



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013131669/28, 09.07.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
09.07.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 09.07.2013

(45) Опубликовано: 10.02.2015 Бюл. № 4

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: SU 1335844 A1 07.09.1987 . SU 467185  
A1 15.04.1975 . RU 53014 U1 27.04.2006 . JP  
60196643 A 05.10.1985 . JP 2012247208 A  
13.12.2012

Адрес для переписки:

456770, Челябинская обл., г. Снежинск, ул.  
Васильева, 13, ФГУП "РФЯЦ-ВНИИТФ им.  
академ. Е.И. Забабахина", Отдел  
интеллектуальной собственности, Бакалову Г.В.,  
а/я 245

(72) Автор(ы):

Старцев Алексей Викторович (RU),  
Абрамов Алексей Витальевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Российская Федерация, от имени которой  
выступает Государственная корпорация по  
атомной энергии "Росатом" (Госкорпорация  
"Росатом") (RU),  
Федеральное государственное унитарное  
предприятие "Российский Федеральный  
Ядерный Центр-Всероссийский Научно-  
Исследовательский Институт Технической  
Физики имени академика Е.И. Забабахина"  
(ФГУП "РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И.  
Забабахина") (RU)

## (54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ХРУПКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

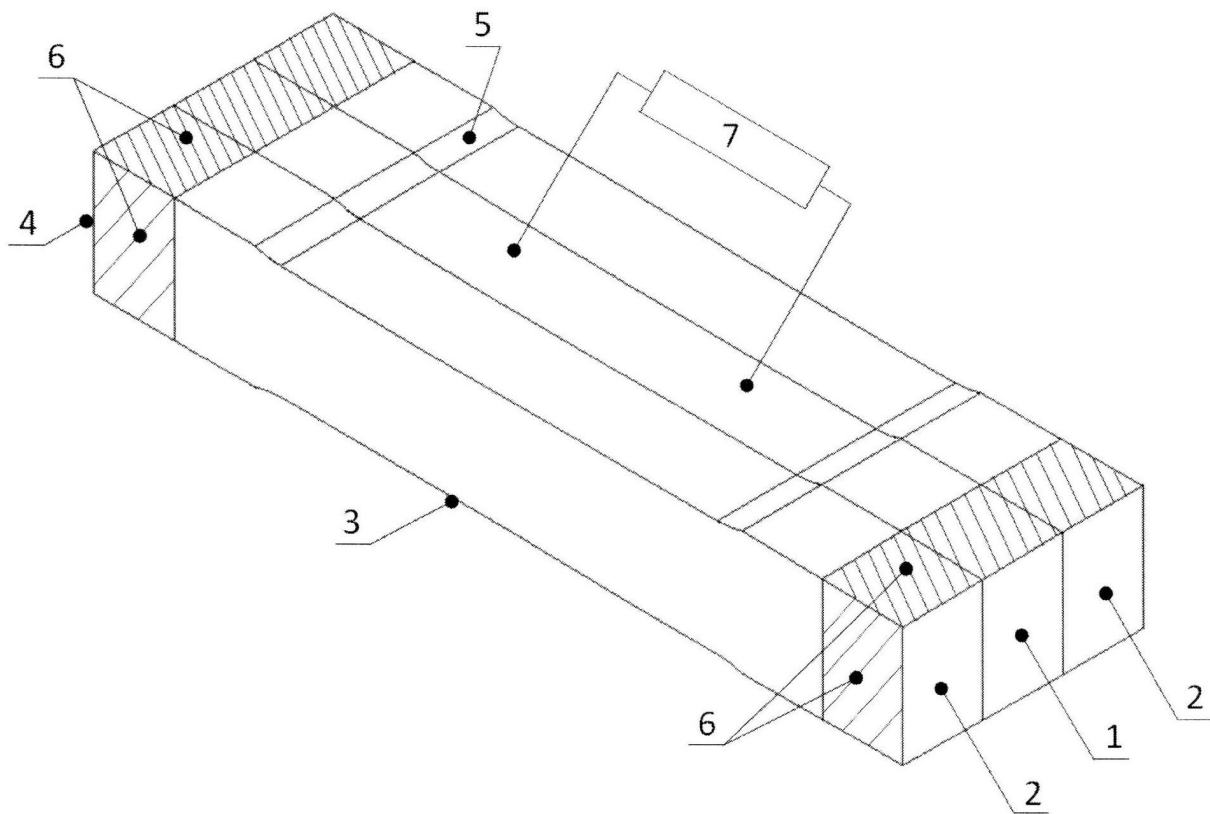
(57) Реферат:

Изобретение относится к механическим испытаниям на растяжение хрупких образцов из композиционных материалов и предназначено для авиастроения, судостроения, машиностроения, атомной энергетики. Сущность изобретения: накладки одинаковых с образцом размеров и формы, выполненные из материала, обеспечивающего суммарную жесткость обеих накладок, меньшую или равную жесткости исследуемого образца, наклеивают на двух противоположных поверхностях образца, в результате получают лабораторную сборку, которую размещают в цанговых захватах испытательной машины. Каждый захват устанавливают между краем торца и началом дуги галтели сборки. На поверхность сборки устанавливают экстензометр. Прикладывают

нагрузку к сборке и по показаниям экстензометра получают кривую «деформация-напряжение» лабораторной сборки, из которой восстанавливают диаграмму деформирования образца. Напряжение в образце  $\sigma_0$  выражают через напряжения лабораторной сборки  $\sigma_{лс}$  и накладки  $\sigma_{п}$ , при условии равенства деформации, по формуле  $\sigma_0 = 3 \cdot \sigma_{лс} - 2 \cdot \sigma_{п}$ . Технический результат: возможность выполнения принципа Сен-Венана и, соответственно, создание однородного напряженного состояния в рабочей части образца из хрупкого материала; создание одноосного растяжения в рабочей части образца из исследуемого материала, исключение изгиба; получение большего количества точек измерения усилия на одинаковой базе деформации. 1 з.п. ф-лы, 4 ил.

RU 2 540 460 С1

RU 2 540 460 С1



Фиг.1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*G01N 1/28* (2006.01)  
*G01N 3/08* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2013131669/28, 09.07.2013

(24) Effective date for property rights:  
09.07.2013

Priority:

(22) Date of filing: 09.07.2013

(45) Date of publication: 10.02.2015 Bull. № 4

Mail address:

456770, Cheljabinskaja obl., g. Snezhinsk, ul.  
Vasil'eva, 13, FGUP "RFJaTs-VNIITF im. akadem.  
E.I. Zababakhina", Otdel intellektual'noj  
sobstvennosti, Bakalovu G.V., a/ja 245

(72) Inventor(s):

Startsev Aleksej Viktorovich (RU),  
Abramov Aleksej Vital'evich (RU)

(73) Proprietor(s):

Rossijskaja Federatsija, ot imeni kotoroj  
vystupaet Gosudarstvennaja korporatsija po  
atomnoj ehnergii "Rosatom" (Goskorporatsija  
"Rosatom") (RU),  
Federal'noe gosudarstvennoe unitarnoe  
predpriyatje "Rossijskij Federal'nyj Jadernyj  
Tsentr-Vserossijskij Nauchno-Issledovatel'skij  
Institut Tekhnicheskij Fiziki imeni akademika  
E.I. Zababakhina" (FGUP "RFJaTs-VNIITF im.  
akadem. E.I. Zababakhina") (RU)

(54) **METHOD TO DETERMINE MECHANICAL PROPERTIES OF BRITTLE MATERIALS AT TENSION**

(57) Abstract:

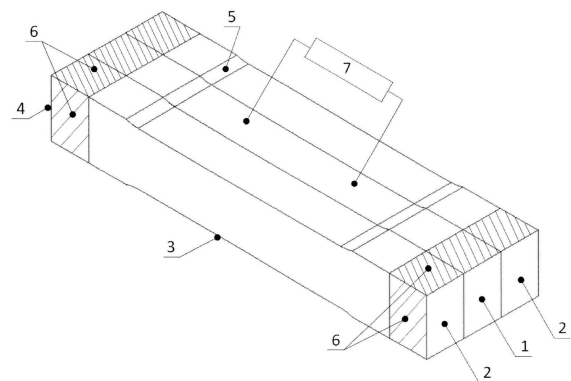
FIELD: machine building.

SUBSTANCE: pads with dimensions and shape identical to the sample which are made from the material providing for total rigidity of both pads that is less or equal to the rigidity of the sample being tested, are glued to two opposite surfaces of the sample thus a laboratory assembly is produced and then set in collet clamps of a testing machine. Each clamp is located between the edge of the end face and the beginning of fillet arc of the assembly. An extensometer is installed on the assembly surface. Load is applied to the assembly and basing on the extensometer readings the curve "deformation - stress" of the laboratory assembly is drawn up and used to restore the diagram of the sample deformation. Stress in the sample  $\sigma_s$  is expressed via the stress of the laboratory assembly  $\sigma_{la}$  and the pad  $\sigma_p$ , provided with deformation equality, according to the formula  $\sigma_s = 3 \cdot \sigma_{la} - 2 \cdot \sigma_p$ .

EFFECT: possibility to implement Saint-Venant

principle and provision for homogeneous stress in the working part of a sample made from brittle material, provision for uniaxial tension in the working part of the sample from tested material, prevention of bending, provision for more force measurement points on the equal deformation base.

2 cl, 4 dwg



Фиг.1

Область техники

Изобретение относится к испытательной технике, а именно к механическим испытаниям образцов из композиционных материалов, поведение которых при растяжении близко к хрупкому. Область применения - авиастроение, судостроение, машиностроение, атомная энергетика и др.

Предшествующий уровень техники

Известен способ испытаний на растяжение металлических и неметаллических материалов (ГОСТ 1497-84, "Металлы. Методы испытаний на растяжение"), заключающийся в том, что стандартный испытываемый образец нагружают до разрушения, при этом измеряют нагрузку и деформацию, по которым определяют модуль упругости, предел пропорциональности, предел текучести и временное сопротивление.

Недостатками способа при его применении к испытаниям хрупких материалов являются трудности в обеспечении надежного крепления в захватах испытательной машины, а так же невозможность отслеживания нелинейного участка деформирования, предшествующего разрушению, так как хрупкие материалы более чувствительны к внецентровому приложению нагрузки и соответственно наложению изгиба на одноосное напряженное состояние.

Известен способ испытания на растяжение армированных пластиков («Методы статических испытаний армированных пластиков», Тернопольский Ю.М., Кянцис Т.Я., М., "Химия", 1981 г.), заключающийся в том, что нагружают стандартный образец типа двусторонней лопатки с наклеенными на концевые части накладками до разрушения, измеряют нагрузки и деформации, по которым определяют механические характеристики пластиков.

Недостатком способа является недооценка величин деформационной способности и предела прочности композиционного материала в отличие от соответствующих характеристик, определяемых при испытаниях натуральных конструкций. Хрупкие материалы имеют механические характеристики, различные при растяжении и сжатии, что справедливо для большинства композитов. При данном способе испытаний образцов из композиционных материалов возникают трудности в выполнении принципа Сен-Венана: в образцах из материалов с зависящими от вида напряженно-деформированного состояния свойствами существенно возрастают зоны краевого эффекта, что препятствует созданию однородного напряженного состояния в рабочей части образца».

В качестве прототипа было выбрано авторское свидетельство РФ №1335844, от 11.12.1985, G01N 3/08, «Способ механических испытаний образцов материалов», Авторы: Ефимов О.Ю., Сахно А.И., Мамлеев Р.Ф. Образец типа двусторонней лопатки с накладками размещают в захватах испытательной машины, нагружают его испытательной нагрузкой, регистрируют нагрузку и относительное перемещение захватов. Накладки из хрупкого материала с прочностью, в 3-10 раз меньшей прочности материала образца, контактируют с захватами и размещены на поверхностях перехода рабочей части образца в захватную часть. Перед нагружением испытательной нагрузкой к образцу прикладывают предварительное усилие до разрушения накладок, которое затем снижают. Далее образец нагружают до разрушения. Признаками, совпадающими с существенными признаками заявляемого изобретения, являются - образец с накладками размещают в захватах испытательной машины, нагружают его испытательной нагрузкой, регистрируют нагрузку, регистрируют относительное перемещение захватов, накладки размещают на поверхностях образца и контактируют с захватами, образец нагружают до разрушения.

Недостатком прототипа можно считать то, что при описанном способе испытаний образцов из хрупких материалов возникают трудности в выполнении принципа Сен-Венана и соответственно в создании однородного напряженного состояния в рабочей части образца. Кроме того, при увеличении ширины свободных торцов образца уменьшается относительный объем «полезной» рабочей части, увеличивается расход материала и стоимость изготовления образцов. Также невозможно применить данный способ к исследованию взрывчатых составов, поведение которых при растяжении близко к хрупкому, из-за опасности инициирования взрыва в местах контакта с захватами через разрушенные в предварительном нагружении накладки.

#### Раскрытие изобретения

Задачей, на решение которой направлено заявляемое изобретение, является создание способа определения механических свойств хрупких материалов, в том числе взрывчатых составов, в переходной области, предшествующей разрушению, при их растяжении; выявление резервов деформационной способности исследуемого материала; повышении точности и информативности результатов экспериментов.

Технический результат, достигаемый при решении этой задачи, заключается в выполнении принципа Сен-Венана и, соответственно, создании однородного напряженного состояния в рабочей части образца из хрупкого материала; создании одноосного растяжения в рабочей части образца из исследуемого материала, исключении изгиба; получении большего количества точек измерения усилия на одинаковой базе деформации.

Для получения указанного технического результата в предложенном способе определения механических свойств хрупких материалов при растяжении, включающем прикрепление накладок к образцу, размещение образца с накладками в захватах испытательной машины, нагрузку образца с накладками, регистрацию деформации рабочей части образца, согласно изобретению накладки одинаковых с образцом размеров и формы выполнены из материала, обеспечивающего суммарную жесткость обеих накладок, меньшую или равную жесткости исследуемого образца. Накладки наклеивают на двух противоположных поверхностях образца. В результате получают лабораторную сборку, которую размещают в цанговых захватах испытательной машины. При этом каждый захват устанавливают между краем торца и началом дуги галтели сборки. На поверхность сборки устанавливают экстензометр. Прикладывают нагрузку к сборке. По показаниям экстензомера получают кривую «деформация-напряжение» лабораторной сборки, из которой восстанавливают диаграмму деформирования образца. Напряжение в образце  $\sigma_0$  выражают через напряжения лабораторной сборки  $\sigma_{лс}$  и накладки  $\sigma_{п}$ , при условии равенства деформации, по формуле  $\sigma_0 = 3 \cdot \sigma_{лс} - 2 \cdot \sigma_{п}$ .

Это позволяет более точно выполнить принцип Сен-Венана, увеличить точность определения деформационной способности и предела прочности при растяжении образца из хрупкого материала. Появляется возможность применять цанговые захваты, способные центрироваться вдоль оси нагружения. За счет увеличения жесткости объекта исследований на одинаковой базе деформации записывается большее количество точек измерения усилия, что повышает точность и информативность результатов экспериментов. Это позволяет определить диаграмму деформирования хрупких материалов при растяжении, в том числе и в переходной области, предшествующей разрушению.

На поверхность накладок в зоне контакта с захватами возможно нанесение канавок,

рисок, шероховатостей. Это позволяет применять данный метод к исследованию механических свойств взрывчатых составов без опасности инициирования взрыва при проскальзывании в захватах испытательной машины.

Краткое описание чертежей

5 На фиг.1 показана лабораторная сборка.

На фиг.2 показана диаграмма деформирования лабораторной сборки.

На фиг.3 показана диаграмма деформирования образца.

На фиг.4 показана таблица результатов экспериментальных исследований, где

10  $\epsilon_{\text{раст}}$  (%) - деформационная способность при растяжении,

$\sigma_{\text{раст}}$  (МПа) - предел прочности при растяжении,

$E_{\text{раст}}$  (МПа) - модуль упругости при растяжении.

Варианты осуществления изобретения

15 Как показано на фиг.1, испытуемый образец 1 выполнен из хрупкого материала в форме двусторонней лопатки. На две противоположные поверхности образца 1 наклеены наклейки 2. Наклейки 2 выполнены одинаковых с образцом 1 размеров и формы из материала, обеспечивающего суммарную жесткость обеих наклеек 2, меньшую или равную жесткости исследуемого образца 1. Образец 1 с наклеенными наклейками 2 образует лабораторную сборку 3. Сборку 3 размещают и фиксируют в цанговых

20 захватах испытательной машины. Захваты накладывают на поверхности четырех граней сборки 3 таким образом, чтобы край каждого захвата располагался между краем торца 4 и началом дуги галтели 5 сборки 3. На поверхность сборки 3 в зоне контакта 6 с захватами наносят канавки, или риски, или шероховатости.

На поверхность рабочей части сборки 3 устанавливают экстензометр 7.

25 Прикладывают нагрузку к сборке 3, снимают показания экстензомера 7 и получают график зависимости деформации рабочей части лабораторной сборки 3 от приложенного усилия (на фиг.2), из которой восстанавливают диаграмму деформирования образца 1. Напряжение в образце  $\sigma_0$  выражают через напряжения лабораторной сборки  $\sigma_{\text{лс}}$  и наклейки  $\sigma_{\text{п}}$ , при условии равенства деформации, по формуле  $\sigma_0 = 3 \cdot \sigma_{\text{лс}} - 2 \cdot \sigma_{\text{п}}$ . Диаграмма

30 деформирования лабораторной сборки 3 приведена на фиг.2. Данная диаграмма содержит четыре участка: участок 8 упругого деформирования лабораторной сборки 3; участок 9 пластического деформирования образца 1 в составе лабораторной сборки 3 с упругодеформирующимися наклейками 2; участок 10 разрушения образца 1 (прохождения поперечной трещины); участок 11 деформирования сборки 3 с образцом

35 1, имеющим сквозную поперечную трещину.

На фиг.3 приведена диаграмма деформирования образца 1 без наклеек 2. Сравнение диаграмм на фиг.2 и фиг.3 позволяет сделать вывод о том, что стандартные испытания образцов 1 в отличие от лабораторныхборок 3 не позволяют выявить предшествующую разрушению область - участок 9 (на фиг.2) нелинейного деформирования материала

40 образца 1, поведение которого близко к хрупкому. Диаграмма на фиг.3 практически линейна вплоть до разрушения образца 1.

На фиг.4 представлена таблица результатов статистической обработки экспериментальных данных, полученных в опытах по растяжению наклеек 2 из оргстекла, образцов 1 из взрывчатого состава (ВС) и лабораторныхборок 3. Было

45 проведено и обработано не менее 18 опытов на каждый вид испытаний. В таблице также приведены параметры диаграммы деформирования материала ВС образцов 1, полученные по результатам испытаний лабораторныхборок 3. Анализ данных, представленных в таблице, позволяет сделать следующие выводы:

- использование при испытаниях на растяжение предложенной конструкции лабораторной сборки 3 позволило выявить существенные (в 1.77 раза) резервы деформационной способности материала ВС образцов 1, которые невозможно определить при проведении стандартных испытаний образцов 1;

5 - различная степень отличий деформационной способности и предела прочности при растяжении (в 1.77 и 1.58 раза соответственно), полученных в испытаниях лабораторныхборок 3 и образцов 1 без накладок 2, говорит о нелинейном поведении материала ВС образцов 1 в области, предшествующей разрушению - участок 9 (на фиг.2). Стандартные испытания образцов 1 в отличие от лабораторныхборок 3 не позволяют выявить эту  
10 область деформирования материала - участок 9 (на фиг.2): зависимость «напряжение-деформация» (фиг.3 практически линейна вплоть до разрушения);

- использование при испытаниях на растяжение предложенной конструкции лабораторной сборки 3 позволяет получать более стабильные (с меньшим разбросом) в отличие от стандартных испытаний образцов 1 результаты. Это, в свою очередь,  
15 позволяет получать более точные расчетные оценки прочности и надежности конструкций, содержащих детали из хрупких материалов;

- модуль упругости материала образца 1, определенный с использованием лабораторныхборок 3, практически совпадает (отличие не превышает 2%) со значением этой характеристики, полученной в стандартных испытаниях образцов 1. Что  
20 подтверждает правильность вывода формулы восстановления диаграммы деформирования материала ВС образца 1 из кривой «деформация-напряжение» лабораторной сборки 3 и обоснованность методических предположений, использованных при проектировании лабораторной сборки 3, и способа ее испытания.

Необходимо отметить, что разрушение всех образцов, испытанных в составе  
25 лабораторныхборок, произошло в рабочей части. Данный результат доказывает, что предложенный способ позволяет выполнить принцип Сен-Венана, создать однородное напряженное состояние в рабочей части образца из хрупких материалов.

Таким образом, способ расширяет арсенал технических средств определения механических свойств хрупких материалов при растяжении в переходной области,  
30 предшествующей разрушению, выявляет резервы деформационной способности материала, которые невозможно определить при проведении стандартных испытаний образцов на растяжение, позволяет повысить точность и информативность результатов экспериментов.

#### Промышленная применимость

35 Наиболее эффективно изобретение может быть использовано в авиастроении, судостроении, машиностроении, атомной энергетике. Для оценки прочности и жесткости любого конструкционного материала, поведение которого при растяжении близко к хрупкому, он подвергается механическим испытаниям. Достоверность сведений о прочности и жесткости материала обуславливает эффективность его использования и  
40 эксплуатационные возможности конструкций, содержащих детали из него.

Осуществление на практике описанного способа подтвердило получение технического результата. Это показывает его работоспособность и подтверждает промышленную применимость.

#### 45 Формула изобретения

1. Способ определения механических свойств хрупких материалов при растяжении, включающий прикрепление накладок к образцу, размещение образца с накладками в захватах испытательной машины, нагрузку образца с накладками, регистрацию

деформации рабочей части образца, отличающийся тем, что накладки одинаковых с образцом размеров и формы, выполненные из материала, обеспечивающего суммарную жесткость обеих накладок, меньшую или равную жесткости исследуемого образца, наклеивают на двух противоположных поверхностях образца, в результате получают лабораторную сборку, которую размещают в цанговых захватах испытательной машины, при этом каждый захват устанавливают между краем торца и началом дуги галтели сборки, на поверхность сборки устанавливают экстензометр, прикладывают нагрузку к сборке, по показаниям экстензомера получают кривую «деформация-напряжение» лабораторной сборки, из которой восстанавливают диаграмму деформирования образца, напряжение в образце  $\sigma_0$  выражают через напряжения лабораторной сборки  $\sigma_{лс}$  и накладки  $\sigma_{п}$ , при условии равенства деформации, по формуле  $\sigma_0 = 3 \cdot \sigma_{лс} - 2 \cdot \sigma_{п}$ .

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что на поверхность накладок из пластмассы наносят контактирующие с захватами канавки, риски, шероховатости.

20

25

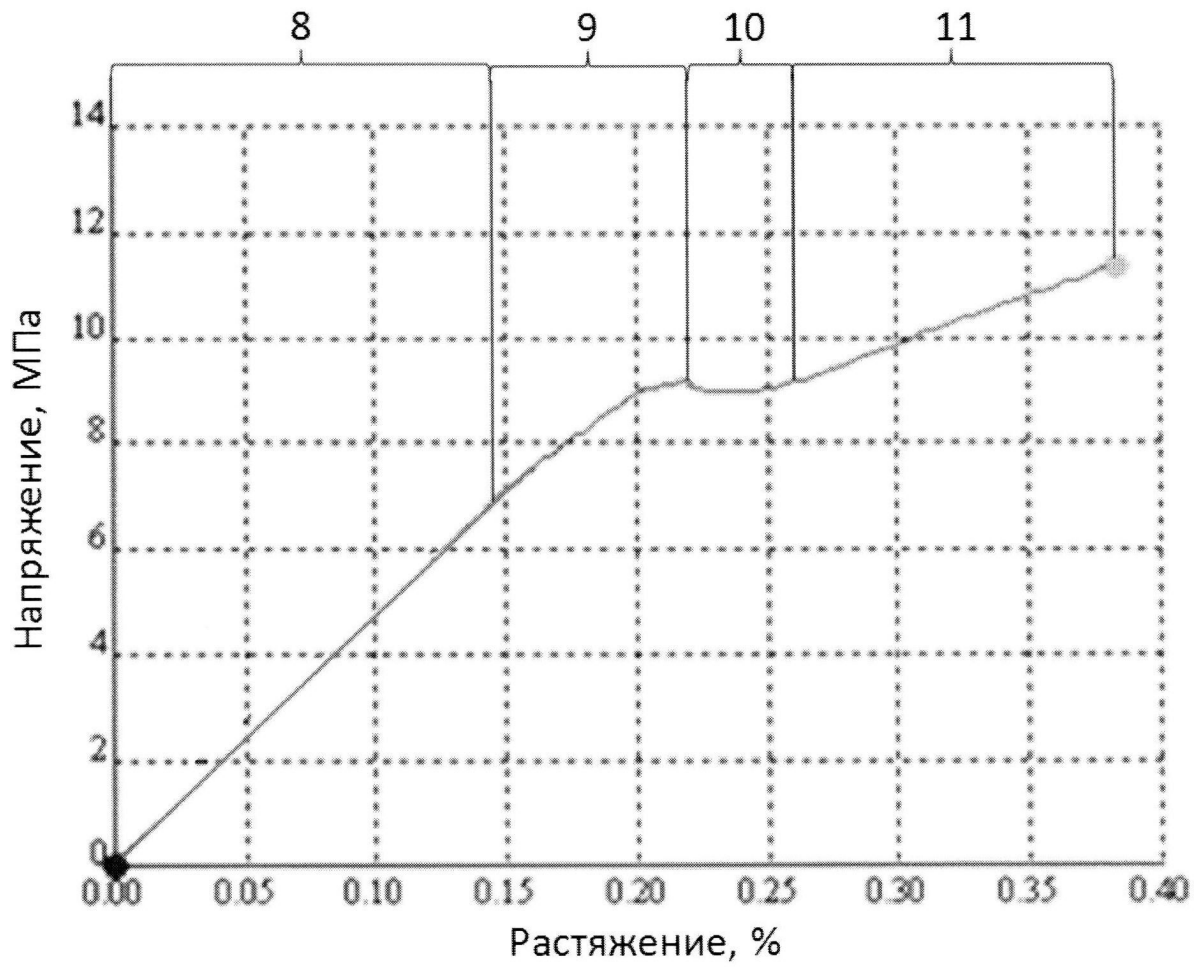
30

35

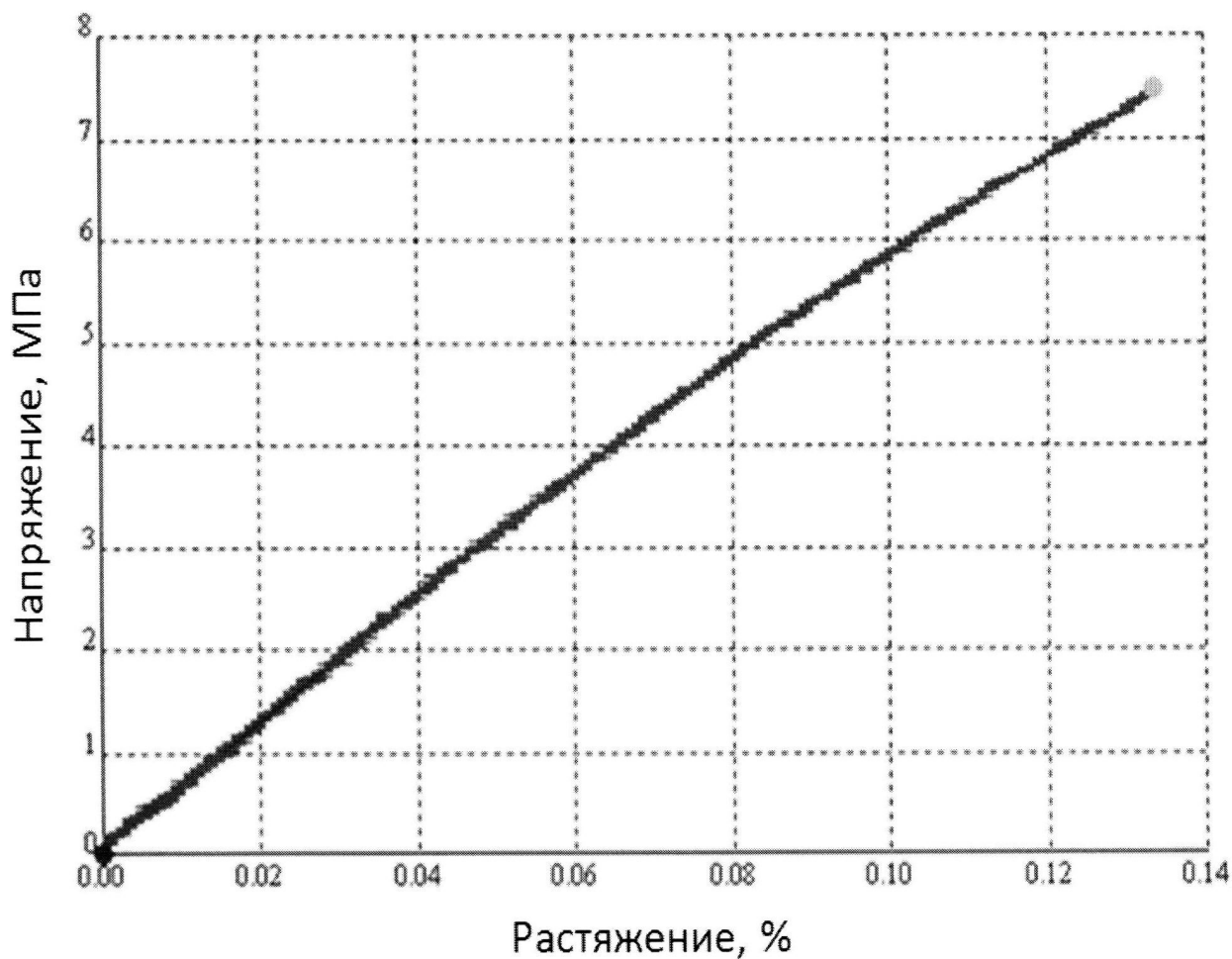
40

45





Фиг.2



Фиг.3

Параметр	Накладка 2 из оргстекла	Образцы 1 из ВС	Лабораторные сборки 3	Восстановленная диаграмма образца 1
$\epsilon_{\text{раст, \%}}$	>0.7	0.13 (15.5)	0.23 (12.7)	0.23
$\sigma_{\text{раст, МПа}}$	>20	7.8 (9.4)	8.7 (6.9)	12.3
$E_{\text{раст, МПа}}$	3060 (5.2)	6570 (14.1)	4200 (7.8)	6480
Примечание: в скобках приведены выраженные в процентах значения коэффициентов вариации соответствующих величин.				

Фиг.4