения на различные среды.

Цель настоящей работы: выявить связь между химическим (минеральным) составом хромитовой руды и эффективностью его взаимодействия (в частности, температуры нагревания) с микроволновым излу-

чением для получения оперативного способа оценки качества руды.

Методика исследований и образцы

Всего исследовано семь образцов хромитовой руды с различным содержанием хромшпинелидов. Для трех образцов, приведенных в таблице, даны химический анализ и результаты дериватографии, а для образцов К-1 и АК-11 еще и плотность, и коэффициенты теплопроводности. В четырех образцах (4–7) содержание хромшпинелидов оценено визуально: в каждом из них оно больше, чем в образце АК-11 и меньше, чем в образце К-1. Исследованные образцы различны по минеральному составу, количеству и содержанию примесей, содержанию влаги, пористости. Образец К-1 – массивная высокохромистая магнезиальная руда слабо метаморфизована, с содержанием серпентина 3,5 %, плотность 4,15 г/см³; образец АК-11 – вкрапленная руда с содержанием серпентина 42 %, гидроокислов железа, хлорита, карбонатов, опала, брусита; трещиноватая, плотность 2,85 г/см³.

Образцы хромитовой руды вырезали в форме кубика с ребром 0,15 м, нагревали в бытовой микроволновой печи, мощность на прогрев 450 Вт, время прогрева 5 мин. Время нагрева выбирали, опираясь на экспериментальные данные работы (Ванецев и др., 2005). После нагревания снимали в течение некоторого времени температур-

Таблица. Результаты анализов исследованных образцов

№ п.п.	Параметры	Номер образца						
		К-1	И-1	АК-11	4	5	6	7
1	Потери при прокаливании по данным дериватографии, %	1,64	3,65	6,03				
2	Cr ₂ O ₃ , %	52,7	34,7	29,5				
3	Σ(FeO+Fe ₂ O ₃), %	13,9	17,2	11,0				
4	Σ(SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +MgO), %	28,0	42,8	51,1				
5	σ, г/см ³	4,15		2,85				
6	λ, Вт/(м·К)	2,30		1,62				
7	α, 10 ⁻² см ² /с	0,78		0,71				
8	Максимальная температура нагрева, °С	49,1	78,5	138,3	60,3	73,2	120,7	127,0

ную кривую, пока температура образца не достигала 25 °С. Температура образцов до прогрева – 20 °С.

Температурные исследования выполнил А.П. Хейнсон (Институт геофизики УрО РАН). Теплофизические параметры (теплопроводность λ и температуропроводность a) дубликатов образцов К-1 и АК-11 определил Ю.А. Попов (Московская государственная геологоразведочная академия). Кубики для исследований электрических, теплофизических параметров и параметров микроволнового нагрева вырезаны из одного штуфа каждого образца.

Результаты и их обсуждение

Рассматривая полученные результаты, выделим два момента.

Во-первых, при одинаковых условиях эксперимента образцы нагреваются до разных температур. Наименьшую температуру нагрева приобретает образец К-1 (49,1 °С) с наибольшим содержанием хромшпинелидов (оксида хрома 52,7 %), наибольшую – образец АК-11 (138,3 °С) с наименьшим (оксида хрома 29,5 %). Температуры нагрева остальных образцов находятся в этом диапазоне.

Во-вторых, спад приобретенной температуры идет по одному закону: $T(K-1) = 55,9 - 7,4 \lg t$, $R^2 = 0,96$; $T(I-1) = 94,3 - 15,6 \lg t$, $R^2 = 0,98$; $T(AK-11) = 161,3 - 31,4 \lg t$, $R^2 = 0,99$.

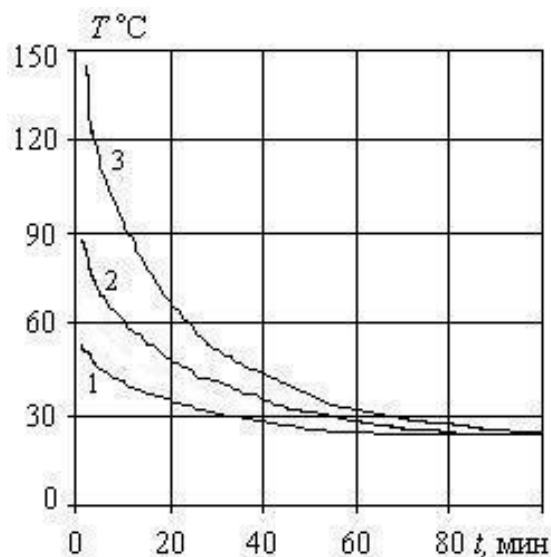


Рис. 1. Кривые спада температуры образцов: 1 – К-1; 2 – И-1; 3 – АК-11

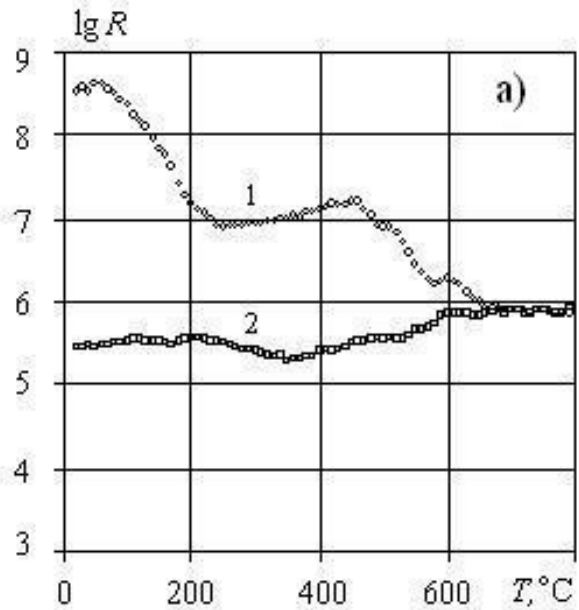


Рис. 2а. Температурные зависимости электрического сопротивления при постоянном (кривые 1) напряжении и активного сопротивления (кривые 2) при переменном напряжении образца АК-11 хромитовой руды

Здесь: T – температура образца в градусах Цельсия; t – время, мин.

Кривые спада температуры образцов приведены на рис. 1. Время остывания до температуры 25 °С составило для образцов: К-1 – 48; И-1 – 73; АК-11 – 105 мин.

Сопоставим результаты микроволнового облучения и температурных кривых электрического сопротивления образцов К-1, АК-11.

На рис. 2а и 2б приведены температурные зависимости электрического сопротивления при постоянном (кривые 1) напряжении и активного сопротивления (кривые 2) при переменном напряжении образцов хромитовой руды.

При нормальной температуре (20 °С) наблюдается большое различие сопротивлений на постоянном и переменном токе. Различие сопротивлений обусловлено влиянием сложных поляризационных процессов, проявляющихся на постоянном токе. По мере нагревания образцов различие уменьшается и при достижении некоторой температуры (для разных образцов разной) становится одинаковым. Значение этой

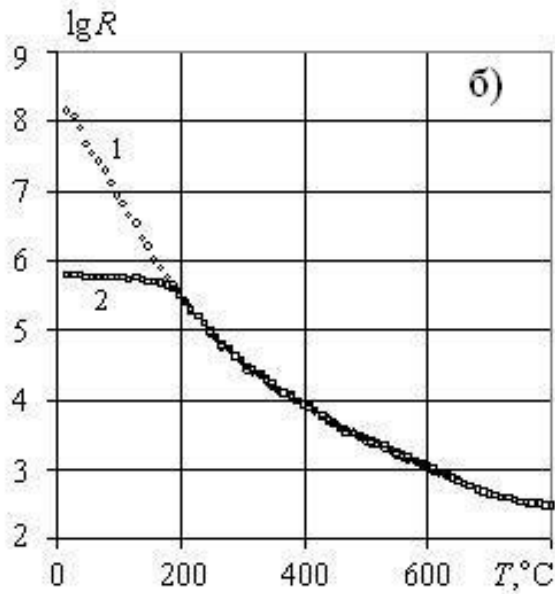


Рис. 26. Температурные зависимости электрического сопротивления при постоянном (кривые 1) напряжении и активного сопротивления (кривые 2) при переменном напряжении образца К-1 хромитовой руды

температуры определяется степенью неоднородности образца, количеством и видом минеральных включений, структурными дефектами, влажностью и другими факторами, что вносят существенный вклад в процесс поляризации (Бахтерев, 2008; Успенская, 1985). Различие в значениях сопротивления на постоянном и переменном токе для образца А-11 (см. рис. 2а, вкрапленная руда) сохраняется до более высоких температур (650 °С), в то время как для образца К-1 (см. рис. 2б, массивная руда) уже при температуре 200 °С сопротивление становится одинаковым. Это свидетельствует о том, что поляризационные процессы в большей мере присущи вкрапленным рудам.

Результаты взаимодействия хромитовой руды с микроволновым облучением (температурой нагрева) не противоречат данным ее высокотемпературной электропроводности. Проявляется это в том, что характер исследуемой среды, с одной стороны, определяет температуру нагрева при микроволновом облучении, с другой – определяет величину и различие в электрическом сопротивлении, полученном при постоянном и переменном напряжении.

Заключение

Исследованы образцы хромитовой руды различного минерального состава. Выявлена связь между качеством руды и температурой нагрева образцов при облучении микроволнами. Так как мы не имели данных о минеральном и химическом составе (кроме образцов К-1, И-1, АК-11), а также, учитывая ограниченное число исследованных образцов, то приведенные результаты позволяют говорить лишь о принципиальной возможности использовать полученную дополнительную информацию для оперативной оценки качества хромитовой руды по содержанию в ней хромшпинелидов (оксида хрома).

Литература

- Бахтерев В.В. Высокотемпературные исследования гипербазитов Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 151 с.
- Бердонос С.С. Микроволновая химия // Соросовский образовательный журнал. 2001. Т. 7. № 1. С. 32–38.
- Ванецев А.С., Макишина Е.В., Олейников Н.Н., Третьяков Ю.Д., Романовский Б.В. Микроволновый синтез кобальтитов лантана-стронция и исследование их каталитической активности // ДАН. 2005. Т. 405. № 2. С. 204–207.
- Пат. 2102162 (РФ). Способ сортировки штуфов золотосодержащих руд / А.В. Канцель, Б.М. Сельцов, Ю.А. Голубев, В.В. Канцель, С.А. Мазуркевич, Н.И. Кучерский, Е.А. Толстов, А.П. Мазуркевич, С.Б. Иноземцев, В.А. Щепетков, 1996.
- Пат. № 2324549 (РФ). Микроволновый способ разделения руд / Г.Н. Гольцман, А.Л. Дзарданов, В.В. Тихонов, А.П. Мельников, И.И. Кацер, В.И. Какорин, О.Н. Полякова, 2006.
- Пробоподготовка в микроволновых печах. Теория и практика / Под ред. Г.М. Кингстона, Л.Б. Джесси; Пер. с англ. М.: Мир, 1991. 336 с.
- Рахманкулов Д.Л., Шавишукова С.Ю., Вихарева И.Н., Чанышев Р.Р. Применение микроволнового излучения для извлечения металлов из промышленных отходов // Башкирский химический журнал. 2008а. Т. 15. № 2. С. 53–56.

Рахманкулов Д.Л., Шавшукова С.Ю., Вихарева И.Н., Чаньшев Р.Р. Опыт применения энергии микроволн в горном деле // Башкирский химический журнал. 2008б. Т. 15. № 2. С. 114–118.

Успенская А.Б. Температурные зависимости удельного электрического сопротивления жильного кварца окколорудных месторождений // Новые данные о минералах / Отв. ред. Г.П. Барсанов. М.: Наука, 1985. Вып. 32. С. 146–154.