

Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВПО «Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники»
(ТУСУР)

Кафедра механики и графики (МиГ)

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой МГУК
Люкшин Б.А.

**Методические указания
к выполнению лабораторных работ
по композитным материалам**
для студентов специальности 220501- управление качеством

Разработчик:
доцент кафедры
механики и графики
Реутов А.И.

Томск
2012

В методических указаниях по лабораторной работе по курсу «Композитные материалы» для студентов специальности 220501- управление качеством приведены краткие теоретические сведения, порядок выполнения, лабораторных работ, содержание отчета, контрольные вопросы.

Содержание

1. Испытание на растяжение образцов из полимерных композитных материалов	4
2. Прогнозирование модуля упругости дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалов	14
3. Определение усадочных характеристик полимерных композитных материалов	24
4. Определение перемещений и модуля упругости полимерных композитных материалов при изгибе	37

ИСПЫТАНИЕ НА РАСТЯЖЕНИЕ ОБРАЗЦОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

1.ВВЕДЕНИЕ

Полимерные композиционные материалы являются одним из наиболее важных и широко используемых классов современных конструкционных материалов. При проектировании и расчете деталей, подвергающихся воздействию статических, динамических, вибрационных и других нагрузок, необходимо учитывать механические характеристики конструкционных материалов, из которых эти детали изготовлены.

Для получения такого рода характеристик применяют различные методы испытаний. Наибольшее распространение получили методы механических испытаний на растяжение, которые отличаются относительной простотой, и по результатам которых можно судить о поведении материалов при более сложных видах нагружения.

Испытания на статическое растяжение образцов из металлов рассматриваются в разделах 5 и 6, а испытания образцов из конструкционных пластмасс в разделах 7 и 8 данной лабораторной работы.

2.ЦЕЛЬ РАБОТЫ

2.1 Ознакомиться с устройством и принципом действия разрывной машины Р-0,5 и машины разрывной для испытания материалов 2166 Р-5.

2.2 Научиться определять основные механические характеристики конструкционных материалов при статических испытаниях на растяжение.

3.СТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

Статическими испытаниями называются такие испытания, при которых образцы из исследуемого материала подвергают воздействию постоянной силы или силы возрастающей весьма медленно. Испытание на растяжение является одним из информативных методов испытания материалов. Метод основан на растяжении испытуемого образца с установленной скоростью деформирования при котором определяются прочностные и деформационные характеристики материалов.

Испытание проводится в условиях одноосной нагрузки, на определенных образцах, заданных климатических условиях и скорости раздвижения захватов.

Испытания на растяжение специально изготовленных стандартных образцов проводят на разрывных машинах (рис.3.1). .

При растяжении бруса в его поперечном сечении возникает нормальное напряжение σ , равное отношению растягивающего усилия F к площади поперечного сечения A бруса

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

Абсолютной деформацией Δl бруса называется разность между длиной бруса l_k после приложения нагрузки и первоначальной длиной l_0

$$\Delta l = l_k - l_0 \quad (3.2)$$

Относительной деформацией (или деформацией) ε называется отношение абсолютной деформации к первоначальной длине

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}, \quad (3.3)$$

Между напряжением σ и деформацией ε существует зависимость, носящая название закона Гука

$$\sigma = \varepsilon \cdot E \quad (3.4)$$

Коэффициент пропорциональности E называется модулем Юнга или модулем продольной упругости первого рода и является физической постоянной для данного материала при данных условиях.

Поведение материала при растяжении хорошо иллюстрирует диаграмма в координатах деформация-напряжение. Ее получают обычно из диаграммы «сила растяжения F – абсолютное удлинение образца Δl », которая вычерчивается самопишущим прибором разрывной машины. Диаграмму σ - ε получают пересчетом, откладывая по оси абсцисс

значения $\sigma = \frac{F}{A_0}$, а по оси ординат значения $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$.

Такая диаграмма не зависит от размеров образцов и может служить для сравнения механических характеристик различных материалов.

На рис.3.2 приводится диаграмма растяжения низкоуглеродистой стали с указанием ее характерных точек.

До некоторого состояния, характеризуемого на диаграмме точкой А, зависимость между σ и ε выражается прямой линией. Точка А соответствует напряжению, называемому пределом пропорциональности σ_{mp} . На участке ОА выполняется закон Гука. Если диаграмма растяжения построена в одинаковом масштабе по осям σ и ε , то тангенс угла наклона прямолинейного участка к оси абсцисс равен отношению

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{AA'}{OA'} = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3.5)$$

Согласно закону Гука

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3.6)$$

Следовательно, $tg \alpha = E$, т.е. числовая величина модуля упругости первого рода может быть определена в масштабе диаграммы как тангенс угла наклона прямолинейного участка ОА и оси абсцисс.

Пределом упругости называется такое напряжение, при котором в материале появляется остаточная деформация, равная наперед заданной малой величине (0,002 – 0,005% первоначальной длины образца). Экспериментально предел упругости σ_y определить сложно, поэтому его считают совпадающим с пределом пропорциональности. Далее, с повышением напряжения диаграмма отклоняется от прямой, плавно поворачиваясь вправо к точке В.

Некоторые материалы, начиная от точки В дают участок, на котором удлинения начинают расти без увеличения нагрузки. Это явление называется текучестью материала. Пределом текучести называется такое напряжение, при котором в материале появляется заметное удлинение без увеличения нагрузки. Предел текучести является важной характеристикой механических свойств материала. Многие материалы не имеют ярко выраженного предела текучести. Для таких материалов принято считать напряжение, соответствующее остаточному относительному удлинению, равному 0,2%.

За пределом текучести диаграмма растяжения делается криволинейной и деформации образца начинают расти быстрее напряжений. Точка С соответствует наибольшему значению растягивающего усилия. Напряжение, соответствующее отношению наибольшего растягивающего усилия к первоначальной площади поперечного сечения образца, называется пределом прочности и обозначается $\sigma_{пр}$.

После растяжения предела прочности постепенно начинает образовываться местное сужение, называемое шейкой и при напряжении, соответствующему точке D, происходит разрыв образца. Предел прочности имеет важное значение особенно для хрупких материалов.

На рис.3.3 приведены диаграммы растяжения образцов из некоторых материалов.

4. ОПИСАНИЕ РАЗРЫВНЫХ МАШИНЫ

При испытании на разрывной машине стандартный образец закрепляется в захватах и растягивается с постоянной скоростью движения подвижного захвата. В редких случаях, при испытании с постоянной скоростью нагружения скорость движения подвижного захвата регулируется по скорости нарастания нагрузки.

В зависимости от жесткости силоизмерителя, разрывные машины разделяются на разрывные машины с жестким и нежестким датчиком силы. У

разрывных машин с жестким датчиком силы смещение зажима связанного с силоизмерителем составляет не более 0,5 мм. У машин с нежестким датчиком силы смещение зажима связанного с силоизмерителем больше 0,5 мм. В разрывных машинах с жестким силоизмерителем используют торсионные и электронные (тензометрические, индуктивные, емкостные и др.) датчики силы. Маятниковые силоизмерители относятся к нежестким датчикам силы и в зависимости от конструкции имеют деформацию от 1 до 30-40 мм при максимальном значении нагрузки.

В качестве испытательных машин применяются разрывные и универсальные испытательные машины всех систем при условии соответствия их требованиям ГОСТ 7855-84 и ГОСТ 1497-84.

Статические испытания на растяжение производятся созданием больших разрывных усилий посредством механических передач или гидросистемы. Действие машин с механической передачей усилия можно представить на примере испытательной машины Р-5. Машина состоит из следующих основных узлов:

- 1) Захватов 1,2 для закрепления образца 3;
- 2) Механизма нагружения, включающего электродвигатель, коробку скоростей и ходовой винт 4 с гайкой;
- 3) Силоизмерительного механизма, состоящего из рычажно-маятниковой системы, шкалы силоизмерителя 10 и демпфера 11 (масляного амортизатора). Сила F , действующая на грузовой рычаг 5 и рычаг маятника 6, отклоняет маятник 7, перемещая рейку шкалы нагрузок 8 в направляющих роликах 9 пропорционально углу отклонения маятника, а рейка вращает шестерню шкалы нагрузок со стрелкой 10;
- 4) Шкалы деформаций 12 с зубчатой рейкой 13, позволяющей фиксировать абсолютное удлинение образца;
- 5) Диаграммного аппарата 14 и каретки с пером 15, служащего для автозаписи растяжения образца посредством тросика 16 и редуктора масштабов 17 в координатах «сила-абсолютное удлинение».

Разрывная машина для испытания пластмасс 2166 Р-5, рис. 1 предназначена для испытания пластмасс на растяжение, сжатие, изгиб, гистерезис, малоцикловые усталостные испытания по нагрузке, перемещению и деформации при нормальной температуре.

Наибольшая предельная нагрузка – 5 кН с диапазонами измерения 50 Н, 500 Н и 5 кН. Тип силоизмерителя – тензорезисторный. Предел допускаемого значения погрешности силоизмерителя при нагружении $\pm 1\%$ от измеряемой нагрузки. Скорость рабочего хода активного захвата от 1 до 1000 мм/мин. Номинальная цена наименьшего разряда измерителя перемещения активного захвата 0,1 мм. Пределы допускаемой погрешности измерителя перемещения активного захвата $\pm 0,3$ мм.

Разрывная машина состоит из следующих узлов: виброопор 1, на которых установлена машина; каркаса 20 с приводом и узлом нагружения; ограничителя хода 17 для отключения привода при достижения подвижной траверсой

крайних положений; направляющих 3; ходовых винтов 4; стола 5, используемого при работе в нижней зоне; захватов 6 для закрепления образцов 7; системы измерения деформации подвижной траверсы 8; силоизмерительного датчика 9; ограждений 10 для обеспечения безопасности работы ходовых винтов; неподвижной траверсы 11; кнопочной станции 16 для управления работой разрывной машины.

В состав пульта управления разрывной машины входят блок аналого-цифрового преобразователя 12; блок индикации 13; блок циклирования 14; блок автоматики 15; графопостроитель 18 и блок питания 19. Разрывная машина соединена с пультом управления соединительными устройствами 21.

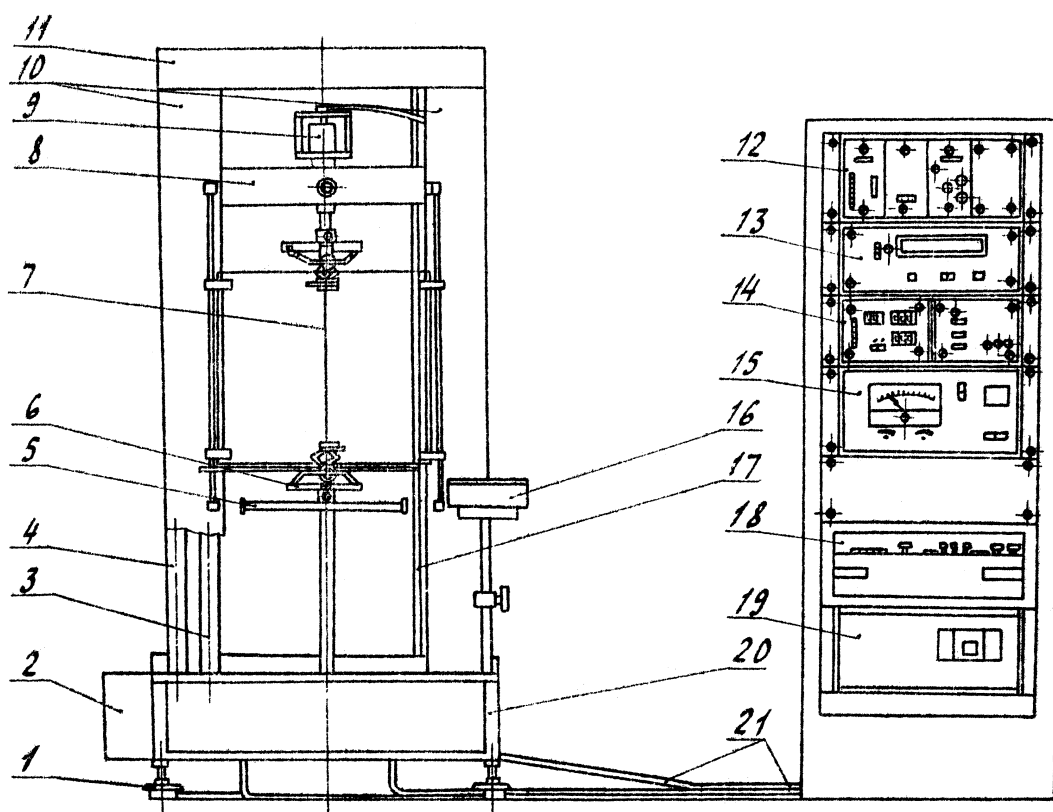


Рис. 1. Разрывная машина для испытания пластмасс 2166 Р-5.

5. ИСПЫТАНИЕ НА РАСТЯЖЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Комплекс механических свойств, определяющих функциональные возможности деталей из пластмасс, определяются из испытаний на растяжение. Такой метод испытаний регламентирован ГОСТ 11262-80. Пластмассы. Методы испытания на растяжение. Согласно этому стандарту можно применять образцы пяти типов с плоскими и круглыми поперечными сечениями различных размеров. Для отработки рецептуры материала, режимов переработки и в работах с научно-исследовательскими целями рекомендуется применять образцы, имеющие уменьшенные размеры (рис. 2).

Измерение удлинения таких образцов допускается проводить по измерению расстояния между зажимами, при этом относительное удлинение должно быть больше 10%. Образцы отбираются не имеющие дефектов поверхности в виде пузырьков, трещин и т.п. испытания проводят при температуре $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$, если нормативно-технической документацией на материал нет других указаний. Размеры образца типа 5 по ГОСТ 11262-80 следующие: общая длина образца $l_1 = 80$ мм, длина рабочей части $l_3 = 40 \pm 0,5$ расчетная длина $l_0 = 25 \pm 0,5$ мм, расстояние между метками, определяющими положение кромок зажимов на образце $l_2 = 52 \pm 1$. Образец имеет прямоугольное поперечное сечение шириной $b_2 = 5 \pm 0,2$ мм и толщиной $d = 2$ мм, ширина головки $b_1 = 11 \pm 0,2$ мм. Радиусы закругления $r = 6 \pm 0,2$ мм.

Толщину и ширину образцов измеряют в трех местах, в середине и на расстоянии 5 мм от меток. По полученным значениям вычисляют средние арифметические величины, по которым вычисляют начальное поперечное сечение. Образцы, у которых максимальное и минимальное значения толщины и ширины отличаются более чем на 0,2 мм, не испытывают. Образцы кондиционируют по ГОСТ 12423-66 не менее 16 часов при температуре $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажности $(50 \pm 5)\%$. Испытания проводят при температуре $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажности $(50 \pm 5)\%$,

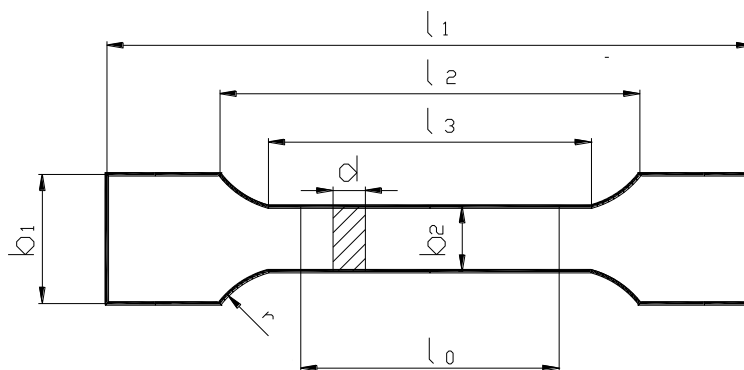


Рис.2 Форма и размеры образца по ГОСТ 11262-80 – тип 5.

На рис. 3 показаны типичные кривые при испытании полимерных образцов на растяжение.

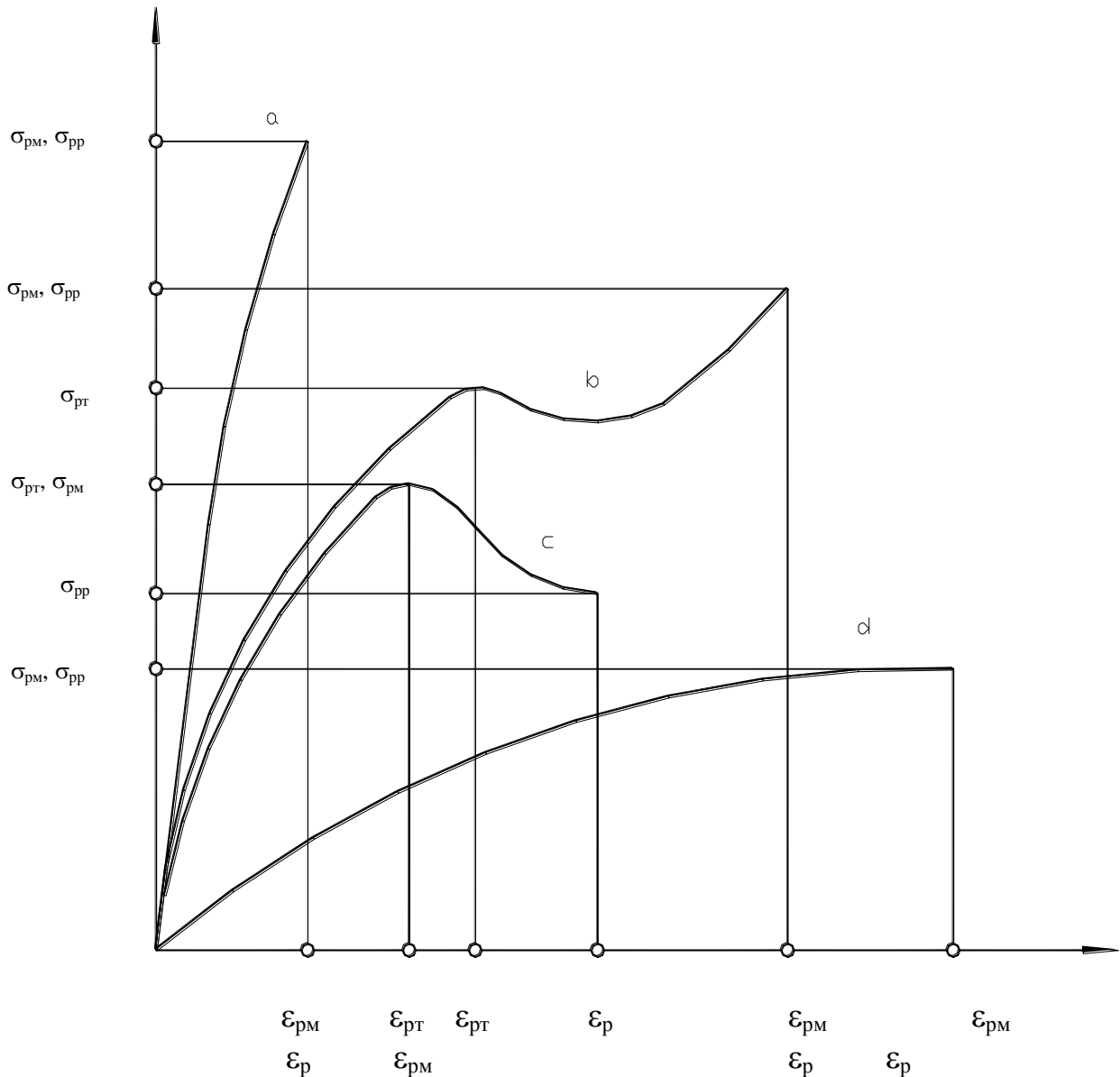


Рис. 3 Типичные кривые «напряжение – деформация» для полимерных материалов.

Кривая а – хрупкие материалы. Кривая в и с – вязкие материалы с пределом

текучести. Кривая d - вязкие материалы без предела текучести.

6. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

1. Измеряют толщину и ширину образца в трех местах и определяют среднее арифметическое значение площади начального поперечного сечения A_0 , мм².
2. Устанавливают диаграммную бумагу на диаграммный барабан. Образцы в зажимах разрывной машины Р-0,5 закрепляют так, чтобы расстояние между

зажимами было равно 52 мм. Включением двигателя осуществляют нагружение образца до разрушения.

3. На полученной диаграмме « $F-\Delta l$ » отмечают характерные точки в соответствии с рис.3.

4. Прочностные характеристики (σ) в МПа вычисляют по формулам:

Прочность при растяжении (σ_{pm})

$$\sigma_{pm} = \frac{F_{pm}}{A_0},$$

Прочность при разрыве (σ_{pp})

$$\sigma_{pp} = \frac{F_{pp}}{A_0},$$

Предел текучести при растяжении (σ_{pm})

$$\sigma_{pm} = \frac{F_{pm}}{A_0},$$

Условный предел текучести (σ_{pmu})

$$\sigma_{pmu} = \frac{F_{pmu}}{A_0},$$

где F_{pm} – максимальная нагрузка при испытании на растяжении, Н;

F_{pp} – нагрузка, при которой образец разрушился, Н;

F_{pm} – растягивающая нагрузка при достижении предела текучести, Н;

F_{pmu} – растягивающая нагрузка при достижении условного предела текучести, Н;

A_0 – начальное поперечное сечение образца, мм².

Деформационные характеристики (ε) в процентах вычисляют по формулам :

Относительное удлинение при максимальной нагрузке

$$\varepsilon_{pm} = \frac{\Delta l_{pm}}{l_0} 100,$$

Относительное удлинение при разрыве

$$\varepsilon_p = \frac{\Delta l_p}{l_0} 100,$$

Относительное удлинение при пределе текучести

$$\varepsilon_{pm} = \frac{\Delta l_{pm}}{l_0} 100,$$

где Δl_{pm} – изменение расчетной длины образца, в момент достижения

максимальной нагрузки, мм;

Δl_p - изменение расчетной длины образца, в момент разрыва, мм;

Δl_{pm} - изменение расчетной длины образца, в момент достижения предела текучести, мм;

l_0 – начальная расчетная длина, мм.

4. Результаты испытаний записывают в протокол (приложение 2).

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие существуют виды деформации?
2. Какие испытания называют статическими?
3. Как определяется нормальное напряжение при растяжении?
4. Сформулируйте закон Гука для растяжения.
5. При какой нагрузке на образце возникает шейка?
6. Чем определяется выбор коэффициента запаса прочности?
7. Что называется допусковым напряжением?
8. Объяснить принцип действия разрывной машины.
9. Какие материалы называются хрупкими и какие пластичными?

8. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Титульный лист.
2. Цель лабораторной работы.
3. Основные определения и формулы.
4. Диаграмма растяжения образцов из полимерных материалов.
5. Протокол механических испытаний.

9. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов.-М.:Наука, 1979,-560 с.
2. Степин П.С. Сопротивление материалов.-М:Высшая школа, 1979,-312 с.
3. Славников В.С. Общие требования и правила оформления отчета о лабораторной работе: Методическое указание.-Томск: Ротапринт ТИАСУРа, 19, -14с.
4. ГОСТ 10446-80. Проволка. Методы испытания на растяжение.
5. ГОСТ 11262-80. Пластмассы. Методы испытания на растяжение.

ПРОТОКОЛ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ НА РАЗРЫВНОЙ МАШИНЕ

ПО ГОСТ 11262-80

Материал образца		
l_0 , мм		
A_0 , мм ²		
F_{PM} , Н		
F_{PP} , Н		
F_{PT} , Н		
$\sigma_{ПЦ}$, МПа		
σ_{PT} , МПа		
σ_{PM} , МПа		
σ_{PP} , МПа		
Δl_{PM} , мм		
Δl_P , мм		
$\Delta l_{ПЦ}$, мм		
ϵ_{PM}		
ϵ_P		
$\epsilon_{ПЦ}$		

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ДИСПРЕСНО-НАПОЛНЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

ВВЕДЕНИЕ

Создание современных высоконадежных машин, приборов и аппаратов возможно лишь при использовании оптимальных для данных условий конструкционных материалов. Полимерные композиционные материалы являются одним из наиболее важных и широко используемых классов современных конструкционных материалов.

Наука о полимерных композитах основана на знаниях, полученных в различных областях фундаментальных наук: химии, физики, механики полимеров, физики твердого тела, теоретической и прикладной механики и др. В настоящее время разработаны методы и модели, позволяющие рассчитывать свойства полимерных композитов и изделий из них, конструировать и проектировать материалы и изделия с заданными свойствами.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Ознакомиться с классификацией, терминологией, определениями, составом и назначением композиционных материалов.

1.2. Ознакомиться с методикой расчёта модуля упругости диспресно-наполненных полимерных композиционных материалов

1.3. Провести расчёт модуля упругости диспресно-наполненных эпоксиполимерных композиционных материалов .

2. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Термин «композиционные материалы», или «композиты», появился, когда потребовалось название нового класса материалов, состоящих из армирующего компонента и связующего.

Композиционные материалы — это материалы, состоящие из двух или более компонентов (отдельных волокон или других армирующих составляющих и связующей их матрицы) и обладающие новыми свойствами, отличными от суммарных свойств их составляющих компонентов. Компоненты композитов не должны растворяться или иным способом поглощать друг друга.

Композиционные материалы классифицируются обычно по виду армирующего наполнителя: волокнистые (армирующим компонентом служат волокнистые структуры); слоистые; наполненные пластики (армирующим компонентом являются различные частицы).

Применение наполнителей дает возможность на одной и той же полимерной основе (матрице) получить ряд материалов с различными свойствами. При этом наполнитель может оказывать влияние на свойства, характерные для полимерной матрицы (деформационно-прочностные показатели, плотность), расширять интервал температур, улучшать электроизоляционные свойства и т. д.

Армирующие компоненты могут представлять собой различные волокна, порошки, микросферы, кристаллы и «усы» из органических, неорганических, металлических материалов или керамики. Армирующие компоненты входят в состав композитов для изменения свойств термо- или реактопластов.

Наиболее распространенные связующие, используемые в композитах: полиэфирные, фенольные, эпоксидные компаунды, силиконы, алкиды, меламины, полиамиды, фторуглеродные соединения, поликарбонат, акрилы, ацетали, полипропилен, акрилонитрилбутадиенстирольный сополимер (АБС), полиэтилен и полистирол. Связующие могут быть разделены на термопласты (способные размягчаться и затвердевать при изменении температуры) и реактопласты, или терморезистивные смолы (связующие, в которых при нагревании происходят необратимые структурные и химические превращения). В настоящее время наибольшее распространение получили терморезистивные связующие.

При разработке и изготовлении новых композиционных материалов, а также при создании конструкций из них приходится учитывать влияние внешних условий (температура, высокая влажность) на эти материалы.

Целью создания композиционного материала является объединение схожих или различных компонентов для получения материала с новыми заданными свойствами и характеристиками, отличными от свойств и характеристик исходных компонентов. С появлением такого рода материалов возникла возможность селективного выбора свойств композитов, необходимых для нужд каждой конкретной области применения.

Композиционные материалы, оказавшиеся и экономичными, и удобными в проектировании, сегодня используются везде — от производства игрушек и теннисных ракеток до применения в космических аппаратах (теплоизоляция, микросхемы и др.).

Композиционные материалы наиболее часто используются в двух видах: листовым материалом (типичный пример такого материала — это бумага, пропитанная меламинофенольным связующим, или стекловолоконные маты, пропитанные полиэфирным связующим) и прессованные пластики (чаще всего используются пропитанные фенольным или другим связующим минеральные, хлопковые и другие волокна). Большинство свойств полученных композиционных материалов оказывается более высокими, нежели свойства исходных компонентов.

3. ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРОВ.

Свойства полимерных материалов можно регулировать, изменяя их состав. Наибольшее влияние на механические свойства оказывают пластификаторы, наполнители, армирующие материалы. Введение пластификаторов способствует снижению температуры стеклования полимера (что расширяет температурную область эксплуатации полимерных материалов), но снижает модуль упругости и прочность.

Среди наполнителей особую группу образуют армирующие материалы. К ним относятся стеклянные, асбестовые, борные, углеродные волокна, монокристаллы оксида алюминия, карбида кремния и др. Отличительной особенностью полимерных композиций, содержащих волокна, является анизотропия свойств. Анизотропные материалы, отличаются неодинаковыми (механическими, оптическими, магнитными и др.) свойствами по различным направлениям. У изотропных материалов свойства не зависят от направления.

Новый класс анизотропных материалов — композиционные материалы, в которых сочетаются свойства различных материалов: наполнителя (сверхпрочные волокна металлов и их окислов, нитевидные кристаллы и др.) и связующего (полимеры и металлы). Поэтому для характеристики деформационных и прочностных свойств используют несколько показателей. Если волокна ориентированы преимущественно в одном направлении, то определяют продольный модуль Юнга E_L (растягивающее напряжение s направлено вдоль оси ориентации волокон), трансверсальный модуль Юнга E_T (s направлено перпендикулярно оси ориентации волокон); при сдвиге определяют также G_L и G_T .

Для однонаправленных волокнистых композиций характерно значительное повышение модуля в направлении действия силы (» в 10 раз), но в других направлениях модули могут быть низкими. Для повышения жесткости композиции в нескольких направлениях волокна либо распределяют хаотически, либо укладывают под разными углами (слоистые структуры). Существует критическая длина волокна $L_{кр}$, ниже которой упрочняющий эффект не проявляется. Для достижения максимальной прочности отношение L/D должно быть не менее 100.

Твердые наполнители могут быть минеральными, органическими, керамическими и металлическими. По форме это могут быть мелкодисперсные порошки и волокнистые материалы. Полимерные композиты, наполненные длинными волокнами или волокнистыми текстильными материалами, называются армированными пластиками.

Наибольшее распространение получили мелкодисперсные наполнители минерального происхождения: тальк, мел, каолин, слюда, асбест, белая сажа, аэросил, оксиды металлов. Широко используется для создания композитов, особенно эластомерных, технический углерод (сажа). В ряде случаев для наполнения полимеров применяют органические наполнители: лигнин, древесную муку и др. Для получения материалов со специальными свойствами,

в частности, с повышенными тепло- и электропроводностью, полимеры наполняют металлическими порошками.

К наполнителям предъявляют ряд общих, а также специальных требований, соответствие которым позволяет придавать полимерным композитам необходимые свойства. К общим требованиям относятся высокая смачиваемость полимерным материалом, низкая стоимость, химическая и термическая стойкость, хорошая диспергируемость в полимере, нетоксичность. Специальные требования определяются решаемыми с помощью наполнителя задачами: повышения теплостойкости, электропроводности, создания негорючих материалов, улучшения технологичности, снижения плотности материала и другими.

Свойства дисперсных наполнителей

Наполнитель	Плотность	Твердость по шкале Мооса
Каолин	2,6	1
Тальк	2,8	1
Слюда	2,8	2,5...3,5
Мел	2,6...2,9	3
Белая сажа	2,2	-
Асбест	2,7	-
Гипс	2,3	2
Технический углерод (сажа)	1,8	3

Мооса шкала, десятибалльная шкала относительной твёрдости минералов. Предложена немецким учёным Ф. Моосом в 1811 г. Состоит из 10 эталонов твёрдости: тальк, графит — 1; гипс — 2; кальцит — 3; флюорит — 4; апатит — 5; ортоклаз — 6; кварц — 7; топаз — 8; корунд — 9; алмаз — 10. Относительная твёрдость определяется путём царапания эталоном поверхности испытываемого объекта. При этом, если эталон, имеющий твёрдость 5, царапает исследуемый образец, а последний оставляет след на поверхности эталона с твёрдостью 4, то твёрдость минерала приблизительно равна 4,5.

Порошкообразные наполнители имеют размер частиц от нескольких нанометров до десятков и сотен микронов. Размер и форма частиц, их фракционный состав влияют на технологию производства и свойства композитов и изделий из них.

Дисперсные наполнители повышают вязкость и температуру переработки полимеров, снижают технологическую усадку, повышают размерную стабильность готовых изделий, увеличивают модуль упругости материала. Введением в композиты наполнителей можно повысить теплостойкость, снизить горючесть, изменить твердость и прочность, повлиять на другие свойства материала.

На рис. 2 показано изменение модуля упругости при изгибе полипропилена от содержания в нем наполнителя. Из приведенных данных следует, что различные наполнители по-разному влияют на жесткость

исходного полимера. При увеличении их содержания модуль упругости возрастает, что является следствием уменьшения гибкости макромолекул из-за возникающих связей между частицами наполнителя и макромолекулами полимера.

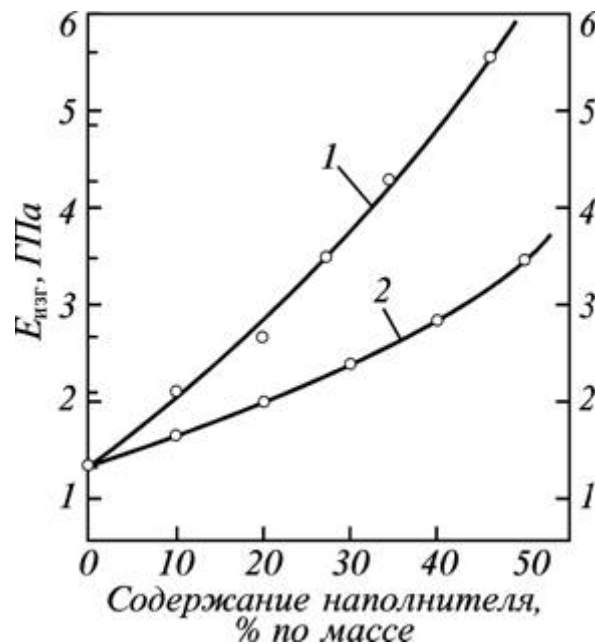


Рис. 2. Влияние содержания талька (1) и мела (2) на модуль упругости при изгибе ($E_{изг}$) полипропилена

Наполнители не только влияют на технологические, физико-механические, теплофизические и другие свойства материалов, но и, как правило, уменьшают их стоимость, поскольку они в большинстве случаев дешевле полимеров.

4. МОДУЛЬ УПРУГОСТИ МАТЕРИАЛОВ, КОЭФФИЦИЕНТ ПУАССОНА

При растяжении стержня в его поперечном сечении возникает нормальное напряжение σ , равное отношению растягивающего усилия F к площади поперечного сечения A стержня

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Абсолютным удлинением стержня Δl называется разность между длиной бруса l_k после приложения нагрузки и первоначальной длиной l_0

$$\Delta l = l_k - l_0$$

Относительным удлинением или деформацией ε называется отношение абсолютного удлинения к первоначальной длине

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Между напряжением σ и деформацией ε существует зависимость, носящая название закона Гука

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Коэффициент пропорциональности E называется модулем Юнга или модулем продольной упругости первого рода и является физической постоянной для данного материала при данных условиях.

Физический смысл коэффициента E определяется как напряжение, необходимое для увеличения длины образца в два раза. Величина упругой деформации у большинства твердых тел редко достигает даже 1 %.

Коэффициент Пуассона характеризует упругие свойства материала. При приложении к телу растягивающего усилия оно начинает удлиняться, а поперечное сечение уменьшается. Коэффициент Пуассона показывает, во сколько раз изменяется поперечное сечение деформируемого тела при его растяжении или сжатии. Для абсолютно хрупкого материала коэффициент Пуассона равен 0, для абсолютно упругого — 0,5. Для большинства сталей этот коэффициент лежит в районе 0,3, для резины он примерно равен 0,5.

$$\mu = \left| -\varepsilon_{non} / \varepsilon_{np} \right|$$

где

μ — коэффициент Пуассона.

ε_{np} — деформация в поперечном направлении (отрицательный для осевого растяжения, положительный для осевого сжатия)

ε_{non} — продольная деформация (положительный для осевого растяжения, отрицательный для осевого сжатия).

5. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ДИСПЕРСНО-НАПОЛНЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Одним из основных показателей свойств дисперсно-наполненных полимерных композитов (КМ) является модуль упругости (E_c). Применение дисперсных наполнителей из высокомодульных материалов, хорошо смачиваемых матричными связующими, приводит к эффективному повышению модуля деформации КМ. При прогнозировании деформативности вновь разрабатываемого композита используется зависимость E_c от объемного содержания наполнителя (Φ), которая анализировалась многими авторами и определялась в различных функциональных формах, характерных для рассматриваемых моделей и конкретных условий приближения к реальной структуре.

Для КМ с малым содержанием наполнителя ($\Phi = 0,1 \dots 0,3$) все указанные уравнения прогнозируют величину E_c , с практически одинаковой точностью.

Поэтому в приведенном интервале наполнения чаще всего используются наиболее простые из них, такие, как уравнение Эйнштейна либо Гута-Смолвуда, где E_c рассчитывается по двум исходным параметрам: модулю деформации матрицы (E_m) и объемному содержанию дисперсного наполнителя. Уравнение Эйнштейна имеет вид:

$$E_c = E_m(1 + 2,5\Phi) \quad (1)$$

Более усложненная форма такого соотношения, учитывающая нелинейность зависимости $E_c = f(u)$, выражается уравнением Гута-Смолвуда:

$$E_c = E_m(1 + 2,5\Phi + 14,1\Phi^2) \quad (2)$$

В области высокого наполнения ($\Phi > 0,3$) решения уравнений существенно отличаются как между собой, так и от опытных данных. Наиболее близкие к экспериментальным значениям E_c дают усложненные уравнения, в которые введены эмпирические поправки и коэффициенты, учитывающие модуль деформации матрицы и наполнителя, упаковку и форму частиц наполнителя, состояние адгезионного взаимодействия наполнителя и матрицы, наличие пор. Указанные уравнения имеют следующий вид:

- уравнение верхнего предела модуля деформации (случай равных деформаций)

$$E_c = E_m(1 - \Phi) + \Phi E_f, \quad (3)$$

где E_m - модуль деформации матричного материала,

E_f - модуль деформации материала наполнителя;

- уравнение нижнего предела модуля деформации (случай равных напряжений)

$$E_c = \frac{E_m \cdot E_f}{E_m \cdot \Phi + E_f(1 - \Phi)} \quad (4)$$

уравнение Эйлера -Ван-Дийка

$$E_c = E_m \left(1 + \frac{1,25\Phi}{1 - \frac{\Phi}{0,74}} \right) \quad (5)$$

уравнение Кернера

$$E_c = E_m \frac{E_f \cdot A_k + B_k}{E_m \cdot A_k + B_k} \quad (6)$$

Где $A_k = \Phi / [(7-5\mu)E_m + (8-10\mu)E_f]$

$$B_k = (1-\mu) / [15(1-\mu)]$$

μ - коэффициент Пуассона

для полимеров $\mu = 0,35 \dots 0,5$;

для термопластов на основе ПП $\mu = 0,37$

для эпоксиполимерной матрицы $\mu = 0,35$

- уравнение Муни

$$E_c = E_m \cdot \exp \frac{2,5\mu}{1 - \frac{\mu}{0,74}} \quad (7)$$

уравнение Исаи

$$E_c = E_m \left(\frac{\frac{\Phi}{\frac{n}{n-1} - \Phi^{1/3}} + 1}{\frac{n}{n-1} - \Phi^{1/3}} \right) \quad (8)$$

где $n = E_f / E_m$

Однако не всегда представляется возможным простыми методами установить значения эмпирических величин, что ограничивает применение таких уравнений на практике.

В настоящее время разработан метод расчета эффективных характеристик материала (модуля упругости, коэффициента Пуассона, прочностных характеристик) с учетом свойств фаз на основе физико-математической модели структурно-неоднородной среды с применением численного моделирования.

Относительная ошибка (погрешность) - отношение абсолютной погрешности к тому значению, которое принимается за истинное:

$$\delta = \Delta X / X$$

Относительная ошибка (погрешность) является безразмерной величиной, либо измеряется в процентах.

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 5.1. Изучить термины, определения, влияние различных факторов на деформационно-прочностные свойства композиционных материалов.
- 5.2. Получить вариант задания (приложение).
- 5.3. Перевести концентрацию наполнителя в композиции в массовых частях в объемную концентрацию.
- 5.4. Выполнить расчёт модуля наполненных полимерных композитов по уравнениям (1-8) и расчёт относительной ошибки, за истинное значение принять экспериментальное среднее значение модуля.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

Оформить отчёт на листах формата А4 в соответствии с требованиями СТП ТАСУР 6-85.

Отчёт должен содержать титульный лист, исходные данные, расчетные модели (зависимости), результаты расчёта модуля наполненных полимерных композитов по уравнениям (1-8) и расчёта относительной ошибки.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

10. Что представляют собой композиционные материалы.
11. Как классифицируются композиционные материалы.
12. Виды наполнителей (армирующих компонентов).
13. Виды связующих.
14. Какие материалы называют изотропными, анизотропными.
15. Сформулируйте закон Гука для растяжения.
16. Как дисперсные наполнители влияют на свойства композиционных материалов.
17. Требования, предъявляемые к наполнителям.
18. Что такое модуль упругости материала.
19. Что такое коэффициент Пуассона.
20. Перечислите модели, используемые для прогнозирования модуля упругости наполненных композиционных материалов.
21. Какие параметры материала используются в этих моделях.

9. ЛИТЕРАТУРА

1. Компьютерное конструирование наполненных полимерных композиций: монография / Б.А. Люкшин, С.В. Панин, С.А. Бочкарева, П.А. Люкшин, Н.Ю.

- Матолыгина, Ю.В. Осипов; под общ. ред. Б.А. Люкшина.- Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2007.- 216 с.
2. Реутов А.И. Прогнозирование надежности строительных изделий из полимерных материалов. – М.: ООО РИФ «Стройматериалы», 2007. – 184 с.
3. Бобрышев А.Н., Козицын В.С., Андреев Р.И. Оценка модуля деформации дисперсно-наполненных полимерных композитов / Структура и свойства// Пластические массы// 2003, № 3, с. 20-23.
4. Перепелкин К.Е. Полимерные волокнистые композиты, их основные виды, принципы получения и свойства // Химические волокна, 2005, № 4, с. 7 - 22.; № 5 - С. 55-69;
5. Справочник по композиционным материалам: В 2-х кн. Кн. 1. Под ред. Дж. Любина. Пер с англ. Под. Ред. Б. Э. Геллера. М.: Машиностроение, 1988. - 448 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Композиция	Плотность ρ , кг/м ³	Модуль упругости (эксперимент) E_k , МПа	
1.ЭД20+ ГМДА (матрица)	1200	4000/720	
ЭД20+ ГМДА +200 м.ч.ПКП		8700/1650	
2. ЭД16+Диамет Х (матрица)	1200	5300/1230	
ЭД16+Диамет Х +250 м.ч.ПКП		11800/3400	
3. ПП 21060-16	900	1150/93	
СНПП 21060-16-30		1500 / 114	

ПКП – пылевидный кварцевый песок
 Насыпная плотность ПКП - 2650 кг/м³
 Модуль упругости для ПКП, стекла $E=72000$ Н/мм²

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСАДОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

1. ВВЕДЕНИЕ

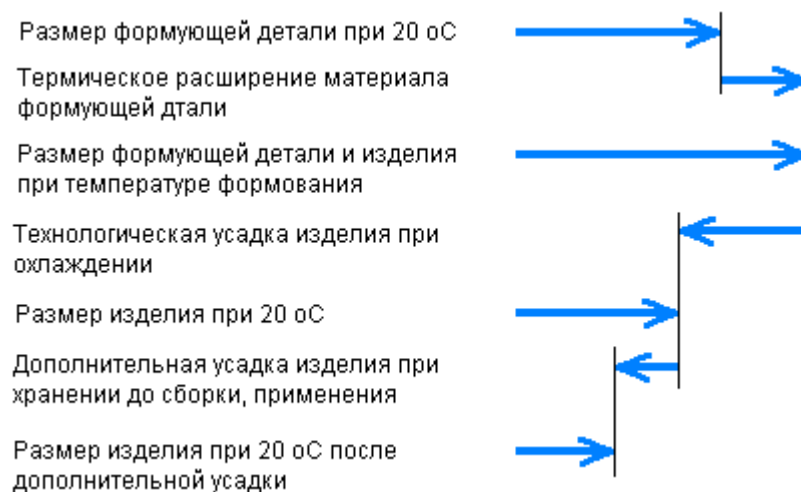
Определение усадочных характеристик имеет важное значение при конструировании и изготовлении пластмассовых изделий, когда решается вопрос об их точности, для чего важно установить кроме абсолютной величины, еще и колебание значений усадки; при конструировании формующего инструмента, когда усадка материала компенсируется определенным увеличением размера формующих элементов относительно соответствующих размеров изделия; при выборе пластмассы в качестве конструкционного материала, когда определяются определенные требования к точности и прочности изделий, для чего производится сравнительная оценка величины и колебания усадки;

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ УСАДКЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

По уровню усадки пластмассы могут быть разделены на аморфные и полукристаллические структуры.

Аморфные пластмассы отличаются более низкой объемной усадкой по сравнению с полукристаллическими материалами. Линейная усадка аморфных материалов редко превышает 1 %, в то время как в полукристаллических пластмассах она, как правило, достигает уровня около 2-3% в зависимости от материалов, переменных процесса и толщины стенок.

Схема образования размера пластмассового изделия с учетом усадки



В полукристаллических материалах сегменты молекулы полимера складываются на себя, образуя листы и формируя тем самым сложную сферическую структуру, носящую название кристаллита. Упорядоченная структура, приобретаемая полимером, снижает беспорядочные объемные

свойства, характерные для аморфной фазы, снижая тем самым удельный объем и повышая плотность.

Чем выше степень кристалличности структуры, достигаемой в ходе процесса под воздействием температуры формования и в зависимости от времени охлаждения, тем выше плотность материала и степень усадки.

Технологическая усадка

Технологическая усадка - это абсолютное или относительное уменьшение размеров изделия по сравнению с соответствующими размерами оформляющей полости формы, происходящее ко времени охлаждения извлеченного из формы изделия до температуры окружающей среды. В технической литературе, на производстве часто опускают определение "технологическая", но именно эту усадку имеют в виду.

Кинетика технологической (т.е. связанной с переработкой) усадки описывается экспоненциальной зависимостью:

$$\Delta L_i = \Delta L_{0i} (1 + e^{-\gamma \tau}); L_i = L_{0i} - \Delta L_i,$$

где ΔL_i - отклонение размера; ΔL_{0i} - коэффициент пропорциональности; L_i - измененный номинальный размер изделия; L_{0i} - первоначальное номинальное значение размера; τ - продолжительность процесса; γ - коэффициент, характеризующий физические свойства материала.

Если сравнивают размеры горячей формы и полностью остывшего изделия, то получают действительную линейную технологическую усадку S_d , а если сравнивают размеры формы и изделий при 20 ± 2 °С, то получают удобную для практики расчетную линейную технологическую усадку S . Учет технологической усадки необходим при конструировании формирующего инструмента (для расчета исполнительных размеров форм) и изделий (для оценки достижимой точности изготовления по колебанию усадки); определение технологической усадки проводят для сравнительной оценки технологических свойств разных типов, марок и партий полимерных материалов при контрольных, приемочных и арбитражных испытаниях.

Технологическая усадка по существу связана со структурными превращениями, происходящими с пластмассой при формовании изделий. В свою очередь, структурные превращения зависят от процессов в замкнутой полости формы, приводящих к изменению объема материала.

Усадка стандартных образцов

В справочниках приводятся значения усадки S , установленные на стандартных образцах в соответствии с ГОСТ 18616-88 "Пластмассы. Метод определения усадки". Стандартные образцы, как метрологическая мера, позволяют получить сравнительные данные, традиционно считающиеся усадкой материала.

Колебание усадки

Для выбора технологических допусков размеров изделий из пластмасс принят один универсальный критерий - колебание усадки ΔS , поскольку именно погрешность от колебания усадки в той или иной степени влияет на точность любого типа размера изделия). Колебание усадки ΔS принимают как разброс значений S , т.е. $\Delta S = S_{\max} - S_{\min}$.

Усадка и колебание усадки термопластов при литье под давлением по ГОСТ 18616-88

Колебания усадки ΔS , %	Марка материала	Предельные значения $S_{\min} - S_{\max}$, %
Св. 0.1 до 0.16	Антегмит АТМ-2	1.1 - 1.2
Св. 0.16 до 0.25	Сополимеры стирола МС, МСК	0.4 - 0.6
	САН-С	0.2 - 0.4
	Полиамид 610-11-106 (с тальком)	0.8 - 1.0
	Поликарбонат ПК-1	0.6 - 0.8
	Поликарбонаты ПК-2, ПК-5, ПК-6	0.5 - 0.7
	Поликарбонат ПК-3	0.4 - 0.6
Св. 0.40 до 0.60	ПС блочный, ПС суспензионный, ПСМ-О, ПСМ-С	0.4 - 0.8
	АБС-пластики	0.3 - 0.7
	Полиамиды стеклонаполненные	0.2 - 0.6
	Поликарбонат стеклонаполненный	0.2 - 0.6
	Сополимер формальдегида СФД-31-4	1.8 - 2.2
Св. 0.60 до 1.00	Полистирол ударопрочный	0.4 - 1.2
	Этрол ацетилцеллюлозный	0.2 - 0.9
Св. 1.00	Полиэтилен низкой плотности	1.0 - 2.0
	Полиэтилен высокой плотности	1.0 - 2.5
	Полипропилен	1.0 - 2.5
	Полиамид-6	1.0 - 2.0
	Полиамид-610	0.8 - 2.0

Усадка и колебание усадки некоторых распространенных пресс-материалов

Колебания усадки ΔS , %	Марка материала	Предельные значения $S_{\min} - S_{\max}$, %
Св. 0.1 до 0.16	Стеклонаполненный фенопласт АГ-4В, АГ-4С	0.15 - 0.25
	Аминопласт МФД-1	0.7 - 0.8
Св. 0.16 до 0.25	Фенопласт У5-301-41	0.1 - 0.3
	Фенопласт Э6-014-30	0.2 - 0.4
	Фенопласты 08-010-72, 028-210-02	0.5 - 0.7
	Стеклонаполненный фенопласт ДСВ-2Р-2М	0.1 - 0.3
Св. 0.25 до 0.40	Фенопласты У1-301-07, Ж2-010-60	0.2 - 0.5
	Фенопласты Э3-340-65, Э3-340-61, Э4-100-30, Э11-342-63	0.4 - 0.7
Св. 0.40 до 0.60	Фенопласт У2-301-07	0.2 - 0.6
	Фенопласты Вх3-090-14, Вх5-010-73, У4-080-02	0.3 - 0.7
	Аминопласты КФА-16 КФА-2	0.5 - 0.8
	Аминопласты МФВ-1, МФВ-2	0.6 - 1.0
	Фенопласты 02-010-02, 03-010-02, 04-010-12, СП 1-342-02, СП 2-342-02, СП 3-342-02, Э1-340-02, Э2-300-02, Э8-361-63, Э9-342-73, Вх1-090-34, Вх6-342-70, Ж-7-010-83	0.4 - 0.8
Св. 0.60 до 1.00	Фенопласты Ж1-010-40, Ж3-010-62, Ж6-010-60	0.2 - 0.7
	Фенопласт Вх4-080-34	0.3 - 0.9

Усадка реальных изделий

На изделиях наблюдают усадочную деформацию, которая проявляется в каждом случае специфически, зависит от остаточных напряжений, действующих в изделии, и как правило, отличается от усадки материала. На изделиях можно выделить участки свободно или затрудненно усаживающиеся. Усадочная деформация (или усадка) изделия, а также колебания его усадки требуются для решения конкретных инженерных задач по повышению прочности и точности изделий.

Эксплуатационная усадка

Эксплуатационная усадка - это абсолютное или относительное уменьшение размеров по сравнению с первоначальными, происходящее в результате воздействия соответствующих внешних факторов (температуры, среды и т.д.) в течение определенного времени работы изделия (частный случай - длительное хранение изделия). Кинетика эксплуатационной усадки (в общем случае - закономерности размерных изменений изделий) описывается в зависимости от действующих доминирующих процессов по линейному ($\Delta L_i = \Delta L_{0i} \tau$ для теплового расширения, размерного износа), параболическому ($\Delta L_i = \Delta L_{0i} \tau^2$ - для водопоглощения), экспоненциальному (для различных процессов, связанных со старением) законам.

Учет эксплуатационной усадки необходим для сравнительной оценки работоспособности изделий (при определении величины компенсации зазора или натяга соответственно в подвижном или неподвижном соединении деталей), для предпочтительного выбора пластмассы в качестве конструкционного материала (при заданных требованиях к точности и прочности деталей).

Усадочные изменения, происходящие при длительном хранении, устанавливают по так называемой **дополнительной усадке** (абсолютное или относительное изменение размеров перед и после термообработки при заданных температуре и времени).

3. ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЯ

Испытания проводят не менее чем на трех образцах, полученных последовательным формованием в одном и том же гнезде пресс-формы. При определении усадки устанавливают размеры матрицы пресс-формы и образца в направлении, перпендикулярном направлению формования для терморезактивных формовочных масс, и в перпендикулярном и параллельном направлению формования для термопластов. При определении дополнительной усадки устанавливают размеры образца до и после термообработки в направлении, перпендикулярном и параллельном направлению формования, что и должно быть указано в нормативной или технической документации на конкретный материал.

Измерения проводят любым измерительным инструментом с погрешностью не более 0,01 мм при температуре (296 ± 2) К $[(23 \pm 2)]$ °С.

Числовое значение измерений пресс-формы считают размером (L_0) и используют в качестве постоянной величины при подсчете усадки.

Размеры пресс-формы проверяют периодически, но не реже одного раза в три месяца.

Размеры образцов после их прессования измеряют через 16-72 ч, включая время кондиционирования. Кондиционирование проводят по [ГОСТ 12423-66](#).

4. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

3.1. Усадку (MS) в процентах вычисляют по формуле

$$MS = \frac{L_0 - L_1}{L_0} \cdot 100 ,$$

где L_0 - размер пресс-формы, мм;

L_1 - размер образца, мм.

3.2. Дополнительную усадку (PS) в процентах вычисляют по формуле

$$PS = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \cdot 100 ,$$

где L_1 - размер образца перед термообработкой, мм;

L_2 - размер образца после термообработки, мм.

3.3. Анизотропию усадки (α) или дополнительной усадки (α') вычисляют по формулам:

$$\alpha = \frac{MS_b}{MS_l} ; \quad \alpha' = \frac{PS_b}{PS_l} ,$$

где MS_l , PS_l - величина усадки или дополнительной усадки вдоль направления литья, %;

MS_b , PS_b - величина усадки или дополнительной усадки перпендикулярно направлению литья, %.

3.4. За результат испытания принимают среднее арифметическое всех определений, и если предусматривается нормативной или технической документацией на конкретный материал, характеристику разброса данных, оцениваемую по величине среднего квадратического отклонения, которую определяют по [ГОСТ 14359-69](#).

5. МИКРОМЕТРИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТ

Микрометр (рис.) служит для точного определения небольших наружных размеров и прежде всего для измерения толщины заготовок. Цена деления его шкалы, расположенной по окружности барабана, составляет 0,01 мм.

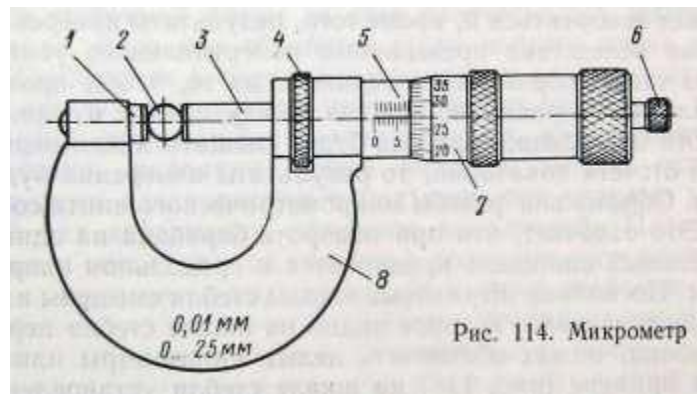


Рис. Микрометр

В микрометре между неподвижным упором / (пяткой) и подвижным шпинделем 3 (микрометрическим винтом) с небольшим осевым усилием зажимается измеряемый предмет 2. Скоба 8 связывает упор с полым стеблем 5, в резьбовой втулке которого вращается микрометрический винт. На поверхности стебля 5 нанесены две штриховые шкалы с ценой деления 1 мм, смещенные одна относительно другой на 0,5 мм. Вокруг стебля вращается барабан 7 (гильза) с круговой шкалой, расположенной на его скосе. Этот барабан закреплен жестко на микрометрическом винте и вращается вместе с ним. Микрометрический винт может быть застопорен в любом положении, например при фиксации замера, посредством кольцевой гайки 4. В целях обеспечения постоянства измерительного давления микрометрический винт снабжен проскальзывающим храповым механизмом (трещоткой). При измерении, вращая барабан, устанавливают шпindel на близкий к измеряемому размер. 1 Объект измерения удерживается между пяткой и микрометрическим винтом. Теперь шпindel осторожно доводят до соприкосновения с измеряемой поверхностью вращением винта трещотки 6 до проскальзывания храповой муфты. Поджим шпинделя при контакте с измеряемой деталью нельзя производить вращением гильзы барабана от руки, так как микрометрический винт может испортиться и, кроме того, результаты измерения будут неточными вследствие превышения измерительного усилия. Необходимо также обращать внимание и на то, чтобы проверяемая деталь плотно и правильно лежала между пяткой и торцом измерительного шпинделя; если она будет смещаться или перекасится во время отсчета показаний, то результаты измерения будут ошибочными. Обычно шаг резьбы микрометрического винта составляет 0,5 мм. Это означает, что при повороте барабана на один оборот измерительный шпindel продвинется в продольном направлении на 0,5 мм. Поскольку штриховые шкалы стебля смещены на 0,5 мм, то последнее деление, которое видно на шкале стебля перед обрезом барабана, может обозначать целые миллиметры или 0,5 мм.

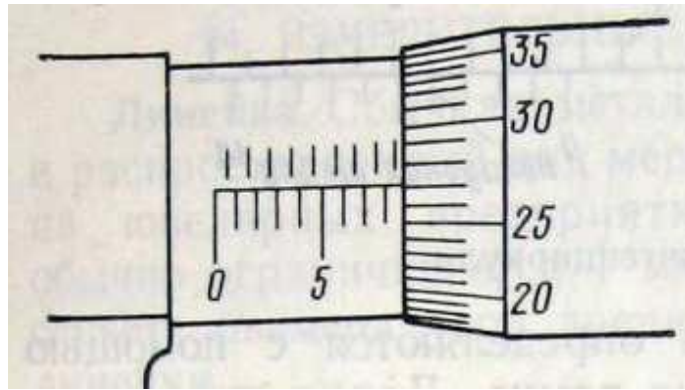


Рис. Делительный барабан и делительная втулка микрометра

В нашем примере (рис.) на шкале стебля установлен размер 8,5 мм. Круговая шкала барабана поделена на 50 частей, которые соответствуют 0,01 мм. Если барабан повернется дальше на одно деление, то шпindel продвинется продольно на 0,01 мм. В приведенном примере нониус барабана стоит на делении $27/100 = 0,27$ мм, совпадающим с горизонтальным указательным штрихом шкалы стебля. Общий размер измеряемого изделия, таким образом, будет равен: $8,5 \text{ мм} + 0,27 \text{ мм} = 8,77 \text{ мм}$.

6. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Усадку (MS) в процентах вычисляют по формуле

$$MS = \frac{L_0 - L_1}{L_0} \cdot 100,$$

где L_0 – размер пресс-формы, мм; $L_0 = 124 \text{ мм}$

L_1 – размер образца, мм, определенный с помощью микрометра.

Определяем усадку для всех образцов. Результат измерения является случайной величиной, которая задается множеством возможных значений.

Находим среднее значение усадки.

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad \text{или} \quad \bar{X} = \frac{\sum x_i}{n},$$

где $x_i = MS_i$ – текущее значение усадки:

n – объем выборки.

Находим среднее квадратическое отклонение усадки.

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{n}} \quad \text{при } n > 30$$

или

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad \text{при } n \leq 30.$$

Квалитеты точности, допуски на размеры деталей назначаются по величине колебания усадки ΔS , определяемой на стандартных образцах по ГОСТ 18616-80.

$$\Delta S = 6\sigma_{ms}$$

где σ_{ms} – среднее квадратическое отклонение усадки.

Квалитеты точности для размеров деталей из полимерных композитных материалов

Квалитет точности при значениях колебаний усадки ΔS , %							
до 0,06	0,06-0,10	0,10-0,16	0,16-0,25	0,25-0,40	0,40-0,60	0,60-1,00	Св. 1,00
9	10	11	12	13	14	15	16

При обработке данных чаще всего используют статистические методы, в основе которых лежат представления и методы теории вероятностей. Задачи математической статистики состоят в том, чтобы на основе полученных экспериментальных данных, которые в целом изменяются непредсказуемым образом получить надежные выводы относительно основных параметров модели.

В результате измерения получен набор данных (случайных величин) объемом n . Каждое измерение обозначим

$$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$$

где $i=1, 2, \dots, n$, причем x_i и x_k , где $k=1, 2, \dots$, независимы между собой.

Законом распределения случайной величины называется всякое соотношение, устанавливающее связь между возможными значениями случайных величин и соответствующими им вероятностями. Простейшей формой такого закона является выборка в виде вариационного или статистического ряда.

Вариационным или ранжированным рядом выборки $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ называется способ ее записи, при котором элементы располагаются в порядке возрастания, т.е. в виде последовательности

$$x^{(1)}, x^{(2)}, x^{(3)}, \dots, x^{(n)},$$

где $x^{(1)} \leq x^{(2)} \leq x^{(3)} \dots \leq x^{(n)}$.

Элементы выборки x_i называются вариантами.

Разность между минимальным и максимальным элементами выборки называют размахом выборки

$$W = x^{(n)} - x^{(1)}$$

Пусть в выборке объема n элемент x_i встречается n_i раз. Число n_i называется частотой элемента x_i , а сумма всех частот равна объему выборки

$$n_1 + n_2 + \dots + n_i + \dots + n_k = n.$$

Относительной частотой варианты называется отношение соответствующей ей частоты к объему выборки:

$$W_i = n_i/n$$

Оформим ранжированный ряд в виде статистического.

Статистическим рядом называется последовательность пар $\{x_i, n_i\}$, записанная в виде таблицы, где первая строка содержит элементы x_i , а вторая их частоты n_i :

x	x_1	x_2	...	x_i	...	x_k
n	n_1	n_2	...	n_i	...	n_k

Оформим в виде таблицы также ряд с относительными частотами:

x	x_1	x_2	...	x_i	...	x_k
W	w_1	w_2	...	w_i	...	w_k

Графическое представление вариационного ряда позволяет представить в наглядной форме закономерности изучаемой величины. Графически вариационные ряды можно представить в виде полигона и гистограммы. Полигоном частот называют ломанную, отрезки, которой соединяют точки $(x_1; n_1)$, $(x_2; n_2)$, ..., $(x_i; n_i)$, ..., $(x_k; n_k)$.

Для построения полигона частот по оси абсцисс откладывают варианты x_i , а по оси ординат – соответствующие им частоты n_i . Точки $(x_i; n_i)$ соединяют отрезками прямых и получают полигон частот.

Полигоном относительных частот называют ломанную, отрезки, которой соединяют точки $(x_1; w_1)$, $(x_2; w_2)$, ..., $(x_i; w_i)$, ..., $(x_k; w_k)$.

Для построения полигона относительных частот по оси абсцисс откладывают варианты x_i , а по оси ординат – соответствующие им относительные частоты w_i . Точки $(x_i; w_i)$ соединяют отрезками прямых и получают полигон относительных частот.

Порядок построения гистограммы

Найти число интервалов, на которое разбивается выборка значений случайной величины по формуле $k = 1 + 3,322 \lg(n)$. Значение k округляется до ближайшего целого числа.

Определить длину интервала $h=(x_{\max}-x_{\min})/k$ и округлить для удобства вычислений.

Определить середину области изменения выборки $x_{\text{ср}} = (x_{\max}+x_{\min})/2$; $x_{\text{ср}}$ - центр исходного интервала. Справа и слева от $x_{\text{ср}}$ откладывать по $h/2$. Конечное число интервалов должно перекрыть всю область от x_{\min} до x_{\max} .

Подсчитать частоту попадания случайной величины в каждый i интервал. Значение x попавшее на границу между интервалами $i-1, i$, отнести к интервалу с номером i , т. е. к первому интервалу.

Определить относительную частоту или вероятность попадания случайной величины в i интервал по формуле $P_i=n_i/n$

Полученные данные оформить в таблицу:

Границы интервалов	$x_1 + x_2$	$x_2 + x_3$...	$x_{k-1} + x_k$
№ интервала	1	2	...	k
Частота n	n_1	n_2	...	n_k
Вероятность попадания P_i^*	P_1^*	P_2^*	...	P_k^*

Пример.

Пусть имеется выборка из 100 наблюдений случайной величины

0 7 19 12 21 34 23 40 31 29 27 41 45 42 56 54 51 49 59 58 47 48 51 55 44 60 61 62
67 68 79 77 64 69 70 77 75 78 77 66 63 64 62 79 62 69 81 89 87 99 96 95 84 83 96
95 90 92 84 81 87 81 88 99 83 92 96 94 86 99 101 102 103 104 120 119 110 110 117
118 108 109 104 103 107 111 115 113 112 111 117 118 121 132 139 125 138 141
160 150

$x_{\min}=0$, $x_{\max} = 160$, требуется построить гистограмму и соответствующую теоретическую кривую. Для построения гистограммы определим число интервалов по формуле

$$k = 1+3,322*\lg(100) \sim 7,644 \sim 8$$

Рассчитаем шаг

$$h=(160-0)/8=20$$

Подсчитаем количество значений, попавших в интервалы.

$$n_1 = 4; n_2 = 7; n_3 = 15; n_4=20 ; n_5 = 24; n_6 = 22; n_7 = 7; n_8 = 3$$

Определим плотность частоты и статистическую вероятность. Для удобства расчеты оформим в виде таблицы:

Границы интервалов	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160
n_i	4	7	15	20	24	22	5	3
n_i/h	0.2	0.35	0.75	1	1.2	1.1	0.25	0.15
$P_i^* = n_i/n$	0.04	0.07	0.15	0.20	0.24	0.22	0.05	0.03

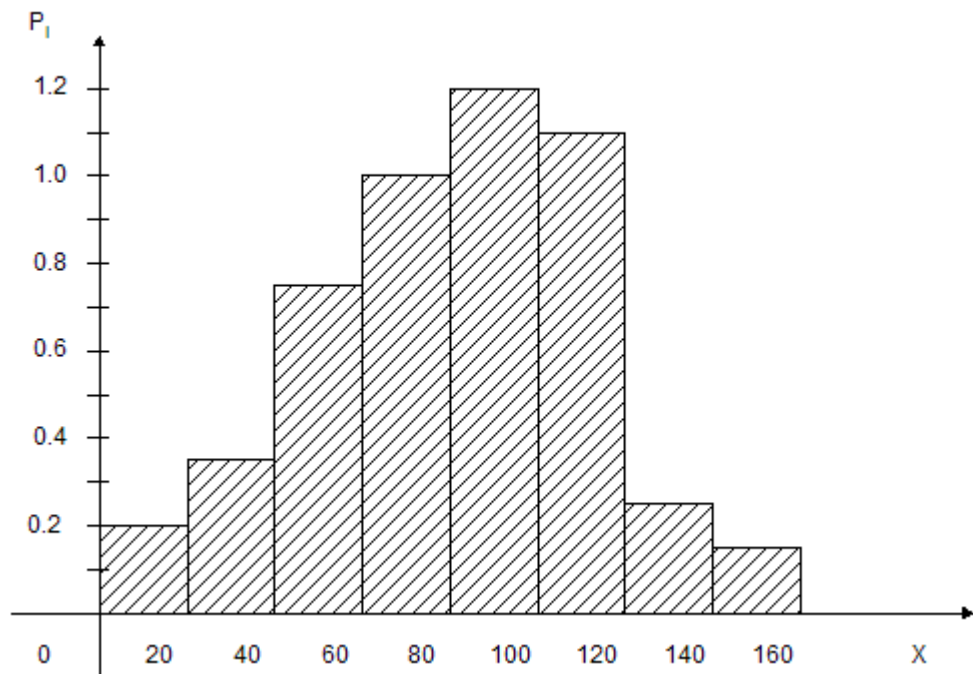


Рис. Гистограмма

Гистограмма является аналогом плотности распределения вероятностей функции $f^*(x)$. Для построения статистической функции $f^*(x)$ на оси Ox откладываем варианты x_i , а по оси Oy соответствующие статистические вероятности P_i^* . Соединив точки плавной линией, получим график статистического аналога плотности случайной величины x .

7. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить сведения об усадке полимерных материалов.
2. Изучить правила пользования микрометрическим инструментом.
3. Изучить порядок проведения статистической обработки.
2. Получить образцы материалов для определения усадочных характеристик.
3. Определить усадочные характеристики полимерных материалов: гомополимера и композитов на его основе.
4. Провести статистическую обработку результатов испытаний.

8. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Титульный лист отчета.
2. Наименование и цель работы.
3. Основные определения и формулы.
4. Данные измерения усадочных характеристик гомополимера и композитов на его основе.
5. Результаты статистической обработки усадочных характеристик (раздел 6).

9. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. С какой целью определяются усадочные характеристики полимерных материалов?
2. Усадка в аморфных полукристаллических пластмассах?
3. Какие факторы влияют на образование размера пластмассового изделия?
4. Виды усадки.
5. Что такое колебание усадки.
6. От чего зависит усадка.
7. Как составляется вариационный ряд?
8. Что называется называются вариантами?
9. Как составляется статистический ряд?
10. В чем заключается статистическая обработка результатов испытаний.

10. ЛИТЕРАТУРА

1. Крыжановский В.К., Бурлов В.В., Паниматченко А.Д., Крыжановская Ю.В. Технические свойства полимерных материалов: справочник.- СПб.: Профессия, 2005.- 280 с.
2. Брагинский В.А. Точное литье изделий из пластмасс. - Л.: Химия, 1977. – 112 с.
3. Допуски и посадки. Справочник. В 2-х ч./ В.Д. Мягков, М.А. Палей, А.Б. Романов, В.А, Брагинский.- 6-е изд., перераб. и доп. - Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1983. Ч. 2. 448 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИЗГИБЕ

ВЕДЕНИЕ

Деформацию изгиба испытывают большинство элементов, а также детали передаточных и исполнительных механизмов (валы, оси и т.д.).

Любые виды деформаций твердых тел так или иначе сводятся к двум основным - это растяжение (сжатие) и сдвиг. При изгибе в общем случае реализуются эти два вида деформаций. Однако, при расчетах на прочность балок (брусья, работающие на изгиб) за редким исключением оказывается возможным не учитывать результат действия сдвиговых деформаций. В этом случае деформацию изгиба можно рассматривать как один из способов одноосного (линейного) деформирования частей бруса. Такой способ можно определить как неоднородное линейное деформирование, когда в точках мысленно выделенной линии (волокна) бруса действуют вдоль нее различные по величине элементарные силы растяжения (сжатия).

Существенным отличием деформации изгиба от деформации однородного линейного растяжения (сжатия) прямого бруса является искривление его оси, или наличие прогибов оси относительно недеформированного ее положения.

Большие прогибы отдельных частей конструкции могут приводить, вследствие разных причин, к резкому падению их прочности и поэтому считаются недопустимыми.

На практике величины прогибов при расчетах на жесткость ограничиваются допускаемыми значениями, которые определяются с использованием экспериментальных данных по изгибу брусьев заданного материала.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Экспериментальное определение перемещений, модуля упругости и упругой области поведения полимерных композиционных материалов при изгибе.

2. ТЕОРИЯ ИЗГИБА

Изгибом называется такой вид деформации, когда под действием внешних сил в поперечных сечениях бруса возникают изгибающие моменты. Если изгибающий момент в сечении является единственным силовым фактором, а поперечные и нормальные силы отсутствуют, изгиб называется **чистым**. Если в поперечных сечениях стержня наряду с изгибающими моментами действуют и поперечные силы, изгиб называется **поперечным**. Возможны случаи, когда в поперечных сечениях бруса одновременно возникают несколько силовых факторов. Такие случаи называют **сложным сопротивлением**.

На рис. 1 показана схема деформации при чистом изгибе.

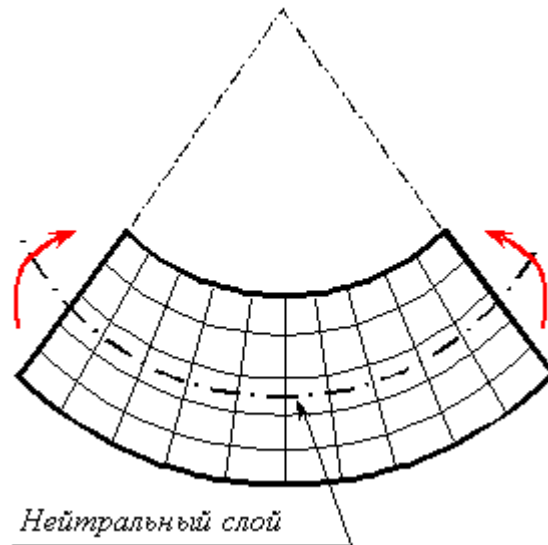


Рис. 1. Схема деформации при чистом изгибе

Напряжения и деформации в изогнутой балке распределены таким образом, что внешние волокна растянуты, а внутренние – сжаты, причем и напряжения σ , и деформации ϵ растут пропорционально расстоянию от нейтральной линии, где $\sigma = 0$. Внешние слои балки несут большую часть нагрузки, внутренние – значительно меньшую. Поэтому целесообразно так сформировать сечения балки, чтобы большая часть материала была удалена от центра сечения. Тавровые, двутавровые и трубчатые сечения балок являются примерами оптимальных сечений.

Если материал балки хуже сопротивляется растяжению, нежели сжатию, то центр тяжести сечения должен располагаться ближе к растянутым волокнам, чтобы величина максимальных растягивающих напряжений была меньше максимальных сжимающих напряжений, оптимальный тавровый профиль сечения балки (рис. 2).

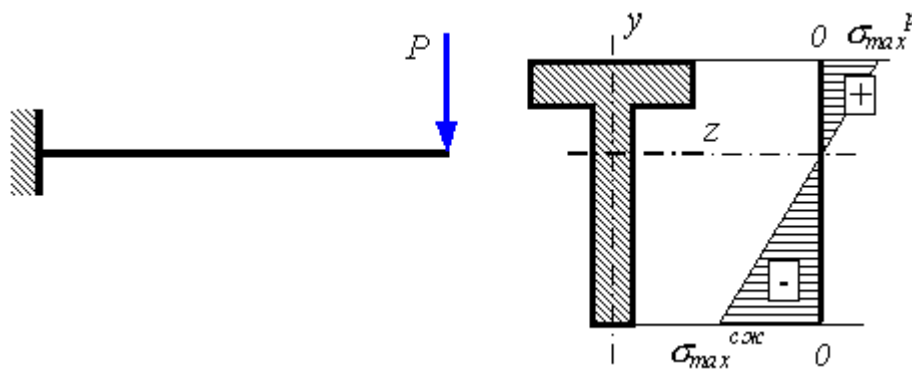


Рис. 2. Распределение напряжений в тавровом профиле балки

Теория изгиба балки была создана Я. Бернулли и Л.Эйлером на рубеже 17–18 вв.

Расчетная схема консольной балки, нагруженной силой F , показана на рис. 3. После приложения нагрузки балка изгибается и ее ось становится

криволинейной. Получившаяся кривая называется упругой линией. Задача – найти ее уравнение $y = f(x)$.

Из дифференциальной геометрии известно выражение для кривизны в прямоугольных декартовых координатах. Решение этой задачи основано на том, что в каждой точке упругой линии ее кривизна пропорциональна изгибающему моменту внешних сил, который зависит от координаты x и обозначается $M_z(x)$. Так как при малых прогибах кривизна кривой практически равна ее второй производной, можно записать дифференциальное уравнение:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M_z(x)}{E \cdot J_z} \quad (1),$$

или

$$EJ_z \frac{d^2 y}{dx^2} = M_z(x) \quad (2).$$

Это уравнение называется дифференциальным уравнением изогнутой оси. Сомножитель EJ_z называется изгибной жесткостью, он определяет способность балки сопротивляться изгибу и равен произведению модуля упругости материала балки E на осевой момент инерции сечения балки J_z , где b – ширина сечения, а h – высота (рис. 3,а).

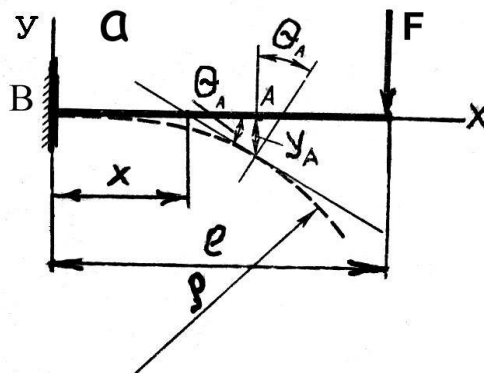


Рис. 3. Перемещения и углы поворота сечений консольной балки.

При изгибе деформация в поперечном сечении стержня (рис. 3) определяется перемещением y центра масс сечения в направлении, перпендикулярном первоначальному положению оси стержня, называемым прогибом и углом поворота θ сечения по отношению к своему первоначальному положению. Для нахождения деформаций во всех поперечных сечениях по длине стержня необходимо получить зависимости

$$y = y(x) \text{ и } \theta = \theta(x).$$

Определим прогиб и угол поворота свободного конца консоли стержня (рис 3) длиной l , нагруженного на конце сосредоточенной силой F . Жесткость стержня постоянна по длине и равна $E_z I$.

Начало координат примем в точке В жесткого закрепления стержня. Ось y направим вверх, ось x – вправо.

В произвольном поперечном сечении, отстоящем на расстоянии x от начала координат, изгибающий момент равен $M_z = -F(l - x)$. Дифференциальное уравнение изогнутой оси примет вид

$$EJ_z \frac{d^2 y}{dx^2} = -F(l - x) \quad (3)$$

Интегрируя это уравнение, получим $EI(dy/dx) = -F \cdot [\ell x - (x^2/2)] + C$. Интегрируя далее, получим уравнение прогибов

$$EIy = -F [(\ell x^2/2) - (x^3/6)] + Cx + D.$$

Приняв во внимание, что в месте закрепления при $x = 0$ прогиб y и угол поворота сечения $\theta = dy/dx$ равны нулю, найдем, что постоянные интегрирования $C = 0$ и $D = 0$.

Тогда на свободном конце стержня при $x = \ell$, прогиб

$$y_{\max} = -\frac{Fl^3}{3EJ_y} \quad (4)$$

и угол поворота торцового сечения

$$\theta = \frac{dy}{dx} = -\frac{Fl^2}{2EJ_z} \quad (5)$$

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Эксперименты по определению максимального прогиба балки проводятся на установке, изображенной на рисунке 2. На вертикальной стойке штатива 1 одним концом жестко закрепляется образец 2 исследуемого материала в виде бруса длиной 200 - 300 мм прямоугольного сечения шириной B и высотой h . На конце кронштейна 3 закреплен измерительный прибор 4, фиксирующий прогиб конца консоли во время его нагружения грузами 5.

Нагружение консоли во время испытаний проводится последовательно несколькими грузами, начиная с наименьшего, при котором становится возможным определение прогиба по прибору 4. Нагружение должно производиться осторожно, чтобы избежать больших упругих колебаний образца. Снятие показаний измерительного прибора прогиба консоли должно производиться после затухания колебаний. Максимальный груз для образцов из разного материала указывается преподавателем.

Полученные данные заносятся в таблицу с графами - сила F , н; прогиб y , мм.

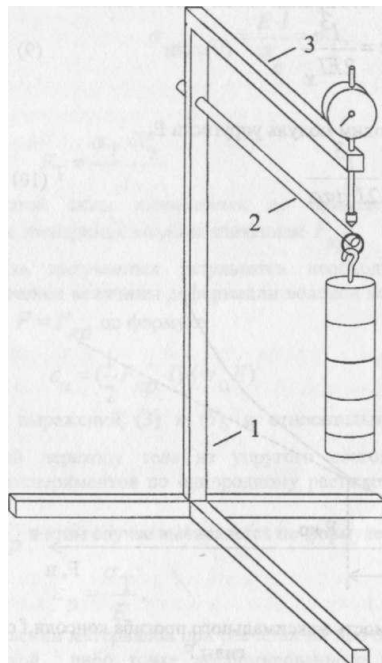


Рис.2. Экспериментальная установка определения прогибов консоли
 1 - штатив; 2 - испытуемый образец; 3 - кронштейн; 4 - измерительный прибор;
 5 – нагрузка.

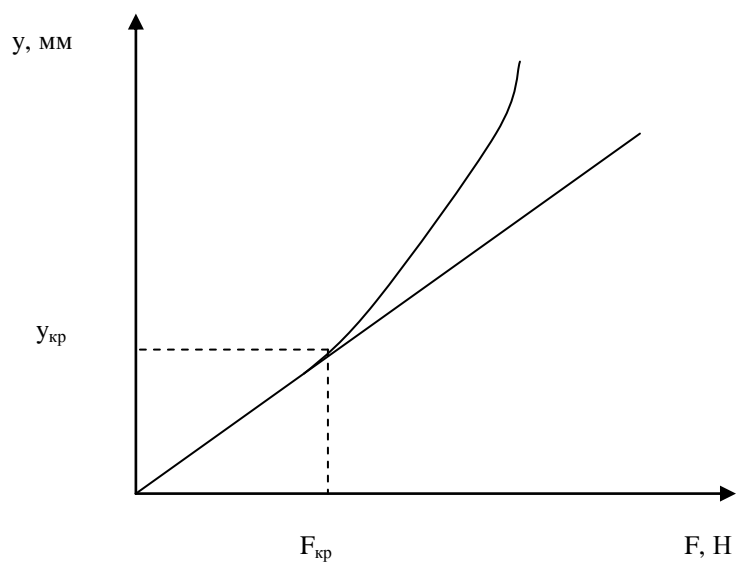


Рисунок 4 - Зависимость максимального прогиба консоли y от приложенной силы F

$$E = \frac{Fl^3}{3J_y y_{\max}}$$

Полученное значение модуля упругости E заносится в таблицу результатов испытаний. Это значение необходимо сравнить с табличным значением

данного материала и оценить точность экспериментального значения. Отклонение от линейности функции $\varphi(F)$ при некотором значении $F_{кр}$ определяет начало пластического поведения материала образца как целого.

Такое состояние образца достигается постепенно по мере роста силы F . Первые проявления пластических свойств материалов происходят в точках контура поперечного сечения консоли, прилегающих непосредственно к заделке при достижении.

Значение этой силы вычисляется до проведения эксперимента и сопоставляется с экспериментальным значением $F_{кр}$.

Результаты испытаний в виде сводной таблицы всех экспериментальных и расчетных величин и анализ полученных результатов представляются в виде отчета.

3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Краткая теория изгиба прямых брусьев. Основные особенности и отличия деформации изгиба от деформации растяжения (сжатия) прямых брусьев.
2. Геометрические характеристики образца
3. Таблица физических параметров определенных из опытов
4. Оценка погрешности экспериментальных значений модуля Юнга E_u ,
5. Анализ результатов

Проводится на основе сравнения следующих параметров:

- а) критических значений линейных деформаций,
 - б) значения максимального нормального напряжения с значением предельного напряжения материала из данных пункта.
6. Выводы

На основе анализа экспериментальных данных по изгибу консоли и аналогичных данных по растяжению (сжатию) прямых брусьев необходимо

сделать выводы, касающиеся выявленных отличий в оценке прочности этих видов деформаций.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В каких точках консоли достигаются наибольшие нормальные напряжения при ее изгибе?
2. Почему тавровые, двутавровые и трубчатые сечения балок являются примерами оптимальных сечений?
3. Что называется изгибной жесткостью?
4. Что представляют собой перемещения при прямом поперечном изгибе балки?
5. Какова цель экспериментального определения прогибов балки и в каких расчетах используются значения прогибов?
6. Как в процессе опыта экспериментально определить прогибы балки?
7. Как записывается дифференциальное уравнение изогнутой оси балки?

5. ЛИТЕРАТУРА

1. Иосилевич Г.Б., Строганов Г.Б., Маслов Г.С. Прикладная механика: Учеб. для вузов / Под ред. Г.Б. Иосилевича. - М.: Высш.шк., 1989.-351 с.
2. Степин П.С. Сопротивление материалов.- М.: Высшая школа, 1979.-312 с.
3. Кочетов В.Т., Павленко А.Д., Кочетов М.В. Сопротивление материалов.- Ростов-на-Дону, Феникс, 2001.-368 с.