

УДК 62-63
doi: 10.18101/2306-2363-2017-2-3-66-74

**К ВОПРОСУ ИЗУЧЕНИЯ СОСТАВА И СВОЙСТВ БАЗАЛЬТА
ДАЛЯНЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (КНР)
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РАСПЛАВА ЭЛЕКТРОДУГОВЫМ СПОСОБОМ
С ВЫРАБОТКОЙ ВОЛОКНА**

© *С. Л. Буянтуев*

доктор технических наук, профессор,
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Россия, 670031, Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40в
E-mail: buyantuevsl@mail.ru

© *Нин Гун Лин*

доктор химических наук, профессор
Даляньский государственный университет
КНР

© *Вэй Е. Джун*

доктор химических наук, профессор,
Даляньский государственный университет,
КНР

© *С. Ю. Шишулькин*

кандидат технических наук, доцент
Бурятский государственный университет
Россия, 670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а

© *И. В. Старинский*

кандидат технических наук, старший преподаватель
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Россия, 670031, Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40в

© *А. С. Кондратенко*

кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
Бурятский государственный университет
Россия, 670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а

Приведены результаты петролого-химического изучения базальтовой породы Даляньского месторождения Китая с целью ее дальнейшего плавления в электромагнитном дуговом реакторе для выработки расплава и получения волокнистых материалов на его основе. Для получения расплава был использован базальтовый щебень с размером частиц 7–10 мм. Микроскопическое изучение сырья позволило произвести тонкие исследования базальта и полученного из него волокна. Так было показано, что базальт Даляньского месторождения представляет собой сырье, относимое к категории «обогащенных» феррощелочных базальтоидов с характерным для них высоким содержанием железа, щелочи и фосфора. Микрорельеф данного базальта указал на значительность метаморфических изменений, приведших к преобладанию вторичных структур замещения развитых на первичных фазах. Представленный электромагнитный дуговой плавильный агрегат позволил

плавно регулировать температуру и поддерживать ее на выходе струи из летки, что дало возможность снизить расход энергии для получения расплава и выработки волокна.

Ключевые слова: базальтовое сырье, петрологический и элементно-химический составы, электромагнитный плавильный реактор, микроскопический анализ, расплав, волокно.

Потребность в изделиях из базальтового сырья (минеральное волокно, каменное литье), получающих широкое применение в промышленности, строительстве, энергетике и других сферах производства постоянно возрастает. Растет степень совершенства технологий производства изделий из базальта. В то же время горнорудная база, обеспечивающая производство базальтовым сырьем высокого качества отстает от его потребностей. Основной причиной такого состояния является непризнание сырья для производства изделий из базальта полезным ископаемым. При этом использование в производстве волокна строительного щебня переменного минерально-химического состава отрицательно сказывается как на технологии самого производства, так и на качестве конечной продукции. Вместе с тем известно, что на выработку расплава и производство волокна из него влияют химический и минеральный состав базальтового сырья, в частности наличие тугоплавких минералов, степень метаморфизма и др. Сырье, используемое для плавления, должно быть легкоплавким, характеризоваться быстрым переходом в расплав без остатка первичной кристаллической фазы [1].

Переработка базальтового сырья в расплав является важной научно-технической задачей, однако едва ли не главной проблемой было и остается снижение энергозатрат при выработке расплавов отражающихся на себестоимости производства минеральных теплоизоляционных материалов.

Одним из перспективных направлений в этой области является применение электродуговой плазмы для плавления исходного сырья с целью получения теплоизоляционных волокнистых материалов. При использовании в качестве источника тепловой энергии электрической дуги, за счет высокой температуры резко снижается время получения расплава, из-за исключения индукционного периода плавления [2].

Цель работы — изучение минерально-химического состава базальта Даляньского месторождения (КНР) во взаимосвязи с данными по получению расплавов с применением электродугового плавильного оборудования.

Методика исследования сырья

Для проведения испытаний по выработке расплава были использованы технологические пробы базальта Даляньского месторождения со следующим гранулометрическим составом (табл. 1).

Ситовой анализ пробы показывает, что основной ее массовый состав представлен частицами размером от 10 до 5,0 мм (98%). Частицы размером меньше 5 мм составляют 2%.

Таблица 1

Ситовой анализ базальта Даляньского месторождения

Класс крупности, мм	+10	-10+7	-7+5	-5+2	-2+0
Выход, %	65,50	28,50	3,85	1,85	0,30

При макроскопическом изучении визуально, по структурным особенностям, выделяются отдельные туфосилицитовые сложения часто в ассоциации с кремнисто карбонатными пакетами. Темноцветные минералы составляют до 90% массы породы.

При микроскопическом исследовании образцов было установлено, что основная масса базальта раскристаллизована и преимущественно сложена метаморфическими минералами — актинолитом, хлоритом, эпидотом, альбитом, кварцем и локально карбонатами. Кроме того, в основной массе встречаются реликтовые зерна пироксена, окруженные узкой каймой хлорита. Структура основной массы афанитовая. Так первичные клиноэнстатит и авгит-диопсид по объему резко уступают развивающимся по ним метаморфическим минералам — актинолиту (46,70%) и хлориту (34,30%) (рис. 1). Первичные основные плагиоклазы заместились альбит-олигоклазом (10%), эпидотом (4,78%) и кварцем (4,22%). Анализ микроскопических фотографий базальтов позволил отчетливо различить в их составе главные минеральные компоненты, выделять мелкие зоны тектонического дробления, заполненные мелкозернистыми скоплениями хлорит-кварцевого состава (рис. 1), а также микрозерна аксессуарных минералов (сфен, хромшпинелиды, магнетит).

Изучение базальта в шлифах показало, что он претерпел метаморфические преобразования, в процессе которых в нем появились линзовидные текстуры, выражающиеся в появлении мелких зон тектонического дробления и катаклаза, выполненных хлоритом, карбонатом и частично кварцем [3].

Экспериментальная установка по плавлению сырьевых материалов

Переработка горных пород (базальт) содержащих тугоплавкие минералы для выработки расплавов с трудом реализуется в «классических» плавильных агрегатах (вагранка, ванная и туннельная стекловаренные печи) из-за низкой генерируемой ими температуры (до 2000°C) поэтому промышленная переработка данного типа сырья может быть реализована электродуговыми (плазменными) или индукционными (СВЧ) способами, однако, индукционные печи ввиду высоких энергозатрат, сильного электромагнитного излучения и вызванных им радиопомех, а также риска взрыва индуктора в случае короткого замыкания, в промышленности используются ограниченно. Электродуговые плазменные аппараты являются предпочтительными при плавлении тугоплавких веществ благодаря особым свойствам плазмы, таким как: высокая температура (до 5000°K), удельная мощность в единице объема реактора и, следовательно, увеличивающая скорость процесса плавления частиц обрабатываемого материала. В отличие от ваграночного и ванного способов электротермический метод позволяет сократить затраты на производство оборудования и облегчает его эксплуатацию.

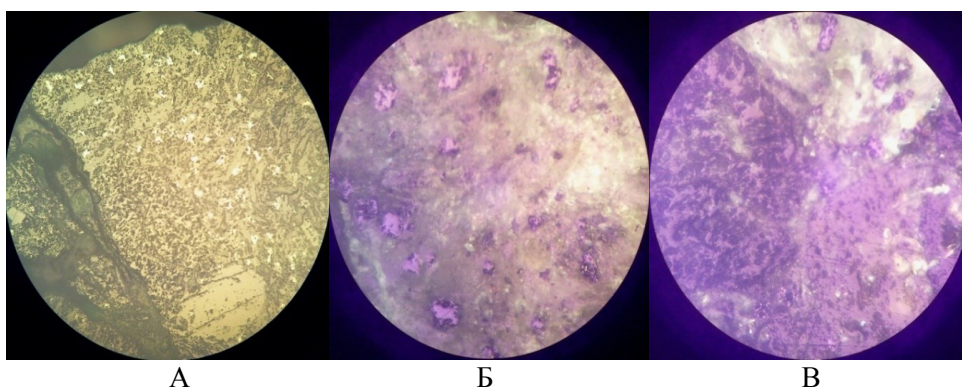


Рис. 1. Базальт Даляньского месторождения. Текстура массивная. Увеличение $\times 100$; а — клинопироксен замещенный хлоритом в актинолитовом базисе с вкраплением эпидота (николи не скрещены); б, в — выделение агрегатов кварца, плагиоклаза, хлорита и вулканического стекла (николи скрещены)

Для исследований по выработке расплавов из базальтового сырья в качестве плавильного аппарата использовался электромагнитный технологический реактор, с отработкой режимов выплавки (рис. 2).

При этом конструктивные особенности реактора позволяют получать чистый расплав, свободный от газовых включений и частично восстановленных металлов, с возможностью производства более качественной продукции [4].

Результаты экспериментов и их обсуждение

В работе кроме петрографического изучения компонентного состава базальта также были проведены исследования его вещественного (элементного) состава и минерального волокна полученного из расплава методом раскрута при плавлении в электромагнитном реакторе.

Для получения расплава и волокна был использован базальт в виде щебня (рис. 3) со следующим элементным составом (табл. 2).

Из данных таблицы можно сделать вывод, что представленный базальт относится к категории «обогащенных» феррощелочных базальтоидов с характерным для них высоким содержанием железа и щелочи, прежде всего, натрия и калия (в пересчете на K_2O , Na_2O), а также фосфора (0,30–0,50%). Для идентификации данных базальтов по элементно-химическому составу содержание фосфора является наиболее важным критерием, поскольку содержание калия и натрия в некоторых образцах могут быть также высоки в связи с вторичными изменениями, произошедшими в результате метаморфизации [5]. В этой связи можно сделать также указание на то, что представленное сырье, используемое для плавления, благодаря высокому процентному содержанию ферро-фосфорно-щелочной составляющей является легкоплавким и характеризуется быстрым переходом в расплав.

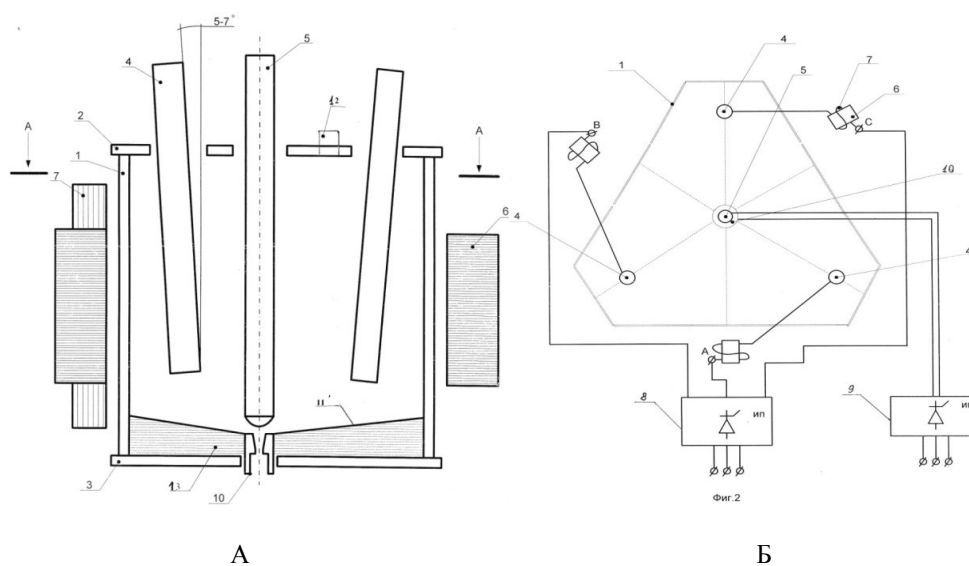


Рис. 2. Продольный (А) и поперечный (Б) разрез электромагнитного технологического реактора
1 — реакционная камера; 2 — водоохлаждаемая крышка; 3 — водоохлаждаемое дно; 4 — стержневые электроды (3 шт.); 5 — стержневой запирающий электрод; 6 — полюсный наконечник; 7 — серийная обмотка; 8 — источник питания; 9 — дополнительный источник питания для подогрева струи; 10 — устройство для вывода расплава (летка); 11 — футерованное днище камеры; 12 — патрубок в реакционную камеру для подачи сырья; 13 — футеровка

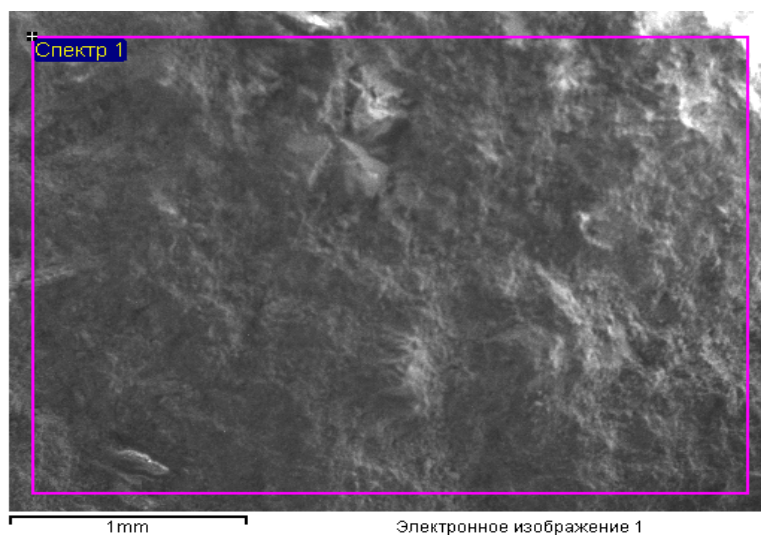


Рис. 3 Микрофотография базальтового щебня

Таблица 2

Элементохимический состав Даляньского базальта

O	Na	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Ti	Fe	Итого
49.12	2.90	2.33	8.77	21.90	0.36	1.60	5.32	0.63	7.08	100.00

Таблица 3

Элементохимический состав волокна выработанного из расплава

O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Fe	Итого
50.20	2.80	2.65	8.09	21.14	1.03	5.30	0.51	6.29	100.00

Плавление данного базальта в электромагнитном дуговом реакторе проходило спокойно без бурления и искровывброса, с низкими энергозатратами. С помощью приборов учета было замечено, что часовое энергопотребление в пересчете на 1 кг. расплава составило 1,5 кВт (1,5 кВт*ч/кг), что указывает на выгодность переработки данного сырья в волокнистые материалы представленным плавильным оборудованием [6]. При сливании расплава проводилось его вытягивание в волокна с помощью раскручивания и центробежного разбрызгивания в камере волокноосаждения.

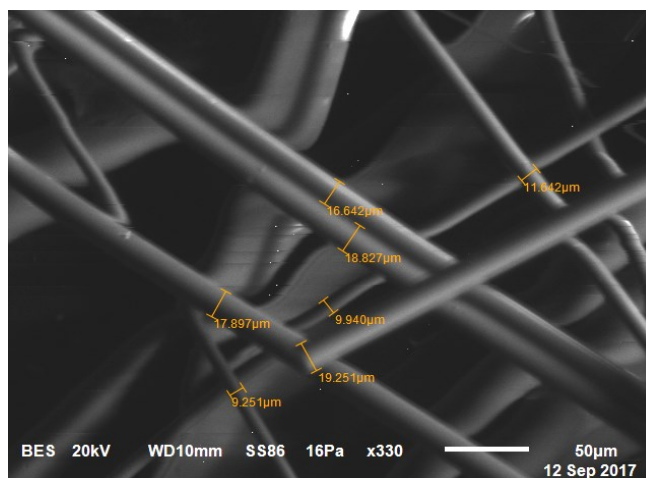
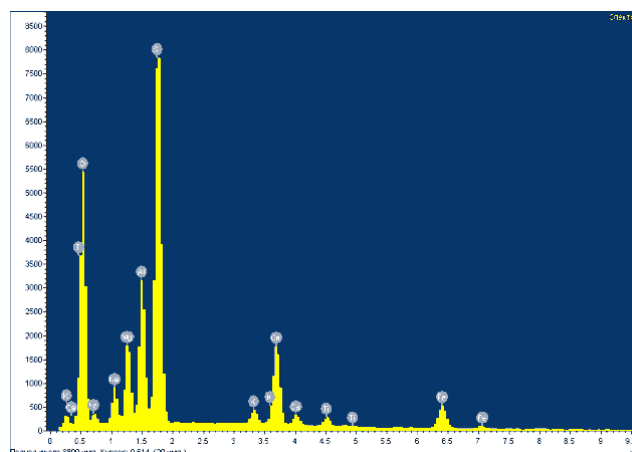


Рис. 4. Микрофотография волокон из базальтового расплава с их преобладающими размерами

На рис. 4 показан внешний вид волокон с их преобладающими размерами. На основании приведенных размеров можно сделать вывод, что представленные волокна относятся к категории тонких штапельных, пригодных для теплоизоляционных работ [7, 8]. На рис. 5 показаны спектральные линии элементов (а) и их массовое распределение (б), в табл. 3 показано массовое содержание (%) элементов в представленном волокнистом материале.



Количественные результаты

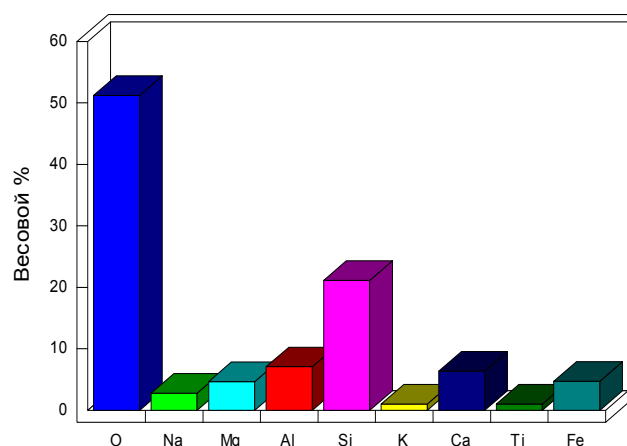


Рис. 5. Спектральные линии распределения элементов и их массовое распределение.

Из данных табл. 3 делается вывод о том, что распределение и процентный состав представленных в исходном базальте элементов (табл. 2) в целом не претерпел заметных изменений. Исключение касается только фосфора, который обладая химической активностью при высокой температуре, мог либо испариться, либо войти в химическое соединение, например с восстановленным железом удаляемым при сливании расплава.

Заключение

Микроскопическое изучение открывает большие возможности для тонких исследований базальтового сырья и полученного из него волокна. Так было показано, что базальт Даляньского месторождения КНР представляет собой сырье, относимое к категории «обогащенных» феррощелочных базальтоидов с характерным для них высоким содержанием железа, щелочи и фосфора. Микрорельеф данного базальта указывает на значительность метаморфиче-

ских изменений, приведших к преобладанию вторичных структур замещения развитых на первичных фазах.

Представленный электромагнитный дуговой плавильный агрегат, являющийся разновидностью плазменных реакторов, позволил плавно регулировать температуру и поддерживать ее на выходе струи из летки, что дало возможность снизить расход энергии для получения расплава.

Выработанный расплав можно рекомендовать для получения каменного литья и тонкого минерального волокна как одного из возможных компонентов при создании композиционных материалов, а также для получения теплоизоляционных материалов волокнистой структуры для строительства и архитектуры.

Литература

1. Мясников А. А., Асланова М. С. Выбор составов горных базальтовых пород для получения волокон различного назначения // *Стекло и керамика*. — 1965. — № 3. — С. 12-15.
2. Буянтуев С. Л., Кондратенко А. С. Исследование физико-химических свойств минеральных волокон, полученных с помощью электромагнитного технологического реактора // *Вестник ВСГУТУ*. — 2013. — № 5 (44). — С. 123-129
3. Заварицкий А. Н., Соболев В. С. Физико-химические основы петрографии изверженных горных пород. — М.: Госгеолгиздат, 1961. — 384 с.
4. Буянтуев С. Л., Малых А. В., Пашинский С. Г., Иванов А. А., Китаев В. В. Патент РФ №2432719. Электромагнитный технологический реактор. БИ. № 21. — 2011.
5. Кутюлин В. А. Проблемы петрохимии и петрологии базальтов. — Новосибирск: Наука, 1972. — 208 с.
6. Кондратенко А. С. Теплоизоляционный материал волокнистой структуры из базальта и золошлаковых отходов, полученные с использованием электромагнитного реактора: Автореферат дисс. ... канд. технич. наук. — Улан-Удэ, 2013. — 22 с.
7. Джигирис Д. Д., Махова М. Ф. Основы производства базальтовых волокон и изделий. — М.: Теплоэнергетик, 2002. — 416 с.
8. Буянтуев С. Л., Кондратенко А. С. Теплоизоляционные материалы волокнистой структуры из расплавов горных пород и золошлаковых техногенных отходов: монография. — Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2014. — 180 с.

TO THE QUESTION OF STUDYING THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF BASALT OF THE DALIAN FIELD (PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA) FOR RECEIVING FUSION IN THE ARC WAY WITH PRODUCTION OF FIBER

S. L. Buyantuev

doctor of Technical Sciences, Professor,
East Siberia State University of Technology and Management
Russia, 670031, Ulan-Ude, Klyuchevskaya Str., 40b

Ning Gong Ling

doctor of Chemical Sciences, Professor,
Dalian State University
People's Republic of China.

Wei E. June
doctor of Chemical Sciences, Professor
Dalian State University
People's Republic of China.

S. Yu. Shishulkin
candidate of Technical Sciences, associate Professor,
Buryat State University
Russia, 670000, Smolina Str., 24a.

I. V. Starinsky
candidate of Technical Sciences, senior lecturer,
East Siberia State University of Technology and Management,
Russia, 670031, Ulan-Ude, Klyuchevskaya Str., 40b

A. S. Kondratenko
candidate of Technical Sciences, senior researcher,
Buryat State University,
Russia, 670000, Smolina Str., 24a.

The results of petrological and chemical study of basaltic rocks of Dalian China field with the aim of further melting in the electromagnetic arc reactor to produce melt and fibrous materials based on it are presented. To obtain the melt basalt crushed stone with particle of 7-10 mm size was used. Microscopic study of raw materials made it possible to conduct precise studies of basalt and the fiber derived from it. It has been shown that basalt from Dalian field represents the raw material to be classified as "enriched" ferroelectric basaltoids with their characteristic high content of iron, alkali, and phosphorus. The micro-relief of the basalt indicated the significance of metamorphic changes having lead to the predominance of secondary structures of substitution developed in the primary phase. Presented electromagnetic arc melting unit allowed to smoothly adjust the temperature and maintain it at the exit of the jet from the tap hole, which gave the opportunity to reduce energy consumption to obtain melt and produce fiber.

Keywords: basalt raw materials, petrological and elemental-chemical compositions, electromagnetic melting reactor, microscopic analysis, melt, fiber.