

УДК 620.172

**Д.С. Лобанов, А.В. Бабушкин**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Пермь, Россия

## **МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ НА ОДНООСНОЕ РАСТЯЖЕНИЕ ОДНОНАПРАВЛЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПОНИЖЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

Предложенная методика испытаний однонаправленных композиционных материалов на одноосное растяжение при пониженных температурах позволяет определять предел прочности однонаправленных композиционных материалов при нормальных и пониженных температурах. Проведено опробование методики при пониженных температурах 0 °С и –30 °С. В ходе проведения экспериментальных исследований все образцы разрушались в рабочей части, что позволило получить предел прочности и модуль упругости однонаправленного стеклопластика с содержанием волокна 70 %. Построены диаграммы нагружения и деформирования. Полученные результаты экспериментального исследования позволяют сделать вывод о приемлемости данной методики при испытаниях однонаправленных композиционных материалов на одноосное растяжение при нормальных и пониженных температурах. Даны рекомендации по испытанию однонаправленных композиционных материалов при повышенных температурах.

**Ключевые слова:** методики испытаний, однонаправленные композиционные материалы, испытание на растяжение, экспериментальная механика, пониженные температуры

**D.S. Lobanov, A.V. Babushkin**

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

## **TECHNIQUE OF UNIDIRECTIONAL COMPOSITE MATERIALS AT LOW TEMPERATURES TENSILE TESTS**

The technique of unidirectional composite materials at low temperatures uniaxial tension tests. This method allows determining the tensile strength of unidirectional composite materials under normal and low temperatures. The approbation technique at low temperature of 0 °C and –30 °C. During the research all tests specimens were destroyed in the «work area», which allowed for the tensile strength and modulus of unidirectional glass fiber with 70 %. The diagrams of loading and deformation. The obtained experimental results suggest the acceptability of this method for testing of unidirectional composite materials uniaxial tension at normal and low temperatures. Recommendations of unidirectional composite materials at high temperatures test.

**Keywords:** techniques of tests, unidirectional composite materials, tensile test, experimental mechanics, low temperature tests.

В настоящее время полимерные волокнистые композиционные материалы (ПВКМ) широко применяются в различных отраслях. Для рационального использования ПВКМ необходимо всестороннее исследование механических свойств, в том числе в условиях рабочих температур эксплуатации. Изделия из ПВКМ обладают рядом неоспоримых преимуществ, таких как небольшой вес, обусловленный небольшой плотностью материала, не высокая цена производства; легкость и простота перевозки. Наряду с преимуществами также существует и ряд недостатков. Эти недостатки связаны с изготовлением, механической обработкой, эксплуатацией и прежде всего с исследованием механических свойств ПВКМ и конструкций из них [1]. Таким образом, исследование механических характеристик ПВКМ и проблема определения зависимостей механических характеристик композиционных материалов от температуры является актуальной задачей [2].

Целью данной работы являлись доработка и опробование методики механических испытаний образцов однонаправленного стеклопластика, описанной в [3, 4], с максимально высоким реализуемым наполнением хрупкими высокомодульными волокнами на одноосное растяжение при нормальных и пониженных температурах. Объектом исследования являлся однонаправленный стеклопластик Direct "E" Roving 0,7 – orthophthalic polyester resin 0,3 с 70%-ным содержанием армирующего элемента.

Повышенное содержание объемной доли волокна приводит к увеличению прочности материала вдоль направления армирования и к резкому уменьшению прочности в поперечном направлении армирования. Также особенностью является существование материала в виде первичного элемента конструкции – однонаправленной ленты поперечным размером 40×5 мм с периферийной обсыпкой кварцевым песком. Использование стандартных методов для определения механических характеристик не всегда возможно. В таких случаях исследователи пользуются специально разработанными методиками [3–7].

Для учета перечисленных особенностей была спроектирована и изготовлена специальная захватная часть. Образец стеклопластика выполняется в виде стержня постоянного сечения. Захватные части имеют форму стальной гильзы (рис. 1, а), один конец которой закрепляется в захватах испытательной машины, а в другом выполняется глубокое конусное отверстие для погружения в него стеклопластикового

образца. Закрепление стеклопластикового образца в конусном отверстии стальной гильзы производится посредством эпоксидного клея, без поперечного обжатия. Степень прочности такого захвата определяется свойствами связующего, глубиной погружения и углом конуса. Вклеивание стержней в гильзы производилось при помощи эпоксидного клея с увеличенной долей отвердителя, а также нанесением меток на рабочую часть образца при помощи маркера для использования бесконтактного оптического экстензометра (рис. 1, б).

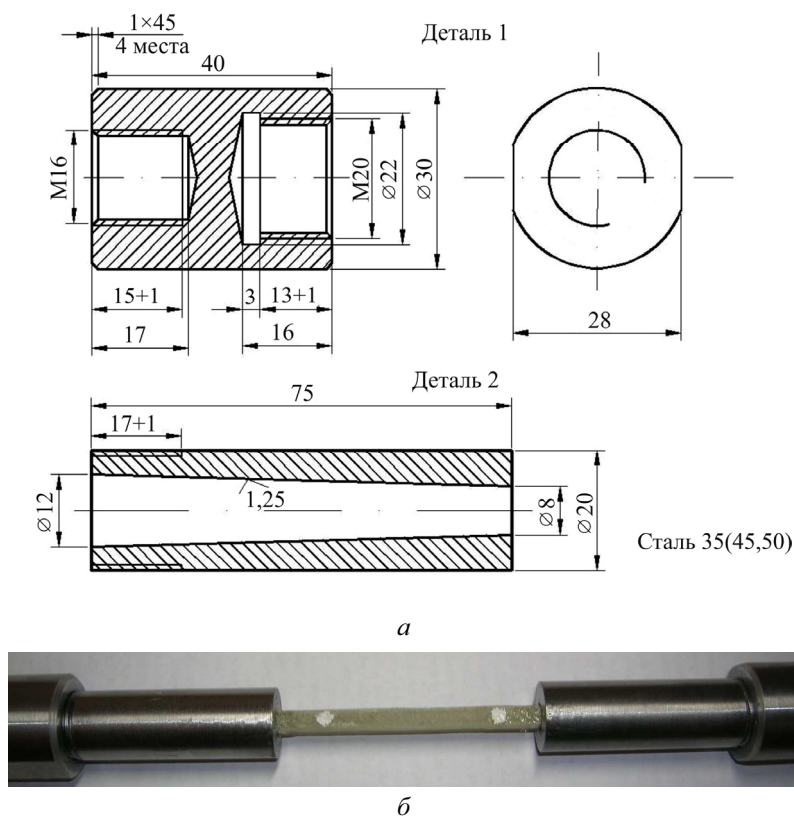


Рис. 1. Эскиз захватной части (а) и внешний вид образца высоконаполненного стеклопластика для проведения испытаний на одноосное растяжение с нанесенными метками для возможности использования бесконтактного видеоэкстензометра (б)

Испытания однонаправленного стеклопластика при растяжении вдоль направления армирования в условиях комнатной и пониженных температур проводились на универсальной электромеханической системе Instron 5882. В качестве измерителя деформаций использовался бесконтактный видеоэкстензометр Instron AVE. Необходимость при-

менения оптического экстензометра AVE или иного бесконтактного экстензометра обусловлена характером разрушения образцов данного материала. Пониженные температуры достигались в термокамере при помощи жидкого азота [7]. Использование термокамеры дает возможность проведения режима термостатирования и самого испытания при действии выбранной температуры. Режим термостатирования включал в себя линейное охлаждение образцов и всей нагружающей цепи до выбранных отрицательных температур со скоростью  $5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$  и выдержку в течение 2 часов, из расчета 20 минут на миллиметр толщины. При испытаниях осевое нагружение осуществлялось со скоростью перемещения траверсы  $5\text{ мм}/\text{мин}$ .

Типовые диаграммы деформирования однонаправленного стеклопластика из испытаний на растяжение при  $0^{\circ}\text{C}$  и  $-30^{\circ}\text{C}$  представлены на рис. 2 и 3.

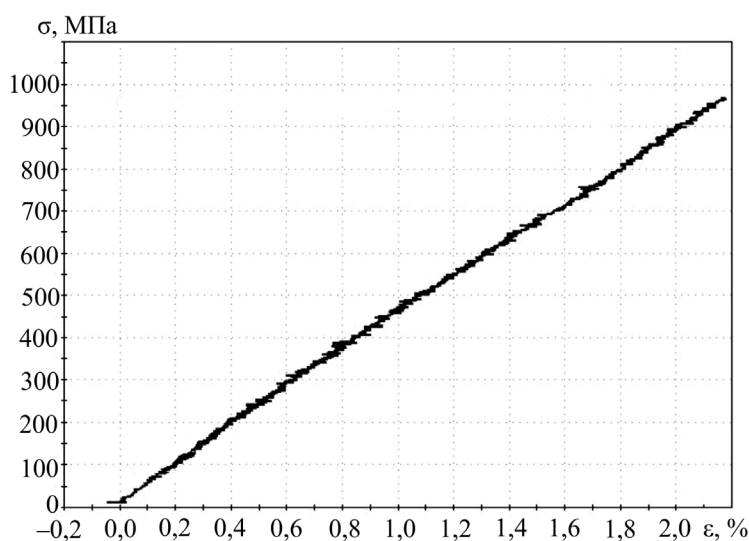


Рис. 2. Типовая диаграмма деформирования однонаправленного стеклопластика при пониженной температуре  $0^{\circ}\text{C}$

Всего было испытано 8 образцов однонаправленного высоконаполненного стеклопластика Direct "E" Roving 0,7- ortophthalic polyester resin 0,3 на одноосное растяжение вдоль направления армирования при пониженных температурах: 4 образца при температуре  $-30^{\circ}\text{C}$  и 4 образца при температуре  $0^{\circ}\text{C}$ . Результаты испытаний однонаправленного стеклопластика на растяжение при пониженных температурах  $-30^{\circ}\text{C}$  и  $0^{\circ}\text{C}$  приведены в таблице.

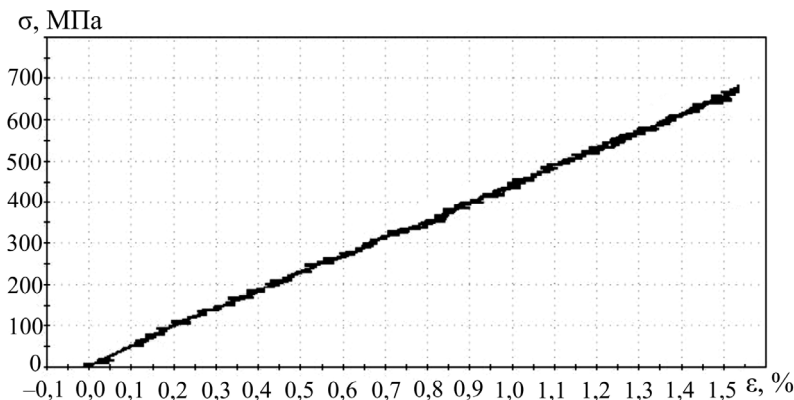


Рис. 3. Типовая диаграмма деформирования однонаправленного стеклопластика при пониженной температуре  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$

Результаты испытаний однонаправленного стеклопластика на растяжение при пониженных температурах

Но- мер обр.	T, °C	Макси- мальная нагрузка при разры- ве $P_{\max}$ , кН	Предел прочности при раз- рыве $\sigma_b$ , МПа	Модуль Юн- га при рас- тяжении $E$ , ГПа	Предел проч- ности при разрыве $\sigma_b$ с доверитель- ной вероят- ностью 0,95, МПа	Модуль Юнга при растяже- нии $E$ с дове- рительной вероятностью 0,95, ГПа
1	-30	24,992	695,968	35,8	922,11±91,54	34,15±2,54
2		30,321	1144,191	40,1		
3		31,376	917,524	32,6		
4		22,338	930,753	28,1		
1	0	36,135	1021,355	39,3	980,223±21,58	36,83±2,38
2		33,942	959,369	35,5		
3		24,008	1010,441	41,7		
4		29,872	929,727	30,8		
*	22	—	—	—	987,14±164,58	47,80±2,68

Примечание: средние значения предела прочности и модуля Юнга при температуре  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$  получены в [3] по 12 образцам и приведены для сравнения.

Для образцов, испытанных при пониженных температурах, статистически достоверно определены модуль Юнга и предел прочности. Все испытываемые на одноосное растяжение образцы однонаправленного стеклопластика Direct "E" Roving 0,7- ortophthalic polyester resin 0,3 при пониженных температурах  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  разрушились (рис. 4) в рабочей зоне, что свидетельствует о справедливости мнения о дора-

ботке специальных захватных частей, предложенных в работах [3, 4]. Такой вид разрушения происходит от разрыва и отслоения волокон при полном разрушении матрицы [8].

В качестве рекомендаций для проведения испытаний в условиях повышенных температур вместо эпоксидного клея предлагается использовать промышленный клей марки К 300-61 с рабочим диапазоном температур от  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$  либо клей марки ВК-9 с рабочим диапазоном температур от  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+250\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



Рис. 4. Вид разрушенных образцов однонаправленного стеклопластика после испытания на одноосное растяжение при пониженных температурах

Таким образом, экспериментальное исследование показало, что данная методика проведения испытаний на одноосное растяжение в условиях пониженных температур позволяет определять механические характеристики однонаправленных композиционных материалов при разрушении образцов в рабочей части.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №12-08-31336мол\_а)

### **Библиографический список**

1. Тарнопольский Ю.М., Кинцис Т.Я. Методы статических испытаний армированных пластиков. – М.: Химия, 1981. – 272 с.
2. Словиков С.В. Методика исследования зависимости механических свойств полиуретановых изделий от температуры // Вестник ПНИПУ. Механика. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – № 2. – С. 177–189

3. Бабушкин А.В., Вильдеман В.Э., Лобанов Д.С. Испытание на растяжение однонаправленного высоконаполненного стеклопластика при нормальных и повышенных температурах // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2010. – № 7. – С. 57–59

4. Бабушкин А.В., Лобанов Д.С. Экспериментальное исследование и моделирование свойств композиционных материалов в условиях сложных термомеханических воздействий // Вестн. Нижегород. ун-та им. Н.И. Лобачевского. – Н.Новгород: Изд-во Нижегород. гос. ун-та им. Н.И. Лобачевского, 2011. – № 4(5). – С. 1984–1986.

5. Экспериментальные исследования деформационных и прочностных свойств наномодифицированных стеклотекстолитов / В.Э. Вильдеман, А.В. Бабушкин, С.М. Никулин, М.П. Третьяков [и др.] // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2012. – Т. 78. – № 7. – С. 57–61

6. Зуйко В.Ю., Лобанов Д.С., Аношкин А.Н. Методики определения предела прочности полунатурных образцов-панелей из композиционных материалов при статических испытаниях на растяжение, сжатие и сдвиг // Вестник ПНИПУ. Механика. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – № 2. – С. 99–111.

7. Механика материалов. Методы и средства экспериментальных исследований: учеб. пособие / В.Э. Вильдеман [и др.]; под ред. В.Э. Вильдемана. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2011. – 165 с.

8. Вильдеман В.Э. Закономерности и модели процессов накопления повреждений, закритического деформирования и структурного разрушения композиционных материалов // Вестник ПГТУ. Динамика и прочность машин / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2001. – № 2. – С. 37–44.

## References

1. Tarnopolsky Y.M., Kintsis T.Y. Metody statitcheskikh ispytaniy armirovannykh plastikov [Methods for static tests of reinforced plastics. Chemistry]. Moscow: Khimiya, 1981. – 272p.

2. Slovikov S.V. Metodika issledovaniya zavisimosti mekhanicheskikh svoystv poliuritanovykh izdeliy ot temperatury [Exploratory procedure of the dependence mechanical properties of polyurethane products on temperature]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo polytekhnicheskogo universiteta. Mehanica*, 2012, no. 2, pp. 177–189.

3. Babushkin A.V., Wildemann V.E., Lobanov D.S. Ispytaniya na rastyazhenie odnonapravlennoogo vysokonapolnennogo stekloplastika pri normalnoy i povyshennoy temperaturakh [Tensile tests of unidirectional high-filled fiberglass composite at normal and high temperatures]. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*, 2010, vol. 76, no. 7, pp. 57–59.

4. Babushkin A.V., Lobanov D.S. Eksperimentalnoe issledovanie i modelirovanie svoystv kompozitsionnykh materialov v usloviyakh slozhnykh termomekhanicheskikh vozdeystviy [Experimental research and modeling of the composite materials properties under combined thermo-mekhanical loading conditions]. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo*, 2001, no. 4, part 5, pp. 1984–1986.

5. Vildeman V.E., Babushkin A.V., Nikulin S.M., Tret'yakov M.P., Lobanov D.S., Struk N.V. Eksperimentalnye issledovaniya deformatsionnykh i prochnostnykh svoystv nanomodifitsirovannykh steklotekstolitov [Experimental research of deformation and strength properties of nano-modified glass fiber laminate]. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*, 2012, vol. 78, no. 7, pp. 57–61.

6. Zuyko V.Y., Lobanov D.S., Anoshkin A.N. Metodiki opredeleniya predela prochnosti polynaturnykh obrazcov-paneley iz kompozitsionnykh materialov pri staticheskikh ispytaniyakh na rastyazhenie, szhatie i sdvig [Procedure for experimental determination of ultimate strength for composite sandwich-panel specimens under static tension, compression and shear]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo polytekhnicheskogo universiteta. Mehanika*, 2012, no. 2, pp. 99–111.

7. Wildeman V.E. [et al.] *Mehanika materialov. Metody i sredstva eksperimental'nykh issledovaniy: uchebnoe posobie* [Mechanics of materials. Methods and means of experimental research: tutorial]. Ed by V.E. Wildemann. Perm: Permskiy natsional'niy issledovatel'skiy polytekhnicheskii unieversitet, 2011, 165 p.

8. Wildemann V.E. Zakonomernosti i modeli protsessov nakopleniya povrezhdeniy, zakriticheskogo deformirovaniya i strukturnogo razrusheniya kompozitsionnykh materialov [Regularities and models for damage accumulation process, post-critical deformation and failure of composite materials]. *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Dynamics and strength of machines*, 2001, no. 2, p. 37–44.



### **Об авторах**

**Лобанов Дмитрий Сергеевич** (Пермь, Россия) – аспирант, младший научный сотрудник, инженер Центра экспериментальной механики Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: cem\_lobanov@mail.ru).

**Бабушкин Андрей Викторович** (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры механики композиционных материалов и конструкций, старший научный сотрудник Центра экспериментальной механики Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: bav651@yandex.ru).

### **About the authors**

**Lobanov Dmitry Sergeevich** (Perm, Russian Federation) – Graduate student, Junior Scientific Associate and Engineer of the Center of Experimental Mechanics, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: cem\_lobanov@mail.ru).

**Babushkin Andrey Victorovich** (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate professor of the Mechanics for Composite Materials and Structures Department, Senior researcher of the Center of Experimental Mechanics, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: bav651@yandex.ru).

Получено 20.11.2012