

**Министерство образования и просвещения РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
Уфимский государственный авиационный технический
университет**

Кафедра сопротивления материалов

**Определение механических характеристик композиционных
материалов, получаемых с помощью намотки**

**Методические указания по проведению лабораторной работы
по курсу «Основы механики, проектирования и технологии
изготовления изделий из композиционных материалов»**

Уфа 2013

Составители: Ю.С. Первушин, П.В. Соловьев, Г.М. Зильбан

УДК 621.22

ББК 31

Методические указания по дисциплине «Основы механики, проектирования и технологии изготовления изделий из композиционных материалов» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост.: Ю.С. Первушин, П.В. Соловьев, Г.М. Зильбан. – Уфа, 2013. – 39 с.

Методические указания состоят из теоретического материала, посвященного технологии изготовления изделий из КМ способом намотки и описания эксперимента по определению упругих и прочностных свойств кольцевых образцов из композиционных материалов, изготовленных с помощью намотки.

Предназначены для студентов направления подготовки специалистов 160100 «Авиационные двигатели и энергетические установки», изучающих дисциплину «Основы механики, проектирования и технологии изготовления изделий из композиционных материалов».

Табл. 6. Ил. 19. Библиогр.: 5 назв.

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. Целищев В. А.,
канд. техн. наук, доц. Загайко С. А.

© Уфимский государственный
авиационный технический университет, 2013

Составители: ПЕРВУШИН Юрий Сергеевич
СОЛОВЬЕВ Павел Владимирович
ЗИЛЬБАН Георгий Михайлович

Содержание

Введение

- 1 Цель работы
- 2 Теоретическая часть
- 3 Методика испытания
- 4 Образцы и оборудование
- 5 Подготовка к испытанию
- 6 Порядок проведения испытаний и обработки результатов
- 7 Требования к отчету
- 8 Контрольные вопросы

Список литературы

Введение

В настоящее время намотка нитью или тканью является одним из основных способов изготовления ответственных конструкций из материалов, армированных волокнами. Этим способом изготавливаются изделия, имеющие, как правило, форму тел вращения: кольца разной формы, трубы, оболочки, элементы корпуса ракеты, сосуды, работающие под давлением, неразборные соединения с гарантированным натягом и т.п.

На рис. 1 представлена намотка задней секции фюзеляжа Airbus A350 XWB, дальнемагистрального широкофюзеляжного двухдвигательного пассажирского самолёта, в настоящее время разрабатываемый концерном Airbus в качестве замены A330 и A340. Он сможет перевозить от 270 до 350 пассажиров, в зависимости от модификации. На рис. 2 показана секция цельного полномасштабного композитного фюзеляжа для Boeing-787. Габариты конструкции почти 7 м в длину и 6 м в ширину. На рис. 3 представлен корпус сосуда высокого давления из композиционных материалов.

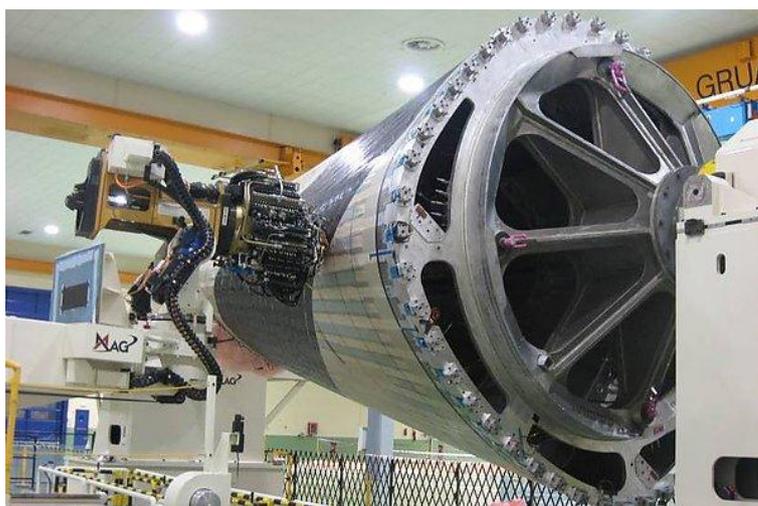


Рис. 1. Процесс намотки задней секции фюзеляжа Airbus A350 XWB



Рис. 2. Секция цельного полномасштабного композитного фюзеляжа для Boeing-787

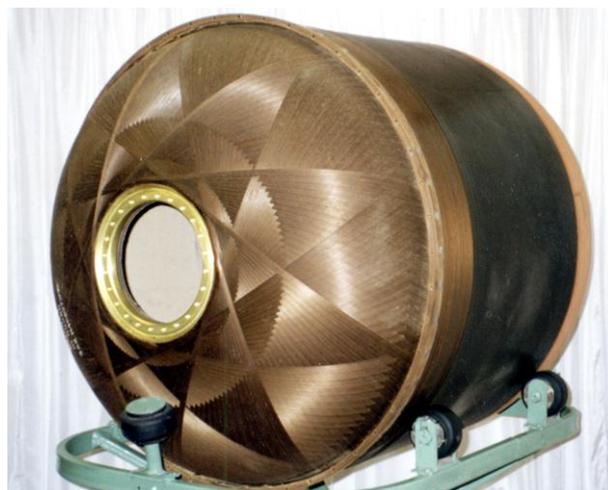


Рис. 3. Корпус из композиционных материалов для эксплуатации под действием внутреннего давления

1 Цель работы

Экспериментальное изучение метода испытаний образцов, имеющих форму кольца, из композиционного материала, полученного способом намотки.

Определение модуля упругости органопластиков тканой структуры, полученных путем намотки.

2 Теоретическая часть

Equation Section 2

2.1 Намотка

Намотка – это технологический процесс, в котором армирующий материал в виде жгута, нити, ленты, ткани наматывается на вращающуюся оправку, имеющую конфигурацию внутренней поверхности изделия. Специальные механизмы, которые перемещаются со скоростью, синхронизированной с вращением оправки, контролируют заданное направление и расположение армирующего материала на оправке. Последовательные слои наносятся до тех пор, пока не будет набрана необходимая толщина. Угол намотки может изменяться от продольного до окружного, включая любые углы спиральной намотки в этом диапазоне. После получения необходимой схемы армирования, толщины и структуры производится отверждение связующего и удаление оправки.

Технология изготовления изделий методом намотки позволяет наиболее полно реализовать в изделиях высокую прочность на растяжение волокон армирующего материала, реализовать высокую степень автоматизации технологического процесса.

Армирующий материал при намотке должен укладываться на оправку с некоторым натяжением, которое способствует увеличению давления формования и получению беспористой структуры композитного материала. Сжатие связующего и волокон предварительно растянутыми волокнами улучшает взаимодействие полимерной матрицы и армирующих волокон, что улучшает прочность, жесткость изделий. Оптимальные значения натяжения армирующего материала при намотке определяются в процессе опытных работ. Так при намотке стеклонитями оптимальные значения составляют 5 ... 15 % от предела прочности нити.

Увеличение натяжения выше оптимального приводит к обеднению композиции связующим, последующему расслоению, что снижает прочность композиции.

2.1.1 Виды намотки

В зависимости от схемы укладки армирующего материала на оправку имеют место следующие виды намотки: спирально-перекрестная (спирально-продольная, спирально-поперечная); спирально-винтовая; спирально-кольцевая; продольно-поперечная; планарная (полусная, плоскостная, орбитальная); зональная; тетрамотка.

Спирально-перекрестная намотка. В основу спирально-перекрестной намотки положен спиральный виток, представляющий собой пространственную кривую.

Основную разновидность спирали представляет геодезическая линия, являющаяся кратчайшим расстоянием между двумя точками на поверхности (прямая линия на плоскости, винтовая линия на цилиндре, все меридианы оболочек вращения).

Классическим видом намотки является геодезическая, при которой армирующий материал (нити, жгуты, ленты) укладываются на поверхность оправки по геодезическим линиям с расчетным углом укладки ϕ .

Методом геодезической намотки могут быть изготовлены изделия, имеющие различные геометрические формы: цилиндрические, конические, сферические, оваловиды, эллипсоиды, параболоиды, гиперболоиды, торовые поверхности, поверхности коробчатого сечения (рис. 2.1).

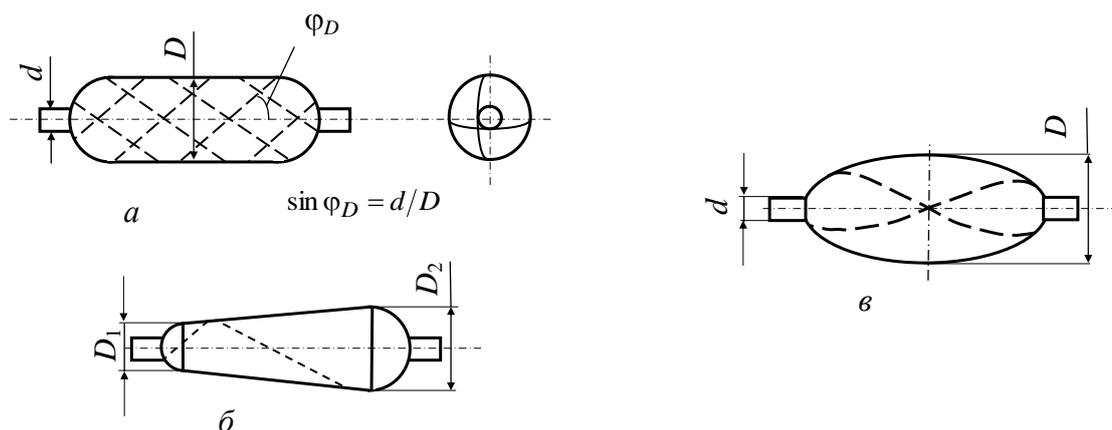


Рис. 2.1. Примеры поверхностей, образуемых геодезической намоткой:

a – цилиндрическая с законцовками; *б* – коническая; *в* – оваловидная

Продольно-поперечная намотка является одной из первых схем изготовления цилиндрических оболочек узкими лентами, укладываемыми в продольном и кольцевом направлениях (рис. 2.2).

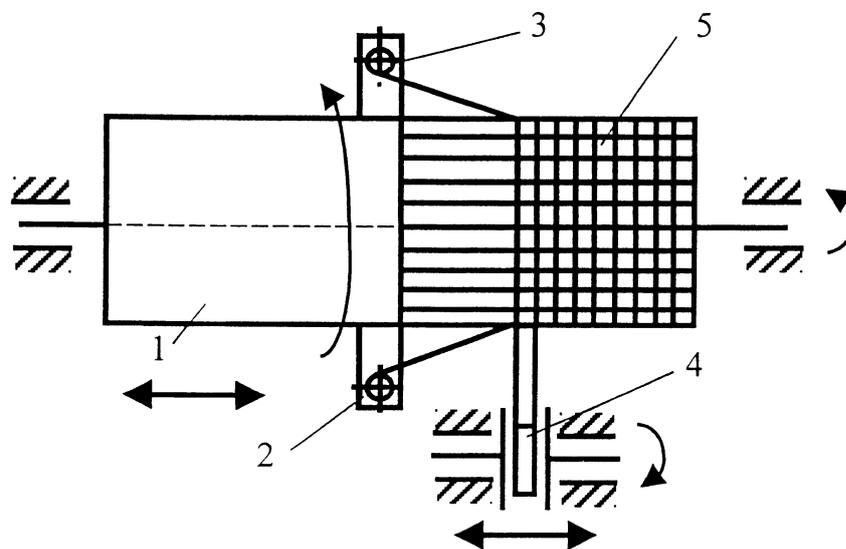


Рис. 2.2. Схема продольно-поперечной намотки:

- 1 – оправка; 2 – вертлюг катушек продольных лент; 3 – катушки продольной ленты;
4 – катушки кольцевой ленты; 5 – наматываемая оболочка

Продольно-поперечная намотка применяется, как правило, при «сухой» намотке препрегом (лентой, предварительно пропитанной связующим). Метод имеет высокую производительность. Используется при изготовлении высокопрочных труб, работающих на внутреннее давление, товаров народного потребления (лыжных палок, удилиц и др.).

Совмещенная спирально-кольцевая намотка. Спиральные и кольцевые слои армирующего материала укладываются на оправку одновременно с двух раскладывающих устройств, движение которых согласованно задается вращением оправки. Необходимым условием данного способа является то, что начало намотки кольцевых слоев и спирально-перекрестных и их окончание в пределах одного спирально-кольцевого пакета должно быть осуществлено в одно и то же время. Метод применяют для изготовления сосудов давления, изделий цилиндрической и конической формы с углом конусности не более 20° .

Зональная намотка. В основном используется для намотки сферических сосудов давления. При намотке ленты, жгута на поверхность сферы каждый виток должен располагаться в плоскости, проходящей через центр сферы. Намотку ведут по зонам,

внутри которых укладка армирующего материала производится с одним углом намотки (рис. 2.3). Для изготовления сферы число зон должно быть достаточно большим (порядка 10). Зоны различаются между собой углами намотки.

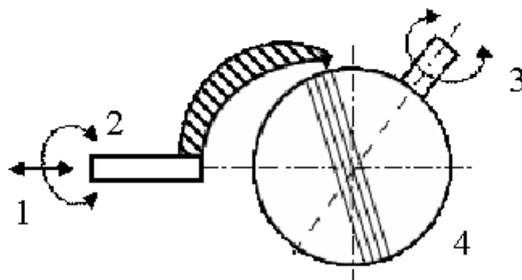


Рис. 2.3. Схема зональной намотки сферы: 1 – перемещение (шаг) веретена; 2, 3 – направление вращений; 4 – сферическая оправка с намотанной зоной

Спирально-винтовая намотка. Лента, нить волокнистого материала укладывается на поверхность оправки по винтовой линии. Витки плотно прилегают между собой или имеют строго постоянный нахлест.

Этот метод используют для усиления в местах, где требуется повышенная кольцевая прочность и жесткость (упрочнение дисков компрессоров ГТД, металлических трубопроводов и др.).

Тетранамотка. Для цилиндрических и конических оболочек, подвергающихся действию интенсивных сжимающих нагрузок, при высокой изгибной жесткости используют сетчатую структуру оболочек.

Сетчатая структура оболочки изготавливается методом тетранамотки, заключающаяся в том, что армирующая лента укладывается в предварительно нарезанные канавки в резиновом слое оправки. Углы укладки, количество ячеек, геометрию ячеек, высоту ребер жесткости предварительно рассчитывают. Кольцевую намотку наружного слоя оболочки осуществляют непосредственно на сетчатую оболочку обычным способом.

2.2 Требования к образцам

Развитие и внедрение процесса намотки потребовало разработки специальных материалов (иногда их называют намоточными материалами) и особых технологических приемов. Применение плоских образцов для оценки свойств этих материалов и влияния параметров намотки оказалось безуспешным. Особенности намотки заставляют учесть такие факторы как *влияние натяжения и искривления армирующих волокон, переменное*

натяжение по толщине материала, опасность размотки, слабое сопротивление сжатию поперек армирующих волокон. Перечисленные явления нельзя исследовать на плоских образцах, что потребовало разработки особого подхода к испытаниям намоточных изделий из композитных материалов.

Наиболее приемлемыми для исследования являются образцы, имеющие форму кольца или его части – сегмента. При изготовлении таких образцов хорошо воспроизводится технология намотки, а их испытания позволяют судить о свойствах материала в намоточных изделиях.

Кольцевые образцы испытывают наружным и внутренним давлением для оценки свойств при растяжении-сжатии вдоль армирования, на изгиб сосредоточенными силами – для оценки сдвиговых свойств намоточных материалов, кольца с прорезями используются для изучения прочности при межслойном сдвиге.

Недостатком кольцевых образцов является трудность изучения влияния геометрии намотки при углах, существенно отличающихся от нуля. Для устранения эффекта «перерезанных нитей» и изучения геометрической оптимизации намотки используются цилиндрические трубчатые образцы.

Испытания труб и сосудов под давлением при применении самых простых методов испытаний легко могут дать дополнительные сведения об упругих свойствах намоточных материалов.

Намотанные кольца из слоистых волокнистых композитов обладают ярко выраженной анизотропией: модуль упругости в окружном направлении E_θ значительно выше, чем в радиальном E_r , и модуля межслойного сдвига $G_{\theta r}$. Прочность при растяжении в направлении армирования $\bar{\sigma}_\theta^+$ значительно превышает сопротивление поперечному отрыву $\bar{\sigma}_r^+$ и сжатию $\bar{\sigma}_r^-$ перпендикулярно волокнам, а также прочность при сдвиге $\bar{\tau}_{\theta r}$. Примерные соотношения для волокнистых композиционных материалов:

$$\frac{E_\theta}{G_{\theta r}} = 10 \div 200, \quad \frac{E_\theta}{E_r} = 3 \div 10, \quad \frac{\bar{\sigma}_\theta^+}{\bar{\sigma}_r^-} = 3 \div 20, \quad \frac{\bar{\sigma}_\theta^+}{\bar{\tau}_{\theta r}} = 10 \div 40. \quad (2.1)$$

Размеры образцов зависят от схемы нагружения и целей исследования. Наибольшее распространение получили тонкостенные кольца с соотношениями толщины h и радиуса R

$$\frac{h}{R} \approx \frac{1}{25} \div \frac{1}{50}, \quad (2.2)$$

предназначенные в основном для изучения характеристик в направлении армирования.

Основные схемы нагружения представлены на рис. 2.4, 2.5.

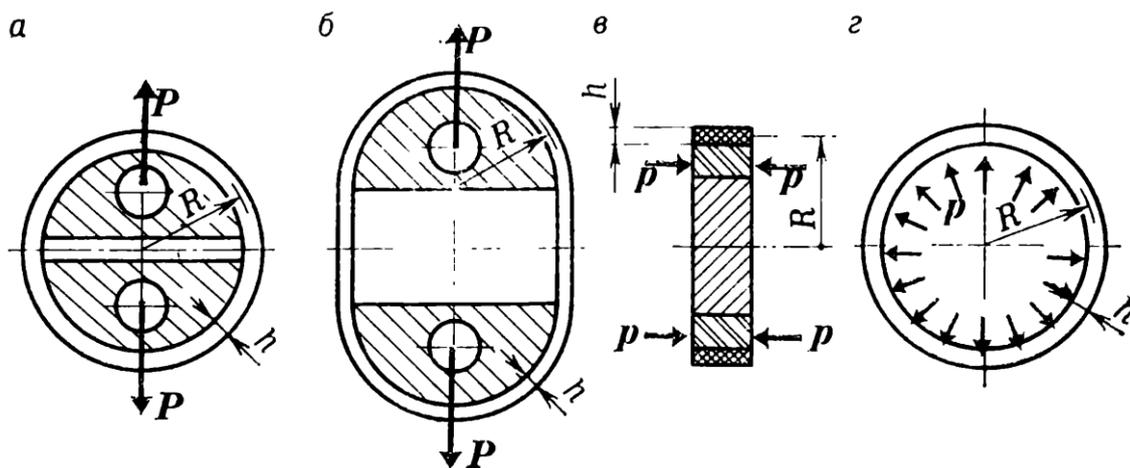


Рис. 2.4. Схемы нагружения кольцевых образцов внутренним давлением при помощи:
а, б – жестких полудисков; *в* – резинового кольца; *г* – гидравлики;

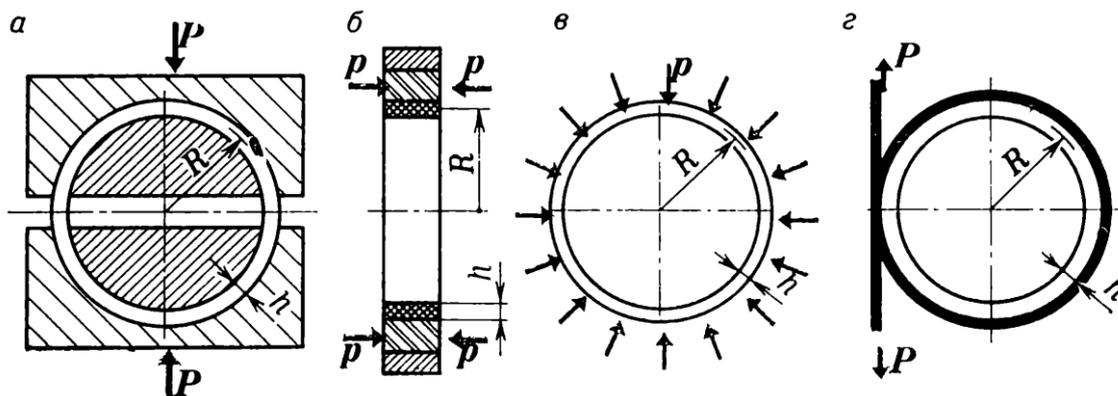


Рис. 2.5. Схемы нагружения кольцевых образцов наружным давлением при помощи:
а – жестких полудисков; *б* – резинового кольца; *в* – гидравлики или рычагов; *г* – стальной ленты;

При испытании намоточных образцов наиболее распространенным является метод полудисков (рис. 2.4.а). Использование данного метода при определении модуля

упругости возможно лишь при относительно малых нагрузках. Увеличение нагрузки приводит к неравномерности распределения деформаций по окружности (рис. 2.6).

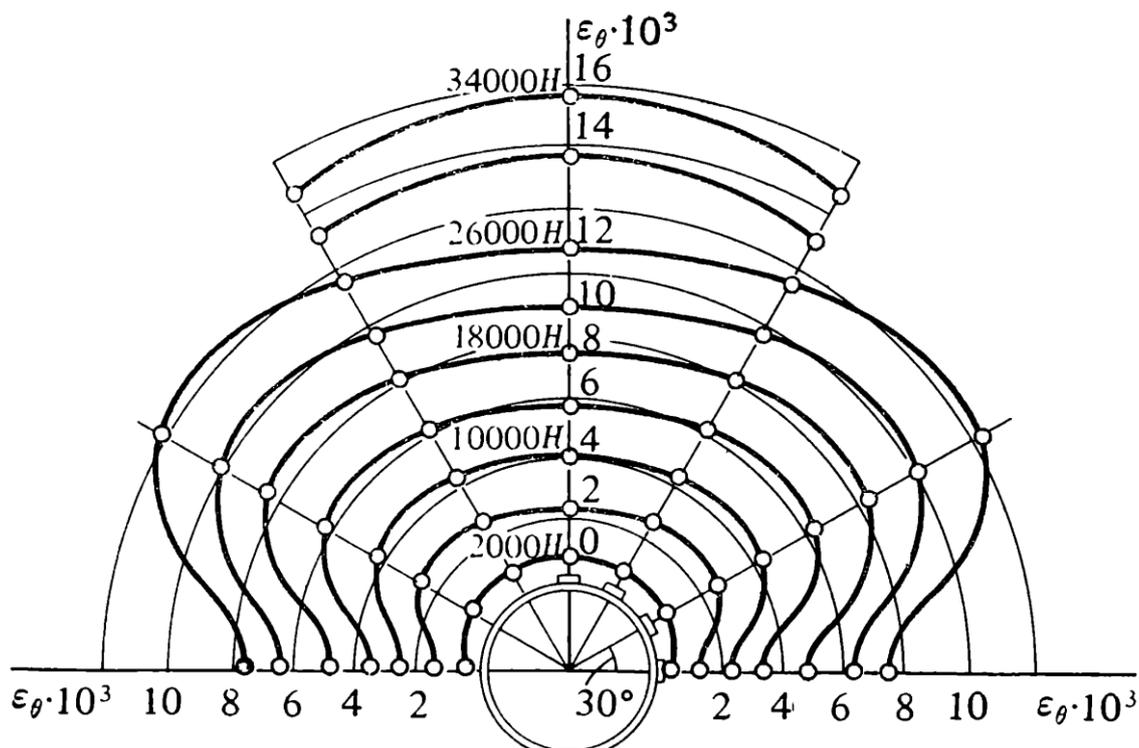


Рис. 2.6. Распределение относительной деформации ε_θ по окружности кольца при испытаниях жесткими полудисками

В связи с этим при определении окружного модуля упругости E_θ нагрузка на образец должна составлять не более $5 \div 10$ % от разрушающей, а угол между тензодатчиками, наклеенными на наружную поверхность кольца, и линией разъема полудисков должен быть не менее 30° для исключения искажений деформационной картины (рис. 2.6).

Модуль упругости в этом случае определяется по формуле

$$E_\theta = \frac{F}{2bh \cdot \varepsilon_\theta}, \quad (2.3)$$

где F – нагрузка по шкале машины; b – ширина кольца; h – толщина кольца; ε_θ – относительная деформация, измеряемая тензодатчиком.

Прочность материала кольца определяется зависимостью

$$\bar{\sigma}_\theta^+ = \frac{F_{\text{разр}}}{2bh}, \quad (2.4)$$

где $F_{\text{разр}}$ – предельное усилие, при котором происходит разрушение.

Однако характеристики, определяемые по формулам (2.3), (2.4), не являются истинными характеристиками материала. Это связано с тем, что при нагружении по этой схеме деформация кольца на участках около разъема состоит из деформаций растяжения и изгиба (вследствие изменения радиуса кривизны кольца). Соотношение этих деформаций зависит от относительной толщины кольца (2.2). С увеличением этого отношения, а также степени анизотропии и величины предельной деформации материала, влияние указанных факторов усиливается.

3 Методика испытания

Equation Section 3

Настоящая методика составлена с учётом ГОСТ 25.603-82 «Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). Метод испытания на растяжение кольцевых образцов при нормальной, повышенной и пониженной температурах».

Требования этого стандарта распространяется на полимерные композиционные намоточные материалы, армированные непрерывными высокомодульными углеродными, борными, органическими и другими волокнами, и устанавливает метод испытания на растяжение кольцевых образцов из этих материалов.

3.1 Метод заключается в кратковременном растяжении кольцевых образцов из композиционных намоточных материалов полудисками (см. рис. 3.1).

3.2 При растяжении образца:

- определяют модуль упругости в окружном направлении E_θ , МПа (кгс/мм²);
- строят диаграмму деформирования в окружном направлении - зависимость окружного напряжения σ_θ , МПа (кгс/мм²), от окружной деформации ε_θ , %.

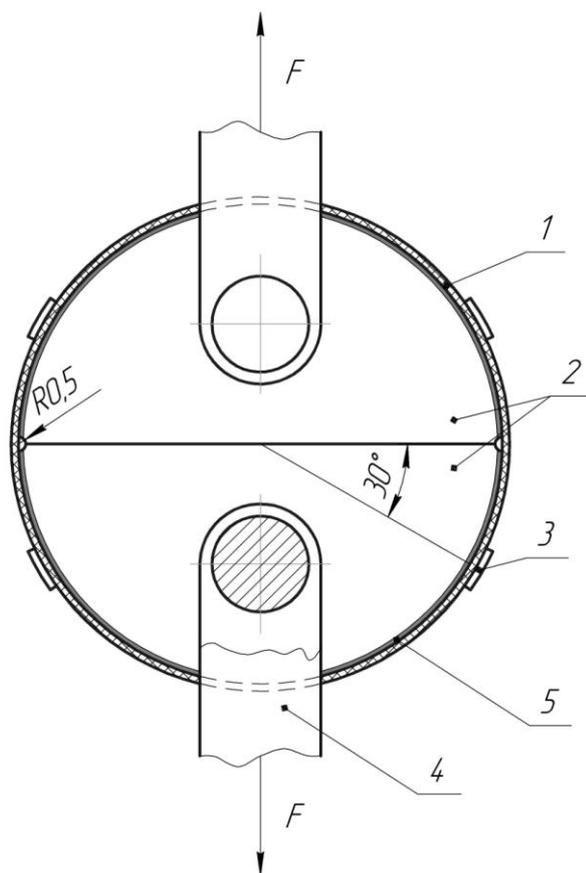


Рис. 3.1. Схема испытаний:

1 – образец; 2 – полудиски; 3 – тензорезисторы; 4 – тяга; 5 – фторопластовая прокладка

4 Образцы и оборудование

4.1 Стандартный образец изготовлен в форме кольца следующих размеров:

внутренним диаметром $d - 90,4$ мм;

толщиной $h - 3,25$ мм;

шириной $b - 15,25$ мм.

4.2 Материал образца – органопластик:

Армирующая компонента – ткань из органонити полотняного переплетения.

Матрица – эпоксидная смола.

4.3 Испытания проводят на рычажной разрывной машине (рис. 4.1), позволяющей производить ступенчатое нагружение начиная с нулевого значения. Измерение величины деформации осуществляется с помощью тензометрических датчиков, наклеенных на образец, как показано на рис. 3.1. Максимальное реализуемое рычажной машиной усилие $P_{\max} = 10$ кН, коэффициент усиления 50.

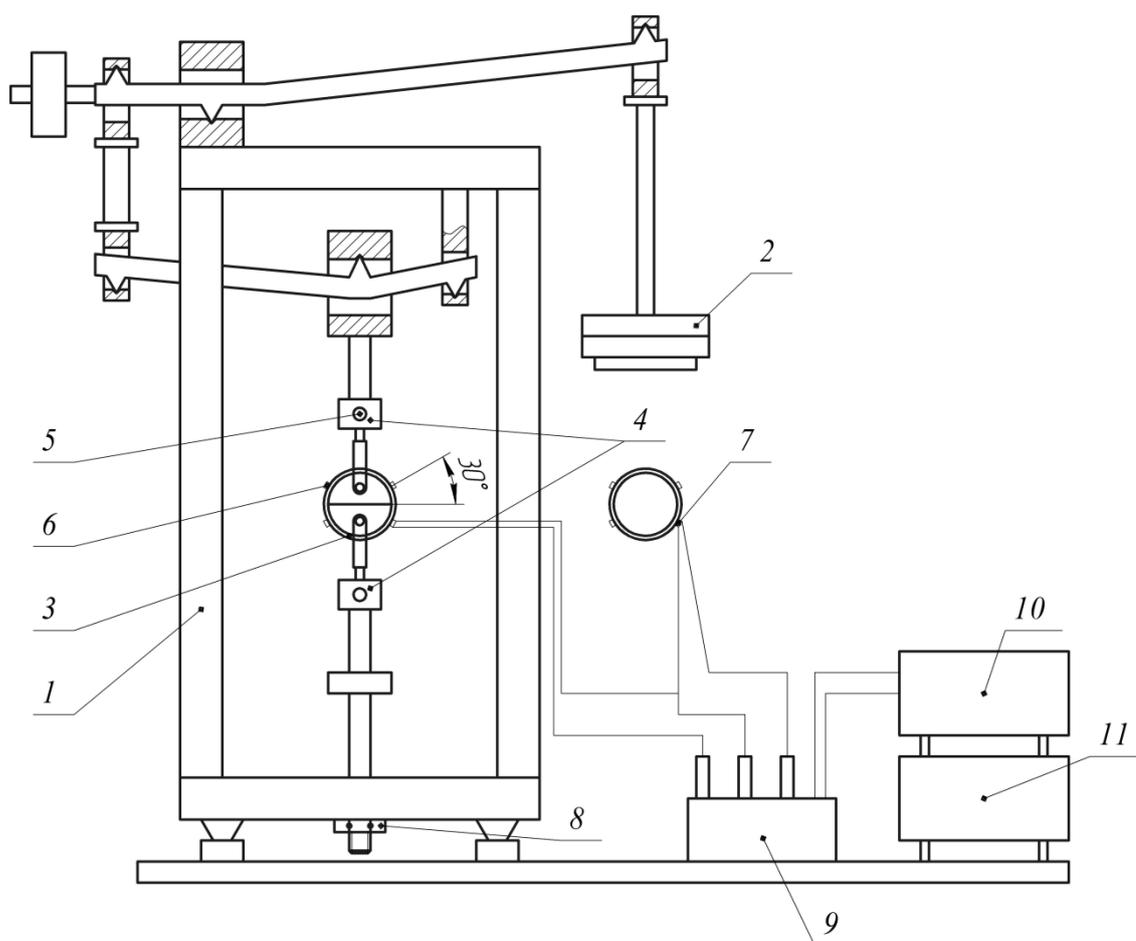


Рис. 4.1. Схема рычажной испытательной машины

- 1 – рычажное нагружающее устройство; 2 – грузы; 3 – образец; 4 – захваты; 5 – штифты;
 6 – активный тензорезистор; 7 – компенсационный тензорезистор; 8 – гайка регулировочная; 9 – колодка для подключения тензорезисторов; 10 – тензостанция;
 11 – регистрирующий прибор

Деформации измеряются посредством тензорезисторов, наклеенных на образцы, сигнал с которых регистрируется посредством тензостанций ТА-5 или 8АНЧ-23.

4.4 При выполнении работ по настоящей методике образец нагружают в пределах упругой деформации, что контролируется с помощью измерения деформации в режиме «онлайн». Разница между внутренним диаметром кольцевого образца и диаметром полудисков в сборе не превышает 0,4 мм; шероховатость опорных поверхностей полудисков не более 0,63 мкм по ГОСТ 2789-73, что достигается благодаря фторопластовой прокладке между полудисками и образцом. Крепление приспособления в

испытательной машине обеспечивает самоцентрирование, то есть направление приложенной растягивающей нагрузки перпендикулярно к плоскости разъема полудисков и проходить через центр испытуемого кольца.

4.5. Для регистрации деформаций используется вольтметр, обеспечивающие измерение с погрешностью не более $\pm 3\%$ предельного значения измеряемой величины сигнала, выдаваемого тензостанцией, подключенной к тензодатчикам по мостовой схеме, представленной на рис. 4.2.

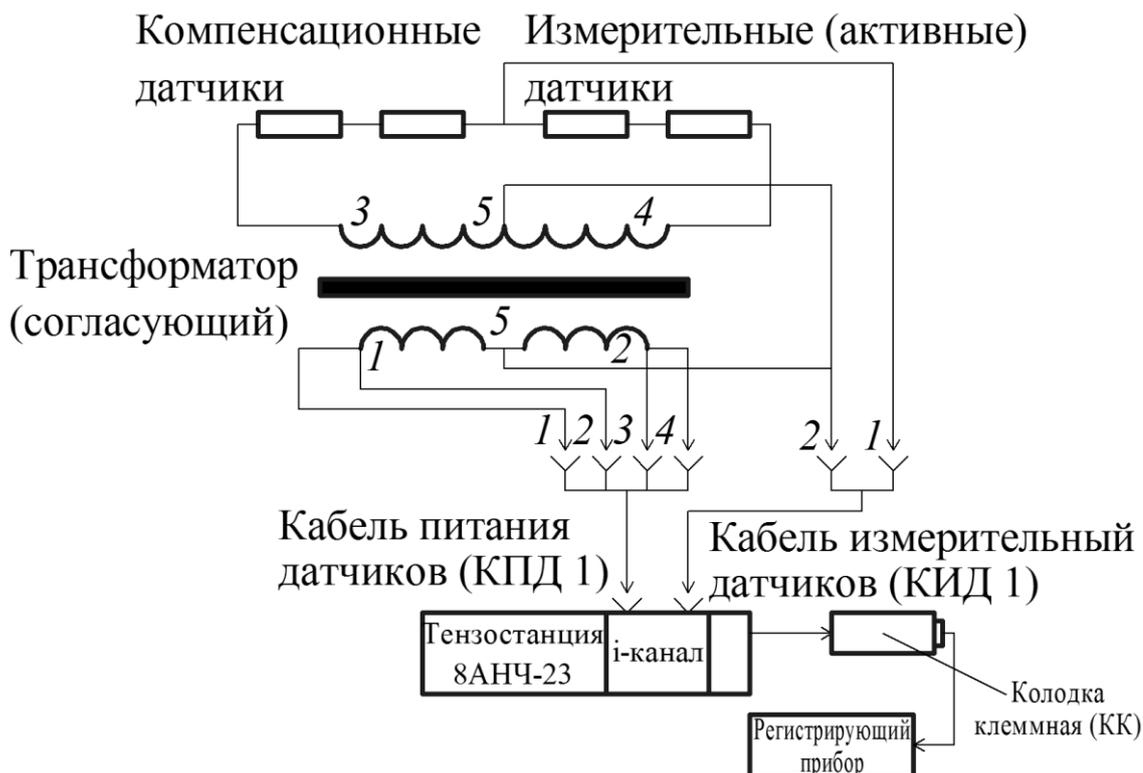


Рис. 4.2. Схема подключения тензодатчиков к тензостанции 8АНЧ-23

5 Подготовка к испытанию

5.1 Для определения модуля упругости и диаграммы деформирования при растяжении на образец наклеены четыре тензометрических датчика. Середины измерительных баз расположены под углом $\pm 30^\circ$ относительно плоскости разъема полудисков. Тензодатчики наклеиваются в продольном направлении, как показано на рис. 5.1. Длина измерительной базы - 10 мм.



Рис. 5.1. Схема замера окружной деформации ε_θ

5.2 Перед проведением испытаний необходимо включить тензостанцию и вольтметр и, после прогрева приборов, произвести балансировку измерительного моста.

6 Порядок проведения испытаний и обработки результатов

Equation Section 6

На нагружающем устройстве (рис. 4.1) устанавливается испытуемый образец 3 с наклеенными на него четырьмя тензорезисторами 6.

При ослабленной регулировочной гайке 8 рычажная система должна находиться в положении равновесия таким образом, чтобы верхний рычаг нагружающего устройства оставался в горизонтальном положении.

Настройка положения равновесия осуществляется путем перемещения специального противовеса, расположенного на верхнем рычаге.

Вращением регулировочной гайки выбирают зазор в цепи нагружения образца.

Активные 6 и компенсационные 7 тензорезисторы подключаются к колодке 9 по схеме полумоста. Устанавливаются необходимые пределы измерения на тензоаппаратуре и регистрирующем приборе.

Нагружение образца – ступенчатое, с равными приращениями нагрузки, осуществляется установкой грузов 2 на грузоприемник нагружающего устройства. Реализуется 5-6 ступеней нагружения. Установленный в испытательной машине образец нагружается в диапазоне нагрузок, соответствующих 5%–20% от разрушающего напряжения в окружном направлении.

При весе груза Q_i образец растягивается силой

$$F_i = K_p \cdot Q_i, \quad (6.1)$$

где K_p – коэффициент усиления нагружающего устройства ($K_p = 50$).

6.1 Напряжения в окружном направлении σ_θ , МПа (кгс/мм²), определяют по формуле

$$\sigma_\theta = \frac{F}{2S}, \quad (6.2)$$

где F – приложенная нагрузка, МН (кгс);

S – среднее значение начальных площадей поперечных сечений образца по середине измерительной базы, мм².

6.2 Замер относительной деформации

Деформации измеряются наклеенными на образцы тензорезисторами, сигнал с которых усиливается тензоусилителями ТА-5 или 8АНЧ-23 и регистрируется на цифровом вольтметре.

Значения деформации при использовании тензоусилителя ТА-5 определяются по формуле

$$\varepsilon = \frac{2\varepsilon_k A_i}{s_T A_k}, \text{ [отн. ед.]}, \quad (6.3)$$

где A_i – показания регистратора при отсчете измеряемого сигнала;

ε_k – предел измерения тензоусилителя в относительных единицах;

s_T – коэффициент чувствительности тензорезистора;

$A_k = A'_k - A_{k0}$ при обозначениях:

A'_k – показания регистратора при отсчете контрольного сигнала в режиме «К»;

A_{k0} – показания регистратора при отсчете контрольного сигнала в режиме «0».

Для получения значений A_k' и A_{k0} необходимо последовательно установить переключатель на тензостанции в положение «К» и в положение «0» и снять показания вольтметра.

Формулу (6.3) можно представить в виде

$$\varepsilon = K_\varepsilon \cdot A_i, \text{ [отн. ед.]}, \quad (6.4)$$

где

$$K_\varepsilon = \frac{2\varepsilon_k}{s_T A_k}. \quad (6.5)$$

Значения деформации при использовании тензоаппаратуры 8АНЧ-23 определяются по формуле

$$\varepsilon = 2,83 \frac{4A_i \cdot K}{\Pi s_T A_k K_\delta} \varepsilon_k, \text{ [отн. ед.]}, \quad (6.6)$$

где A_i' – показания регистратора при текущем значении измеряемого сигнала;

A_0' – показания регистратора при начальном значении измеряемого сигнала;

ε_k – значение калибровочной деформации ($\varepsilon_k = 9 \cdot 10^{-3}$);

K – коэффициент, определяемый маркировкой предела, на котором проводились измерения;

s_T – коэффициент чувствительности тензорезисторов ($s_T = 2,16$);

Π – число активных плеч моста ($\Pi = 1$);

K_δ – значение дополнительного коэффициента усиления при работе в режиме «Ст-Дин $K \geq 1$ » и «Дин»;

$$A_k = A_k' - A_{k0}.$$

По аналогии с (6.4) формулу (6.6) можно представить в виде

$$\varepsilon = K_\varepsilon \cdot A_i, \text{ [отн. ед.]}, \quad (6.7)$$

где

$$K_{\varepsilon} = 2,83 \frac{4K}{\Pi_{S_T} A_k K_{\theta}} \varepsilon_k. \quad (6.8)$$

В ходе испытаний для конкретного тензоусилителя определяют значения A'_k , A_{k0} , K_{ε} и заносят в табл. 6.1. Также в табл. 6.1 записываются измеряемые значения A'_i и производятся расчеты продольных относительных деформаций $\varepsilon_{1,i}$. При соблюдении всех требований ГОСТ по изготовлению образца продольная деформация тензодатчика ε_1 становится близкой к окружной деформации испытываемого кольцевого образца ε_0 .

Таблица 6.1

Ширина $b =$ мм		Площадь поперечного сечения $S =$ м ²		$A'_k =$; $A_{k0} =$;		
Толщина $h =$ мм				$K_{\varepsilon} =$;		
Шаг нагружения i	F_i , Н	$\sigma_{\theta,i} = \frac{F_i}{2S}$, $\times 10^{-6}$ Па	A'_i	$A_i = A'_i - A_0^i$	$\varepsilon_i = K_{\varepsilon} \cdot A_i$	$E_{\theta,i} = \frac{\sigma_{\theta,i}}{\varepsilon_i}$, $\times 10^{-9}$ Па
1						
2						
3						
4						
5						
					$\sum_{i=1}^n \frac{E_{\theta,i}}{n} =$	ГПа

6.3 Построение диаграммы деформирования

На миллиметровой бумаге в координатах $\sigma_0 \sim \varepsilon_1$ строится диаграмма деформирования материала (рис. 6.1). На диаграмме $\sigma_0 \sim \varepsilon_1$ выбирается прямолинейный участок и определяется модуль упругости.

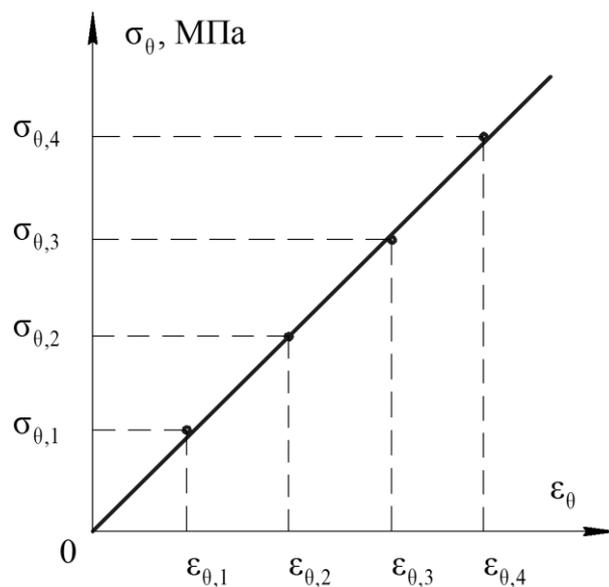


Рис. 6.1. Общий вид диаграммы деформирования

6.4 Модуль упругости в окружном направлении при растяжении E_θ , МПа (кгс/мм²), вычисляют по формуле

$$E_\theta = \frac{\Delta\sigma_\theta}{\Delta\varepsilon_\theta} = \frac{\Delta F}{2S\Delta\varepsilon_\theta}, \quad (6.9)$$

где $\Delta\sigma$ – приращение напряжений, Па;

$\Delta\varepsilon_\theta$ – приращение относительной деформации в окружном направлении при изменении нагрузки ΔF .

7 Требования к отчету

Отчет должен отражать цель работы, содержать краткое описание исследуемых образцов и испытательного оборудования, включать основные положения методики проведения эксперимента и обработки результатов.

Особое внимание следует уделить правильности внесения в отчет данных экспериментов и получаемых на их основе результатов.

В отчете должны быть представлены диаграмма деформирования материала образца в координатах $\sigma_\theta \sim \varepsilon_\theta$ и выводы по проделанной работе.

8 Контрольные вопросы

- 1 Дать определение композиционного материала.
- 2 Почему композиционные материалы являются анизотропными?
- 3 Какие элементы авиационных и космических композитных конструкций могут изготавливаются с помощью намотки?
- 4 Можно ли для оценки свойств намоточных материалов использовать плоские образцы?
- 5 Как должны располагаться тензодатчики на поверхности образца и почему?
- 5 Какой вид нагружения реализуется при определении модуля упругости кольцевых образцов из тканого органопластика?
- 6 Какая аппаратура применяется при определении модуля упругости кольцевых органопластиковых образцов?
- 7 Чем измеряются деформации на поверхности образца?
- 8 Чем обусловлено нагружение образца при уровне нагрузок от 5 до 20 % от разрушающего усилия?

Список литературы

- 1 Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела. – М.: Наука, 1977. – 416 с.
- 2 Методы статических испытаний армированных пластиков. Справочное пособие. Составители: Кинцис Т.Я., Розе А.В., Жигун И.Г., под редакцией Тарнопольского Ю.М.. Рига, Зинатне, 1972. 228 с.
- 3 Основы механики, проектирования и технологии изготовления изделий из слоистых композиционных материалов: учеб. пособие / Ю.С. Первушин, В.С. Жернаков; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа, 2008. – 303 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по дисциплине

«Основы механики, проектирования и технологии изготовления
изделий из композиционных материалов»

Подписано в печать | Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Печать плоская. Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. л. 1,4 Уч.-
изд. л. 1,3. Тираж 100 экз. Заказ №

ФГБОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический
университет

Центр оперативной полиграфии
УГАТУ 450000, Уфа-центр, ул. К.
Маркса, 12