

УДК 620.173

## **МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ И УПРУГОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**А.С. Степашкина, Е.А. Гущина**

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,  
Санкт-Петербург, Россия,  
stepashkina.anna@yandex.ru, super\_poz@mail.ru*

*Аннотация. В работе описан метод определения показателей прочности и упругости полимерных композиционных материалов на основе полиуретанового связующего с различными мелкодисперсными наполнителями. Приведены результаты испытаний (при испытаниях на сжатие).*

*Ключевые слова: композиционный материал, полимерное связующее, полиуретан, упругость полимеров.*

## **METHOD FOR DETERMINING THE STRENGTH AND ELASTICITY OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS**

**A.S. Stepashkina, E.A. Gushchina**

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russia,  
stepashkina.anna@yandex.ru, super\_poz@mail.ru*

*Abstract. The paper describes a method for determining the strength and elasticity of polymer composite materials based on a polyurethane binder with various fine fillers. The results of tests during compression tests are given.*

*Keywords: composite material, polymeric binder, polyurethane, elasticity of polymers.*

Потребности развивающейся техники стимулируют разработки новых материалов, обладающих свойствами, необходимыми для конкретных применений. Композиционные материалы на основе полимерных связующих с мелкодисперсными минеральными наполнителями являются перспективными, функциональными и конструкционными материалами в различных областях применения.

Композиционные материалы совмещают в себе свойства разных материалов. Независимо от происхождения, все материалы являются результатом объемного сочетания разнородных компонентов. Выбор материала матрицы (связующее) и дисперсного наполнителя определяется предполагаемым применением материала и, следовательно, требуемыми для планируемого применения свойствами: теплопроводность, электропроводность, диэлектрические характеристики, прочность, эластичность и др. [1].

В работе рассмотрены полимерные композиционные материалы на основе полиуретанового связующего с различными мелкодисперсными наполнителями.

Полиуретан — это пластичный материал, который существует в разных формах и применяется во многих отраслях, которые выпускают товары, используемые в нашей повседневной жизни. Например, для изоляции зданий и техники, покрытия, клея, подошвы для обуви, спортивной одежды и деталей автомобилей. В связи с этим возрастает роль проведения испытаний на прочность и упругость, а также рассмотрения различного соотношения наполнителей и влияние данного фактора на исследуемые характеристики материала. Видов синтетических материалов на основе полиуретана очень много, и их свойства могут существенно различаться. Наиболее важные характеристики полиуретана — это прочность, упругость, термопластичность, а также обладание высокой степенью гидрофобности. Полиуретан может выдерживать высокие или резкие перепады температуры.

Испытания проводят на испытательной машине, отвечающей следующим требованиям [2]:

- а) имеет захваты для закрепления образцов:
  - обеспечивающие надёжное крепление образца для исключения проскальзывания и совпадение продольной оси образца с направлением растяжения;
  - не оказывающие давления на зажатые концы образца, которое может вызвать деформирование образца или его разрушение (или разрушение ячеистой структуры пластмассы);
- б) обеспечивает постоянную скорость движения подвижного захвата с закреплённым образцом в направлении, параллельном продольной оси образца,  $(5 \pm 1)$  мм/мин;
- в) обеспечивает измерение и регистрацию нагрузки, приложенной к образцу в пределах рабочего диапазона с погрешностью не более 1 % измеряемой величины;
- г) оснащена экстензометром для измерения изменения расчётной длины образца, обеспечивающим измерение с точностью до 0,1 мм.

В работе используется образец цилиндрической формы (рис. 1).

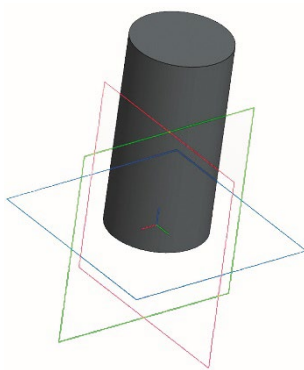


Рис. 1. Образец композиционного материала на основе полиуретанового связующего для испытаний на сжатие

Требования к испытаниям.

Измерить диаметр образца и его высоту в центре с точностью  $\pm 0,01$  мм (рис. 2).

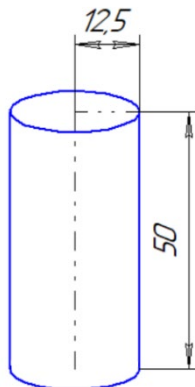


Рис. 2. Геометрические размеры образца

Образец устанавливают между пластинами таким образом, чтобы исключить его проскальзывание относительно пластин. Не допускается выступание образца за края пластин.

Прикладывают к образцу предварительную нагрузку, в зависимости от особенностей испытательного режима оборудования.

Измеряют расстояние между пластинами с точностью  $\pm 0,01$  мм.

Испытания материалов по определению прочностных характеристик проводятся на динамометрическом стенде (рис. 3).



Рис. 3. Испытательный стенд МЕГЕОН-03000

МЕГЕОН-03000 — это испытательный стенд с ручным управлением, использующий прецизионный шариковый винт и линейно направленный привод; имеет закрытую прочную конструкцию, лёгок в эксплуатации. Тестовая поверхность может перемещаться в вертикальной и горизонтальной плоскостях, испытываемый предмет легко фиксируется. Прибор имеет шкалу измерения дальности.

Для испытаний необходимо установить динамометр на стенд и выбрать подходящий режим испытания. В зависимости от структуры и особенностей испытываемого предмета следует положить его на тестовую поверхность или зажать. Если испытываемый предмет и поверхность не находятся на одной прямой линии, можно отрегулировать тестовую поверхность так, чтобы получилась одна линия. В процессе испытания динамометр точно зафиксирует величину [3].

Методы определения таких механических свойств, как сжатие, описаны в ГОСТ Р 58017-2017 «Пластмассы. Определение механических свойств при динамическом нагружении. Сжатие».

ГОСТ 4651-2014 (ISO 604:2002) «Пластмассы. Метод испытания на сжатие» устанавливает для этих материалов методы определения модуля упругости.

Модуль упругости ( $E_c$ ) МПа определяется по формуле:

$$E_c = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}, \quad (1)$$

где  $\sigma_2$  — напряжение при сжатии, измеренное при значении относительной деформации  $\varepsilon_2 = 0,0025$  Мпа;  $\sigma_1$  — напряжение при сжатии, измеренное при значении относительной деформации  $\varepsilon_1 = 0,0005$  МПа.

Расчёты модуля упругости были произведены по формуле ниже:

$$E_c = \frac{\Delta F \cdot L_0}{S \cdot \Delta \delta}, \quad (2)$$

где  $\Delta F$  — измеренная амплитуда динамической нагрузки, Н;  $L_0$  — длина образца, мм;  $S$  — площадь поперечного сечения образца, мм<sup>2</sup>;  $\Delta \delta$  — изменение толщины образца, мм.

ГОСТ 11262-2017 (ISO 527-2:2012) «Пластмассы. Метод испытания на растяжение» устанавливает для этих материалов методы определения прочности при растяжении и коэффициента упругости.

Прочность при разрыве ( $\sigma_{pp}$ , Мпа) вычисляют по формуле:

$$\sigma_{pp} = \frac{F_{pp}}{A_0}, \quad (3)$$

где  $F_{pp}$  — растягивающая нагрузка, при которой образец разрушился, Н;  $A_0$  — первоначальное поперечное сечение образца, мм<sup>2</sup>.

Порядок измерения нагрузки и деформации образца с помощью испытательного стенда МЕГЕОН-03000:

- 1) измерить длину и толщину у образцов;
- 2) поместить образец между зажимами (или пластинами), чтобы он полностью был зафиксирован (рис. 4);
- 3) выставить значения нагрузки и изменения деформации на ноль;
- 4) с помощью ручки сбоку стенда растягивать (или сжимать) образец до тех пор, пока это возможно, и фиксировать значения параметров по ходу работы;
- 5) измерить деформированный образец;
- 6) выключить испытательный стенд и вынуть шнур из розетки [3].

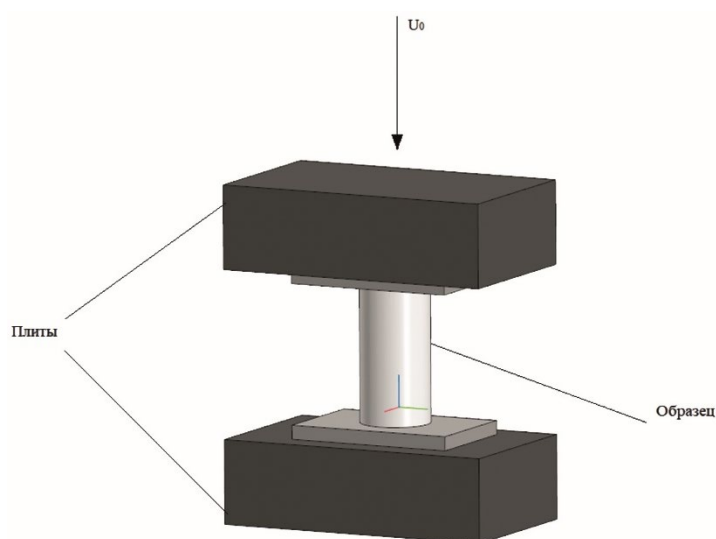


Рис. 4. Расположение образца во время проведения испытаний

Массовое содержание наполнителя гидроксид алюминия ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) в образцах представлено в таблице 1.

Таблица 1

Содержание гидроксида алюминия в образцах

Полиуретан + $\text{Al}(\text{OH})_3$			
№ образца	масс.% нап.	масс.% связ.	<i>m</i> , г
1 (I)	20	80	30,3
2 (II)	40	60	41,3
3 (III)	50	50	34,2
4 (IX)	60	40	27,1

Результаты измерений образцов при испытаниях на сжатие с помощью испытательного стенда МЕГЕОН-03000 представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты измерений образцов из полиуретана с наполнителем  
гидроксид алюминия ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) при испытаниях на сжатие  
с помощью испытательного стенда МЕГЕОН-03000

	Образец № I		Образец № II		Образец № III		Образец № IX	
	Длина деформации образца, мм	Динамическая нагрузка, Н	Длина деформации образца, мм	Динамическая нагрузка, Н	Длина деформации образца, мм	Динамическая нагрузка, Н	Длина деформации образца, мм	Динамическая нагрузка, Н
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,21	65,8	0,04	5,5	0,3	63,9	0,34	41,5
3	0,31	84,9	0,11	14,5	0,57	99,4	0,53	58,7
4	0,43	114,5	0,21	30,1	0,79	132,4	0,84	102,1
5	0,56	144,5	0,34	55,3	0,91	148	1,05	131,1
6	0,69	178,4	0,52	87,3	1,02	166,9	1,28	160
7	0,8	203	0,64	111,6	1,12	184,9	1,41	175,1
8	0,95	236,5	0,8	141,8	1,22	198,5	1,47	180,8
9	1,07	267,9	0,92	165,8	1,33	219,2	1,59	201,2
10	1,23	304,3	1,06	191,9	1,43	233,6	1,75	219
11	1,37	342,1	1,27	242,4	1,53	247,9	1,91	238,7
12	1,53	386,5	1,41	270,8	1,6	259,2	2,04	249,3
13	1,75	457,4	1,54	302,9	1,7	278,7	2,14	259,4
14	1,89	499,2	1,76	357,5	1,83	301,9	2,26	274,4
15	2,03	539,9	1,81	449,2	2,02	340,8	2,35	276,9
16	2,26	607,7	2,27	488,9	2,15	360,6	2,45	288,1
17	2,42	647,4	2,6	579,2	2,28	383,3	2,58	301,7
18	2,55	697,6	2,83	638,8	2,46	417,4	2,72	315,5
19	2,75	764,6	3	686	2,57	432,7	2,84	326,2
20	2,98	842			2,69	446,7	3	344,9
21					2,79	473,4	3,18	361
22					2,93	495,5		
23					3,01	505,3		

Результаты вычислений модуля Юнга и коэффициента упругости при испытаниях на сжатие представлены в таблице 3.

Таблица 3

Массовое содержание наполнителя $\text{Al}(\text{OH})_3$ , %	Модуль Юнга, МПа	Коэффициент упругости Гука, Н/мм
20	19,87	230,68
40	21	190,35
50	17,36	160,71
60	12,47	122,86

По полученным данным был построен график функции зависимости модуля Юнга от массового содержания наполнителя  $\text{Al}(\text{OH})_3$  (рис. 5).

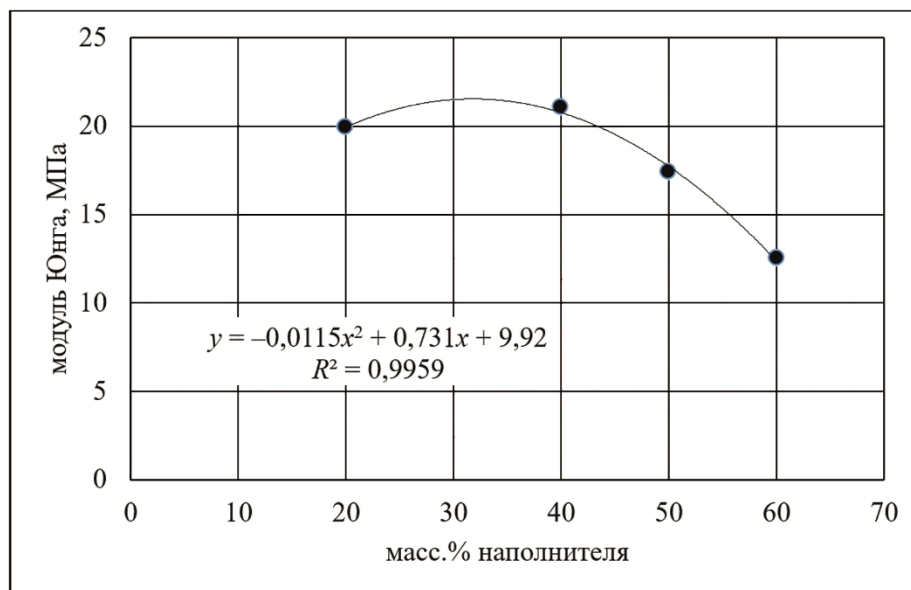


Рис. 5. График зависимости модуля Юнга от массового содержания наполнителя гидроксид алюминия

Анализируя график, можно сделать вывод, что с введением в матрицу наполнителя гидроксид алюминия упругие свойства материала уменьшаются.

### Список литературы

1. Абзалилова Л. Традиционные и инновационные материалы в промышленности синтетических каучуков в России и мире: электронная книга: Лит-Рес. — 2021.— С. 106–110.
2. Algae Based Polymers, Blends, and Composites Chemistry: Biotechnology and Materials Science / Kh. Zia, M. Zuber, A. Muhammad. — 2017. — P. 33–54.
3. Руководство по эксплуатации «МЕГЕОН. Динамометры цифровые сжатия и растяжения серии МЕГЕОН-03XXX».

*Статья поступила в редакцию: 29.09.2022 г.*

*Статья прошла рецензирование: 07.11.2022 г.*

*Статья принята в работу: 09.11.2022 г.*