



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

**Е.В. Тарасюк
А.П. Пономарев**

ИСПЫТАНИЯ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве лабораторного практикума*

Магнитогорск
2016

УДК 620.1:621.798(076.5)
ББК 30.3я73

Рецензенты:

инженер-технолог,
ООО «Эксперт Упаk»
С.С. Бербер

кандидат биологических наук, доцент,
заведующая кафедрой стандартизации, сертификации
и технологии продуктов питания,
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова»
Н.И. Барышникова

Тарасюк Е.В., Пономарев А.П.

Испытания упаковочных материалов [Электронный ресурс] : лабораторный практикум / Елена Владимировна Тарасюк, Антон Павлович Пономарев; ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». – Электрон. текстовые дан. (0,92 Мб). – Магнитогорск : ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2016. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Систем. требования : IBM PC, любой, более 1 GHz ; 512 Мб RAM ; 10 Мб HDD ; MS Windows XP и выше ; Adobe Reader 8.0 и выше ; CD/DVD-ROM дисковод ; мышь. – Загл. с титул. экрана.

Лабораторный практикум составлен в соответствии с программами дисциплин: «Основы полиграфического и упаковочного производства», «Технология упаковочного производства», «Материаловедение в полиграфическом и упаковочном производствах», «Производство полимерной упаковки», «Производство упаковки на основе бумаги», «Производство тары из картона и гофрокартона», «УИРС».

Лабораторный практикум предназначен для проведения лабораторных работ по исследованию механических свойств упаковочных материалов на основе полимеров, бумаги, картона и гофрокартона. В работах изложены основы теории и формулы расчёта деформационно-прочностных и других показателей различных упаковочных материалов, даны методики проведения экспериментов и обработки полученных результатов. В конце каждой лабораторной работы приведены контрольные вопросы для самопроверки.

Лабораторный практикум предназначен для студентов всех форм обучения (бакалавр, магистр, специалист), обучающихся по направлениям 29.03.03 и 29.04.03 «Технология полиграфического и упаковочного производства». Он может быть полезен слушателям ФПК, инженерно-техническим и научным работникам упаковочной отрасли, а также широкому кругу читателей.

УДК 620.1:621.798(076.5)
ББК 30.3я73

© Тарасюк Е.В., Пономарев А.П., 2016
© ФГБОУ ВО «Магнитогорский
государственный технический
университет им. Г.И. Носова», 2016

Содержание

| | |
|--|----|
| Введение | 4 |
| 1. Лабораторная работа Испытание полимерных плёнок на растяжение | 6 |
| 1.1. Теоретическое введение | 6 |
| 1.2. Практическая часть | 9 |
| 1.3. Контрольные вопросы | 12 |
| 2. Лабораторная работа Определение коэффициента трения полимерных материалов | 14 |
| 2.1. Теоретическое введение | 14 |
| 2.2. Практическая часть | 14 |
| 2.3. Контрольные вопросы | 16 |
| 3. Лабораторная работа Испытание упаковочных материалов на износ | 17 |
| 3.1. Теоретическое введение | 17 |
| 3.2. Практическая часть | 18 |
| 3.3. Контрольные вопросы | 21 |
| 4. Лабораторная работа Определение стойкости к проколу полимерных плёнок | 22 |
| 4.1. Теоретическое введение | 22 |
| 4.2. Практическая часть | 23 |
| 4.3. Контрольные вопросы | 26 |
| 5. Лабораторная работа Определение прочности на разрыв и удлинения при растяжении бумаги | 27 |
| 5.1. Теоретическое введение | 27 |
| 5.2. Практическая часть | 30 |
| 5.3. Контрольные вопросы | 31 |
| 6. Лабораторная работа Определение сопротивления расслаиванию гофрокартона | 32 |
| 6.1. Теоретическое введение | 32 |
| 6.2. Практическая часть | 32 |
| 6.3. Контрольные вопросы | 34 |
| 7. Лабораторная работа Определение сопротивления торцевому сжатию гофрокартона | 35 |
| 7.1. Теоретическое введение | 35 |
| 7.2. Практическая часть | 35 |
| 7.3. Контрольные вопросы | 36 |
| 8. Лабораторная работа Испытание упаковочных материалов на сжатие | 37 |
| 8.1. Теоретическое введение | 37 |
| 8.2. Практическая часть | 38 |
| 8.3. Контрольные вопросы | 39 |
| 9. Лабораторная работа Исследование полимеров методом синхронного термического анализа | 40 |
| 9.1. Теоретическое введение | 40 |
| 9.2. Практическая часть | 44 |
| 9.3. Контрольные вопросы | 48 |
| Техника безопасности при выполнении лабораторной работы | 49 |
| Библиографический список | 50 |

ВВЕДЕНИЕ

В ряду многочисленных требований к материалу упаковки важное значение имеют требования приспособленности материала к упаковочному, полиграфическому и другому оборудованию. Эти требования сводятся к тому, что физико-механические свойства материала должны обеспечить его удобную, качественную и производительную обработку на конкретном оборудовании.

Свойства полимерных упаковочных материалов могут существенно влиять на качество, надежность и производительность работы фасовочно-упаковочного, формирующего, штамповочного, термоусадочного, полиграфического и другого оборудования. Поэтому неслучайно, несмотря на гарантии поставщиков материалов, международная система обеспечения качества предусматривает необходимость входного контроля поступающих на предприятия материалов. Получаемые в результате этих испытаний показатели используются для решения конкретных, специальных задач. Сопоставляя полученные в процессе испытаний механические и физические характеристики материала с соответствующими параметрами рабочих режимов оборудования нетрудно установить степень пригодности и приспособленности материала к данному оборудованию.

В ходе основных технологических операций полиграфии бумага подвергается существенному деформированию, например, растяжению, проколу, сжатию, изгибу. От того, как ведет себя бумага при этих воздействиях, зависит нормальное (бесперебойное) течение технологических процессов печатания и последующей обработки продукции.

В отличие от бумаги физико-механические и поверхностные свойства полимерных плёнок оказывают на процесс и качество печати гораздо большее влияние. Особенно это касается прохождения плёнки по лентопротяжному тракту полиграфического оборудования.

Механические свойства, такие, как прочность, жесткость, эластичность, относительное удлинение, коэффициент трения, а также релаксация напряжений в наибольшей степени характеризуют пригодность или приспособленность материалов к механическому оборудованию.

Основой для понимания свойств материала являются сведения о том, как материал реагирует на любую нагрузку. Зная величину деформации, создаваемой данной нагрузкой (напряжением), конструктор может предсказать реакцию конкретного изделия на рабочие условия.

В табл. 1 приведены методы испытаний различных упаковочных материалов.

Методы испытаний

| Метод | ГОСТ |
|---|---|
| <i>Полимерные материалы</i> | |
| Метод испытания пленок на растяжение | ГОСТ 14236-81 «Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение» |
| Метод определения стойкости к проколу | ГОСТ 12.4.118-82 Система стандартов безопасности труда. Пленочные полимерные материалы и искусственные кожи для средств защиты рук. |
| Метод испытания на сжатие | ГОСТ 4651 Пластмассы. Метод испытания на сжатие. |
| <i>Материалы на основе бумаги и картона</i> | |
| Определение прочности бумаги при растяжении | ГОСТ 30436-96 «Бумага и картон. Определение прочности при растяжении. Часть II. Метод растяжения с постоянной скоростью» |
| Определение сопротивления расслаиванию гофрокартона | ГОСТ 22981-78 «Картон гофрированный. Метод определения сопротивления расслаиванию» |
| Определение сопротивления торцевому сжатию гофрокартона | ГОСТ 20683-97 «Картон тарный. Метод определения сопротивления торцевому сжатию (метод непарафинированного торца) |

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ИСПЫТАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЁНОК НА РАСТЯЖЕНИЕ

Цель работы:

1. Изучение работы испытательной машины.
2. Освоение методики испытания полимерных пленок на растяжение.
3. Приобретение навыков расчета деформационно-прочностных свойств испытываемых образцов в соответствии с ГОСТ 14236-81 «Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение».

1.1. Теоретическое введение

Механические свойства определяют поведение физического тела под действием приложенного к нему усилия. Численно это поведение оценивается **прочностью** и **деформативностью**. Прочность характеризует сопротивляемость разрушению, а деформативность - изменение размеров полимерного тела, вызванное приложенной к нему нагрузкой. Поскольку и прочность и деформация являются функцией одной независимой переменной - внешнего усилия, то механические свойства еще называют **деформационно-прочностными**.

Испытания на растяжение проводят на испытательной машине, снабженной двумя захватами для крепления испытуемого образца. При растяжении образца захваты раздвигаются с заданной скоростью.

Статические деформационно-прочностные свойства обычно оценивают по графическим зависимостям, снятым или построенным в координатах «относительная деформация-напряжение». Условия определения этих зависимостей регламентированы стандартами.

Характерные кривые растяжения приведены на рис. 1.1.

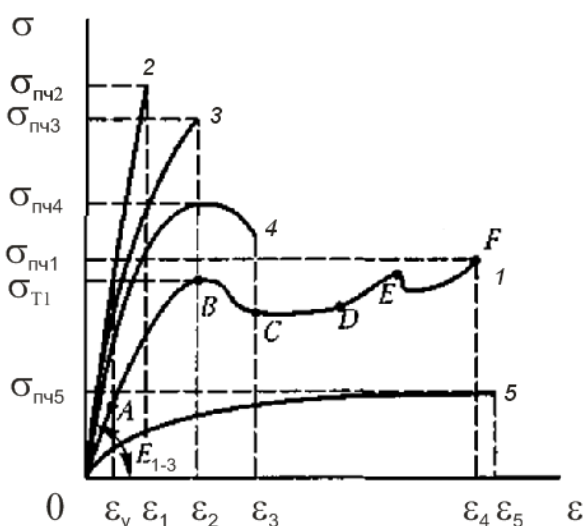


Рис. 1.1. Принципиальная диаграмма растяжения различных полимерных материалов: 1, 4 - упруго-пластичные материалы; 2, 3 – упругие материалы; 5 - вязкопластичные материалы

Анализируя кривую 1 можно видеть, что полимер в процессе нагружения сначала демонстрирует упругие свойства (участок O-A), когда напряжение пропорционально относительной деформации, то есть соблюдается закон Гука ($E = \sigma / \varepsilon$). При дальнейшем росте деформации в ней кроме упругой проявляется пластическая составляющая, вызывающая графическое искажение (участок A-B зависимости $\sigma = f(\varepsilon)$, кривая 1).

Образование «горба» (участок B-C), как правило, вызвано появлением так называемой «шейки», что наблюдают практически все, кто испытывает на растяжение, например, полиэтилен высокой плотности (ПЭВП), полипропилен (ПП), полиамид (ПА).

Дальнейший рост деформации, «холодное течение» (участок C-D), происходит при практически постоянном напряжении и сопровождается изменением надмолекулярной структуры в полимере. Ее морфологические превращения могут происходить и при дальнейшем деформировании, сопровождаясь образованием на полностью вытянутой части образца новой «шейки», с ее последующим растяжением и разрывом (участок D-E-F).

В зависимости от физико-химических свойств полимера, его структурно-рецептурных особенностей, деформационно-прочностные кривые конкретных пластмасс могут быть масштабированными аналогами отдельных участков «полной кривой». Например, поведение упругих до момента разрушения пластмасс типа полиметилметакрилата (ПММА), фторполимеров (ФП) - описывается *кривой 2*. Деформирование и растяжение полистирола (ПС), отвержденных эпоксидных смол (ЭС), армированных эпоксипластов - *кривой 3*. Аморфно-кристаллический полиэтилен низкой плотности (ПЭНП), жесткий поливинилхлорид (ПВХ), эпоксидно-новолачные блоксополимеры при растяжении демонстрируют поведение, подобное *кривой 4* и, наконец, сильно пластифицированные ПВХ, ПЭНП, сополимеры ЭС с эластомерами деформируются так, как показано на *кривой 5*.

Если при испытании образца его деформирование не сопровождается «холодным течением» с последующим упрочнением ($\sigma_{нч} > \sigma_T$), то за предел прочности принимается наибольшее из этих значений, которое и обозначается $\sigma_{нч}$. На рис. 1.1 – это полимерный образец, поведение которого при растяжении описывается кривой 4.

Таким образом, по принципиальным диаграммам рис. 1 прочность пластмасс, описываемых кривыми 2-5, характеризуется величинами $\sigma_{нч2-5}$; деформационно-прочностные свойства материалов, описываемых кривой 1, обладают пределом текучести σ_T , превышение которого вызывает активную деформацию образца или нагруженного изделия, и пределом прочности $\sigma_{нч}$, превышение которого приведет к разрушению образца или изделия.

Физико-механические свойства полимерных плёнок оцениваются параметрами, формирующими их деформационные кривые:

- пределом прочности материала при растяжении ($\sigma_{пч}$);
- пределом прочности материала при разрыве (σ_p)
- относительным удлинением при разрыве (ε).

Предел прочности материала при растяжении несёт информацию о поведении упаковочной плёнки при небольших деформациях, характеризующих её поведение под воздействием небольших растягивающих усилий как при изготовлении упаковки (включая печать), так и эксплуатации.

Пределом прочности называется напряжение, при котором произошло разрушение полимерного образца. Предел прочности вычисляют по формулам:

- прочность при растяжении (МПа (Н/мм²)):

$$\sigma_{\text{пч}} = \frac{F_{\text{max}}}{A_0}, \quad (1.1)$$

где F_{max} – максимальная растягивающая нагрузка при испытании на растяжение, Н;

A_0 – начальное поперечное сечение образца, мм².

- прочность при разрыве (МПа (Н/мм²)):

$$\sigma_{\text{р}} = \frac{F_{\text{р}}}{A_0}, \quad (1.2)$$

где $F_{\text{р}}$ – растягивающая нагрузка в момент разрыва, Н.

В случае, когда деформируемый полимерный материал может испытывать «холодное течение», напряжение, вызывающее текучесть, называется **пределом текучести** (σ_{T}).

Предел текучести при растяжении – это напряжение, при котором происходит деформация без существенного увеличения нагрузки. Предел текучести при растяжении вычисляют по формуле:

$$\sigma_{\text{T}} = \frac{F_{\text{T}}}{A_0}, \quad (1.3)$$

где F_{s} – растягивающая нагрузка в момент достижения предела текучести, Н.

Деформационные особенности пластмасс характеризуются значением **относительной деформации** (ε , %), сопровождающей всегда возникающее напряжение (растяжение, сжатие, изгиб). По этому параметру полимерные материалы условно подразделяются на: хрупкие ($\varepsilon < 5\%$); упругие ($5\% < \varepsilon < 50\%$); пластичные ($\varepsilon > 50\%$).

Относительное удлинение в процентах вычисляют по формулам:

- относительное удлинение при максимальной нагрузке:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l_{\text{max}}}{l_0} \cdot 100, \quad (1.4)$$

- относительное удлинение при разрыве:

$$\varepsilon_{\text{р}} = \frac{\Delta l_{\text{р}}}{l_0} \cdot 100, \quad (1.5)$$

- относительное удлинение при пределе текучести:

$$\varepsilon_{\text{T}} = \frac{\Delta l_{\text{T}}}{l_0} \cdot 100, \quad (1.6)$$

где l_0 – начальная расчетная длина образца, мм;

Δl_{max} – изменение расчетной длины образца в момент достижения максимальной нагрузки, мм;

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

Δl_T – изменение расчетной длины образца в момент достижения предела текучести, мм.

1.2. Практическая часть

Материалы: полимерные пленки (по заданию преподавателя).

Приборы: испытательная машина ИП 5158-0,5, микрометр, ножницы (или штанцы для вырубки образцов).

Описание испытательной машины ИП 5158-0,5

Машина испытательная ИП 5158-0,5 является универсальным прибором для испытаний образцов на механическую прочность при нормальной температуре с наибольшей предельной нагрузкой 0,5 кН.

Машина характеризуется большим ходом траверсы, диапазоном скоростей испытания, возможностью смены захватов. Машина имеет ряд приспособлений, которые обеспечивают проведение испытаний на растяжение, сжатие, расслаивание полимерных пленок, упаковочных бумаг и картонов, а также другие виды испытаний в пределах технических возможностей машины.

Машина ИП 5158-0,5 включает в себя испытательную установку, пульт оператора ПО-4 и силовой блок (рис. 1.2).

Принцип работы машины заключается в создании нагружающего усилия на образец и регистрации нагрузки, вызывающей разрушение образца.

Машина обеспечивает выдачу информации о результатах испытаний и их математическую обработку на пульт управления.

Испытательная машина предназначена для определения прочностных и деформационных характеристик материалов при растяжении, сжатии, расслаивании, а также для проведения испытаний на циклическую усталость.

Правила безопасности при работе с ИП 5158-0,5

Видами опасности при работе на машине являются:

- воздействие подвижных элементов (подвижной опоры);
- поражающее действие электрического тока.

Основными требованиями и необходимыми мерами для обеспечения безопасности работающих на машине являются следующие:

- рабочая зона, включающая в себя верхнюю и нижнюю опоры (или зажимы) и образец, при работе должна быть закрыта ограждением. Ограждение должно иметь электрическую блокировку, препятствующую включению привода при открытом ограждении;

- все токоведущие элементы электрооборудования должны быть изолированы от корпуса машины;

- открытые токоведущие части электрооборудования при работе должны быть закрыты ограждениями;

- на корпусах испытательной установки и блока силового должны быть установлены болты заземления, машина должна быть подсоединена к линии защитного заземления.

Не допускается:

- работа на незаземленной машине;
- регулирование и настройка машины, находящейся под напряжением кроме случаев, предусмотренных настоящим паспортом;
- работа при нагрузках, превышающих 500 Н в нижней рабочей зоне;
- работа при открытом ограждении, боковой двери и без кожуха электродвигателя.

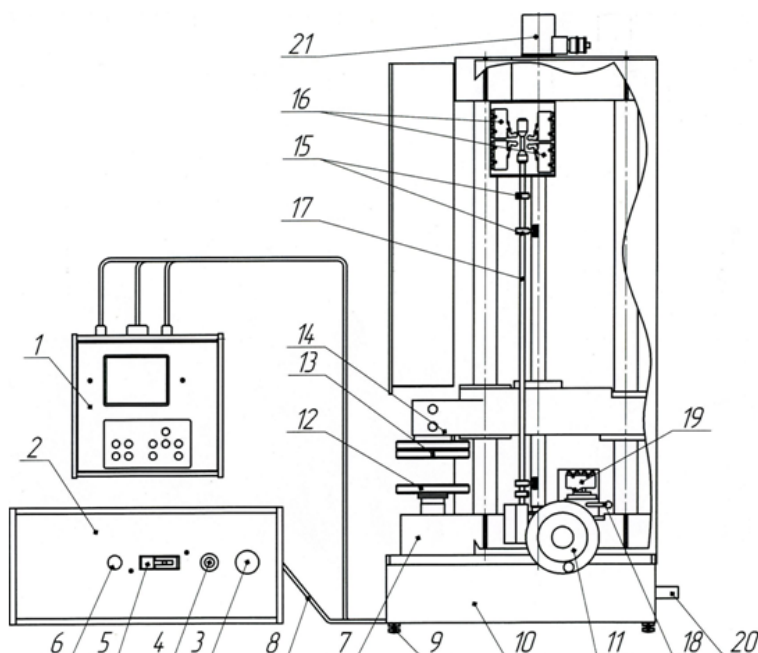


Рис. 1.2 Общий вид испытательной машины
ИП 5158-0,5

- | | |
|---------------------------------|----------------------------|
| 1 – пульт оператора; | 12 – опора нижняя; |
| 2 – блок силовой; | 13 – опора верхняя; |
| 3 – кнопка “СТОП”; | 14 – траверса подвижная; |
| 4 – кнопка “ПУСК”; | 15 – упоры; |
| 5 – выключатель автоматический; | 16 – выключатели конечные; |
| 6 – лампочка “СЕТЬ”; | 17 – шток; |
| 7 – установка испытательная; | 18 – рукоятка; |
| 8 – устройство соединительное; | 19 – выключатель конечный; |
| 9 – опора; | 20 – болт заземления; |
| 10 – основание; | 21 – датчик перемещения. |
| 11 – маховик; | |

Подготовка образцов

Для испытания подготовить образцы в соответствии с ГОСТ 14236-81: вырезать по пять образцов в продольном и поперечном направлениях. В табл. 1.1 приведены параметры, задаваемые перед испытаниями.

Толщину образцов измеряют с помощью микрометра в трёх местах: в середине образца и на расстоянии пять мм от краёв меток. Из полученных значений вычисляют среднее арифметическое. Начальное поперечное сечение вычисляют по формуле:

$$A_0 = d \cdot b, \quad (1.7)$$

где A_0 – начальное поперечное сечение, мм²;

d – толщина образца, мм;

b – ширина образца, мм.

Таблица 1.1

Параметры испытаний

| Метод | Размеры образцов, мм | Расстояние между зажимами, мм | Скорость испытания, мм/мин |
|--------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Метод испытания плёнок на растяжение | длина – 150 ширина - 15 | 50 | 100 |

Порядок проведения испытаний

1. Выключатель “СЕТЬ” установить в положение «Вкл», загорится сигнальная лампа. Загорится дисплей пульта оператора ПО-4. Кнопкой “Пуск” включить силовую часть системы электропривода прибора. Загорится лампа подсветки кнопки “Пуск”.

2. Прогреть машину в течение 30 минут.

3. Подготовить образцы в соответствии с ГОСТ.

4. Образцы закрепить в зажимы испытательной машины. Их равномерно затянуть, чтобы не происходило скольжения образца при испытании, но при этом не разрушался образец в месте закрепления.

5. Установить расстояние между зажимами испытательной машины.

6. На пульте оператора ПО-4 выставить параметры испытания.

7. После установки образца в захваты обнулить показания силоизмерительного датчика и датчика перемещения.

8. Затем запустить на компьютере программу Analyzer и выбрать: Главное меню / Испытание / Провести.

9. На пульте оператора ПО-4 нажать кнопку “TEST”.

10. Образцы, разрушающиеся при испытании за пределами расчётной длины, или у которых в процессе испытания обнаружены дефекты материала, в расчёт не принимают.

11. Результаты испытания на растяжение для образцов, вырезанных в продольном и поперечном направлениях, заносят в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Результаты испытаний

| № | Максимальная нагрузка, Н | Максимальное удлинение | Разрывная нагрузка, Н | Удлинение при разрыве |
|-------------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| <i>Продольное направление</i> | | | | |
| | | | | |
| <i>Поперечное направление</i> | | | | |
| | | | | |

Обработка результатов

1. На основании полученных данных проводят расчет деформационно-прочностных свойств полимерных пленок по формулам 1.1-1.6 и представляют результаты в табл. 1.3. За результат испытаний пленки принимают среднее арифметическое результатов пяти определений отдельно в продольном и поперечном направлениях.

2. В отчете представить графики «нагрузка-удлинение», полученные в процессе растяжения образцов для продольного и поперечного направлений, и проанализировать его.

Таблица 1.3

Деформационно-прочностные свойства полимерных пленок

| № | Прочность при растяжении, МПа | Относительное удлинение, % | Прочность при разрыве, МПа | Относительное удлинение при разрыве, % |
|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|--|
| <i>Продольное направление</i> | | | | |
| | | | | |
| <i>Поперечное направление</i> | | | | |
| | | | | |

3. Сделать выводы по работе.

1.3. Контрольные вопросы

1. Для каких целей используется универсальная машина ИП 5158-0,5?
2. Какую точность измерений обеспечивает машина?
3. На какие материалы распространяется ГОСТ 14236-81? Что он регламентирует?
4. Как подготавливаются образцы для испытания?
5. Нужно ли кондиционировать образцы перед испытаниями?

6. Какую зависимость выдает машина во время испытания?
7. Как происходит растяжение образцов, вырезанных в поперечном и продольном направлении?
8. Какими показателями характеризуется механическая прочность полимерных материалов?

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы:

1. Освоение методики определения коэффициента трения полимерных материалов на разных поверхностях.
2. Оценка пригодности упаковочного материала для применения в упаковочных и полиграфических машинах.

2.1. Теоретическое введение

Многие изделия при эксплуатации испытывают воздействие нагрузок, вызывающих износ. Вследствие изнашивания разрушается поверхностный слой материала и (или) ухудшаются его прочностные свойства. К ущербу, наносимому износом, следует отнести не только выход из строя значительной части элементов машин, работающих в условиях трения, но и огромные материальные потери, связанные с ремонтом техники.

Трение – сопротивление относительно тангенциальному перемещению двух тел, соприкасающихся под действием нормальной нагрузки. Принципиальной особенностью процесса трения, отличающей его от многих других характеристик полимерных материалов, является участие в этом процессе двух тел – полимерного материала и контртела (истирающей поверхности).

Коэффициент трения представляет собой безразмерное число, характеризующее сопротивление скольжению двух поверхностей, которые находятся в контакте друг с другом.

Пленка полимерного упаковочного материала, которая легко скользит по другим поверхностям, имеет низкий коэффициент трения (0,35-0,5), что не позволяет материалу легко скользить по формующей трубе автомата и не дает ему развивать большую скорость. Слишком низкий коэффициент трения, т.е. слишком высокое скольжение, приводит к другим неудобствам - пленка оказывается слишком скользкой.

Практика эксплуатации фасовочно-упаковочного оборудования показала, что оптимальным для их нормальной работы является коэффициент трения скольжения полимерных материалов равный примерно 0,25. В целом, значения коэффициента трения, превышающие 0,50, считаются указывающими на нескользкую поверхность, а значения менее 0,20 рассматриваются как поверхности с высокой способностью к скольжению и в значительной степени подвержены телескопическому складыванию рулонов.

2.2. Практическая часть

Материалы: образцы полимерных пленок (по заданию преподавателя).

Приборы: прибор для определения коэффициента трения, ножницы, микрометр.

Описание прибора

Для определения коэффициента трения полимерных материалов используется прибор, приведенный на рис. 2.1.

Прибор состоит из установочной плиты (1), на которой закреплены: вращающаяся съемная трубка (5), образец (4), стандартные грузы (2, 3), регистрирующее устройство маятникового типа (6), выдвижная шкала (7). Трубка (5) приводится во вращение электродвигателем и имеет две рабочие поверхности: полированную поверхность и поверхность, имеющую «накатку». Включение/выключение прибора осуществляется с помощью тумблера (8).

Для испытания трубка (5) закрепляется держателем и с помощью электродвигателя приводится во вращение с постоянной скоростью. Грузы (2, 3) обеспечивают необходимое давление пленки, которое в рабочем положении приходится на трубку (5).

В процессе вращения между выбранной поверхностью трубки и испытываемым материалом (4) возникает сила трения, вызывающая отклонение стрелки (6), что позволяет по шкале (7) определить коэффициент трения.

В первый момент максимальное значение, показываемое стрелкой, соответствует *статическому коэффициенту трения*. Когда начинается проскальзывание пленки по поверхности трубки, значение, показываемое стрелкой, соответствует *динамическому коэффициенту трения*.

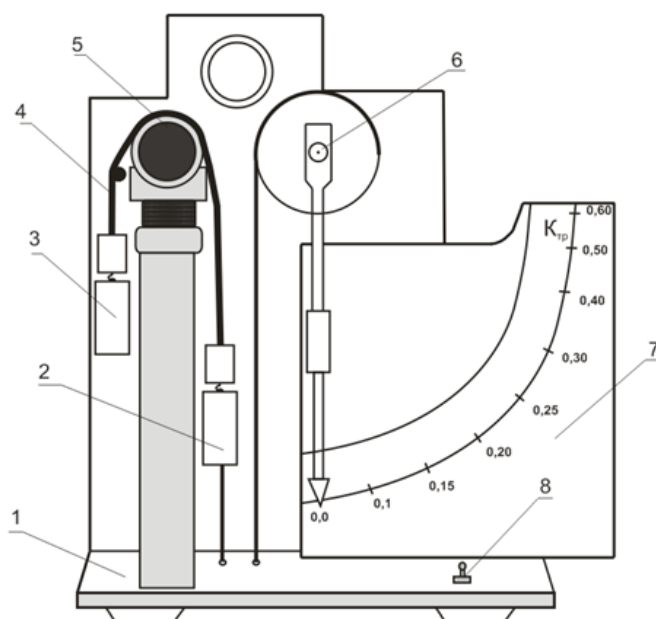


Рис 2.1. Прибор для определения коэффициента трения:

- 1 – установочная плита, 2, 3 – грузы, закрепленные на концах образца, 4 – образец плёнки, 5 – вращающаяся съемная трубка, 6 – стрелка, 7 – выдвижная шкала, 8 – тумблер включения/выключения двигателя

Методика проведения эксперимента

1. Для испытаний вырезают по три образца разных полимерных пленок в виде полоски длиной 20 см и шириной 2 см.

2. Толщину пленки измеряют с помощью микрометра по ГОСТ 17035-86 по методу А.
3. Включают прибор в сеть.
4. Устанавливают полированную поверхность съемной трубки (5).
5. Для проведения испытания исследуемый образец закрепляют в зажимы и приводят в контакт с рабочей поверхностью.
6. Включают двигатель прибора с помощью тумблера (8). По шкале прибора зафиксировать коэффициент трения.
7. После проведения испытания выключают двигатель прибора и устанавливают стрелку в исходное положение.
8. Устанавливают другую поверхность съемной трубки (5) – поверхность, имеющую «накатку», и проводят испытания по п.п. 5-7.
9. Выключают прибор из сети.
10. Результаты испытания заносят в табл. 2.1. За результат испытаний принимают среднее арифметическое значение трех измерений коэффициента трения для каждого образца.

Таблица 2.1

Результаты испытаний

| № | Образец | Толщина, мкм | Коэффициент трения, $K_{тр}$ | | | |
|---|---------|--------------|------------------------------|---------------|--------------------------------|---------------|
| | | | Полированная поверхность | | Поверхность, имеющая «накатку» | |
| | | | <i>статич.</i> | <i>динам.</i> | <i>статич.</i> | <i>динам.</i> |
| | | | | | | |

11. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы по работе.

2.3. Контрольные вопросы

1. Какие виды трения проявляются в технике?
2. Как теоретически определяется коэффициент трения?
3. Какие методы могут применяться для определения коэффициента трения материалов?
4. Какое испытательное оборудование может применяться для экспериментального определения коэффициентов трения материалов?
5. Как устроена и работает испытательная установка, использованная в лабораторной работе?
6. Как определяют статический и динамический коэффициенты трения?
7. Какое влияние оказывает коэффициент трения упаковочных материалов на качественную работу упаковочного и полиграфического оборудования?
8. Как согласуются полученные результаты с литературными данными?
9. Какими способами можно изменить коэффициент трения?

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ИСПЫТАНИЕ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ИЗНОС

Цель работы:

1. Освоение методики определения износа упаковочных материалов.
2. Определение показателей износа упаковочных материалов.
3. Изучение износостойкости материалов во времени.

3.1. Теоретическое введение

Процессы трения полимерных материалов усложняются за счет явлений износа или истирания. Испытаниями на износ и истирание выявляют поведение поверхностных слоев материалов после длительного воздействия сил трения, а также изменение массы образцов.

В процессе деформирования полимера при трении за каждой неровностью контртела полимер растягивается, а затем сокращается, испытывая многократные знакопеременные нагрузки. Это приводит к накоплению в полимере повреждений, приводящих к отделению частиц с поверхности трения.

Изнашивание – процесс разрушения и отделения материала с поверхности твердого тела и (или) накопления его остаточной деформации при трении, проявляющейся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела.

Износостойкость – свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения.

Износостойкость материала определяют следующие показатели:

- *износ* – изменение массы изделий, их размеров или изменение параметров изделия, зависящих от износа поверхностей или сопряжений;

- *скорость изнашивания* – отношение значения износа к интервалу времени, в течение которого он возник (мгновенная - в определенный момент времени, средняя - за определенный интервал времени);

- *интенсивность изнашивания* (мгновенная, средняя) – отношение значения износа к обусловленному пути, на котором происходит изнашивание, или объему выполненной работы.

Величина износа по массе определяется путем взвешивания образцов на аналитических весах с точностью до 1 мг, а линейный износ – путем измерения диаметра образца микрометром с точностью до 1 мкм, через определенное число циклов испытаний.

Физическую модель износа приближенно можно представить в следующем виде. При скольжении микронеровности по контртелу перед ней возникает лобовой валик деформированного материала, который находится под воздействием сжимающих напряжений. За микронеровностью, вследствие сил трения, материал растягивается. Таким образом, множество зон на поверхности испытывает при трении знакопеременное деформирование. Многократные повторные деформации приводят к физическим и химическим изменениям поверхностного слоя и накоплению в нём повреждений, приводящим к отделению частиц износа.

Виды изнашивания сопряженных поверхностей деталей при работе полиграфических и упаковочных машин весьма разнообразны. Это связано с комплексным воздействием механических, физико-химических и электрохимических процессов при

контакте, а так же, внешних факторов окружающей среды, таких, как температура, влажность, агрессивность среды и т.п. Совокупность явлений в процессе трения определяет вид изнашивания и его интенсивность.

В современных расчетах на износ при установившемся процессе изнашивания используют следующие параметры изнашивания:

- Интенсивность износа равна отношению изменения размера, массы, изнашиваемого изделия или затрат энергии на этот процесс к пути трения, называемого пробегом. Соответственно различают интенсивности износа:

$$J_h = \frac{\Delta h}{L}, \quad (3.1)$$

$$J_g = \frac{\Delta g}{L}, \quad (3.2)$$

$$J_w = \frac{\Delta A_{тр.}}{L}, \quad (3.3)$$

где J_h – линейный износ (мкм/м, м/м);

J_g – массовый износ (мг/м, г/км);

J_w – энергетический износ (Дж/м);

$\Delta h, \Delta g$ – толщина и масса изношенного слоя;

L – путь трения;

$\Delta A_{тр.}$ – работа сил трения (Дж).

- Износостойкость – величина, обратная интенсивности износа:

$$I = \frac{1}{J}, \quad (3.4)$$

где I – износостойкость. Соответственно различают износостойкость линейную (безразмерная величина), массовую (м/мг) или энергетическую (м/Дж).

- Скорость изнашивания – интенсивность изнашивания во времени t :

$$I_{h(t)} = \frac{\Delta h}{t}, \quad (3.5)$$

$I_{h(t)}$ – скорость изнашивания.

3.2. Практическая часть

Материалы: образцы упаковочных материалов (по заданию преподавателя).

Приборы: установка для определения износа, ножницы, микрометр, толщиномер, аналитические весы.

Описание установки

Для определения износа материалов используется установка для испытания упаковочных материалов на износостойкость (рис. 3.1), которая предназначена для определения стойкости материалов к износу. Принцип работы установки основан на

истирании поверхности испытуемого образца определенных размеров при механическом воздействии трущей части вала установки за определенный промежуток времени.

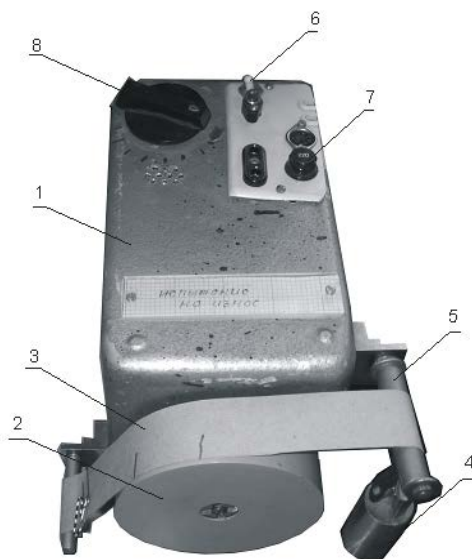


Рис. 3.1. Установка для проведения испытаний упаковочных материалов на износостойкость: 1 – корпус; 2 – вращающийся вал; 3 – испытуемый образец; 4 – контртело (груз); 5 – штыри для закрепления образца; 6 – тумблер включения/выключения; 7 – предохранитель; 8 – ручка включения таймера

Установка состоит из корпуса (1), вращающегося вала (2), размещенного с торца корпуса, на который закрепляется испытуемый образец (3) с контртелом (4) с помощью штырьков (5). Электродвигатель, который и приводит в работу вал (2), закреплен внутри корпуса (1).

В качестве контртела (4) используется груз массой 263 ± 5 г, который крепится к одному концу испытуемого образца 3, и обеспечивает большую площадь прилегания образца к вращающемуся валу (2).

Включение/выключение установки осуществляется с помощью тумблера (6). На корпусе (1) установки находится предохранитель (7), который защищает электрическую схему установки от перегрузки. С помощью ручки включения таймера (8) задается время испытания в интервале от 1 до 7 минут.

Методика проведения эксперимента

1. Для испытаний вырезают по три образца каждого вида упаковочного материала в виде полоски длиной 35 см и шириной 3 см.
2. Перед испытанием замеряют первоначальные параметры исследуемого образца: толщину – толщиномером (или микрометром), массу – на аналитических весах.
3. Включают прибор в сеть.
4. Устанавливают исследуемый образец на вращающийся вал, используя зажимы и стандартный груз.

5. Включают двигатель прибора. С помощью часового механизма устанавливают время испытания.

6. После истечения заданного времени испытания (по заданию преподавателя), замерить параметры образца. Результаты испытания занести в табл. 3.1. За результат испытаний принимают среднее арифметическое значение показателей износа трех образцов.

Таблица 3.1

Результаты испытаний

| № | Наименование образца | Параметры | | | |
|---|----------------------|--------------|--------------|-----------|--------------|
| | | Толщина, мкм | | Масса, г | |
| | | <i>до</i> | <i>после</i> | <i>до</i> | <i>после</i> |
| | | | | | |

7. Выключают двигатель прибора и выключают прибор из сети.

8. Проводят расчет параметров изнашивания по формулам (3.1-3.5). Полученные результаты заносят в табл. 3.2.

9. Для построения зависимости износостойкости от времени проводят серию испытаний для одного образца (табл. 3.3). По полученным результатам строят графики.

Таблица 3.2

Результаты расчетов

| № | Образец | Линейный износ | | | Массовый износ | | |
|---|---------|----------------------|-----------------|----------------------|----------------------|-----------------|----------------------|
| | | Интенсивность износа | Износостойкость | Скорость изнашивания | Интенсивность износа | Износостойкость | Скорость изнашивания |
| | | | | | | | |

Таблица 3.3

Результаты испытаний

| Параметры | Время, мин. | | | |
|-----------------|-------------|---|---|---|
| | 1 | 3 | 5 | 7 |
| Толщина, мкм | | | | |
| Износостойкость | | | | |
| Масса, г | | | | |
| Износостойкость | | | | |

10. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы по работе.

3.3. Контрольные вопросы

1. Дайте краткие определения основным понятиям: изнашивание, износ, износоустойчивость и др.
2. Дайте определения и напишите формулы линейной, объемной, массовой, энергетической интенсивностям износа.
3. Какие средства используются для экспериментального определения линейного и массового износа образца.
4. Дайте определение и напишите формулу скорости изнашивания. Как связана скорость изнашивания с линейной интенсивностью изнашивания?
5. Какие основные факторы определяют интенсивность изнашивания?
6. Какова роль смазки в процессах изнашивания, как классифицируются процессы трения в зависимости от вида и способа смазки. Приведите примеры различных смазочных материалов.
7. В каких координатах строятся графики износа (интенсивности изнашивания), как установить по графикам область установившегося изнашивания?

4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТОЙКОСТИ К ПРОКОЛУ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЁНОК

Цель работы:

1. Изучение и освоение методики испытания стойкости к проколу.
2. Определение стойкости к проколу упаковочных материалов.

4.1. Теоретическое введение

Полимерные плёнки имеют ряд важных для переработчиков и конечных потребителей показателей: механическую прочность, жесткость, способность противостоять проколу и раздиру, прозрачность или, наоборот, равномерность прокраса, свариваемость и т.д. Все это необходимо для того, чтобы при переработке пленки в упаковку иметь возможность использовать высокопроизводительное, имеющее рабочие скорости до 500 м/мин, оборудование для нанесения печати и ламинирования. Высококачественная пленка позволяет получать прочные и равномерные сварные швы на скоростных пакетосварочных машинах. Нужно высокое качество и при скоростной групповой упаковке в термоусадочную пленку, и при упаковке продукции в стрейч-плёнки.

Показателями качества могли бы служить лабораторные показатели: отклонения толщины, светопропускания и прозрачности и другие физико-механические показатели. Пакеты испытывают на механическую прочность, наливая в них воду и выдерживая определенное время. Упаковку с сухой смесью сбрасывают с определенной высоты. Сварные швы испытывают на герметичность. Термоусадочную пленку испытывают на коэффициенты усадки и остаточную прочность. Испытывают пленку и на скоростных машинах для нанесения рисунка, сварки и ламинирования. Иногда технологи просто кладут аккуратно вырезанный кусок пленки на стол и по тому, насколько ровно он лежит, определяют, можно ли использовать данную пленку для ламинирования. Окрашенную пленку рассматривают на просвет - неравномерность окраса говорит о неравномерности перемешивания красителя или о неравномерной толщине. Существует множество подобных испытаний.

Для большинства упаковочных пленок одно из важных для потребителя свойств является устойчивость к проколу, так как во время транспортировки, складирования и хранения они подвержены повреждениям (проколам, надрывам и т. д.). Исследование материала на прокол важно при погрузке и транспортировке мешков, упаковки метизной продукции, для упаковывания «сложных» продуктов (например, мясо на кости) и т.д.

Определение величины стойкости к проколу особенно важно для контроля качества стрейч пленок. Измерения производятся в соответствии с ГОСТ 12.4.118 для полимерных материалов и искусственной кожи. Настоящий стандарт устанавливает метод определения стойкости к проколу пленочных полимерных материалов, искусственных кож и изделий из них, применяемых для средств защиты рук. Сущность метода заключается в определении величины силы прокола при постоянной скорости перемещения индентора. Результатом определения является показатель величины силы прокола.

Определение величины стойкости к проколу проводится на разрывной машине с реверсом при скорости подвижного зажима (500±50) мм/мин. Реверс снабжен приспособлением для крепления образца и индентора прокалывающей иглы. Приспособление должно обеспечивать движение прокалывающей иглы перпендикулярно

поверхности образца. В качестве прокалывающей иглы используется трубчатая игла для взятия крови (диаметром 2,6 мм), которая должна соответствовать требованиям на изделия медицинского назначения.

На рис. 4.1 представлен график, отражающий процесс прокола полимерной пленки, который состоит из двух стадий.

Первая стадия (отрезок а-б) характеризует растяжение материала под давлением индентора, напряжение плавно возрастает до точки б, где происходит разрушение материала. Точка б является точкой максимального напряжения, что соответствует напряжению прокола. Отрезок б-с характеризует процесс после механического разрушения образца. После образования отверстия напряжение резко падает, что на графике соответствует отрезку б-с.

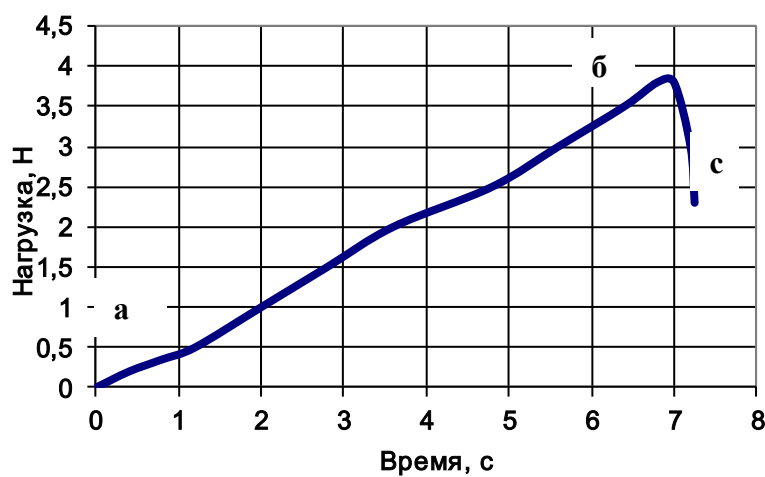


Рис. 4.1. Типичный график прокола полимерной плёнки

4.2. Практическая часть

Материалы и оборудование:

1. Образцы упаковочных полимерных материалов;
2. Установка для определения усилия прокола;
3. Толщиномер.

Описание установки

Оценить стойкость к проколу упаковочных полимерных материалов можно, используя установку со специальным устройством для закрепления образца пленки (рис. 4.2). Приспособление для закрепления материала представляет собой стакан 3, на который с обеих сторон крепятся образцы с помощью колец с резьбой. К установке подключен милливольтметр, который регистрирует усилие прокола в милливольтгах.

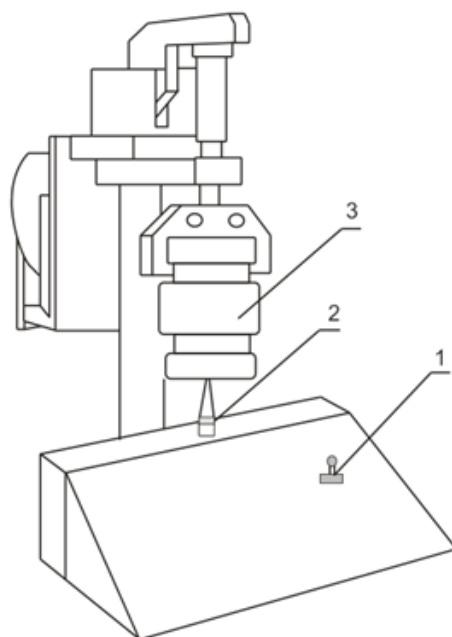


Рис. 4.2. Установка для определения усилия прокола:
1 – включатель; 2 - индентор; 3 – стакан с образцами

Подготовка образцов

Для испытаний вырезают не менее пяти образцов в виде дисков диаметром $30,0 \pm 1,0$ мм. Поверхность образцов должна быть без трещин и вкраплений.

Толщину пленки измеряют с помощью микрометра в соответствии с ГОСТ 17035-86 (по методу А) в центре образца.

Порядок проведения испытаний

1. Включить прибор в сеть.
2. Закрепить образцы в стакане 3 и вставить в верхние пазы прибора (рис. 1). Приспособление должно обеспечивать движение индентора 2 перпендикулярно к поверхности образца.
3. Включить двигатель прибора.
4. Как только происходит прокол образца, стакан поднимается и фиксируется в исходном положении, прибор останавливается, на милливольтметре фиксируют результат измерения.
5. Данные, получаемые в ходе испытаний, выражаются в милливольтгах. Для перевода милливольт в граммы используют градуировочный график (рис. 4.3). Чтобы перевести граммы в Ньютоны, используют равенство: $1 \text{ Н} = 100 \text{ г}$.
6. Для материала наиболее устойчивого к проколу зафиксировать усилие через одинаковые промежутки времени, чтобы построить график зависимости усилия от времени, по мере того, как стакан с образцами опускается на прокалывающее приспособление. Результаты свести в табл. 4.1.

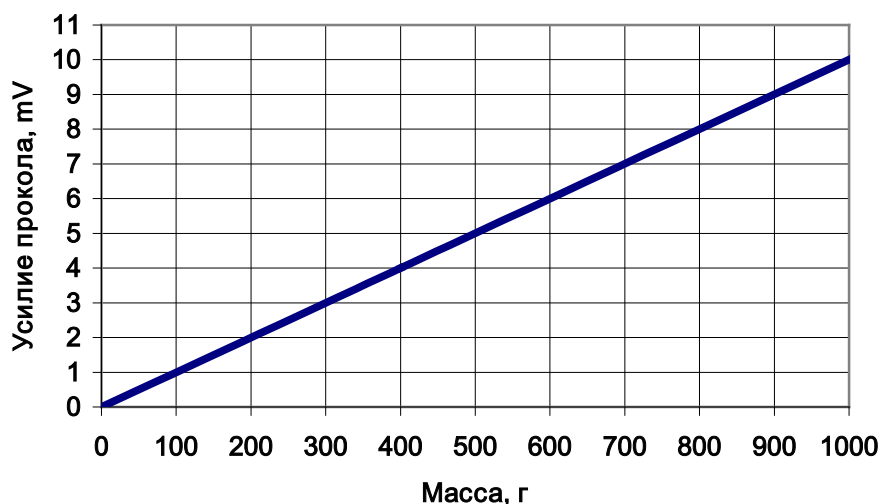


Рис. 4.3. Градуировочный график

Таблица 4.1

Результаты испытания _____ плёнки на прокол

| | | | | | |
|-------------|--|--|--|--|--|
| Время, с | | | | | |
| Нагрузка, Н | | | | | |

7. После проведения испытаний прибор отключить от сети.

Обработка результатов

1. За показатель стойкости к проколу принимают силу прокола, выраженную в Н (кгс).

2. За показатель сопротивления проколу принимают нормальное растягивающее напряжение в момент разрушения материала, которое определяется по формуле:

$$\sigma = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot D^2}, \quad (4.1)$$

где σ - нормальное растягивающее напряжение в момент разрушения материала, МПа;

F - нагрузка, при которой происходит прокол материала, Н;

D - диаметр индентора, мм (D=1 мм).

3. За результат испытания принимают среднюю силу прокола при условии, если значение отдельного измерения не превышает $\pm 15\%$ от среднего значения. Данные расчета свести в табл. 4.2.

Результаты испытаний упаковочных материалов

| Материал | Толщина образца, мм | Усилие прокола F | | Нормальное растягивающее напряжение при проколе σ , МПа |
|----------|---------------------|------------------|---|--|
| | | mV | H | |
| | | | | |
| | | | | |
| среднее | | | | |

4. По данным табл. 1 построить график в координатах «нагрузка-время» и описать протекающие процессы при проколе материала.

5. Сделать выводы по работе.

4.3. Контрольные вопросы

1. Какими прочностными характеристиками должны обладать полимерные пленки, чтобы обеспечить защитные свойства упаковки?

2. Для каких целей проводят исследование на прокол?

3. Какое оборудование используется для определения усилия прокола?

4. В чем заключается метод определения стойкости к проколу?

5. Какие образцы используются для испытания?

6. Какие показатели были определены и рассчитаны в ходе лабораторной работы?

7. Опишите график зависимости «нагрузка-время», отражающий прокол материала.

8. Влияет ли толщина материала пленки на усилие прокола?

9. Какие из исследованных полимерных материалов имеют высокую стойкость к проколу?

5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ НА РАЗРЫВ И УДЛИНЕНИЯ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ БУМАГИ

Цель работы:

1. Определение прочностных параметров бумаги в соответствии с ГОСТ 13525.1-79 «Полуфабрикаты волокнистые, бумага и картон. Методы определения прочности на разрыв и удлинения при растяжении».
2. Изучение влияния на прочностные показатели бумаги атмосферных факторов (влаги и тепла).

5.1. Теоретическое введение

Механическая прочность – одно из основных и важных свойств большинства видов бумаги. Повышенные требования механической прочности предъявляются к таким видам бумаги, как мешочная, шпагатная, оберточная и т.п., что объясняется потребительскими условиями использования подобного рода бумаги.

Прочность бумаги в зависимости от природы воздействующей на бумагу силы выражают различными показателями, характеризующими сопротивление бумаги разрыву, излому, продавливанию, надрыву, ударной нагрузке и пр. Все эти показатели отражают величину тех показателей, которые приводят к нарушению целостности и необратимому изменению структуры бумаги.

Более правильную оценку свойств бумаги в условиях практического применения можно получить, пользуясь показателями деформационных свойств бумаги, проявляющихся в условиях сохранения целостности, когда изменяются только формы и размеры используемого образца без его разрушения. Таким деформационным показателем бумаги является **удлинение ее до разрыва (растяжимость)**. Удлинение бумаги до разрыва характеризует способность бумаги растягиваться под нагрузкой без разрыва. В ряде случаев практического применения бумаги показатель относительного ее удлинения до разрыва, выраженный в процентах, лучше характеризует прочностные свойства бумаги, чем численные значения ее сопротивления разрыву, выраженные в единицах разрывной длины.

Механизм разрыва бумаги, подвергаемой натяжению, можно представить как происходящий в две стадии. В первой стадии идет медленное разрушение межволоконных связей без разрыва волокон, а во второй – быстрый разрыв волокон и связей вдоль конечной зоны разрушения структуры бумаги.

В бумажной промышленности сопротивление бумаги разрыву характеризуют разрывной длиной. Если на полоску бумаги воздействовать все возрастающей силой и затем построить график зависимости деформации от величины нагрузки (рис. 5.1), то в первый период времени бумага ведет себя как упругое тело и согласно закону Гука начальный участок кривой будет прямолинейным.

После прекращения действия дальнейшего удлинения растянутая полоска бумаги восстановит свои первоначальные свойства и сожмется до удлинения, равному нулю. В последующем проявляются пластические свойства бумаги и вследствие ее текучести прямолинейная зависимость между нагрузкой и деформацией переходит в криволинейную.

Точка, являющаяся границей между первоначальным прямолинейным и криволинейным участками графика, характеризует **предел упругости** образца бумаги.

Этой точке на оси абсцисс соответствует деформация удлинения при пределе упругости, а на оси ординат – нагрузка при пределе упругости.

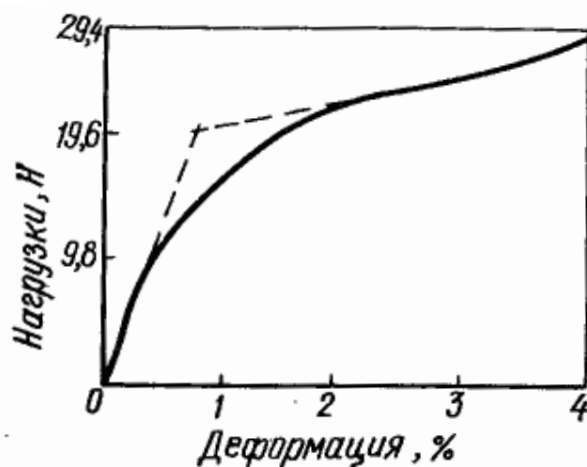


Рис. 5.1. Зависимость удлинения бумаги от нагрузки

Нагрузка, превышающая предел упругости, влечет за собой появление эластической деформации, постепенно нарастающей и полностью исчезающей при снятии нагрузки.

Дальнейшее увеличение нагрузки приводит к появлению пластической деформации. Как видно из рис. 5.1, криволинейный участок графической зависимости в дальнейшем переходит вновь в прямолинейный, который может быть продолжен до момента разрыва бумаги, т.е. до точки, характеризующей предел ее прочности.

Физический смысл происходящих явлений при деформировании бумаги под влиянием приложенной к ней силы сводится к следующему. Область упругой деформации характеризуется изменением межмолекулярных расстояний в структуре бумаги, а также отдельных волокон. Замедленно упругая деформация, или эластическая, называемая также деформацией упругого последствия, характеризуется изменением расстояний между взаимно связанными молекулами на поверхности волокон, а также конфигурации волокон в целом. При пластической деформации волокна смещаются необратимо с нарушением молекулярных связей между сопряженными поверхностями.

Растягивающее усилие и величина удлинения вплоть до разрыва фиксируются в виде диаграммы «нагрузка–удлинение». Площадь, ограниченная проведенной кривой и осью абсцисс на этой диаграмме, представляет собой **работу разрыва** A и принимается в качестве меры энергии:

$$A = k \cdot P \cdot \varepsilon, \quad (5.1)$$

где k – коэффициент полноты заполнения диаграммы напряжением - деформация;

P – разрывное усилие полоски бумаги, кгс;

ε – удлинение полоски бумаги, мм.

Для расчетов принимают в машинном направлении бумаги $k = 0,62$, в поперечном направлении $k = 0,72$.

Влияние работы разрыва бумаги на прочность бумажных мешков особенно наглядно проявляется при сопоставлении бумаги нормального формирования с легко- и микрокрепированной бумагой. Несмотря на снижение разрывного усилия после

крепирования бумаги, площадь диаграммы (работа разрыва) значительно увеличивается благодаря повышению удлинения бумаги вдоль полотна (рис. 5.2).

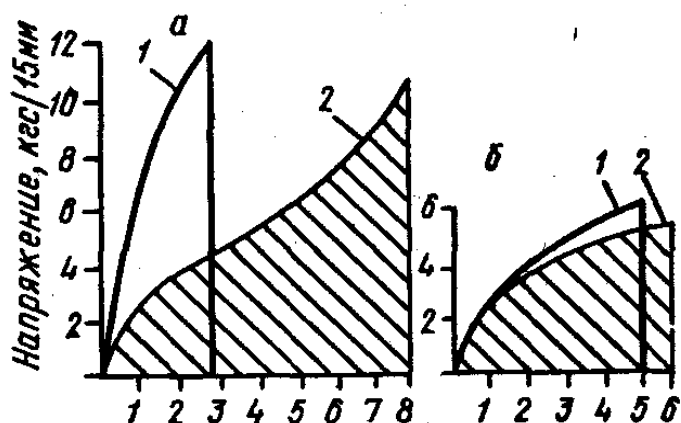


Рис. 5.2. Влияние нагрузки на удлинение мешочной бумаги
 а – в машинном направлении; б – в поперечном направлении;
 1 – бумага обычная; 2 – бумага микрокрепированная

Ниже приведены формулы для расчета основных прочностных свойств упаковочных материалов на основе бумаги и картона.

Прочность при растяжении (кН/м) - отношение максимальной растягивающей силы, которую выдерживает образец до его разрушения, к ширине испытуемого образца, вычисляют по формуле:

$$\sigma = \frac{P}{b}, \quad (5.2)$$

где P – разрушающее усилие, Н;

b – ширина образца, мм

Результат определения прочности при растяжении округляют до третьей значащей цифры.

Разрывная длина (м) - расчетная длина полоски бумаги (картона), определенной ширины, которая будучи подвешенной за один конец разорвалась бы под действием собственной массы, рассчитывают по формуле:

$$L = \frac{l_0 \cdot P}{9,8m}, \quad (5.3)$$

где l_0 - номинальное расстояние между зажимами, мм;

m – масса образца, г.

Результат округляют с точностью до 50 при L до 5000 м, 100 при L св. 5000 м.

Относительное удлинение при растяжении (%) - отношение удлинения в момент разрушения образца к первоначальной его длине между кромками зажимов, вычисляют по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100, \quad (5.4)$$

где l_0 - номинальное расстояние между зажимами, мм;

Δl - среднее арифметическое значение удлинения всех испытываемых образцов, мм.

5.2. Практическая часть

Материалы: упаковочные бумаги, картон (по заданию преподавателя).

Оборудование:

1. Испытательная машина ИП 5158-0.5,
2. Толщиномер индикаторного типа,
3. Канцелярский нож,
4. Аналитические весы.
5. Сушильный шкаф.
6. Эксикатор с водой.

Подготовка образцов

Для проведения испытания определяют удельную массу 1 м^2 бумаги. Для этого необходимо вырезать образец бумаги размером $10 \times 10 \text{ см}$ (площадью $0,01 \text{ м}^2$), взвесить его с точностью до четвертого знака после запятой. Чтобы определить массу 1 м^2 бумаги, надо полученное значение веса умножить на 100.

Для испытаний вырезают по пять образцов в машинном и поперечном направлениях. Толщину образцов измеряют с помощью толщиномера индикаторного типа, цена деления которого составляет $0,01 \text{ мм}$. Измерение производят в пяти точках образца (в углах и центре), а затем рассчитывают среднее арифметическое значение.

Для исследования влияния увлажнения и высушивания вырезают еще четыре образца для каждого направления и подготавливают следующим образом:

- два образца для каждого направления помещают в сушильный шкаф, нагретый до температуры $60 \pm 2^\circ \text{C}$ на 15 минут;
- два образца для каждого направления помещают на час в эксикатор с дистиллированной водой. Затем вынимают, промокают между двумя листами фильтровальной бумаги.

Проведение испытания

Предварительно подбирают скорость испытания, исходя из того, что разрушение образца должно пройти в период от 5 до 35 с. Рекомендуемые параметры испытания приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Параметры испытаний

| Метод | Размеры образцов, мм | Расстояние между зажимами, мм | Скорость испытания, мм/мин |
|---|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Определение прочности бумаги при растяжении | длина – 250 ширина - 15 | 100 | 10 |

Обработка результатов

1. По окончании испытания обрабатывают полученные результаты и проводят расчет по формулам 5.1-5.4 (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Результаты испытаний и расчетов

| Образец | Разрушающее усилие, Н | Удлинение перед разрывом, мм | Прочность при растяжении, кН/м | Относительное удлинение перед разрывом, % | Разрывная длина, м | Работа разрыва |
|-------------------------------|-----------------------|------------------------------|--------------------------------|---|--------------------|----------------|
| <i>Машинное направление</i> | | | | | | |
| Нормальный | | | | | | |
| Увлажненный | | | | | | |
| Высушенный | | | | | | |
| <i>Поперечное направление</i> | | | | | | |
| Нормальный | | | | | | |
| Увлажненный | | | | | | |
| Высушенный | | | | | | |

2. Сделать выводы по работе.

5.3. Контрольные вопросы

1. Какие нормативные документы регламентируют данный метод определения прочности на разрыв?
2. Как подготавливаются образцы для испытания?
3. На каком оборудовании проводят испытание?
4. Каковы параметры испытания?
5. Какими показателями характеризуется механическая прочность исследуемых материалов?
6. Какие показатели определяются?
7. Как влияет направление волокон (машинное, поперечное) на величину разрывного усилия?
8. Как влияет влажность бумаги на прочностные показатели бумаги?
9. Как влияет температура на прочностные показатели бумаги: сопротивление разрыву, относительное удлинение перед разрывом?

6. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ РАССЛАИВАНИЮ ГОФРОКАРТОНА

Цель работы:

1. Определение сопротивления расслаиванию гофрированного картона в соответствии с ГОСТ 22981-78 «Картон гофрированный. Метод определения сопротивления расслаиванию».
2. Установление соответствия определяемого показателя ГОСТ 7376-89 «Картон гофрированный. Общие технические условия».

6.1. Теоретическое введение

В процессе эксплуатации и транспортировки упаковки из гофрокартона несут различные нагрузки. Как показывает практика, основными причинами, вызывающими разрушение картонной тары в процессе ее эксплуатации, являются сжимающие или растягивающие усилия. Чаще всего гофроящики испытывают сжимающие нагрузки вдоль плоскости листа гофрокартона, вызывающие следующие деформации:

- изгиб листа гофрокартона перпендикулярно приложенной силе давления;
- локальная изгибная деформация волоконной структуры с нарушением плоскости листа;
- деформации межволоконной сетки компонентов гофрокартона.

Сопротивление гофрированного картона расслаиванию (F) в кН/м вычисляют по формуле:

$$F = \frac{F_s}{l}, \quad (6.1)$$

где F – разрушающее усилие при расслаивании, кН;

l – общая длина склейки, м.

Перечисленные свойства гофрокартона меняются под воздействием влаги. Если содержание влаги в материале увеличивается на 1 %, то значение данного показателя уменьшается на 8 %. Содержание влаги также оказывает отрицательное влияние на показатели жесткости на изгиб и сопротивление расслаиванию. Наименее чувствительным к влаге является сопротивление разрыву.

6.2. Практическая часть

Материалы: гофрированный картон различного профиля.

Оборудование: испытательная машина ИП 5158-0.5, канцелярский нож.

Подготовка образцов

Для испытания из листов гофрокартона вырезают 10 образцов прямоугольной формы для каждого места расслаивания - пару слоев, между которыми должно производиться расслаивание. Образец должен иметь ширину 50 мм, измеряемую с помощью штангенциркуля с погрешностью не более 1 мм, а по длине содержать восемь линий склейки в намеченном месте расслаивания. Линия отреза образца долж-

на проходить по линиям склейки предыдущей и последующей восьми, намеченным для расслаивания (рис. 6).

Общую длину всех испытываемых линий склейки, определяемую умножением числа одновременно испытываемых линий склейки на ширину образца, выражают в метрах и округляют до 0,001 м.

Приспособление должно обеспечивать расслаивание картона по месту склейки гофрированного и плоского слоев под воздействием растягивающего усилия, передаваемого образцу через гребенки, вставленные в гофры, как указано на рис. 6.1.

Для каждого типа гофры должно применяться приспособление с диаметром штифтов гребенок и шагом между ними, соответствующими размеру гофры.

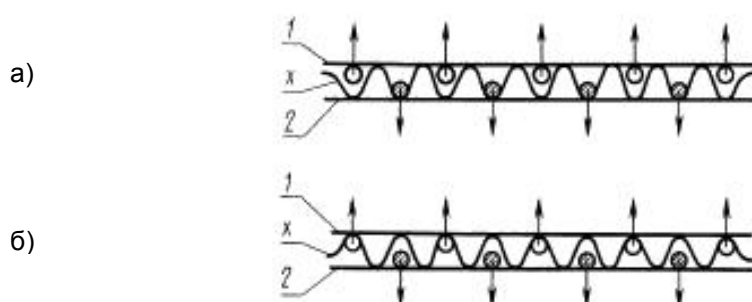


Рис. 6.1. Места расслаивания гофрированного картона при испытании: 1,2 – плоские слои, х – гофрированный слой, а – расслоение слоев 1 и х, б – расслоение слоев 2 и х, ● - верхняя гребенка; ○ - нижняя гребенка.

Проведение испытания

Метод основан на определении направленного перпендикулярно плоскости образца усилия, требующегося для отрыва гофрированного слоя от приклеенного к нему плоского слоя.

Нижнюю и верхнюю гребенки приспособления вставляют в образец с противоположных сторон в гофры между разделяемыми плоским и гофрированным слоями (рис. 6.2).

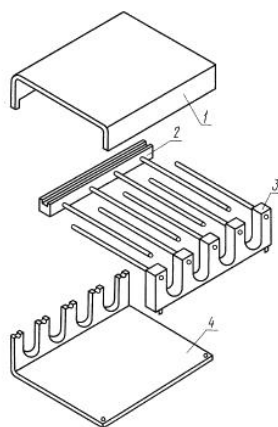


Рис. 6.2. Приспособление для расслаивания образцов гофрированного картона: 1 – крышка; 2 – верхняя гребенка; 3 – нижняя гребенка; 4 – кронштейн.

Приспособление с образцом в собранном виде помещают между плитами машины для испытания. Приведя в движение одну из плит, нагружают образец до момента прекращения роста нагрузки после расслаивания плоского и гофрированного слоев и снимают показания прибора.

Если при испытании происходит отделение другого плоского слоя, то результат не учитывают и испытание повторяют на другом образце.

В табл. 6.1 приведены размеры образцов и параметры, задаваемые перед испытанием. Для одного места расслаивания производят десять испытаний.

Таблица 6.1

Параметры испытаний

| Метод | Размеры образцов, мм | Расстояние между зажимами, мм | Скорость испытания, мм/мин |
|---|-------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Определение сопротивления расслаиванию гофрокартона | ширина – 50 8 гофров | 50 | 12,5±2,5 |

Обработка результатов

1. Сопротивление гофрированного картона расслаиванию вычисляют по формуле 6.1. В табл. 6.2 заносят результаты испытаний и расчета.

Таблица 6.2

Результаты

| № | Максимальная нагрузка, Н | Сопротивление расслаиванию, кН/м |
|---|--------------------------|----------------------------------|
| | | |

За результат испытания принимают среднее арифметическое значение результатов десяти определений. Результат округляют с точностью до двух значащих цифр.

2. Сделать выводы по работе.

6.3. Контрольные вопросы

1. Какие нормативные документы регламентируют метод определения сопротивления расслаиванию гофрированного картона?
2. Как подготавливаются образцы для испытания?
3. Каковы параметры испытания?
4. Как рассчитывается длина склейки?
5. Как устанавливается образец картона в захваты?
6. Какие результаты не учитываются?
7. Какой показатель был определен и что он характеризует?

7. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТОРЦЕВОМУ СЖАТИЮ ГОФРОКАРТОНА

Цель работы:

1. Определение сопротивления торцевому сжатию гофрированного картона в соответствии с ГОСТ 20683–97 «Картон тарный. Метод определения сопротивления торцевому сжатию (метод непарафинированного торца)».
2. Установление соответствия определяемого показателя ГОСТ 7376-89 «Картон гофрированный. Общие технические условия».

7.1. Теоретическое введение

Деформация картона зависит от количественного значения следующих показателей:

- сопротивления торцевому сжатию;
- сопротивления расслаиванию;
- жесткости на изгиб;
- сопротивления разрыву.

Сопротивление торцевому сжатию является наиболее значимым свойством при сжимающих нагрузках, а также при определении марки гофрокартона. Сопротивление торцевому сжатию картона вычисляют по формуле:

$$R = 0,01F, \quad (7.1)$$

где R – сопротивление торцевому сжатию, кН/м;

F – среднее арифметическое значение всех измерений разрушающего усилия, Н.

Сопротивление торцевому сжатию используют для оценки сопротивления гофрокартона сжатию. Измеряется этот параметр в килоньютонах на метр (кН/м). Испытание проводят по стандарту ГОСТ 20683–97 на образце картона, устанавливаемом вертикально между горизонтальными плитами (гофры также ориентированы вертикально).

7.2. Практическая часть

Материалы: гофрированный картон различного профиля.

Оборудование: испытательная машина ИП 5158-0.5, канцелярский нож.

Методика и порядок выполнения работы

1. **Подготовка образцов.** Из отобранных листов пробы нарезают десять образцов прямоугольной формы (размеры указаны в табл. 13). Отклонение от параллельности между длинными сторонами образца не должно превышать 0,1 мм. Испытуемые образцы гофрированного картона нарезают таким образом, чтобы ширина образцов ($25,0 \pm 0,5$) мм совпадала с направлением гофров.

2. **Проведение испытания.** Сущность метода заключается в измерении разрушающего усилия при сжатии образца картона, поставленного на торец. Задать параметры испытания (табл. 7.1).

3. При разведенном положении плит разрывной машины образец ставят длинной стороной на торец между поддерживающими брусками в середину нижней плиты прибора. Приведя в движение одну из плит, нагружают образец и, когда усилие достигнет от 40 до 50 Н, убирают поддерживающие бруски, не выключая прибора. Нагружение образца продолжают до его разрушения и фиксируют показания прибора.

Таблица 7.1

Параметры испытаний

| Метод | Размеры образцов, мм | Предварительная нагрузка, Н | Скорость испытания, мм/мин |
|---|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Определение сопротивления торцевому сжатию гофрокартона | длина – 100 ширина - 25 | 40-50 | 12,5 |

4. **Обработка результатов.** Сопротивление торцевому сжатию картона вычисляют по формуле 7.1. В табл. 7.2 заносят результаты испытаний и расчета.

Таблица 7.2

Результаты

| № | Максимальная нагрузка, Н | Сопротивление торцевому сжатию, кН/м |
|---|--------------------------|--------------------------------------|
| | | |

Результат испытания округляют до двух значащих цифр. Относительная погрешность результатов определения сопротивления торцевому сжатию не должна превышать $\pm 5\%$ с доверительной вероятностью $P = 0,95$.

5. Сделать выводы по работе.

7.3. Контрольные вопросы

1. Какие нормативные документы регламентируют метод определения сопротивления торцевому сжатию гофрированного картона?

2. В чем заключается сущность метода?

3. Как подготавливаются образцы для испытания?

4. Каковы параметры испытания?

5. Какой показатель был определен и что он характеризует?

6. Как влажность влияет на величину сопротивления торцевому сжатию гофрокартона?

8. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ИСПЫТАНИЕ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СЖАТИЕ

Цель работы:

1. Определение напряжения при сжатии упаковочных материалов при установленной деформации.
2. Сравнение механических свойств сотового полипропилена и гофрокартона.

8.1. Теоретическое введение

Испытание на сжатие заключается в деформировании образца в условиях однородного и одноосного напряженного состояния до разрушения или достижения определенного значения деформации.

Для испытаний на сжатие используются, как правило, короткие образцы с отношением высоты к диаметру в пределах 1:3. Применение высоких образцов невозможно, так как такие образцы будут изгибаться. Образцы изготавливаются с соблюдением жестких допусков на перпендикулярность его оси к торцам.

Испытание на сжатие имеет характерные особенности:

- образцы из пластичных материалов не разрушаются, испытывая большую деформацию, чем при разрыве в условиях растяжения;
- результаты испытаний образцов на сжатие существенно зависят от отношения высоты образца к его диаметру;
- на предел прочности и характеристики пластичности заметно влияют силы трения на опорных торцах образца.

При испытании на сжатие предъявляются высокие требования к центрированию образца и отсутствию взаимного перекоса нажимных плит, передающих силу на образец.

При испытании на сжатие образец стандартной формы и размеров из исследуемого материала помещается в испытательную машину и подвергается непрерывному плавному деформированию до заданного значения деформации или до разрушения.

В процессе нагружения образца сжимающими силами его высота уменьшается, а диаметр увеличивается, причем по высоте образца его диаметр увеличивается неравномерно. Это приводит к существенному изменению формы – образец становится бочкообразным. Бочкообразность образца при сжатии возникает из-за трения между контактирующими поверхностями образца и нажимных плит. Напряженное состояние в образце при развитой бочкообразности неодносное и неоднородное. Так как учесть эту неоднородность не представляется возможным, принимается, что по всему объему образца напряженное состояние однородное и одноосное. Для уменьшения бочкообразности образца стремятся уменьшить силы трения путем введения смазки в зону контакта.

В процессе испытания на сжатие регистрируется зависимость между сжимающей силой F и укорочением расчетной высоты h_0 образца в виде диаграммы сжатия образца. Диаграмма сжатия образца позволяет оценить поведение материала образца в упругой и упругопластической стадиях деформирования и определить характеристики механических свойств материала.

8.2. Практическая часть

Материалы: сотовый полипропилен, гофрокартон.

Оборудование: испытательная машина ИП 5158-0,5 (условия испытаний: скорость испытания 10 ± 3 мм/мин); микрометр.

Порядок проведения испытаний

1. Подготавливают по 10 образцов каждого материала. Образцы вырезают прямоугольной формы длиной 30 мм и шириной в 10 перегородок. Микрометром измеряют характерные линейные размеры испытуемых образцов, данные вносят в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Данные образцов

| Образец | Толщина листа, мм | Плотность, г/м ² | Толщина перегородки, мм | Толщина плоских слоев, мм |
|---------|-------------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------------|
| | | | | |

2. Устанавливают образец между опорными площадками так, чтобы вертикальная ось образца совпадала с направлением действия нагрузки. Регулируют машину до осуществления соприкосновения образца с площадками.

3. Задают требуемую скорость сближения опорных площадок.

4. На Пульт оператора испытательной машины ИП 5158-0,5 выбирают критерий остановки испытания «До заданной деформации» и устанавливают значение деформации в мм, соответствующее 10 % от толщины листа.

5. Машину приводят в действие и записывают значения определяемых показателей в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Результаты испытаний

| Образец | Максимальная нагрузка, Н | Напряжение сжатия при 10%-ной деформации, МПа | Примечание |
|---------|--------------------------|---|------------|
| | | | |
| | | | |

Обработка результатов

1. Напряжение сжатия при установленной условной деформации в МПа вычисляют по формуле:

$$\sigma_{сж}^{10} = \frac{F}{\ell \cdot 10 \cdot d}, \quad (8.1)$$

где F – нагрузки, соответствующие вычислению $\sigma_{сж}$, Н;

ℓ – длина, мм;

10 – количество перегородок;

d – толщина перегородки, мм.

Например, лист толщиной 3 мм, толщина перегородки – 0,2 мм, длина образца – 40,8 мм, количество перегородок в образце – 10. Усилие сжатия при 10 %-ной деформации и нагрузке F = 372 Н составит:

$$\sigma_{сж}^{10} = \frac{372}{40,8 \cdot 10 \cdot 0,2} = 4,6 \text{ МПа.}$$

2. Сделать вывод по результатам испытаний.

8.3. Контрольные вопросы

1. Какие нормативные документы регламентируют испытание на сжатие?
2. В чем состоит сущность методов испытания на сжатия?
3. Какое оборудование используется для проведения испытания на сжатие?
4. При каких условиях проводят испытание на сжатие?
5. Приведите различные варианты нагружений для тары в форме параллелепипеда и цилиндра.
6. Какие показатели определяются при испытании материала на сжатие?
7. Какая тара считается выдержавшей испытания?
8. Как влияет вид перегородок (косые, прямые) на напряжение сжатия при условной деформации?

9. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИМЕРОВ МЕТОДОМ СИНХРОННОГО ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Цель работы:

1. Ознакомление с методом синхронного термического анализа и его использованием для идентификации полимеров.
2. Определение ключевых характеристик полимеров (температуры плавления и разложения, кристалличность, энергия активации).

9.1. Теоретическое введение

На сегодняшний день полимерную упаковку производят из различных материалов, используя разнообразные технологии. Практически невозможно идентифицировать материал на основе визуальной оценки или данных простых механических испытаний. При этом существует множество причин, из-за которых необходимо идентифицировать полимер. Одна из наиболее часто встречающихся причин является желание установить, из какого материала сделано конкурирующее изделие. Иногда бывает необходимо проверить, действительно ли заявленный материал был использован.

Производитель упаковки для пищевых продуктов из полимерного сырья также испытывает необходимость определить, какой материал, и какого качества он получает от различных источников. Довольно часто к переработчику попадают большие количества сырья с утерянной идентификационной маркой, или же на складе хранится материал без надлежащей этикетки. Кроме того, дефектные изделия, возвращаемые изготовителю, часто требуют надежного определения их происхождения.

Полимерные материалы часто представляют собой сополимеры, смеси, а их свойства модифицируются использованием различных добавок или смешением с такими компонентами, как огнезащитные добавки, пенообразователи, лубриканты и стабилизаторы. Модификация материала изменяет его фундаментальные характеристики, используемые для идентификации, такие как цвет дыма и запах, что делает неприменимыми простые методы идентификации. Единственный путь к получению правильных результатов состоит в использовании сложных химических и термических методов анализа.

Термический анализ применяется для исследования процессов, происходящих в индивидуальных веществах или многокомпонентных системах при нагревании или охлаждении и сопровождающихся изменением внутреннего теплосодержания системы.

Термический анализ объединяет группу методов, отличающихся аппаратным оформлением и измеряемой характеристикой. Если измеряется температура образца, метод называется *термографией*, масса образца – *термогравиметрией*, количество выделившегося тепла – *калориметрией*, объем – *дилатометрией* и т. д.

Для идентификации полимеров и добавок, содержащихся в упаковочных материалах, используют современные аналитические методы: термогравиметрический анализ (ТГА); дифференциальную сканирующую калориметрию (ДСК).

Термогравиметрический анализ – метод измерения веса вещества, нагреваемого или охлаждаемого с заданной скоростью в той или иной газовой атмосфере или вакууме, в зависимости от времени или температуры. Этот метод очень полезен для исследования полимеров с различными добавками и наполнителями, содержа-

ние которых определяется по весу. Так, например, содержание стеклянных волокон и минеральных наполнителей в полимере может быть определено путем полного сжигания полимера в инертной атмосфере. Несгоревший остаток содержит только стекло и инертные наполнители. Методы термического анализа широко используют при анализе причин разрушения материалов.

Дифференциальная сканирующая калориметрия – метод измерения количества энергии, поглощенной образцом или выделившейся из образца при непрерывном повышении или понижении температуры, или при выдержке материала при постоянной температуре. Этот метод является одним из наиболее эффективных способов исследования плавления, включая определение области стеклования, значения температур плавления и кристаллизации, а также температуры термической деструкции полимерных материалов. Применение метода дифференциальной сканирующей калориметрии также позволяет судить о наличии или отсутствии антиоксиданта в полимере, поскольку это влияет на окислительную стабильность материала.

Таким образом, полная и надежная идентификация полимерного материала – это сложная и комплексная задача, требующая длительного времени и основанная на глубоком понимании аналитической химии, химии полимеров, опыте и использовании современного оборудования. Рассмотрение типичных термограмм позволяет судить о поведении материала во всем температурном диапазоне от температуры стеклования до области деструкции, а также об изменениях, происходящих между этими двумя крайними точками.

Термический анализ полимеров. Данные дифференциально-термического анализа (ДТА) или ДСК выражаются в виде зависимости от времени или температуры при постоянной скорости нагревания. На ординате при ДТА откладывается ΔT (разность температур исследуемого и стандартного веществ), при ДСК — dQ/dt (разность энергий между ячейками с исследуемым образцом и эталоном).

На рис. 9.1 приведены типичные кривые ДТА и ДСК. Пики, расположенные над основной (базовой) линией, обычно соответствуют *экзотермическим процессам* (кристаллизация, окисление), а пики под основной (базовой) линией – *эндотермическим* (плавление, деструкция), для стеклования характерен перегиб на кривой ДТА.

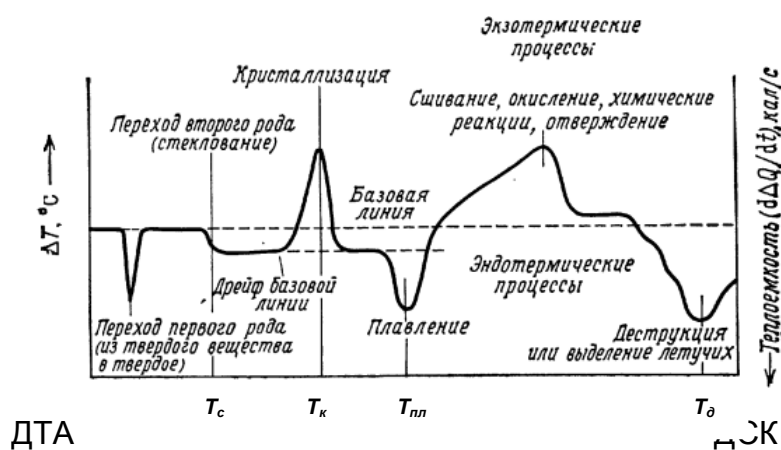


Рис. 9.1. Кривая ДТА или ДСК полимера

Превращения, происходящие в полимерах при изменении температуры, можно разделить на две группы – физические и химические.

Физические превращения. Физические переходы в полимерах, изучаемые методом ДТА, по мере повышения температуры располагаются в следующем порядке:

стеклование, «холодная» кристаллизация, переходы типа кристалл – кристалл, кристаллизация из расплава, плавление.

Стеклование, не являясь фазовым переходом, характеризуется постепенным изменением теплоемкости с температурой. На кривых ДТА это отражается отклонением от базовой линии в сторону ступенчатого уменьшения ΔT . За температуру стеклования обычно принимают начало этого отклонения.

Кристаллизация полимеров обычно – сопровождается выделением скрытой теплоты, что на термограммах выражается экзотермическими пиками (в том случае, если скорость кристаллизации выше скорости охлаждения или нагревания). Площади под пиками соответствуют теплоте фазовых превращений и по абсолютной величине одинаковы для кристаллизации и плавления. Однако отсутствие экзотермических пиков на термограммах не является доказательством того, что кристаллизации не происходит, поскольку она может осуществляться очень медленно. Характерными точками пика являются температуры его начала, максимума и окончания. Некоторые полимеры (например, полиэферы, полиуретаны) могут кристаллизоваться при нагревании при температурах значительно ниже температуры плавления, но выше их температуры стеклования. Это называется «холодной» кристаллизацией. При этом происходит упорядочение близлежащих соседних звеньев в аморфных областях, не сопровождающееся перестройкой в расположении молекул. Экзотермический пик «холодной» кристаллизации предшествует эндотермическому пику плавления полимера.

Особенно часто с помощью ДТА исследуют процесс *плавления* полимеров, т. е. переход из кристаллического состояния в аморфное. Из-за дефектности кристаллической структуры полимеров эндотермический пик плавления находится в температурном интервале, ширина которого обусловлена неоднородностью макромолекул по молекулярной массе и особенностью структуры полимеров (степенью кристалличности, размером и типом надмолекулярных образований). Начало плавления определяют по началу резкого отклонения кривой ДТА от базовой линии (см. рис. 9.1), а за температуру плавления принимают температуру, соответствующую максимуму пика. Для многих полимеров характерно наличие на кривой ДТА в области плавления не одного, а двух или нескольких пиков. Это объясняется существованием в полимерах кристаллитов различной степени совершенства, а также полиморфизмом полимера, т. е. его способностью существовать в нескольких кристаллических модификациях.

По площадям пиков плавления можно определить *теплоты плавления*, предварительно прокалибровав прибор по веществу с известной теплотой:

$$\Delta H = \frac{\Delta H_{\text{эт}} \cdot A \cdot m_{\text{эт}}}{A_{\text{эт}} \cdot m}, \quad (9.1)$$

где ΔH – теплота плавления полимера, Дж/г;

$\Delta H_{\text{эт}}$ – теплота плавления эталона, Дж/г;

m и $m_{\text{эт}}$ – масса образца полимера и эталона, г;

A и $A_{\text{эт}}$ – площади пиков полимера и эталонного вещества.

Например, для расчета истинных теплот плавления полиэтилена прибор калибруют по бензойной кислоте, теплота плавления которой 142,4 Дж/г.

Если известна теплота плавления полностью закристаллизованного полимера, то *степень кристалличности* полимера (α , %) можно рассчитать по формуле:

$$\alpha = \frac{\Delta H_{\text{плю}}}{\Delta H_{\text{пл100}}} \cdot 100, \quad (9.2)$$

где $\Delta H_{\text{пл0}}$ – теплота плавления образца, Дж/г;

$\Delta H_{\text{пл100}}$ – теплота плавления для 100 % кристаллического полимера, Дж/г.

Степень кристалличности является одним из ключевых факторов, влияющих на свойства полимера. Эту характеристику можно условно оценить по тому, насколько хорошо полимер укладывается в воображаемую трубочку, показанную на рис. 9.2. Прямые линейные цепи высококристалличны и легко помещаются в такую трубочку. Объемные группы, скрученные цепи напротив, не смогут поместиться. Такие полимеры называются аморфными. Между полностью аморфными и полностью кристаллическими полимерами существует широкий спектр возможностей. Примерами таких промежуточных полимеров могут быть метилметакрилат, полипропилен, полиэтилен низкой плотности, полиэтилен высокой плотности, нейлон. Увеличение степени кристалличности свидетельствует об увеличении плотности полимера.

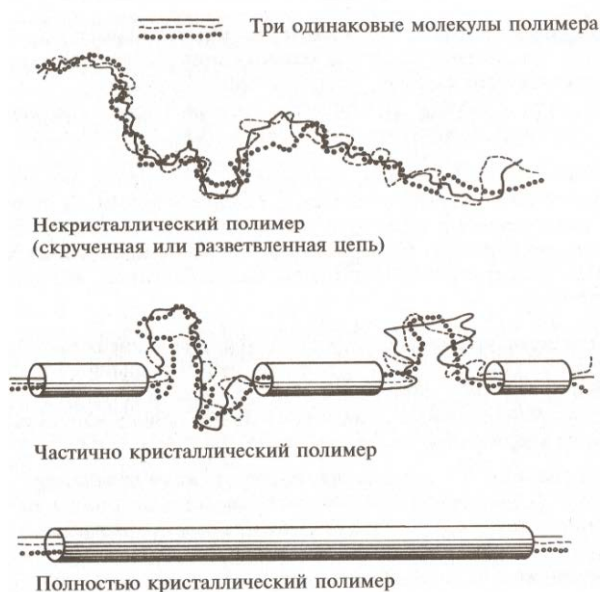


Рис. 9.2. Кристалличность полимеров

Химические превращения. С помощью ДТА можно изучать процессы получения полимеров (определять оптимальные условия реакции, исследовать влияние состава на их скорость и др.) и химические превращения полимеров. Например, можно определить оптимальные условия вулканизации каучуков, отверждения эпоксидных смол, охарактеризовать способность полимера к окислению. Кроме того, ДТА широко применяют для оценки термостабильности и термодеструкции полимеров.

Некоторые химические процессы, протекающие в веществе при нагревании, сопровождаются изменением его массы (термоокисление, деструкция и др.). Кривая зависимости изменения массы от температуры называется термогравиметрической кривой или кривой ТГ. По кривой ТГ можно определить термостабильность (термостойкость) полимера.

Термостабильность оценивается температурой начала разложения полимера, при которой начинается потеря массы и кривая ТГ отклоняется от исходного нулевого значения, а также температурами T_{10} , T_{20} , T_{50} , при которых происходит потеря 10, 20 и 50 % массы в одних и тех же условиях эксперимента (скорость нагрева, среда и т.д.). Температура, при которой происходит полное разложение вещества, называется конечной температурой разложения.

На основании термогравиметрической кривой (рис. 3) вычисляют потерю массы образца при разложении (m_L , %) и остаточную массу образца (R , %) по формулам (9.3) и (9.4):

$$m_L = \frac{m_B - m_A}{m_0} \cdot 100 \quad (9.3)$$

$$R = \frac{m_A}{m_0} \cdot 100 \quad (9.4)$$

где m_B – масса пробы перед потерей, г;

m_A – масса пробы после потери, г;

m_0 – начальная масса пробы, г.

Деривативная термогравиметрия (ДТГ) регистрирует скорость изменения массы вещества во времени. Кривая ДТГ записывается в виде ряда пиков, положение которых совпадает по температурной шкале со ступенями кривой ТГ. С помощью кривых ДТГ можно определить температурные пределы реакции и температуру, соответствующую максимальной скорости реакции.

В табл. 9.1 приведены температурные характеристики основных полимеров.

Таблица 9.1

Теплофизические характеристики основных полимеров

| Полимер | Температура стеклования, °С | Температура плавления, °С | Температура разложения, °С | Теплота плавления для 100 % кристаллического полимера, Дж/г |
|---------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|---|
| ПЭНП | ≈-25 | 105÷120 | 487÷498 | 293 |
| ПЭВП | ≈-20 | 130÷145 | 487÷498 | 293 |
| ПП | -20÷-10 | 160÷175 | 447÷461 | 209 |
| ПВХ | 81÷99 | 270÷275 | 460÷466 | 176 |
| ПС | 87÷100 | 190÷230 | 435÷450 | 86 |
| ПЭТ | 67÷80 | 250÷265 | 445÷450 | 140 |
| ПА 6 | ≈50 | 215÷230 | 460÷470 | 190 |
| ПА 12 | ≈37 | 175÷185 | 460÷465 | 210 |
| ПК | 143÷151 | 220÷240 | 480÷485 | 145 |
| ПТФЭ | -53÷-40 | 325÷335 | 576÷585 | 82 |

9.2. Практическая часть

Материалы: образцы полимеров (по заданию преподавателя).

Приборы: прибор синхронного термического анализа STA 449 F3 Jupiter фирмы NETZSCH.

Устройство прибора STA 449 F3 Jupiter

STA 449 F3 Jupiter – надежный, универсальный, простой в эксплуатации прибор для одновременного определения калориметрических эффектов (превращение температуры и энтальпии) и изменения массы. Схема прибора для проведения исследований полимеров с помощью синхронного термического анализа представлена на рис. 9.3.

STA 449 F3 Jupiter является системой с вертикальной загрузкой, обеспечивающей симметрию температурного поля. Весовая система предлагает максимальную навеску образца до 35 г и широкий диапазон измерений (35 г), а также высокое разрешение (1 мкг) и низкий дрейф весов (в пределах нескольких микрограмм в час). Ещё одна отличительная особенность весовой части – это низкий шум (в пределах нескольких знаков). Прибор имеет вакуумплотную конструкцию. Он снабжён платиновой печью с регулируемой скоростью нагрева и охлаждения (от 0,1 до 50 К/мин) и двумя термопарами с различной чувствительностью, что позволяет проводить измерения в широком диапазоне температур (от 20 до 1500 °С). Прибор работает под управлением программного пакета Proteus, который позволяет проводить все необходимые измерения и обработку полученных результатов. Пакет программ включает автоматические подпрограммы, которые позволяют проводить сложные исследования.

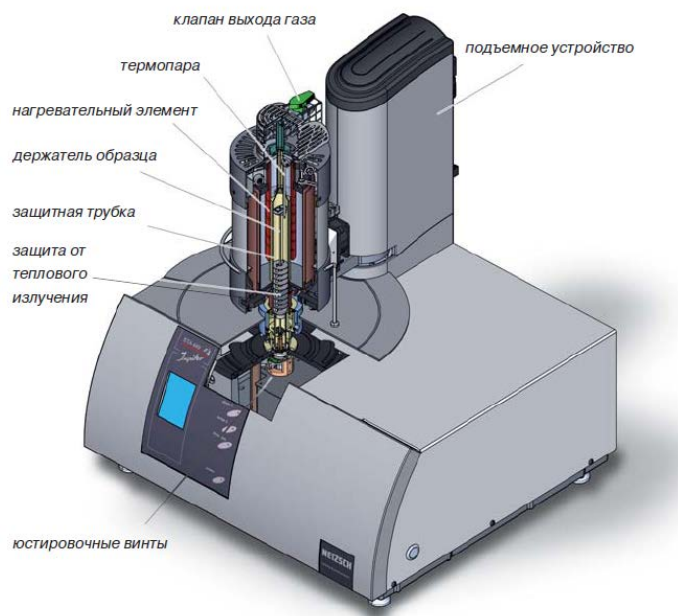


Рис. 9.3. Схема прибора STA 449 F3 Jupiter

Методика подготовки образцов

Подготовка образцов оказывает существенное влияние на качество полученного результата. Необходимо помнить, что хороший тепловой контакт между образцом и сенсором теплового потока является обязательным условием получения оптимальных результатов.

Если исследуемый образец представляет собой порошкообразное вещество, то его равномерно распределяют по дну тигля.

Твёрдые образцы полимеров разрезают на тонкие пластинки с помощью ножа, скальпеля или лезвия бритвы. Для проведения анализа используют образцы в виде дисков подходящего размера. Если невозможно вырезать диск необходимого размера, то дно тигля равномерно покрывают тонкими срезами материала.

Волокнистые образцы можно разрезать на мелкие кусочки, которые затем укладывают параллельно на дно тигля. Волокно можно намотать на небольшой стержень. Затем спираль из волокна снимают со стержня и помещают в тигель.

Порядок выполнения работы

1. Подготавливают образец (по заданию преподавателя) к испытанию.
2. Образец помещают в тигель, который закрывают крышкой и устанавливают на держатель образца в прибор.
3. Взвешивают образец.
4. С помощью управляющего компьютера оператором задаются условия проведения испытания. Для исследования полимеров используется следующая температурная программа испытания:
 - линейный нагрев от 30 °С до 600 °С;
 - скорость нагрева 10-20 К/мин;
 - атмосфера – аргон (20 мл/мин).
5. Проводят испытание.

Определение температур физических и химических превращений полимера

1. Снять кривые ДСК и ТГ полимера (по заданию преподавателя).
2. Определить температуры физических и химических превращений полимера (температуры плавления, стеклования и др.) по кривой ДСК.
3. Рассчитать степень кристалличности по формуле (9.2).
4. Рассчитать потерю массы и остаточную массу образца (в %) по формулам (9.3-9.4) по кривой ТГ.
5. По кривым ТГ определить термостойкость полимера, температуру начала термодеструкции, а также температуры, соответствующие потере 10, 20 и 50 % массы образца полимера – T_{10} , T_{20} и T_{50} .
6. Результаты расчёта свести в табл. 9.2.
7. Проанализировать кривые ДСК и ТГ и объяснить изменения, происходящие при нагревании исследуемого образца полимера.
8. Сделать выводы.

Таблица 9.2

Результаты испытаний

| Полимер | Температура плавления, °С | Температура разложения, °С | Степень кристалличности, % | Потеря массы, % | Остаточная масса, % |
|---------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|---------------------|
| | | | | | |

**Определение степени кристалличности полиэтилена
низкой и высокой плотности**

1. Снять кривые ДСК и ТГ полиэтилена низкой (ПЭНП) и высокой плотности (ПЭВП).
2. Определить температуры физических и химических превращений исследуемых образцов.
3. Рассчитать степень кристалличности по формуле (9.2).
4. Рассчитать потерю массы и остаточную массу образца (в %) по формулам (9.3-9.4) по кривой ТГ.
5. Результаты расчета свести в табл. 9.3.
6. Объяснить различие в степени кристалличности образцов полиэтилена низкой и высокой плотности.
7. Сделать выводы.

Таблица 9.3

Результаты расчёта

| Образец | Температура, °С | | Степень кристалличности, % | Потеря массы, % | Остаточная масса, % |
|---------|-----------------|------------|----------------------------|-----------------|---------------------|
| | плавления | разложения | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

Идентификация полимерных композиций

1. Снять кривые ДСК и ТГ полимерной композиции (по заданию преподавателя).
2. Определить температуры плавления и разложения компонентов полимерной композиции по кривым ДСК.
3. Идентифицировать полимеры, входящие в состав полимерной композиции, используя справочные данные (табл. 9.1).
4. Определить количественное содержание каждого из компонентов полимерного композита.

5. Рассчитать степень кристалличности для каждого полимера в композите по формуле (9.2).

6. Определить долю неорганической составляющей в композите (остаточную массу) по формуле (9.4).

7. Результаты расчета свести в табл. 9.4.

Таблица 9.4

Результаты испытаний

| Образец | Температура, °С | | Степень кристалличности, % | Доля в образце, % | Доля неорганической составляющей в образце, % |
|-------------|-----------------|------------|----------------------------|-------------------|---|
| | плавления | разложения | | | |
| 1 компонент | | | | | |
| 2 компонент | | | | | |
| ... | | | | | |
| N компонент | | | | | |

8. Сделать выводы.

9.3. Контрольные вопросы

1. Что представляет собой термический анализ?
2. Какие методы включает в себя синхронный термический анализ?
3. Для каких целей используются дифференциальная сканирующая калориметрия и термогравиметрический анализ?
4. Что такое степень кристалличности полимера?
5. Как оценивается термостабильность полимера?
6. Какие фазовые превращения претерпевает исследуемый образец полимера в процессе нагрева?
7. Как можно определить энтальпию плавления полимера?
8. Как рассчитывается потеря массы образца при разложении?
9. Как определить энергию активации из термограмм?
10. Перечислите виды физических и химических процессов, происходящих в полимерах при изменении температуры и сопровождающихся эндо- и экзотермическими эффектами.
11. Какие факторы оказывают влияние на результаты термического анализа?

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

При выполнении лабораторной работы предусмотрена работа с оборудованием, работающим от сети переменного тока напряжением 220 В, поэтому при несоблюдении элементарных требований техники безопасности может возникнуть угроза здоровью и жизни выполняющего лабораторную работу. В связи с этим необходимо строго соблюдать следующие условия:

1) Перед началом работы пройти инструктаж по технике безопасности на рабочем месте, что фиксируется подписью в журнале регистрации инструктажей по ТБ.

2) Внимательно ознакомиться с рекомендациями данного пособия по проведению лабораторной работы.

3) Ознакомиться с инструкцией по эксплуатации лабораторного оборудования, на котором проводятся испытания, и неукоснительно ей следовать.

4) Проведение действий и экспериментов, не предусмотренных регламентом лабораторной работы, категорически запрещено.

5) При работе на установке, запитанной от электрической сети, запрещается прикасаться к электропроводам и без необходимости производить включение – отключение установки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ефремов Н.Ф. Технология упаковочного производства: учеб. пособие / Н.Ф. Ефремов, М.Г. Колесниченко. – М.: МГУП, 2011. – 350 с.
2. Ефремов Н.Ф. Надежность и испытание упаковки: учебное пособие / Н.Ф. Ефремов, И.К. Корнилов, Ю.М. Лебедев. - М.: МГУП, 2004. – 112 с.
3. Шах В. Справочное руководство по испытаниям пластмасс и анализу причин их разрушения. / Пер. с англ. под ред. Малкина А.Я. – СПб.: Научные основы и технологии, 2009. – 732 с.
4. Крыжановский В.К. Технология полимерных материалов: Учеб. пособие для вузов / В.К. Крыжановский. - СПб.: Профессия, 2008. – 534 с.
5. Крыжановский В.К. Производство изделий из полимерных материалов: учеб. пособие / В.К. Крыжановский, М.Л. Кербер, В.В. Бурлов, А.Д. Паниматченко. - СПб.: Профессия, 2004. – 464 с.
6. Фляте Д.М. Технология бумаги. Учебник для вузов. – М.: Лесная промышленность, 1988. – 439 с.
7. Упаковка на основе бумаги и картона / М. Дж. Кирван (ред.) ; под науч. ред. Э. Л. Акима, Л. Г. Махотиной. – СПб.: Профессия, 2008. – 487 с.
8. Физико-химические основы переработки полимеров [Текст] : учебное пособие / Н. Л. Медяник, В. В. Ананьев, А. И. Суворова, О. В. Ершова ; МГТУ. – Магнитогорск : МГТУ, 2005. – 110 с.
9. Технические свойства полимерных материалов/ В.К. Крыжановский, В.В. Бурлов, А.Д. Паниматченко, Ю.В. Крыжановская. – СПб.: Профессия, 2005. – 248 с.
10. ГОСТ 12.4.118-82. Система стандартов безопасности труда. Пленочные полимерные материалы и искусственные кожи для средств защиты рук. Метод определения стойкости к проколу. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 6 с.
11. ГОСТ 17035-86. Пластмассы. Методы определения толщины пленок и листов. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 6 с.
12. ГОСТ 30858-2003. Триботехнические требования и показатели. – М.: Стандартиформ, 2005. – 6 с.
13. ГОСТ 4651-82. Пластмассы. Метод испытания на сжатие. М.: Издательство стандартов, 1982. – 7 с.
14. Практикум по химии и физике полимеров: Учеб. Изд./ Н.И. Аввакумова, Л.А. Бударина, С.М. Дивгун и др.: Под ред. В.Ф. Куренкова. – М.: Химия. 1990. – 304 с.
15. Рабек Я. Экспериментальные методы в химии полимеров: в 2 ч. Ч. 2. – М.: Мир, 1983. – 480 с.
16. Уэндландт У. Термические методы анализа. М.: Мир, 1978. – 528 с.
17. Сазанов Ю.Н. Термический анализ органических соединений. – Л.: Наука, 1991. – 143 с.
18. ГОСТ 29127-91. Пластмассы. Термогравиметрический анализ полимеров. Метод сканирования по температуре. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 6 с.

Учебное текстовое электронное издание

**Тарасюк Елена Владимировна
Пономарев Антон Павлович**

ИСПЫТАНИЯ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Лабораторный практикум

0,92 Мб

1 электрон. опт. диск

г. Магнитогорск, 2016 год
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»
Адрес: 455000, Россия, Челябинская область, г. Магнитогорск,
пр. Ленина 38

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
Кафедра химии
Центр электронных образовательных ресурсов и
дистанционных образовательных технологий
e-mail: ceor_dot@mail.ru