

Лабораторная работа №4

Исследование диаграммы деформирования ортотропного стеклопластика при растяжении

1 Цель работы

Целью работы являются изучение методики определения диаграмм деформирования, ознакомление с лабораторным испытательным оборудованием, экспериментальное определение диаграмм деформирования полимерных композиционных материалов и изучение их особенностей.

2 Теоретическая часть

Деформативность и прочность стеклопластиков в значительной мере определяются работой стеклянных волокон и полимерного связующего на всех стадиях нагружения армированной полимерной системы. В основе методов определения упругих постоянных материала и расчетов на прочность лежит представление о том, что стеклопластики на всех этапах нагружения ведут себя как сплошной монолитный материал.

В действительности при растяжении стеклопластиков в полимерной матрице возникают значительные напряжения, которые приводят к растрескиванию полимерного связующего и потере прочности композита до того, как стеклянные волокна разрушатся.

При данном процессе разрушается не только связующее, но и происходит дробление наиболее нагруженных волокон на длины определенной величины. Вблизи концов коротких волокон возникает концентрация напряжений в матрице, что приводит к дальнейшему ее локальному разрушению.

Нарушение монолитности отчетливо проявляется при построении кривых деформирования стеклопластиков. Изменение модуля упругости при достижении определенных напряжений, характерное для многих композитов на хрупких связующих, является косвенным свидетельством о существовании нижней границы для напряжений трещинообразования.

Необходимо установить уровень напряжений, до достижения которого ориентированные стеклопластики ведут себя как сплошной монолитный материал, и оценить влияние появляющихся внутренних трещин на деформативные свойства. Это требуется для уточнения диапазона применимости формул, полученных на основании гипотезы сплошности. Исследование трещинообразования необходимо так же для оценки работоспособности

конструкций, к которым предъявляются жесткие требования по герметичности (баллоны высокого давления).

При проектировании композиционных материалов и прогнозировании их прочности необходимо учитывать, который из компонентов в конкретных условиях разрушится первым.

Рассмотрим процесс разрушения композита.

Обозначим предельную деформацию полимерной матрицы ε_{MR} , а арматуры ε_{AR} . Разрушающее напряжение матрицы обозначим R_M , а арматуры - R_A .

Рассмотрим случай, когда предельная деформация полимерного связующего меньше предельной деформации арматуры $\varepsilon_{MR} < \varepsilon_{AR}$.

В случае упругого поведения арматуры и матрицы законы изменения напряжения от деформации линейны вплоть до момента разрушения (рис. 1).

При этом вначале разрушится матрица с образованием трещин, а волокна арматуры продолжат нести нагрузку.

В случае, когда предельная деформация арматуры ε_{AR} меньше предельной деформации ε_{MR} матрицы $\varepsilon_{AR} < \varepsilon_{MR}$ (рис. 2) трещины не появляются вплоть до разрушения арматуры, т. к. первой разрушится арматура, а затем в результате перераспределения напряжений, разрушится матрица, и произойдет полный разрыв материала.

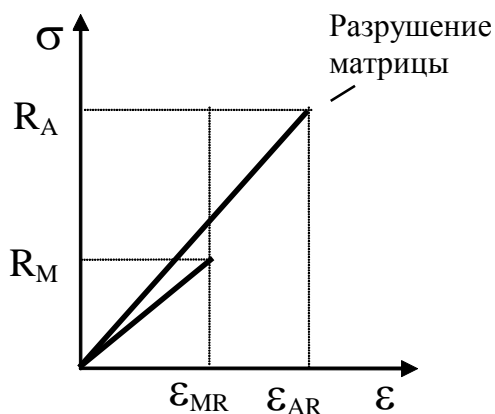


Рис. 1

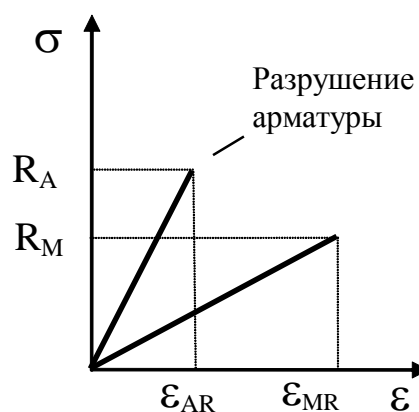


Рис. 2

Очень часто прочность сцепления на отрыв R_c между матрицей и арматурой меньше прочности матрицы на растяжение R_M . При этом происходит разрушение по контактному слою между арматурой и матрицей.

В случае ортогонально армированных пластиков матрица и арматура также разрушаются неодновременно и разрушение арматуры, воспринимающей основную часть нагрузки, происходит полное разрушение материала.

Если первой разрушается матрица, то до полного разрыва в армированном пластике появляются микротрещины, в результате которых теряется сплошность материала.

В момент потери сплошности на диаграмме $\sigma - \epsilon$ образуется характерный излом (рис. 3). Наиболее чувствительными к потере сплошности при растяжении являются ортогонально армированные пластики, нагруженные в направлении армирования.

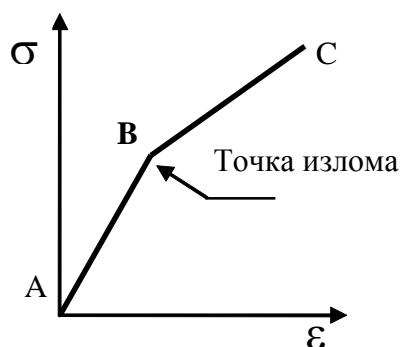


Рис. 3

После потери сплошности всю нагрузку практически воспринимают волокна арматуры, вдоль которых приложена нагрузка.

При этом на диаграмме деформирования наблюдается излом (точка В на рисунке 3), свидетельствующий о том, что на участках АВ и ВС диаграммы модули упругости различны.

Потери сплошности материала может привести к потере работоспособности конструкций, для которых важна герметичность. Примерами таких конструкций являются баллоны для хранения жидкостей и газов.

3 Образцы и оборудование

Применяются прямоугольные образцы из конструкционного стеклопластика с размерами 250x20x2 мм, вырезанные из пластины под углом 0° к основе армирующей ткани. Таким образом, нити основы располагаются параллельно (вдоль) длинной стороне образца.

Установка для испытаний образцов на растяжение смонтирована на базе разрывной испытательной машины типа FP-10 и показана на рис. 4.

Разрывная машина представляет собой две стойки - силовую 11 и приборную 15, соединенные муфтой 16. На силовой стойке имеется пульт управления нагружением 14 с тремя кнопками: “Вверх”, “Вниз”, “Стоп”, счетчиком перемещения подвижной траверсы 12 испытательной машины, определяющим перемещение с точностью до 0,1 мм. В верхней части силовой стойки размещен съемный индуктивный силоизмерительный датчик (на рисунке не показан) и арретир 13, служащий для фиксации верхнего захвата машины и отключения системы измерения нагрузки при установке или снятии образца.

На приборной стойке 15 расположен циферблат силоизмерителя, пульт управления режимами работы машины 18 со сменными блоками, диаграммный аппарат машины 19, узел переключения диапазонов скоростей 17. Пульт управления режимами работы машины позволяет производить переключение и настройку диапазонов измерения нагрузки в цепи нагружения, управлять скоростью перемещения подвижной траверсы 12, диаграммным аппаратом 19 и так далее. Диаграммный аппарат 19 позволяет регистрировать диаграммы усилий от времени, а так же зависимости усилий от пути перемещения подвижной траверсы с одновременной записью меток времени. Максимальный коэффициент увеличения перемещения подвижной траверсы 12 на диаграммном аппарате равен 10.

Испытательная машина FP-10 имеет 5 диапазонов измерения нагрузки: от (0 - 0.2 Н) до (0 - 10 кН) с погрешностью измерения $\pm 1 \%$. Четыре диапазона скоростей перемещения подвижной траверсы обеспечивают плавное регулирование в пределах 0,04 - 1000 мм/мин.

Образец 1 установлен в клиновых захватах испытательной машины. Верхний захват 3 машины считается условно неподвижным (неактивным), нижний захват 4 - подвижный или активный, закреплен на подвижной траверсе 12.

На рабочей части образца установлены два экстензометра 2, предназначенные для измерения удлинения рабочей части при нагружении. Экстензометры закреплены на образце с помощью неподвижных ножей 5 и подвижных ножей 6. Подвижные ножи связаны посредством тяги 7 с шарнирными соединениями на концах связаны с сердечником 9 катушки индуктивности 10. Слабая пружина 8 предназначена для возврата подвижных ножей в начальное положение после проведения измерений. При проведении измерений во время эксперимента подвижные ножи 6 перемещаясь изменяют положение сердечника 9. В результате изменяется индуктивность катушки 10. Данное изменение преобразуется с помощью преобразователя сигналов 23 в электрические сигналы управления диаграммным аппаратом экстензометра 21.

Преобразователь сигналов имеет переключатели диапазонов и позволяет увеличить удлинение рабочей базы образца в 200, 1000 и 2000 раз.

Результаты испытаний записываются в виде диаграммы усилие - удлинение базы образца на диаграммной ленте, закрепленной на барабане диаграммного аппарата экстензометра. Регистрация удлинений базы образца производится по длине диаграммной ленты, то есть по окружности барабана диаграммного аппарата экстензометра. Величина усилия пропорциональна перемещению вдоль образующей барабана каретки с пишущим пером, связанной посредством струны 20 с кареткой диаграммного аппарата машины FP-10. Груз 22 поддерживает струну в натянутом состоянии.

Таким образом, перемещения кареток диаграммных аппаратов разрывной машины и экстензометра в направлении измерения усилий (по ширине диаграммной ленты) равны. Ширина диаграммной ленты - 250 мм.

4 Порядок проведения лабораторной работы

Установить скорость перемещения подвижной траверсы испытательной машины равную 5 мм/мин.

При закрытом арретире 13 (рис. 4) установить выбранный образец для испытаний в захваты разрывной машины FP-10, предварительно измерив его площадь поперечного сечения на длине рабочей базы для 5-ти сечений и вычислив среднюю.

Установить экстензометры на образце, как показано на рис. 4.

Длина рабочей базы образца - 40 мм.

Открыть арретир, выбрать диапазон измерения нагрузки от 0 до 10 кН и настроить силоизмеритель машины на начальное значение.

Подключить к сети 220 в преобразователь сигналов, установить диапазон увеличения удлинения равный 200, нажав соответствующую кнопку, и настроить начальную точку записи диаграммы вращением ручки потенциометра на лицевой панели преобразователя.

На пульте управления нагружением включить кнопку “Вниз”, начав тем самым нагружение образца. При этом на диаграммном аппарате экстензометра будет записываться диаграмма деформирования.

По достижении усилия 8 кН остановить нагружение, нажав кнопку “Стоп”, и начать разгрузку образца (нажав кнопку “Вверх”), записывая диаграмму при разгрузке.

По завершении разгрузки закрыть арретир и выключить машину.

После проведения эксперимента отрезается часть диаграммной ленты с диаграммного аппарата экстензометра, содержащая полученную диаграмму

усилие - удлинение. С диаграммы снимаются значения удлинений и соответствующих им усилий в миллиметрах для режимов нагружения и разгрузки и заносятся в таблицу 1.

Таблица 1

| № точки | Удлинение базы образца Δl , мм | Усилие при нагружении P , мм | Усилие при разгрузке P , мм | Относительное удлинение ε | Напряжение при нагружении σ , МПа | Напряжение при разгрузке σ , МПа |
|---------|---|-----------------------------------|----------------------------------|--|---|--|
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

По формуле вычисляется относительное удлинение:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{K_d \cdot l_B},$$

где K_d - коэффициент увеличения экстензометра;

Δl - удлинение базы образца в мм;

l_B - длина базы измерения удлинений (рабочей базы) в мм.

Далее определяются напряжения:

$$\sigma = \frac{K_y \cdot P}{A_{cp}},$$

где P - величина усилия соответствующая точке на диаграммной ленте в мм;

K_y - коэффициент соответствия координаты точки на диаграммной ленте по оси нагрузки в мм к величине усилия в Н, определяется как отношение верхнего предела диапазона измерения усилий разрывной машины к длине рабочей зоны на диаграммной ленте по оси нагрузки;

A_{cp} - средняя площадь поперечного сечения образца.

При заполнении таблицы рекомендуется выбирать с графика на диаграммной ленте такое количество точек, которое наиболее полно отразит все особенности диаграммы.

На основе полученных результатов строится диаграмма деформирования изучаемого стеклопластика в координатах $\sigma \sim \varepsilon$ как при нагружении так и при разгрузке. Пример подобной диаграммы показан на рисунке 5.

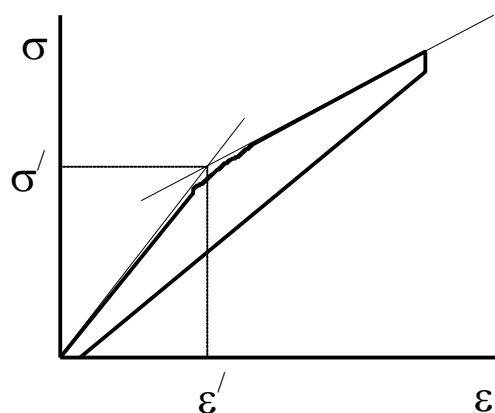


Рис. 5 Пример диаграммы деформирования стеклопластика при нагружении и разгрузке

На участке нагружения определяется точка излома диаграммы, соответствующие ей напряжение и деформация, начиная с которых интенсивно происходит процесс нарушения сплошности материала.

Модули упругости при растяжении находятся для участка диаграммы деформирования до ε' , для участка после ε' и при разгрузке. Для этого выбирается прямолинейный участок на диаграммы деформирования, ограниченный точками с координатами $(\sigma_2, \varepsilon_2)$ и $(\sigma_1, \varepsilon_1)$. Модуль упругости находится по формуле:

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}.$$

5 Требования к отчету

- 1) Название и цель работы;
- 2) Краткие теоретические сведения об испытаниях на растяжении, а также методах замера деформаций.
- 3) Все необходимые для расчетов формулы.
- 4) Схемы образцов для испытаний на растяжение.
- 5) Диаграмма растяжения в координатах $F(\Delta l)$ и $\sigma(\varepsilon)$.
- 6) Выводы по работе.

Отчет по лабораторной работе должен отражать цель работы, содержать описание образцов, оборудования, схему испытаний, таблицу результатов и графически изображенную диаграмму деформирования как при нагружении так и разгрузке.

Особое внимание следует уделить правильности внесения в отчет экспериментальных результатов. В отчете должны быть представлены выводы.

6 Выводы

Выводы должны состоять из двух частей:

1 часть – по цели работы;

2 часть – по результатам: сравнить полученную диаграмму деформирования с типовой диаграммой растяжения композиционных материалов (рис. 5); объяснить наличие или отсутствие точки излома на диаграмме; сделать вывод о том, какой вид диаграммы деформирования ($F(\Delta l)$ или $\sigma(\epsilon)$) более информативен и почему.

7 Контрольные вопросы

1. С помощью какой аппаратуры регистрируется диаграмма деформирования образца из полимерного композиционного материала?

2. Какой вид имеют диаграммы деформирования полимерных композиционных материалов?

3. Какой вид разрушения определяет величину напряжений для полимерных композиционных материалов, используемых в сосудах, работающих под давлением?

4. Что такое механические характеристики материалов? Зачем необходимо экспериментально определять механические характеристики материалов?

5. Основные механические характеристики для изотропных и ортотропных материалов. Общее и различия.

6. Почему образцы для испытаний на растяжение обязательно должны иметь форму «лодочки»?

7. Способы замеры деформаций. Тензометрирование – принцип работы, преимущества, недостатки.

8. Какую информацию предоставляет диаграмма деформирования материала при растяжении?

9. Принцип работы испытательных установок на растяжение.

10. Какой из видов диаграммы деформирования ($F(\Delta l)$ или $\sigma(\varepsilon)$) более информативен и почему.

Список литературы

1. ГОСТ 32656-2017. Композиты полимерные. Методы испытаний. Испытания на растяжение.
2. ГОСТ 56810-2015. Композиты полимерные. Метод испытаний на изгиб плоских образцов.

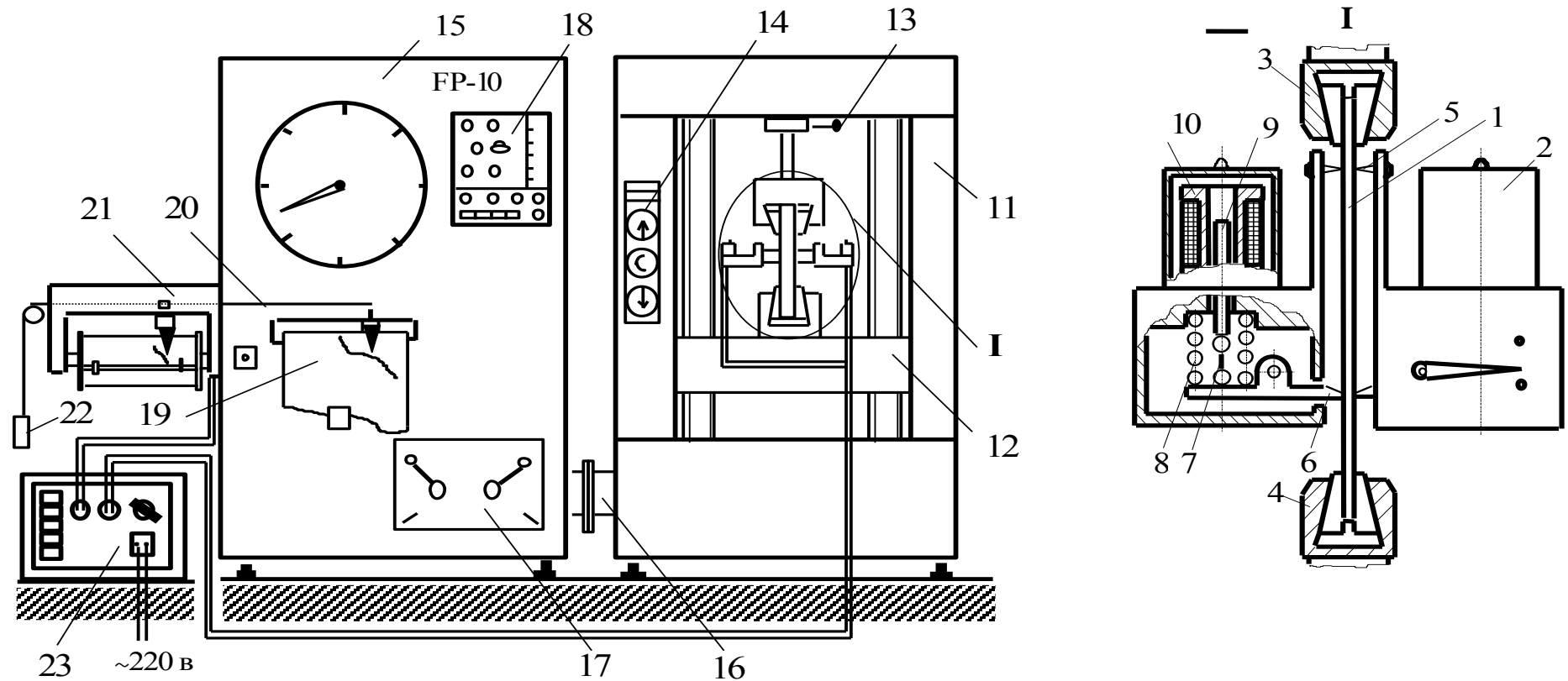


Рис. 4 Установка для испытания образцов на растяжение

1 – образец; 2 – экстензометр; 3 – верхний (неподвижный) захват машины; 4 – нижний (подвижный) захват машины; 5 – неподвижные ножи экстензомера; 6 – подвижные ножи экстензомера; 7 – тяга; 8 – пружина; 9 – сердечник; 10 – катушка индуктивности; 11 – силовая стойка разрывной машины FP-10; 12 – подвижная траверса; 13 – арретир; 14 – пульт управления нагружением; 15 – приборная стойка машины FP-10; 16 – муфта; 17 – узел переключения скоростей; 18 – пульт управления режимами работы машины; 19 – диаграммный аппарат машины; 20 – струна; 21 – диаграммный аппарат экстензомера; 22 – груз; 23 – преобразователь сигналов

Приложение 1. Механические характеристики композитов

Механические характеристики – это свойства материалов, которые определяют поведение материала, его напряженное и деформированное состояние под действием внешних нагрузок.

К механическим характеристикам **изотропных** материалов в общем случае относятся **упругие характеристики** (модуль упругости E , коэффициент Пуассона ν , модуль сдвига G), **прочностные свойства** (предел кратковременной статической прочности σ_b , предел длительной прочности σ_{-1}), термоупругие свойства (коэффициент линейного термического расширения α) и др.

К механическим характеристикам **однонаправленных композитов**, являющихся **ортотропными** материалами, относятся **упругие характеристики** (модуль упругости вдоль и поперек волокон E_1 и E_2 , продольно-поперечный и обратный коэффициенты Пуассона ν_{12} и ν_{21} , модули внутрислойного сдвига G_{12} и межслойного сдвига G_{13}), **прочностные свойства** (предел прочности при растяжении и сжатии вдоль волокон $\bar{\sigma}_1^+$ и $\bar{\sigma}_1^-$, предел прочности при растяжении и сжатии поперек волокон $\bar{\sigma}_2^+$ и $\bar{\sigma}_2^-$, предел прочности при внутрислойном и межслойном сдвиге $\bar{\tau}_{12}$ и $\bar{\tau}_{13}$), термоупругие свойства (коэффициенты линейного термического расширения вдоль и поперек волокон α_1 и α_2) и др.

Все основные механические характеристики изотропных и ортотропных материалов сведены в таблицу П.1.

Основной задачей при проведении механических испытаний композитов является **определение всех механических свойств однонаправленного слоя**, необходимых для последующей работы с материалом, проектирования изделий из него, а также моделирования напряженно-деформированного состояния многослойного композита с послойной оценкой несущей способности.

Основные виды испытаний КМ:

1. Испытание на растяжение;
2. Испытание на изгиб;
3. Испытание на внутрислойный сдвиг;
4. Испытание на межслойный сдвиг;
5. Испытание на сжатие;

В зависимости от вида испытаний, необходимы образцы разной геометрической формы.

Основные механические характеристики материалов

| Свойства | Изотропные материалы | Ортотропные материалы |
|--------------|--|--|
| упругие | $E, G, \nu,$ $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$ | $E_1, E_2, \nu_{12}, \nu_{21}, G_{12}$ $\frac{\nu_{12}}{E_1} = \frac{\nu_{21}}{E_2}$ |
| прочностные | σ_B | $\bar{\sigma}_1^+, \bar{\sigma}_1^-, \bar{\sigma}_2^+, \bar{\sigma}_2^-, \bar{\tau}_{12}, \bar{\tau}_{13}$ |
| термоупругие | α | α_1, α_2 |

Здесь E – модуль упругости, G – модуль сдвига, ν – коэффициент Пуассона, индексы 1 – вдоль волокон, 2 – поперек волокон, 3 – перпендикулярно плоскости укладки слоя, $\bar{\sigma}, \bar{\tau}$ – предел прочности при действии нормальных и касательных напряжений соответственно, «+» обозначает растяжение, «-» – сжатие.

Приложение 2. Испытания композитов на растяжение

При растяжении необходимо определить модуль упругости, коэффициент Пуассона, а также предел прочности испытуемого КМ. Волокна в композите должны быть ориентированы соответствующим образом для определения продольных или поперечных характеристик.

Модуль упругости при растяжении определяется по формуле:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F * l}{A * \Delta l}, \quad (\text{П.1})$$

где σ – нормальные напряжения, действующие в поперечном сечении образца, F – растягивающее усилие, A – площадь поперечного сечения образца, ε – относительная деформация, l – длина образца до деформации, Δl – абсолютная деформация.

Коэффициент Пуассона при растяжении вычисляется по формуле:

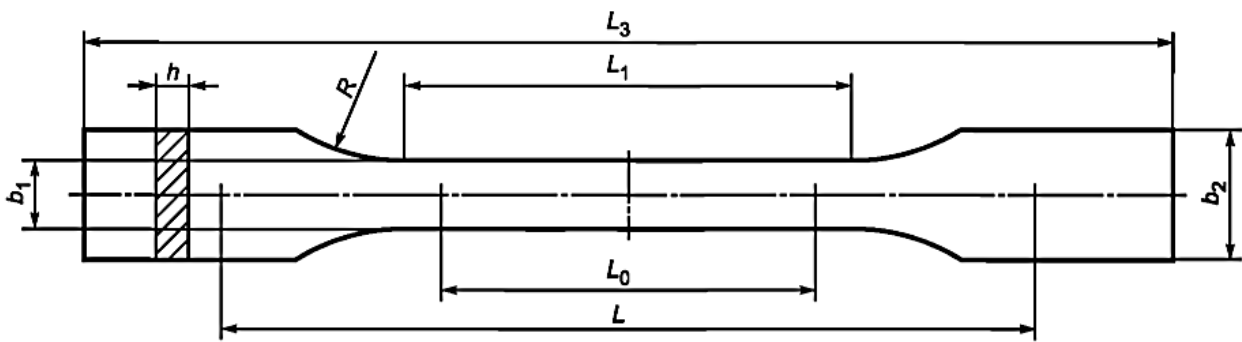
$$\nu_{12} = \left| \frac{\varepsilon_{\text{поп.}}}{\varepsilon_{\text{прод.}}} \right| = \left| \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \right|, \quad (\text{П.2})$$

где $\varepsilon_{\text{поп.}}$ – относительная поперечная деформация, $\varepsilon_{\text{прод.}}$ – относительная продольная деформация.

Предел прочности при растяжении определяется по формуле:

$$\sigma = \frac{F}{A}. \quad (\text{П.3})$$

Образец для определения модуля упругости и коэффициента Пуассона, а также предела прочности показан на рис. П.2.1 [1]. Использование образцов такого типа («лодочка» или «лопатка») обуславливает разрушение композита именно на рабочей части, а не в захватах вследствие существенной концентрации напряжений там.



L — исходное расстояние между захватами; L_0 — измерительная база; L_3 — общая длина;
 L_1 — длина узкой параллельной части; R — радиус; b_2 — ширина на концах; b_1 — ширина узкой части; h — толщина

Рис. П.2.1. Образец для испытаний тип 1В

Диапазон допустимых размеров для образцов на растяжение представлен в табл. П.2.1.

Таблица П.2.1

| Обозначение параметра | Значение параметра, мм |
|-----------------------|------------------------|
| L_3 | $\geq 150^*$ |
| L_1 | $60 \pm 0,5$ |
| R | ≥ 60 |
| b_2 | $20 \pm 0,2$ |
| b_1 | $10 \pm 0,2$ |
| h | 2—10 |
| L_0 | $50 \pm 0,5$ |
| L | 115 ± 1 |

* Для некоторых материалов длина выступов может быть увеличена (например, $L_3 = 200$ мм) для предотвращения разрушения или скольжения образца в зажимах.

На основе представленного ГОСТ [1] с учетом реальных размеров пресс-формы, в которой изготавливаются плиты, были определены параметры образцов для испытаний на растяжение, представленных на рис. П.2.2.

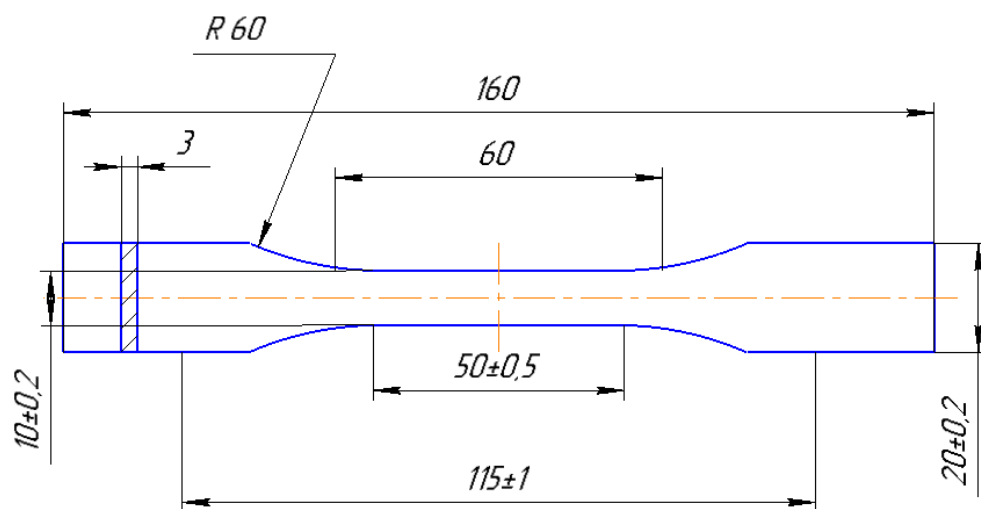


Рис. П.2.2. Образец для испытания КМ на растяжение

Приложение 3. Способы измерения деформаций

Деформации образца могут быть измерены с помощью:

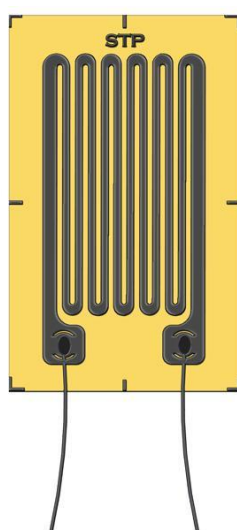
1. Тензометров Аистова
2. Тензометрических датчиков сопротивления
3. Индукционных экстензометров
4. Оптических видеоэкстензометров

Тензометрические датчики представляют собой устройства, преобразующие измеряемую упругую деформацию твердого тела в электрический сигнал. Это происходит за счет изменения сопротивления проводника датчика при изменении его геометрических размеров от растяжения или сжатия.

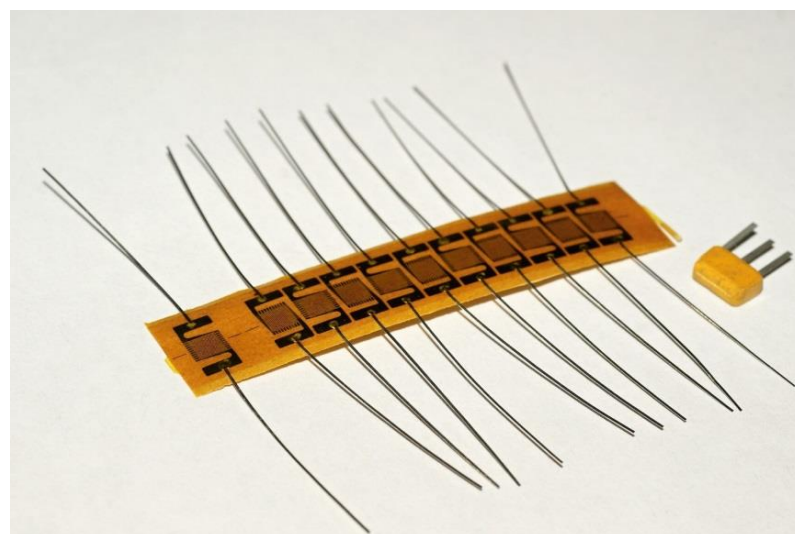
Основным элементом устройства является тензорезистор (рис. П.3.1.а), закрепленный на упругой конструкции. Тензодатчики калибруют, ступенчато нагружая заданным возрастающим усилием и измеряя при этом величину электрического сопротивления. Затем по его изменению можно будет определить значения приложенной неизвестной нагрузки и пропорциональной ей деформации.

Даже при самой сложной схеме нагружения конструкции действие на тензорезистор сводится к растяжению или сжатию его решетки вдоль длинного участка, называемого базой.

Проволочные тензорезисторы показаны на рис. П.3.1.б. Наиболее простым примером является прямолинейный отрезок тонкой проволоки, который крепят на исследуемой детали.



а



б

Рис. П.3.1. Различные виды тензорезисторов

Схемы включения тензометрических датчиков

Для измерения малых электрических сигналов наилучшим вариантом является мостовая схема включения (рис. П.3.2), в центре которой находится вольтметр. Простейшим примером будет тензометрический датчик, схема которого собрана по принципу электрического моста, в одно из плеч которого он подключен. Его сопротивление в ненагруженном состоянии будет таким же, как и у остальных резисторов. В этом случае прибор покажет нулевое напряжение.

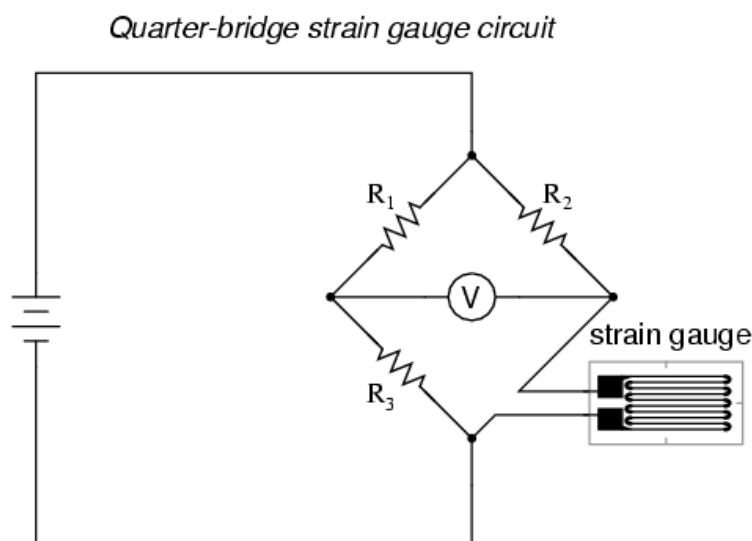


Рис. П.3.2. Мостовая схема включения тензодатчика

В некоторых случаях (например, в тензостанциях) одно из сопротивлений моста (например, сопротивление R_3), является регулируемым для того, чтобы производить балансировку моста (свести показания вольтметра к 0) перед началом испытаний.

Стандартные тензометрические датчики выполняются в виде шайб, колонн, простых или двусторонних балок, S-образные, виды тензодатчиков показаны на рис. П.3.3. Для всех конструкций важно, чтобы сила прикладывалась в одном направлении: сверху вниз или наоборот. При тяжелых условиях работы специальные конструкции дают возможность устранить действие паразитных сил, что существенно влияет на стоимость испытательной установки.

Принцип работы всех тензодатчиков основан на преобразовании деформации упругого элемента в электрический сигнал. Для разных целей существуют свои конструкции датчика.

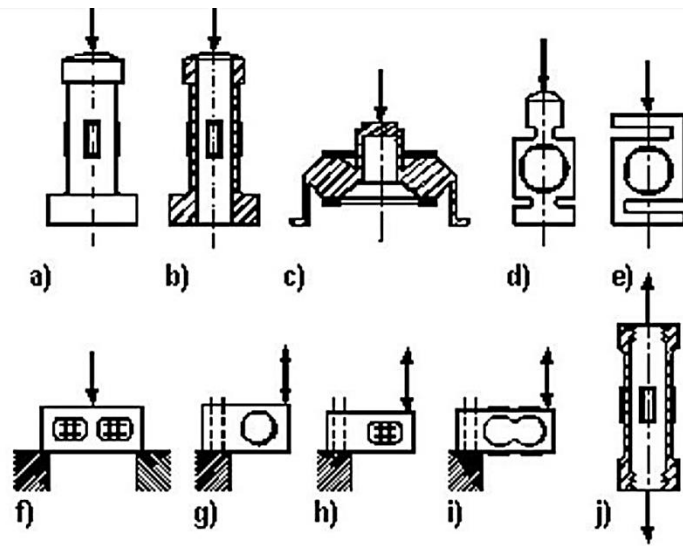


Рис. П.3.3. Виды тензодатчиков

Приложение 4. Современное оборудование, используемое для испытаний на растяжение

Для проведения лабораторной работы данной лабораторной работы используется испытательный комплекс, включающий в себя разрывную машину для испытаний марки Zwick Z010. Схематический обзор комплекса приведен на рис. П.4.1.

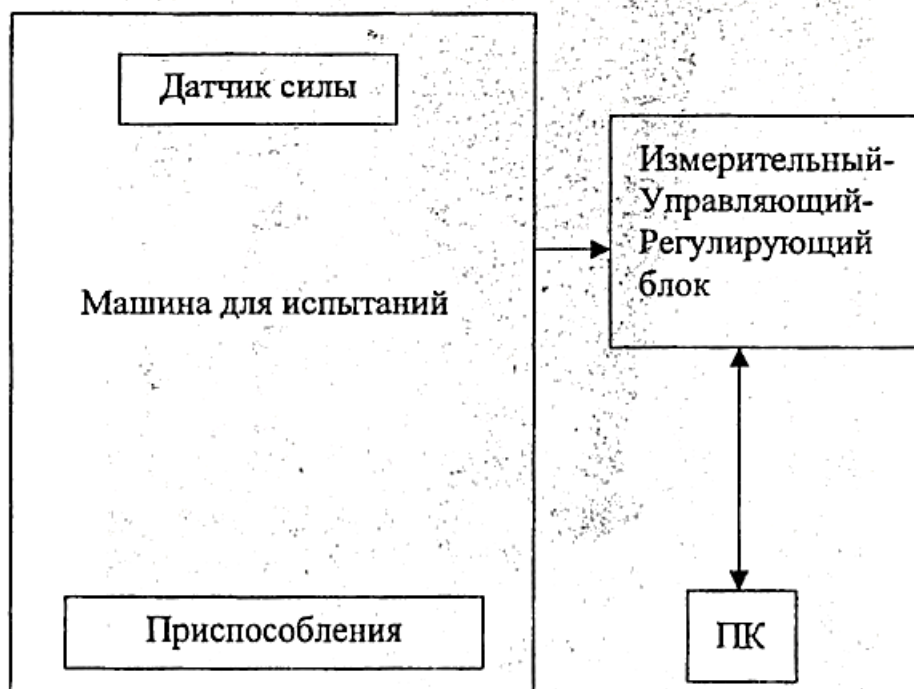


Рис. П.4.1. Схематический обзор комплекса

Машина включает в себя нагружающую раму, которая состоит из двух направляющих профилей с интегрированными безззорными шариковинтовыми парами, неподвижной и подвижной траверс и декоративной верхней облицовки. Электрический привод расположен в основании нагружающей рамы. На подвижной траверсе установлен датчик силы. К датчику силы крепится верхний захват. Нижний захват крепится к нижней неподвижной траверсе.

Датчик силы является упругим элементом с наклеенными на него тензорезисторами (DMS).

Тензорезисторы представляют собой зависящие от растяжения электрические сопротивления, которые подключены к электроизмерительному мосту. Величина измеряемого напряжения на выходе мостовой схемы аналогична измеряемой нагрузке. Полярность изменяется в зависимости от того, производится ли растяжение или сжатие.

С помощью экранированного кабеля устанавливается соединение с усилителем и далее с измерительной техникой. Изображение установки приведено на рис. П.4.2. Фотография установки представлена на рис. П.4.3.

Необходимо обратить внимание на то, чтобы соединительный кабель был свободен и надежно защищен.

Таким образом, датчик силы преобразует физические величины силы в электрически измеряемое напряжение.

Номинальное усилие 10 кН, начальное значение диапазона измерения усилий 40 Н, диапазон рабочей температуры $-20...+60^{\circ}\text{C}$.

Датчик предназначен для измерений статических и динамических нагрузок при испытании на растяжение и сжатие. Должен нагружаться только в осевом направлении и только до номинальной нагрузки, т.е. до 10 кН.

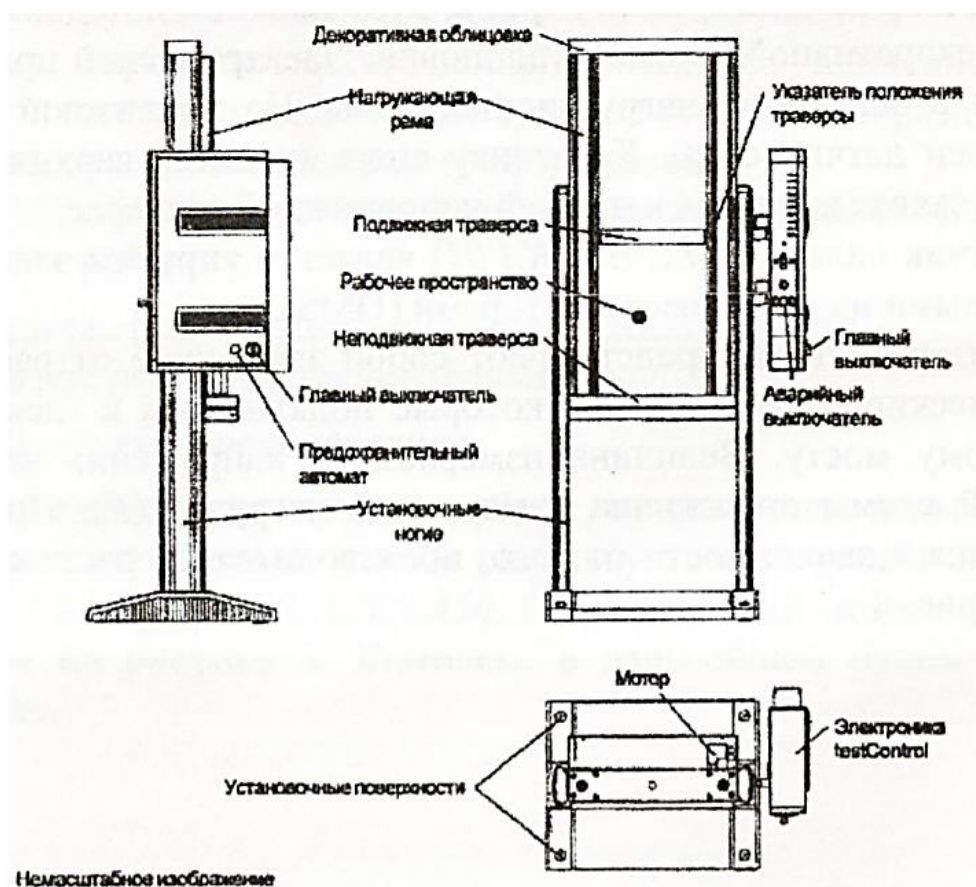


Рис. П.4.2. Схематичное изображение испытательной установки



Рис. П.4.3. Установка для испытаний

Порядок проведения испытаний:

- 1) Замер геометрических параметров образца;
 - 2) Установка образца вместе с накладками в захваты испытательной машины;
 - 3) Затяжка захватов испытательной машины;
 - 4) Замер рабочей базы образца;
 - 5) Испытания образца;
 - 6) Снятие диаграммы деформирования;
 - 7) Обработка полученных результатов.
- Пример результирующей диаграммы показан на рис. П.4.4.

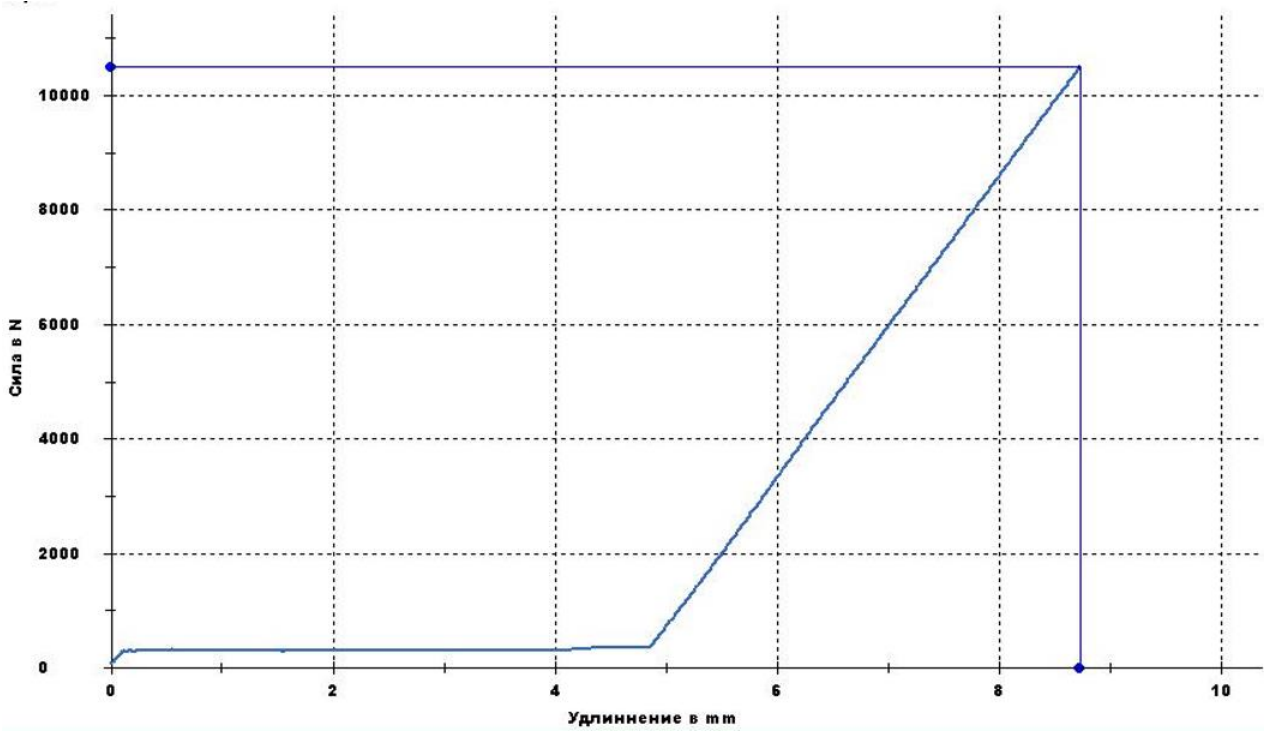


Рис. П.4.4. Диаграмма деформирования