

Научная статья
УДК 552.3
doi:10.37614/2949-1215.2025.16.1.013

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ТЕРМООБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА ИЗ ПОРОДЫ ГАББРО

**Екатерина Ивановна Бербекова¹, Владимир Александрович Кренев²,
Елена Николаевна Печёнкина³, Сергей Викторович Фомичев⁴**

^{1–4}*Институт общей и неорганической химии имени Н. С. Курнакова Российской академии наук (ИОНХ РАН), Москва, Россия*

¹*ekaterinaberbekova@yandex.ru*

²*krenev@igic.ras.ru*

³*pechenkina@igic.ras.ru*

⁴*fomichev@igic.ras.ru*

Аннотация

Получены лабораторные образцы путем смешения двух фракций измельченной породы габбро с разным размером частиц в соотношении крупная/мелкая = 1/10 и рубленных базальтовых волокон в количестве 8 % мас. от исходной массы смеси. В качестве связующего компонента использовалось калиевое жидкое стекло. Полученную массу помещали в пресс-форму с последующим прессованием и формированием заготовок. Спеченные образцы имели форму цилиндра размером $h \times d = 10 \times 10$ мм. Для всех образцов определены: пикнометрическая плотность, твердость по Бринеллю, пределы прочности и текучести при сжатии, остаточная деформация.

Ключевые слова:

базальтовые волокна, магматические породы, каменная керамика, композитный материал

Финансирование:

исследование выполнено в рамках коллаборации ARIADNA при комплексе NICA по теме государственного задания ИОНХ РАН «Решение актуальных задач с использованием пучков заряженных частиц комплекса NICA» (рег. № 124110600054-0).

Для цитирования:

Влияние температурного режима термообработки на механические свойства композитного материала из породы габбро / Е. И. Бербекова [и др.] // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2025. Т. 16, № 1. С. 76–79. doi:10.37614/2949-1215.2025.16.1.013.

Original article

INFLUENCE OF THE TEMPERATURE REGIME OF HEAT TREATMENT ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF A COMPOSITE MATERIAL MADE OF GABBRO ROCK

Ekaterina I. Berbekova¹, Vladimir A. Krenev², Elana N. Pechenkina³, Sergey V. Fomichev⁴

^{1–4}*N. S. Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

¹*ekaterinaberbekova@yandex.ru*

²*krenev@igic.ras.ru*

³*pechenkina@igic.ras.ru*

⁴*fomichev@igic.ras.ru*

Abstract

Laboratory samples were obtained by mixing two fractions of crushed gabbro rock with different particle sizes in the ratio coarse/fine = 1/10 and chopped basalt fibers in the amount of 8 % by weight from the initial mass of the mixture. Potassium liquid glass was used as a binding component. The resulting mass was placed in a mold, followed by pressing and forming blanks. The sintered samples had the shape of a cylinder measuring $h \times d = 10 \times 10$ mm. The following parameters were determined for all samples: pycnometric density, Brinell hardness, compressive strength and yield strength, and residual deformation.

Keywords:

basalt fibers, igneous rocks, stone ceramics, composite material

Funding:

This study is performed within the ARIADNA Collaboration operating under the NICA facility as a part of State Assignment IGIC RAS "Solving topical problems with NICA charged particle beams" (reg. no 124110600054-0).

For citation:

Influence of the temperature regime of heat treatment on the mechanical properties of a composite material made of gabbro rock / E. I. Berbekova [et al.] // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2025. Vol. 16, No. 1. P. 76–79. doi:10.37614/2949-1215.2025.16.1.013.

Введение

Магматические горные породы, среди которых наиболее распространены базальты и габбро, являются практически неисчерпаемым сырьевым ресурсом, что подтверждают: огромные разведанные запасы; расположение месторождений и их доступность почти во всех регионах России; разнообразный химический и минеральный состав; возможность комплексной переработки сырья.

Результаты исследований магматических пород, в том числе базальтов и габбро [1–3], показали, что их сырьевой потенциал используется недостаточно. Традиционный ассортимент изделий может и должен быть расширен за счет продукции, получаемой при более глубокой и высокотехнологичной переработки сырья.

В работах [4; 5] было показано, что из магматических пород можно получить перспективный материал — каменную керамику, которая, в свою очередь, является основой для получения других функциональных материалов.

Целью данной работы являлось определение температурного режима термообработки сформированных заготовок из измельченных магматических горных пород габбро и габбро с основой в виде базальтового волокна с калиевым жидким стеклом в качестве связующего.

Результаты

Объектом исследований было выбрано габбро (месторождение Наволокское Кондопожского района Республики Карелия). Химический состав пород определен аналитическим центром ФГУП ВНИИФТРИ на спектрометрическом комплексе «Спектр-1», % мас.: SiO₂ — 49,1; TiO₂ — 0,7; Al₂O₃ — 13,3; Fe₂O₃ — 6,5; FeO — 8,4; MgO — 9,7; CaO — 9,7; Na₂O — 2,0; K₂O — 0,4. Полученные значения находятся в пределах, определенных Петрографическим кодексом РФ для магматической горной породы габбро [6].

Минеральный состав был рассчитан методом компьютерного физико-химического моделирования условий образования породы с помощью программно-вычислительного комплекса «СЕЛЕКТОР-С» [7]. Полученный результат (% об.): пироксен-44, плагиоклаз-39, хлорит-4, вулканическое стекло-4, эпидот-2, магнетит-1, биотит-1.

При подготовке сырья к эксперименту образцы породы измельчали до размеров 5–7 мм, затем полученную фракцию помещали в конусную дробилку «ВКМД-6» с дальнейшим рассеиванием на наборе стандартных сит с ячейками, мм: 2,5; 1,6; 1,0; 0,25; 0,125; 0,063 и 0,045.

Навески двух фракций 0,125÷0,25 мм и -0,045 мм в соотношении 1/10 и калиевое жидкое стекло в соотношении мелкая фракция/жидкое стекло 10/1 смешивались. Полученная масса помещалась в пресс-форму, предварительно обработанную силиконовой смазкой для предотвращения адгезии исходной массы. После этого смесь выдерживали в пресс-форме 10 мин, а затем 10 мин под прессом с усилием 2÷2,5 тонны. Затем образцы помещались в сушильный шкаф и высушивались при постоянной температуре 75 °С в течение 1,5 ч. Термообработка проводилась в высокотемпературной печи марки General Term 1300 в температурном диапазоне 900–1 100 °С с шагом 50 °С. Скорость нагрева составляла 20 °/мин. После нагрева печи до заданной температуры образцы выдерживались 120 мин, затем извлекались после охлаждения до комнатной температуры.

Образцы имели правильную цилиндрическую форму диаметром и высотой 10 мм. Для всех образцов были определены пикнометрическая плотность (измерялась на гелиевом пикнометре Руспоматик при температуре 20 °С и давлении 2 бар), измерена твердость по Бринеллю (с помощью электронного твердомера «ТЕМП-3»). Результаты экспериментов приведены в табл. 1 (для образцов

габбро) и в табл. 2 (для образцов габбро с базальтовым волокном). Также для всех образцов были определены пределы прочности и текучести при сжатии и остаточная деформация. Испытания на сжатие проводили с использованием универсальной испытательной машины INSTRON 3382. Обработку результатов испытаний при определении характеристик механических свойств проводили с помощью программного обеспечения INSTRON Bluehill 2.0. Относительная погрешность измерений механических напряжений не превышала 0,5 %. Результаты экспериментов приведены в табл. 3.

Таблица 1

Механические характеристики образцов габбро

Пикнометрическая плотность, г/см ³						Твердость по Бринеллю, НВ					
До спекания	После спекания при t, °С, время выдержки 120 мин					До спекания	После спекания при t, °С, время выдержки 120 мин				
	900	950	1 000	1 050	1 100		900	950	1 000	1 050	1 100
3,57	3,22	3,38	3,23	3,24	3,23	461	657	671	674	702	706

Таблица 2

Некоторые механические характеристики образцов габбро, армированных базальтовым волокном

Пикнометрическая плотность, г/см ³						Твердость по Бринеллю, НВ					
До спекания	После спекания при t, °С, время выдержки 120 мин					До спекания	После спекания при t, °С, время выдержки 120 мин				
	900	950	1 000	1 050	1 100		900	950	1 000	1 050	1 100
3,35	3,95	3,6	3,9	3,95	3,66	491	696	707	705	676	705

Таблица 3

Некоторые механические характеристики образцов

Температура спекания образцов t, °С	Предел прочности при сжатии, МПа		Предел текучести при сжатии, МПа		Остаточная пластическая деформация при сжатии, %	
	Без волокна	С волокном	Без волокна	С волокном	Без волокна	С волокном
900	58	30	57	30	3	4,8
950	65	33	65	33	3	4,0
1000	74	43	72	42	3,5	3,7
1050	81	49	80	47	3,1	3,2
1100	108	71	104	70	3,1	2,9

Выводы

Анализ полученных данных показал, что с повышением температуры термообработки наблюдается увеличение предела прочности и текучести при сжатии исследуемых образцов. Значения твердости по Бринеллю практически не изменяются на всем температурном интервале. Определены наиболее оптимальные условия получения образцов из магматической горной породы габбро: температурный режим термообработки, равный 1 100 °С и время выдержки 120 мин.

Список источников

1. Беляев Е. В., Шилиев А. И. Магматические и метаморфические породы Северного Кавказа как источник минерального сырья для производства базальтового волокна // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2018. № 4 (120). С. 90–95.
2. Комплексная методика выявления и исследования магматических пород для производства базальтового волокна / Р. Г. Ибламинов, К. П. Казыков, Г. А. Исаева, А. П. Седунова // Базальтовые технологии. 2014. № 1. С. 15–18.
3. Черных Н. В. Применения петрохимических методов для изучения магматических горных пород Урала // Материалы Всероссийской научно-методической конференции. Оренбургский государственный университет. 2017. С. 1422–1425.

4. Получение керамических материалов из базальта с использованием связующего компонента / С. В. Фомичев, Н. П. Дергачева, О. А. Носкова, А. В. Стеблевский, К. С. Гавричев, А. В. Хорошилов, В. А. Крнев // *Химическая технология*. 2011. Т. 12, № 3. С. 129–133. ISSN 1684-5811.
5. Получение керамических материалов спеканием измельченного базальта / С. В. Фомичев, Н. П. Дергачева, А. В. Стеблевский, В. А. Крнев // *Химическая технология*. 2010. Т. 11, № 2. С. 106–110. ISSN 1684-5811.
6. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования / гл. ред. О. А. Богатилов, О. В. Петров, А. Ф. Морозов. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. 200 с.
7. Чудненко К. В. Термодинамическое моделирование в геохимии: теория, алгоритм, программное обеспечение, приложения. Новосибирск: ГЕО, 2010, 187 с.

References

1. Belyaev E. V., Shilyaev A. I. Magmatic and metamorphic rocks of the North Caucasus as a source of mineral raw materials for the production of basalt fiber. *Chernaya metallurgiya Bulletin' nauchno-tekhnicheskoy i ekonomicheskoy informacii* [Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information], 2018. No. 4 (120), pp. 90–95. (In Russ.).
2. Iblaminov R. G., Kazykov K. P., Isaeva G. A., Sedunova A. P. Kompleksnaya metodika vyavleniya i issledovaniya magmaticheskikh porod dlya proizvodstva bazal'tovogo volokna [Integrated methodology for identifying and studying igneous rocks for the production of basalt fiber]. *Bazal'tovye tekhnologii* [Basalt technologies], 2014, No. 2, pp 15–18. (In Russ.).
3. Chyornykh N. V. Primeneniya petrohimicheskikh metodov dlya izucheniya magmaticheskikh gornyh porod Urala [Application of petrochemical methods for the study of igneous rocks of the Urals]. *Materialy Vserossiyskoy nauchno-metodicheskoy konferencii. Orenburgskiy gosudarstvennyy universitet* [Proceedings of the All-Russian Scientific and Methodological Conference. Orenburg State University], 2017, pp. 1422–1425. (In Russ.).
4. Fomichev S. V., Dergacheva N. P., Noskova O. A., Steblevskiy A. V., Gavrichiev K. S., Horoshilov A. V., Krenev V. A. Poluchenie keramicheskikh materialov iz bazal'ta s ispol'zovaniem svyazuyushchego komponenta [Obtaining ceramic materials from basalt using a binder]. *Himicheskaya tekhnologiya* [Chemical Technology], 2011, Vol. 12, No. 3, pp. 129–133. ISSN 1684-5811. (In Russ.).
5. Fomichev S. V., Dergacheva N. P., Steblevskiy A. V., Krenev V. A. Poluchenie keramicheskikh materialov spekaniem izmel'chyonnogo bazal'ta [Obtaining ceramic materials by sintering crushed basalt]. *Himicheskaya tekhnologiya* [Chemical Technology], 2010, Vol. 11, No 2, pp 106–110. ISSN 1684-5811. (In Russ.).
6. Bogatikov O. A., Petrov O. V., Morozov A. F. *Petrograficheskiy kodeks Rossii. Magmaticheskie, metamorficheskie, metasomaticheskie, impaktnye obrazovaniya* [Petrographic Code of Russia. Magmatic, metamorphic, metasomatic, impact formations]. Saint Petersburg, VSEGEI, 2009, 200 p. (In Russ.).
7. Chudnenko K. V. *Termodinamicheskoe modelirovanie v geokhimii: teoriya, algoritm, programmnnoe obespechenie, prilozheniya* [Thermodynamic modeling in geochemistry: theory, algorithm, software, applications]. Novosibirsk, GEO, 2010, 187 p. (In Russ.).

Информация об авторах

Е. И. Бербекова — младший научный сотрудник;
В. А. Крнев — доктор химических наук, главный научный сотрудник;
Е. Н. Печёнкина — кандидат химических наук, старший научный сотрудник;
С. В. Фомичев — доктор химических наук, главный научный сотрудник.

Information about the authors

E. I. Berbekova — Research Assistant;
V. A. Krenev — DSc (Chemistry), Principal Researcher;
E. N. Pechonkina — PhD (Chemistry), Senior Researcher;
S. V. Fomichev — DSc (Chemistry), Principal Researcher.

Статья поступила в редакцию 28.05.2025; одобрена после рецензирования 18.06.2025; принята к публикации 02.07.2025.
The article was submitted 28.05.2025; approved after reviewing 18.06.2025; accepted for publication 02.07.2025.