

Лукачевская И. Г., Лебедев М. П., Кычкин А. К.  
I. G. Lukachevskaya, M. P. Lebedev, A. K. Kychkin

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРИМЕРЕ ТЕКСТОЛИТОВ

### INVESTIGATION OF FILLER EFFECT ON POLYMER COMPOSITE MATERIAL PROPERTIES BY EXAMPLE OF TEXOLITES

Лукачевская Ирина Григорьевна – аспирант Института физико-технических проблем Севера имени В. П. Ларионова (Россия, Якутск); 677980, Россия, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Октябрьская, 1. E-mail: mirkin1611@gmail.com.

Mrs. Irina. G. Lukachevsky – Graduate Student, V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North (Russia, Yakutsk); 677980, Russia, the Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, 1 Oktyabrskaya str. E-mail: mirkin1611@gmail.com.

Лебедев Михаил Петрович – член-корреспондент Академии наук России, доктор технических наук, главный научный сотрудник Института физико-технических проблем Севера имени В. П. Ларионова (Россия, Якутск); 677980, Россия, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Октябрьская, 1. E-mail: prezidium@prez.ysn.ru.

Mr. Michail. P. Lebedev – Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, V. P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North (Russia, Yakutsk); 677980, Russia, the Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, 1 Oktyabrskaya str. E-mail: prezidium@prez.ysn.ru.

Кычкин Анатолий Константинович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Института физико-технических проблем Севера имени В. П. Ларионова (Россия, Якутск); 677980, Россия, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Октябрьская, 1. E-mail: kychkinplasma@mail.ru.

Mr. Anatoli. K. Kychkin – PHD in Engineering, Leading Researcher, V. P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North (Russia, Yakutsk); 677980, Russia, the Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, 1 Oktyabrskaya str. E-mail: kychkinplasma@mail.ru.

**Аннотация.** В строительстве проявляется повышенный интерес к использованию базальтовых волокон как альтернативы традиционным полимерным композиционным материалам на основе стеклянных, органических и углеродных волокон. В связи с этим представляет интерес новая информация, раскрывающая возможности базальтопластиков как материалов конструкционного назначения. В настоящей работе исследовано влияние типа наполнителя на физико-механические свойства базальтотекстолита и стеклотекстолита. Приводится описание композитов на основе базальтового волокна и стекловолокна, получения базальтового непрерывного волокна.

**Summary.** In construction, there is an increased interest in the use of basalt fibers as an alternative to traditional polymer composite materials based on glass, organic and carbon fibers. In this regard, new information is of interest, revealing the possibilities of basalt plastics as structural materials. In the present work, the influence of the type of filler on the physicomachanical properties of basaltotextolite and fiberglass is studied. A description is made of composites based on basalt fiber and fiberglass, to obtain basalt continuous fiber.

**Ключевые слова:** полимерный композиционный материал, наполнитель, базальтовое волокно, стеклянное волокно, предел прочности, изгиб, растяжение, эпоксидное связующее.

**Key words:** polymer composite material, compound product, basalt fiber, glass fiber, breaking strength, bending, tension, epoxy binder.

УДК 678.018

#### Введение

Промышленность всегда стремится найти новые и более качественные материалы для производства новых или усовершенствованных продуктов. Энергосбережение, охрана окружающей среды, устойчивость к коррозии являются важными факторами при изготовлении новых продук-

тов или модификации уже существующих. Рассмотрим несколько примеров с существующими проблемами в эксплуатации. Высоковольтные вышки почти с самого начала были разработаны с укреплением из стали, и в ближайшие несколько лет необходима будет их замена. Поэтому в настоящее время стоит задача разработать новый тип опоры из нового материала, который будет прочным, лёгким и иметь минимальный риск коррозии. Большая часть фонарных и телефонных столбов изготовлена из стали и дерева, существует потребность в новых материалах, которые крепче, легче и коррозиестойкие. Инженеры всегда ищут новые решения для улучшения сооружений. Одним из решений может быть новый материал, который более прочный, лёгкий и с минимальным риском коррозии. Самолётостроительная, кораблестроительная и автомобильная промышленности всегда пытаются разработать более лёгкие конструкции без потери прочности материала для энергосбережения. Энергия, необходимая для производства базальтового волокна, составляет около 5 кВт·ч/кг, а для продукта из углеродистой стали требуется около 15 кВт·ч/кг.

Вышеизложенное относится к армированным волокном полимерам, где смола является матрицей. Одним из важных преимуществ использования армированного волокном полимера является его коррозионная стойкость. Во влажных климатических условиях, где обычная металлическая арматура постоянно подвержена коррозии, теряет свои прочностные свойства в течение короткого времени, тем самым снижая эксплуатационную прочность бетонных конструкций, композитная арматура с коррозионностойким свойством намного предпочтительнее в применении.

Композиционные материалы состоят из двух или более элементов, работающих вместе, чтобы получить свойства одного композитного материала (физического, не химического). Композиционный материал обычно состоит из матрицы и армирующего материала. Армирование обычно используется в виде волокон (например, углерода или стекловолокна), и используется для увеличения прочности и жёсткости матрицы (например, эпоксидной или полиэфирной смолы) [1].

Армирование композиционных материалов, как правило, используется для улучшения механических свойств с неразбавленной системой смолы. Наиболее распространено подкрепление волокна смолой у стекловолокна. Существуют и другие типы волокон для армирования, такие как углеродное волокно, другие пластиковые волокна и в последнее время базальтовые волокна.

Базальт может быть использован для изготовления не только базальтовых арматур, но и базальтовых тканей, нитей, непрерывных базальтовых проводов накаливания и базальтовых сеток. Области применения базальтовых композитов: армирование пластмасс и полимеров; укрепление почвы, мостов и дороги; изготовление промышленных полов; тепло- и звукоизоляция жилых и промышленных зданий; пуленепробиваемые жилеты; модернизация и реконструкция сооружений.

Производство базальтовых волокон похоже на производство стекловолокна. Базальт добывают, дробят и промывают, а затем расплавляют при температуре 1500 °С [1]. Расплавленная порода затем выдавливается через фильеру для получения непрерывных нитей базальтового волокна. Базальтовые волокна не содержат каких-либо других добавок в одном производственном процессе, что даёт дополнительное преимущество в стоимости изготовления. Известно, что базальтовые волокна имеют прочность на разрыв более чем у Е-стекловолокна, большую нагрузку разрушения, чем у углеродных волокон, а также хорошую стойкость к химическому воздействию ударной нагрузки [3].

Производители базальтовых волокон (например, ООО «Каменный век» в России) говорят, что базальтовые волокна имеют предпочтительные механические свойства, такие как более высокий предел прочности, а также более низкую стоимость производства, чем у стекловолокна [4]. ООО «Каменный Век» также отмечает, что переработка базальтовых волокон гораздо эффективнее, чем стекловолокна, и поэтому базальтовые волокна являются экологически чистыми [4]. Базальтовое волокно может быть классифицировано как устойчивый материал из-за того, что изготовлено из базальтовых волокон природного материала и при переработке базальтового волокна со смолой получается тот же материал в виде природного базальтового порошка [4].

#### **Экспериментальные результаты**

Для исследования влияния различных типов наполнителей были изготовлены образцы базальто- и стеклотекстолита, полученные методом инфузии, путём последовательной укладки ар-

мирующего материала на форму, пропиткой трёхкомпонентным эпоксидным связующим, состоящим из ЭД-22, Изо-МТГФА, Агидол 53, и отверждением при температуре  $160\pm 2$  °С в течение 4 ч.

1. Лист базальтотекстолита толщиной 5 мм состоит из 15 слоёв базальтовой ткани БТ-11П-кв-12 и 2 слоёв (первый и последний) ТБК-100П-кв-12. Плетение саржа. Содержание эпоксидного связующего в отверждённом образце составило  $20\pm 0,5$  % от массы базальтотекстолита.

2. Лист стеклотекстолита толщиной 5 мм, состоящий из стеклоткани Ортекс 560 – 13 слоёв. Плетение полотняное. Содержание эпоксидного связующего в отверждённом образце составило  $13\pm 0,5$  % от массы стеклотекстолита.

Для определения физико-механических свойств базальто- и стеклотекстолита полученные образцы были подвержены серии испытаний на растяжение и изгиб с применением разрывной машины «Zwick Roel Z600», тип ВРС-F0600ТN.R09, серийный номер:160088-2008 (ГОСТ 12004-81) на базе ЦКП ИФТПС им. В. П. Ларионова СО РАН.

Полученные результаты испытаний образцов базальтотекстолита и стеклотекстолита представлены на рис. 1.

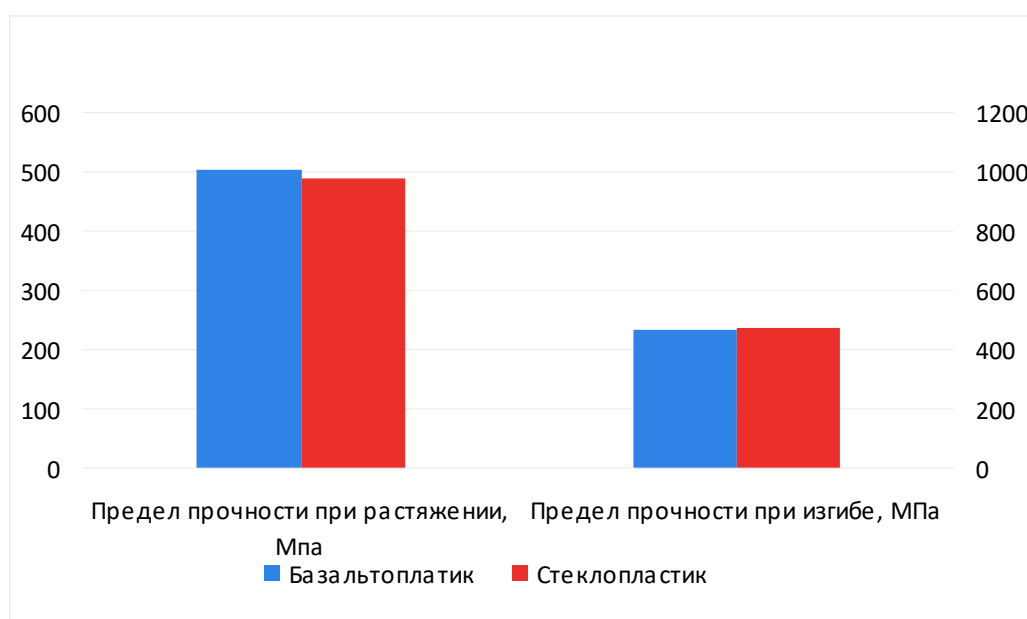


Рис. 1. Экспериментальные значения предела прочности при растяжении и изгибе образцов базальтотекстолита и стеклотекстолита

На рис. 2 представлен вид разрушенных образцов. Из снимков видно, что образцы разделяются на две части, что имеет характер разрушения вязко-упругий.

Разрушенные образцы были исследованы на стереоскопическом микроскопе «Stemi 2000-C» (Carl Zeiss, Германия, 2007), чтобы визуально оценить характер разрушения. На микрофотографиях разрушенных образцов базальтопластика (см. рис. 3) и стеклопластика (см. рис. 4) видно, что разрушение происходит в результате процесса зарождения, слияния, распространения внутренних пор и расслоения нитей тканей в зависимости от способа плетения.

Видно, что плетение по способу «саржа» показывает наилучшие адгезионные свойства между полимерной матрицей и наполнителем. При полотняном плетении расслоение происходит по всему рабочему телу образца, что указывает на низкие адгезионные свойства.

#### Заключение

Полученные результаты свидетельствуют о том, что экспериментальные образцы текстолита на основе базальтовой ткани при способе плетения «саржа» обладают более высокими прочностными свойствами, в частности образцы базальтотекстолита имеют значения предела прочности  $\sigma_p = 503,05\pm 15$  МПа, образцы стеклотекстолита имеют  $\sigma_p = 488,15\pm 15$  МПа.

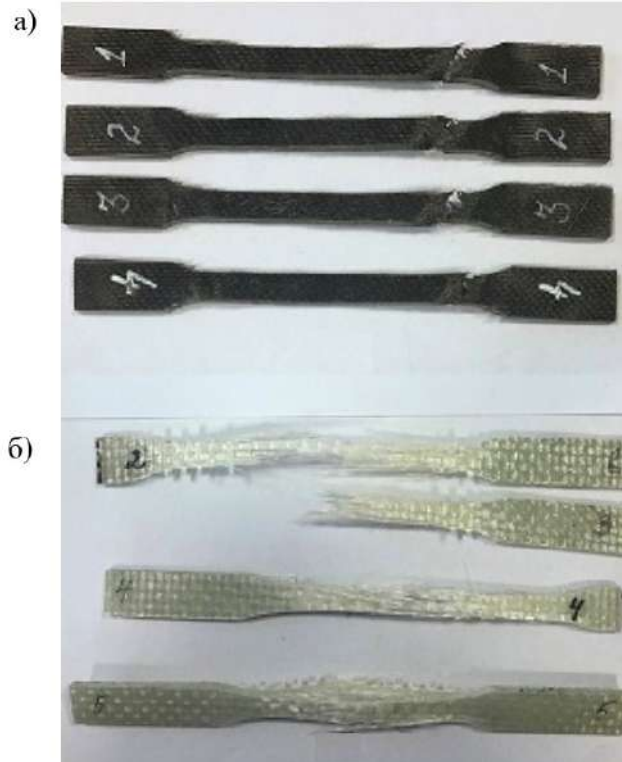


Рис. 2. Вид разрушенных образцов:  
 а – базальтотекстолита, б – стеклотекстолита



Рис. 3. Микрофотография разрушенных образцов  
 базальтотекстолита. Указанный масштаб соответствует 1000 мкм



Рис. 4. Микрофотография разрушенных образцов  
 стеклотекстолита. Указанный масштаб соответствует 1000 мкм

Базальтовые композитные материалы имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными продуктами из стали и другими полимерными материалами. Их лёгкий вес в сочетании со стойкостью к коррозии приведёт к экономии и устойчивости различных конструкций. Базальтопластики являются идеальным выбором для морских сооружений, прибрежных строений, парковок, мостов, дорог и строений, весьма чувствительных к коррозии, а также для водопроницаемых бетонных покрытий.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Соломко, В. П. Наполненные кристаллизующиеся полимеры / В. П. Соломко. – Киев: Наукова Думка, 1980. – 264 с.
2. Наполнители для полимерных композиционных материалов: справ. пособие / пер. с англ.; под ред. Г. С. Каца, Д. В. Милевски. – М.: Химия, 1981. – 736 с.
3. Ричардсон, М. Промышленные полимерные композиционные материалы / М. Ричардсон; пер. с англ.; под ред. П. Г. Бабаевского. – М.: Химия, 1980. – 472 с.
4. Kamenny Vek. (2009). Advanced basalt fiber. Basfiber. Retrieved May 9, 2012 [Электронный ресурс] // URL: <http://www.basfiber.com/>.
5. Ross, A. (2006). Basalt fibers: Alternative to glass? Composites World. Retrieved May 9, 2012 [Электронный ресурс] // URL: <http://www.compositesworld.com/articles/basalt-fibers-alternative-to-glass>.
6. SP Systems. (n.d.). Guide to composites. Retrieved [Электронный ресурс] // URL: <http://www.bolton.ac.uk/codate/spguidetocomposites.pdf>.
7. Sim, J., Park, C., & Moon, D. Y. (2005). Characteristics of basalt fiber as a strengthening material for concrete structures. Composites Part B: Engineering, 36(6-7), 504-512 [Электронный ресурс] // URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2005.02.002>.
8. ГОСТ 32656-2014. Композиты полимерные. Методы испытаний. Испытания на растяжение. – Введ. 2015-09-01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 40 с.
9. ГОСТ 25.604-82. Расчёты и испытания на прочность. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). Метод испытания на изгиб при нормальной, повышенной и пониженной температурах. – Введ. 1984-01-01. – М.: Стандартинформ, 2005. – 7 с.