

corrosion protection of anodized aerospace aluminum alloy. G.Yoganandan, J.N.Balaraju. Surface and Coatings Technology. Volume 252, 15 August 2014, Pages 35-47

УДК 666.189.2

И. М. Терещенко, И.В. Войтов, А. П. Кравчук, М. С. Федарович
Белорусский государственный технологический университет,
Минск, Республика Беларусь

**РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ ШИХТ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ ПРОИЗВОДСТВА ШТАПЕЛЬНОГО ВОЛОКНА
НА ОСНОВЕ ГРАНИТОИДНЫХ ПОРОД
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Аннотация. Установлена зависимость минералогического состава гранитоидных пород Республики Беларусь от степени их измельчения. В тонкодисперсных фракциях (менее 0,02 мм) кварц практически отсутствует при увеличении содержания полевошпатовых и темноцветных минералов. Доказана возможность использования отсевов дробления гранитоидов в производстве минерального волокна

I. M. Tereshchenko, I. V. Voitov, A. P. Kravchuk, M. S. Fedarovich
Belarusian State Technological University,
Minsk, Republic of Belarus

**DEVELOPMENT OF CHARGES' COMPOSITIONS AND
TECHNOLOGICAL PARAMETERS FOR THE STAPLE FIBER
PRODUCTION BASED ON GRANITOID ROCKS OF THE
REPUBLIC OF BELARUS**

Abstract. The dependence of the mineralogical composition of granitoid rocks of the Republic of Belarus on the degree of their grinding has been established. In finely dispersed fractions (less than 0.02 mm), quartz is practically absent with an increase in the content of feldspar and mafic minerals. The possibility of using screenings of crushing granitoids in the production of mineral fiber has been proved

Одной из особенностей технологий получения волокон на основе плотных горных пород, в том числе базальтов, является тот факт, что расплав получают без предварительного шихтования измельченной кусковой (размер кусков до 70 мм) либо крупнозернистой (размер зерен

5–12 мм) породы, минуя стадию силикатообразования. Тонкое измельчение указанных пород требует значительных энергетических и материальных ресурсов ввиду их высокой прочности и твердости, в связи с чем не практикуется. В итоге химико-минералогический состав горных пород, обусловленный условиями их образования в природе, характеризуется нестабильностью и значительными колебаниями содержания основных породообразующих оксидов. Это осложняет технологические процессы плавления пород, гомогенизации полученного расплава и волокнообразования [1].

Негативное влияние на технологические стадии получения волокон оказывает также наличие в породах тугоплавких включений (оливин, кварц, цепочечные силикаты и др.). В итоге в расплаве горной породы, например базальта, имеет место недостаточная степень разрушения кристаллических структур таких включений. Наличие в нем зон с упорядоченным расположением атомов сопряжено с большими потерями в ходе волокнообразования, ухудшением качества волокна, снижением производительности установок. Для повышения степени аморфности расплав практикуют перегрев его вплоть до 1700–1750 °С, что требует повышенного расхода топлива, применения дорогостоящих огнеупоров, усложнения конструкции печей и фидеров, использования специальных устройств (гомогенизаторов расплава).

Как правило стремятся использовать так называемые «длинные» базальты с малым градиентом температурной зависимости вязкости $d\eta/dT$ в области температуры выше 1350 °С, не содержащие тугоплавких компонентов, с высокой степенью однородности по химическому составу. Установлено, что оптимальным сырьем с точки зрения производства волокнистых материалов является порода, химический состав которой варьируется в пределах, мас. %: SiO_2 – 43,0–48,0; Al_2O_3 – 11,0–14,0; Fe_2O_3+FeO – более 10 %; MgO – 4,0–7,0; CaO – 1,0–10,0; ΣR_2O – 4,0–5,0. Такие породы относительно легко плавятся в области температуры 1420–1470 °С с переходом в стеклообразное состояние при охлаждении.

Основными породообразующими минералами базальтовых пород, как правило, являются полевые шпаты, пироксены и темноцветные минералы (авгит, роговая обманка и др.). Их содержание в породе определяет характер ее плавления. При этом содержание полевых шпатов предпочтительно должно быть выше 60 %, пироксенов (силикатов с цепочечным строением – 12–18 %). Остальные минералы имеют меньшее содержание, однако, могут существенно осложнять процесс плавления, например, такие тугоплавкие вещества, как оливин и свободный кварц, зерна которых плохо растворяются в силикатном

расплаве.

Резюмируя, можно сказать, что основные особенности расплавов магматических горных пород в сравнении с расплавами промышленных стекол заключаются в следующем:

- расплав получают, как правило, без предварительного шихтования измельченной кусковой (диаметр кусков 30 мм и более) либо крупнозернистой (1–5 мм) породы, минуя стадию силикатообразования;

- плавление протекает в интервале температур (1040–1480 °С), температура полного плавления достаточно высока (> 1500 °С);

- проблемным является получение однородного (гомогенного) расплава – важнейшее условие для получения тонких волокон. Чем выше температура расплава и продолжительность плавления, тем больше степень разрушения кристаллических структур минералов породы, тем легче реализуется формирование волокон без кристаллизации расплава и наоборот;

- склонность к кристаллизации расплавов и повышенная скорость их твердения осложняют процесс волокнообразования.

Таким образом, с точки зрения технологии, горные породы являются достаточно сложными объектами для получения волокон, тем не менее благодаря ряду ценных свойств базальтовое волокно и продукция на его основе находят все большее применение в различных отраслях, в том числе для получения теплозвукоизоляционных материалов. К настоящему времени накоплен большой практический опыт по выбору горных пород, пригодных для получения штапельных и непрерывных волокон, определены критерии пригодности, требуемые характеристики расплавов, химико-минералогический состав пород [1, 2].

В Республике Беларусь имеются разведанные месторождения базальтовых пород, которые, однако, пока не используются из-за сложных условий залегания. В тоже время имеется мощное месторождение гранитоидных (гранодиоритовых) пород, на базе которого функционирует РУПП «Гранит» – горнодобывающее предприятие, ориентированное на получение щебня для строительных нужд с объемом выпуска более 15 млн. тонн в год: щебня различных фракций, щебеночно-песчаных смесей и др.

В сравнении с базальтами гранитоиды характеризуются пониженным содержанием цепочечных силикатов типа авгита, но повышенным содержанием кремнезема, который находится как в связанном, так и в свободном состоянии (кварц). Последний, будучи тугоплавким минералом, предопределяет невозможность решения

задачи по созданию материало- и ресурсосберегающих технологий получения минерального волокна на основе исходной гранитоидной породы, поскольку кварц плавится при температуре более 1700 °С, в то время как современные технологии получения расплавов для вытяжки волокон ориентируются на температуры не выше 1500 °С.

Сооружение высотных зданий, скоростных магистралей, железных дорог предъявляет к строительному щебню жесткие требования, важнейшим из которых является его кубовидная форма, что обеспечивает прочность и долговечность бетонных конструкций при низком расходе вяжущего-портландцемента. Требуемая форма кусков породы достигается в ходе многократной механической дезинтеграции исходной породы (четырёх стадий дробления), помимо взрывных работ. Это обуславливает образование огромного количества отходов, что является отличительной чертой предприятий-переработчиков плотных горных пород: на каждую тонну товарного щебня приходится 0,6–0,7 т отходов, в том числе, так называемых, отсевов дробления.

Предпринимаются попытки вовлечения отсевов в другие отрасли промышленности. Например, в производстве бетонов, сухих строительных смесей, керамических материалов и др. Однако, в целом, объёмы использования отсевов в РБ невелики. Такая же ситуация с отсевами в РФ, где используются менее 20 % образующихся отсевов, в основном для отсыпки карьерных и региональных дорог.

Основные причины сложившейся ситуации:

– отсевы дробления изверженных пород являются продуктом сугубо местного значения, поскольку стоимость их мала (приравнивается к стоимости строительного песка), а транспортные тарифы значительно выше. В связи с этим в РБ ежегодно в отвалы отправляется свыше 3,75 млн. т. отсевов;

– отсевы дробления содержат до 30 % высокодисперсных фракций, которые препятствуют эффективному использованию их крупных фракций (> 2,0 мм).

Выходом из сложившейся ситуации является поиск новых областей применения отсевов дробления гранитоидных и им подобных пород, позволяющих получать на их основе продукцию с высокой прибавочной стоимостью. В этом случае экономическая целесообразность обеспечит преодоление отмеченных проблем.

Проведенные на кафедре технологии стекла и керамики БГТУ исследования химико-минералогического состава отсевов дробления гранитоидных пород Республики Беларусь позволили выявить, что по мере возрастания степени измельчения породы происходит изменение

как химического, так и минералогического составов, а именно, ее обогащение полевошпатовыми и темноцветными минералами при снижении общего содержания кремнезема, причем осуществляется это именно за счет свободного кварца. Это подтверждается ниже приведенными данными. Исходный отсев дробления гранитоидов (фракции менее 5,0 мм) характеризуется следующим химическим составом, мас. %: SiO_2 – 63,1; Al_2O_3 – 14,3; $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ – 7,25; CaO – 4,6; MgO – 2,4; Na_2O – 2,76; K_2O – 4,85; P_2O_5 – 0,3; TiO_2 – 0,5; MnO – 0,18; SO_3 – 0,3; п.п.п. – 0,97. Минералогический состав отсевов включает следующие минералы, %: полевошпатовой группы – 70; темноцветные – 9–10; свободный кварц – 13–14. В результате пневматической классификации с выделением фракции менее 0,16 мм получен продукт, содержащий, мас. %: SiO_2 – 53,56; Al_2O_3 – 13,81; $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ – 10,34; CaO – 7,12; MgO – 4,30; Na_2O – 3,77; K_2O – 2,93; P_2O_5 – 0,92; TiO_2 – 1,27; MnO – 0,17; SO_3 – 0,33; п.п.п. 1,10. В сравнении с исходной породой отмечается пониженное содержание SiO_2 на 9,6 % при повышенной концентрации щелочноземельных оксидов и железа. Это объясняется тем, что твердость (прочность) зерен кварца выше прочности зерен остальных минералов породы, то есть они с трудом измельчаются и в большинстве своем остаются в крупных фракциях отсевов.

Таким образом, по мере увеличения степени измельчения породы в дисперсных фракциях (менее 0,16 мм) остается 1,0–1,5 % тонкодисперсного кварца, который практически не влияет на характеристики расплавов, используемых для получения волокна, а также на процесс волокнообразования. Важным обстоятельством является и тот факт, что по химическому составу фракция отсевов менее 0,16 мм соответствует требованиям, предъявляемым к породам, пригодным для получения минерального волокна на их основе.

На основе данных проведенных исследований разработаны составы шихт и технологические параметры получения минерального волокна. В ходе лабораторных и промышленных испытаний показана принципиальная возможность использования дисперсных фракций отсевов дробления гранитоидов Республики Беларусь в производстве минерального волокна. Поскольку речь идет о многотоннажных технологиях большое значение имеют объемы сырья, пригодного для обозначенной цели. Самые осторожные оценки дают цифру около 200 тыс.т/год, в связи с чем Республика Беларусь имеет возможность создавать новые промышленные объекты по производству волокнистых материалов на основе отсевов дробления гранитоидов, кроме того страна может стать крупным экспортером кондиционного сырья для

производства как непрерывного, так и штапельного волокна.

Следует рассматривать два варианта использования дисперсных фракций отсевов дробления гранитоидов Республики Беларусь:

- производство штапельного минерального волокна с последующим получением теплоизолирующих материалов: плит, матов, скорлуп и др.;

- производство непрерывного минерального волокна, ориентированного, прежде всего, на получение композиционных материалов и изделий.

На наш взгляд следует предпочесть первый вариант, а именно: производство изделий для теплоизоляции в силу следующих обстоятельств:

- высокая производительность оборудования; мощность цеха в 40–60 тыс.т/год легко обеспечивается современными технологиями производства штапельного волокна;

- относительно низкие затраты на производство, связанные с отсутствием необходимости использования платины и ее сплавов для бушингов (60% от общих затрат на производство непрерывных волокон);

- использование мощных электрических гарнисажных печей для получения расплава производительностью до 10 т/ч расплава;

- высокопроизводительное оборудование для формирования волокон (валковые центрифуги);

- по данным Агенства стратегического и экономического развития, объем, ввозимых в Республику теплоизоляционных материалов, составляет около 60000 т в 2020 г.

Следует отметить, что в Республике Беларусь наряду с наличием исходного сырья – отсевов гранитоидных пород имеются и другие предпосылки для организации производства звуко- и теплоизоляционных изделий на основе штапельного волокна. Получение требуемых фракций отсевов может обеспечить ОАО «НПО Центр», развивающее инновационные технологии выделения дисперсных отходов дробления непосредственно в ходе измельчения исходной породы. Для организации производства теплоизолирующей продукции на основе гранитоидов не обязательно строить новое предприятие. Подходящим объектом для этой цели является ОАО «Брестский электроламповый завод», на котором сохранена вся инфраструктура, оставшаяся после закрытия цеха по производству стеклотрубки для ламп накаливания: имеются свободные площади для размещения нового оборудования, отделения подготовки шихты, оборудование для энерго- и газоснабжения, подачи воды, производства

сжатого воздуха и др.

Список использованных источников

1 Джигирис, Д.Д. Основы производства базальтовых волокон и изделий / Д.Д. Джигирис, М.Ф. Махова. – М.: Теплоэнергетик, 2002. – 416 с.

2 Жуков, А.Д. Технология теплоизоляционных материалов: учеб. пос. Ч. 1. Теплоизоляционные материалы. Производство теплоизоляционных материалов / А.Д. Жуков. – М.: МГСУ, 2011. – 431 с.

УДК 621.382

**А.С. Калиниченко¹, В.Л. Басинюк², В.Г. Лугин¹,
И.Д. Тычинская², Н.Г. Короб¹, Т.Л. Карпович¹**

¹Белорусский государственный технологический университет

²Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
Минск, Беларусь

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ТРЕНИЯ

Аннотация. Повышение качества обработки поверхности твердых материалов является важной задачей машиностроения, так же, как и повышение антифрикционных свойств поверхности. Обе задачи направлены на повышение надежности работы пар трения.

**A.S. Kalinichenko¹, V.L. Basinyuk², V.L. Lugin¹,
I.D. Tychinskaya², N.G. Korob¹, T.L. Karpovich¹**

¹Belarusian State Technological University

²Joint Institute of Mechanical Engineering of NAS of Belarus
Minsk, Belarus

IMPROVING THE RELIABILITY OF THE FUNCTIONING OF THE SURFACE OF PARTS IN FRICTION CONDITIONS

Abstract. Improving the quality of surface treatment of solid materials is an important task of mechanical engineering, as well as improving the antifriction properties of the surface. Both tasks are aimed at improving the reliability of the friction pairs.

Во многих случаях к качеству поверхности изделий