



Т.С. Выдрина  
А.В. Вураско

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ  
В ПОЛИГРАФИЧЕСКОМ  
И УПАКОВОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

Екатеринбург  
2017

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра технологий целлюлозно-бумажных производств  
и переработки полимеров

Т.С. Выдрина  
А.В. Вураско

# **МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ В ПОЛИГРАФИЧЕСКОМ И УПАКОВОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

Учебно-методическое пособие  
для выполнения лабораторного практикума  
по дисциплине «Материаловедение в полиграфическом  
и упаковочном производстве»  
для обучающихся по направлению 29.03.03 «Технология  
полиграфического и упаковочного производства»  
очной и заочной форм обучения

Екатеринбург  
2017

Печатается по рекомендации методической комиссии ИХПРСиПЭ.  
Протокол № 3 от 17 ноября 2016 г.

Рецензент: Филякова В.И., ведущий научный сотрудник института органического синтеза УрО РАН, доктор химических наук, профессор.

Редактор Р.В. Сайгина  
Оператор компьютерной верстки Т.В. Упорова

---

Подписано в печать 24.03.17		Поз. 69
Плоская печать	Формат 60×84 1/16	Тираж 10 экз.
Заказ №	Печ. л. 2,56	Цена руб. коп.

---

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ  
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

## ВВЕДЕНИЕ

Отрасль упаковки – это пограничная отрасль, вобравшая в себя достижения, материалы и технологии многих смежных отраслей: машиностроения, химии и химической промышленности, металлургии, электроники, микробиологии, художественных промыслов, дизайна и др.

Поэтому к знаниям специалиста-упаковщика предъявляются повышенные требования. Выпускник вуза должен иметь широкий и глубокий теоретический фундамент, чтобы впоследствии специализироваться и расширять свой кругозор в конкретной области деятельности.

Базовыми (фундаментальными) дисциплинами для работы в любом направлении упаковочной отрасли являются механика, электроника, все виды химии (общая, органическая, химия полимеров), материаловедение, математика, физика и экономика (рис. 1).

Кроме этого специалист должен проявлять профессиональную этику, т.е. быть честным, правильно указывать качество товара и не вводить в заблуждение потребителя.



Рис. 1. Требуемый круг знаний специалиста по упаковке

Под термином «упаковка» согласно ГОСТ 17527-2003 (Упаковка. Термины и определения) подразумевается средство или комплекс средств, который обеспечивает защиту продукции и окружающей среды от повреждений и потерь, а также облегчает транспортировку, хранение и реализацию продукции.

Упаковка может состоять из следующих элементов:

- Тара. Это изделие для размещения продукции в виде открытого или замкнутого полого корпуса. (Тара – важнейший элемент, часто единственный в упаковке).

- Вспомогательные упаковочные средства. Это укупорочные средства (крышки, пробки, прокладки), этикетки, вкладыши, покрытия, стяжные и липкие ленты, обертки, решетки и др.

Упаковочный материал – это материал, предназначенный для изготовления тары и вспомогательных упаковочных средств.

К упаковочным материалам предъявляются следующие физические, эксплуатационные, потребительские, технологические, утилизационные и др. требования, а именно:

1. Обеспечение и удовлетворение разных социальных слоев (*социальное назначение*) означает соответствие потребностям общества в целом и отдельных групп населения по оптимальному ассортименту, цене и объемам упаковываемого товара.

2. Выполнение главной функции (*функциональное требование*) – защита товара от внешних воздействий. Упаковочные средства должны обеспечивать полную сохранность качества и количества товара при транспортировании, хранении и реализации. Упаковка должна быть химически инертна и устойчива к действию самого упакованного товара.

3. Надежность – это способность сохранять свои функции и свойства в течение определенного времени (иначе долговечность). Упаковка многократного использования сама должна обладать хорошей сохранностью, но не больше срока годности упакованного товара.

Надежность упаковки означает также ремонтпригодность и взаимозаменяемость.

4. Эстетика подразумевает выразительность, рациональность и сочетаемость *структуры* упаковки и внешнего *дизайна*, четкости и совершенства исполнения всех элементов упаковки.

Дизайн упаковки обеспечивается средствами графики и структуры.

Графика – это средства, материалы, элементы на поверхности тары (сочетание цветов, шрифта, эмблем и всего стиля оформления).

Структура – физическая форма тары, ее устойчивость, контуры, способные привлечь внимание, ощущение упаковки в руке, способ открывать ее и распределять содержимое.

5. Эргономика упаковки отражает удобство использования тары, соответствие особенностям человеческого организма (психике, форме и размерам руки человека), обеспечение оптимальных условий использования: удобство дозирования, распыления, укупорки и др.

6. Экологичность упаковки и ее материала предусматривает отсутствие отрицательного воздействия на окружающую среду при производстве, транспортировании, хранении и эксплуатации упаковки, а также после ее функционального использования. Экологические свойства упаковки повышаются, если она используется многократно (возвратная тара) или подвергается вторичной переработке.

7. Безопасность упаковки – обеспечение безопасности человека при использовании упаковки. Эти требования прописаны в Законе РФ

«О защите прав потребителей» и в Федеральном законе «О техническом регулировании».

8. Экономическая эффективность – это оптимальная стоимость упаковки, а также расходы при эксплуатации и утилизации. Экономическая эффективность упаковок неразрывно связана с особенностями товаров, которые должны быть упакованы в нее.

В применении упаковочных материалов в последнее время проявляются следующие *тенденции*:

1. Большая доля упаковки изготавливается из *полимерных материалов* (по разным источникам от 50 до 70 %) вследствие *легкости, простоты, низкой энергоёмкости и многообразия методов переработки, красивого внешнего вида, хорошей окрашиваемости, прозрачности, эластичности, достаточной прочности* и др. достоинств этих материалов.

2. Но одними из самых *экономичных материалов* являются *бумага и картон*, которые всегда будут применяться для изготовления разнообразных коробок.

3. *Металлы* благодаря *высокой прочности, жесткости* и прекрасным *барьерным свойствам* незаменимы в упаковке пищевых продуктов длительного хранения (консервная тара) и в специальных видах упаковки.

4. *Стекланные флаконы и бутылки* по-прежнему будут применяться для товара, упакованного *«богато и претенциозно»*.

5. Использование *древесины* в основном сохранится при производстве *объемной тары для очень объемных и тяжелых изделий*.

**Выбор** конкретного **упаковочного материала** производится **методом функционально-стоимостного анализа**. При этом учитывается большой набор факторов на всех этапах от создания до утилизации упаковки:

- *Эксплуатационные* (предельные возможности материала: прочность при растяжении, хрупкость, степень вытяжки, коэффициенты пропускания паров воды, кислорода воздуха, химстойкость, деформируемость при транспортировке, чувствительность упакованного товара; виды возможных повреждений во время транспортировки и складирования; длительность и условия использования и др.).
- *Технологические* (режимы переработки, термостойкость, сложность оборудования, потери, возможность вторичной переработки и др.)
- *Экономические* (цена, доступность и обеспеченность сырьем, совокупные затраты на производство, рекламу, транспортировку, хранение, налоги согласно государственным законам и предписаниям и др.)

Чтобы профессионально выбирать упаковочные материалы, **необходимы обширные сведения о природе, структуре и комплексе свойств рассматриваемых материалов**.

Поэтому целью данного учебно-методического пособия является **формирование** у обучающихся **теоретических знаний** о строении и свойствах полиграфических и упаковочных материалов, о взаимосвязи между эксплуатационными свойствами, качеством и структурой материалов, о тенденциях в области разработки новых материалов, освещение вопросов экологии и ресурсосбережения, а также **привитие практических навыков и умений** испытания, исследования, экспериментального анализа и **выбора** данных материалов.

В первую очередь учебно-методическое пособие призвано оказать помощь *в выполнении практических экспериментальных работ* и приобретению навыков по определению, сравнительной оценке эксплуатационных свойств различных упаковочных материалов, компонентов печатных красок, клеев, лаков и красок, а также свойств материалов, применяемых для производства тары.

Тематика лабораторных работ учитывает разнообразие применяемых упаковочных материалов и специфику компонентов сложных составов для полиграфии.

Для более глубокого понимания природы и сути исследуемых физико-механических и химических свойств, причин их проявления и изменения, *каждой экспериментальной лабораторной работе* обязательно **предшествуют теоретические положения и обоснование** изучаемых свойств и явлений, иллюстрируемые необходимыми формулами, схемами химических реакций и рисунками.

Приведенный в пособии список рекомендуемой учебной и методической литературы, а также перечень специализированных Интернет-ресурсов позволят обучающимся оперативно отыскать необходимый дополнительный теоретический материал, справочную и иную дополнительную информацию.

В учебно-методическое пособие включены методики 7 лабораторных работ, которые охватывают комплекс испытаний свойств полимерных упаковочных пленок, стеклянной тары, растворителей, применяемых для приготовления клеевых и лакокрасочных материалов, деревянной и полиэтиленовой тары, а также методику определения качества печатных покрытий.

Сочетание теоретических предпосылок и четких методик экспериментальных работ несомненно приведет к достижению поставленных в пособии задач:

- закрепление и систематизация теоретических знаний обучающихся и формирование понимания причинно-следственных связей при проявлении свойств изучаемых материалов;
- приобретение практических навыков и умений по исследованию и определению химических и физико-механических свойств широкого круга материалов и изделий;
- формирование умения самостоятельного анализа и обработки полученных результатов экспериментальных работ результатов.

Перед проведением каждой из работ обучающийся должен выполнить следующее задание:

- четко **уяснить и сформулировать цель работы,**
- **установить роль и предназначение используемых материалов и реактивов,**
- **изучить теоретические положения, лежащие в основе работы, понять смысл проводимых операций и расчетов,**
- **ознакомиться с устройством и принципом работы используемого прибора или оборудования.**

Для успешного выполнения лабораторной работы обучающийся **обязан заранее оформить заготовку отчета** по соответствующей работе. **В заготовке отчета он должен указать цель работы, кратко изложить теоретические положения, лежащие в основе работы, привести краткую методику ее проведения.**

После практического исполнения работы студент вносит в заготовку отчета экспериментальные данные и результаты их обработки; проводит сравнение полученных данных с литературными сведениями, делает соответствующие выводы и защищает отчет перед преподавателем.

Перед началом выполнения лабораторных работ обучающийся должен **пройти тестовый (или иной) контроль теоретических основ и положений**, лежащих в основе работ, а также объяснить логическую взаимосвязь и последовательность выполняемых операций.

Студент, выполнивший практикум и успешно прошедший контроль теоретических знаний, допускается к экзамену

## 1. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### по дисциплине «Материаловедение в полиграфическом и упаковочном производстве»

1. Ефремов Н.Ф. Тара и её производство. Ч.1. Производство тары из полимерных пленок и листов: учеб. пособие / Н.Ф. Ефремов; Моск. гос. ун-т печати. – М. : МГУП, 2009.

2. Климова Е.Д. Упаковочные материалы: учеб. пособие для вузов. М.: МГУП, 2010.

3. Сухарева Л.А. Полимеры в производстве тароупаковочных материалов: учеб. пособие для студентов вузов / Л.А. Сухарева, В. С. Яковлев. – М. : ДеЛи принт, 2005.

4. Зелке С. Е. М. Пластиковая упаковка = Plastics Packaging / С. Зелке, Д. Кутлер, Р. Хернандес ; пер. с англ. 2-го изд. под ред. А. Л. Загорского, П. А. Дмитрикова. – СПб. : ПРОФЕССИЯ, 2011.

5. Технические свойства полимерных материалов : учебно-справочное пособие / В. К. Крыжановский [и др.] ; под ред. В. К. Крыжановского. - Изд. 2-е, испр. и доп. – СПб: Профессия, 2007.

6. Нельсон Р.Э. Что полиграфист должен знать о красках (пер. с англ.). М.: ПРИНТ-МЕДИА центр, 2005.
7. Лоуренс А. В. Что полиграфист должен знать о бумаге (пер. с англ.). – М.: ПРИНТ-МЕДИА центр, 2005.
8. Материаловедение. / Под ред. Арзамасова Б.Н. и др. М.: Из-во МГТУ им. Баумана, 2009.
9. Материаловедение: лабораторные работы. – М.: МГУП, 2006.
10. Д. Брукс, Дж. Джайлс Производство упаковки из ПЭТ / пер. с англ. Под ред. О.Ю. Сабсая. СПб.: Профессия, 2006.
11. Наумов В.А. Начала полиграфического материаловедения. М.: МГУП, 2002.
12. Климова Е.Д. Печатные краски: лабораторные работы. М.: МГУП, 2004.
13. Кипхан Г. Энциклопедия по печатным средствам информации. Технология и способы производства. М.: МГУП, 2003.
14. Аким Г.Л. и др. Технология целлюлозно-бумажного производства. СПб.: Политехника, 2003.
15. Климова Е.Д. Фотополимеризующиеся композиции для печатных и отделочных процессов. М.: МГУП, 2000.
16. Дьякова Е.В., Комаров В.И. Технология механической массы: учеб. пособие для вузов. Архангельск: АГТУ, 2006.
17. Мельников Б.Н. Применение красителей: учеб. пособие для вузов. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010.
18. Марагулова Н., Стефанов С. Расходные материалы для офсетной печати. М: Русский университет, 2002.
19. Шахкельдян Б.Н., Загаринская Л.А. Полиграфические материалы. М.: Книга, 1987.
20. Ненахов С.А. Адгезия, Основные термины и определения. // Клеи. Герметики. Технологии. 2007. № 4. С. 2–6.
21. Соломенко М.Г., Шредер В.Л., Кривошей В.Н. Тара из полимерных материалов: справочное издание. М.: Химия, 1990.
22. Каменев Е.И., Мясников Г.Д., Платонов М.П. Применение пластических масс. Л.: Химия, 1998.
23. Технология переработки пластических масс и эластомеров в производстве полимерных пленочных материалов и искусственной кожи: учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по специальности "Технология переработки пласт. масс и эластомеров" / под ред. Г. П. Андриановой. - 3-е изд., перераб. и доп. М. : КолосС, 2008. (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений). Ч. 2 : Технологические процессы производства полимерных пленочных материалов и искусственной кожи / Г. П. Андрианова [и др.]. 2008.

## Методическая литература

1. Основы полимерного материаловедения: учеб. пособие. / Н.Д. Негодяев, В.Г. Бурындин, А.И. Матерн, В.В. Глухих. Екатеринбург: УГТУ, 1998.
2. Балакин В.М., Выдрин Т.С. Основы физико-химии полимеров: учеб. пособие. Екатеринбург: УЛТИ, 1994.

## Интернет-ресурсы

1. Elibrary.ru [Электронный ресурс]: электронная библиотечная система: база данных содержит сведения об отечественных книгах и периодических изданиях по науке, технологии, медицине и образованию / Рос. информ. портал. – Москва, 2000– . – Режим доступа: <http://elibrary.ru>.
2. Издательство "Лань" [Электронный ресурс]: электронная библиотечная система : содержит электронные версии книг издательства «Лань» и других ведущих издательств учебной литературы, так и электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. – Москва, 2010– . Режим доступа: <http://e.lanbook.com>.
3. Электронный архив УГЛТУ [Электронный ресурс]: содержит электронные версии научных, учебных и учебно-методических разработок авторов - ученых УГЛТУ. Режим доступа: <http://elar.usfeu.ru>.
4. Znaniium.com [Электронный ресурс]: электронная библиотечная система : содержит электронные версии книг издательства Инфра-М и других ведущих издательств учебной литературы, так и электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. Режим доступа: <http://znaniium.com>.
5. Российская государственная библиотека [Электронный ресурс]: содержит электронные версии книг, учебников, монографий, сборников научных трудов как отечественных, так и зарубежных авторов, периодических изданий. Режим доступа: <http://www.rbc.ru>.
6. Консультант Плюс. Технология ПРОФ [Электронный ресурс ]: справочная правовая система : версия 4000.00.15: [установленные банки : законодательство, судебная практика, финансовые консультации, комментарии законодательства, технические нормы и правила]. – Москва: ЗАО «Консультант Плюс», 1992– . – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>, локальная сеть вуза.
7. Электронный реферативный журнал ВИНТИ v2.10 (лицензия УГЛТУ).
8. <http://www.plastics.ru> Журнал «Пластикс»
9. <http://www.plasticnews.ru> Журнал «Международные новости мира пластмасс»
10. <http://www.plastinfo.ru> Информационно-аналитический портал Plastinfo.ru
11. <http://search.ebscohost.com> - обширная полнотекстовая научно-исследовательская база данных в мире Academic Search Complete. Содержит полные тексты тысяч рецензируемых научных журналов по химии, машиностроению, физике, биологии.

## 2. МЕТОДИКИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

### Лабораторная работа 1

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛЕТУЧЕСТИ РАСТВОРИТЕЛЕЙ

##### 1. Теоретические положения

**Растворители** – летучие жидкости, применяемые для растворения пленкообразователей и доведения их до состояния, в котором они могут легко наноситься на поверхность и растекаться по ней тонким слоем.

Растворители служат как для растворения пленкообразователей, так и для разбавления готовых растворов.

Жидкости, которые в отличие от растворителей самостоятельно не растворяют пленкообразователь, называют **разбавителями**.

Растворители и разбавители в процессе сушки улетучиваются или впитываются в субстрат и не входят в состав сухого покрытия.

Растворители должны образовывать с пленкообразователем однофазную систему, поэтому должны быть «подобны» полимеру. Температура кипения растворителей должна быть оптимальной.

По температуре кипения растворители делят на:

- Низкокипящие ( $T_{\text{кип}} = 70\text{--}80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).
- Среднекипящие ( $T_{\text{кип}} = 80\text{--}110\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).
- Высококипящие ( $T_{\text{кип}} = \text{выше } 110\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Растворители должны быть не токсичными. Токсичными являются хлорированные и ароматические углеводороды. Большая часть растворителей пожаро- и взрывоопасна.

В качестве растворителей чаще всего используют следующие классы органических соединений (табл. 1):

- Эфиры уксусной кислоты – этилацетат, бутилацетат и др.
- Кетоны – ацетон, метилэтилкетон, циклогексанон.
- Нефтяные углеводороды – бензин лаковый (уайт-спирит).
- Ароматические углеводороды – толуол, ксилол.
- Алифатические спирты – этанол, изопропанол.
- Хлорированные углеводороды – дихлорэтан, трихлорэтилен.
- Терпены – скипидар.

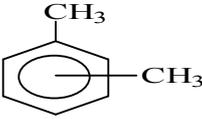
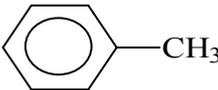
*Летучестью вещества* называют способность испаряться определенного его количества за единицу времени при данной температуре. *Летучесть вещества* в первом приближении пропорциональна давлению насыщенного пара или обратно пропорциональна точке кипения жидкости.

*Летучесть всех веществ сравнивают с летучестью диэтилового эфира при тех же условиях, принятой за единицу.* Вещества с высокой летучестью сравнительно быстро могут испариться, создав высокие концентрации их в воздухе. С другой стороны, они обеспечивают быстрое

высыхание печатных красок на запечатываемом материале и уменьшают эффект отмарывания. Вещества с малой летучестью медленнее насыщают воздух и замедляют высыхание красок. Следовательно, с точки зрения санитарных условий производства, вещества с повышенной летучестью представляют большую опасность, чем с малой. С увеличением температуры вещества увеличивается и его летучесть.

Таблица 1

Растворители и разбавители, используемые для приготовления лакокрасочных материалов

Растворитель	Формула молекулы растворителя	Температура кипения растворителя, °С	Показатель преломления
Ацетон	$\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{CH}_3$	56	1,3591
Этилацетат	$\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OC}_2\text{H}_5$	70-80	1,3724
Бутилацетат	$\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OC}_4\text{H}_9$	112-135	1,395
Амилацетат	$\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OC}_5\text{H}_{11}$	115-150	-
Этанол	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	78	
Бутанол	$\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$	114-118	1,399
Бензин "калоша"	Смесь углеводородов	80-120	-
Бензин лаковый (уайт-спирит)		165-200	-
Ксилол		136-143	-
Толуол		109-111	1,4969
Скипидар	Смесь терпенов, получаемых при отгонке живицы	150-170	-

Показатель летучести используют для прогнозирования и оценки загрязненности атмосферы и оценки выделения пахучих веществ лесными массивами и т.д.

Промышленностью помимо индивидуальных выпускаются смеси растворителей под условными обозначениями, например, растворитель № 646 – смесь бутилацетата, ацетона, этилцеллозольва, этилового и бутилового спирта, толуола. Данный растворитель широко применяется для растворения нитроцеллюлозных материалов.

## 2. Выполнение работы

**Цель работы:** Определить продолжительность испарения разных растворителей и оценить их относительную летучесть.

### **Реактивы, приборы**

Растворители (ацетон, этанол, этилацетат, толуол, уайт-спирит, смешанный растворитель № 646 и др.)

Аналитические весы, установка, представляющая собой ящик, шкаф или коробку, в передней и задней стенках которой расположены смотровые окна, а в боковых – отверстия, в которые устанавливаются свободно вращающаяся спица для закрепления беззольного фильтра, секундомер, зажим (рис. 2).

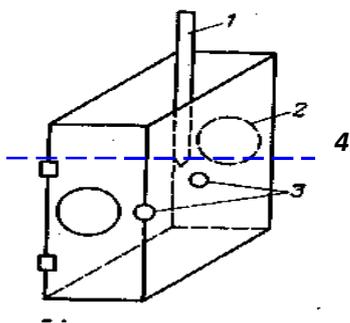


Рис. 2. Прибор для измерения летучести растворителей:

- 1 – термометр,
- 2 – отверстие для источника света,
- 3 – боковые стенки со смотровыми окнами,
- 4 – зажим (спица) для фильтра

**Ход определения.** В коробку при помощи спицы и зажимного устройства устанавливают беззольный фильтр в горизонтальном положении.

На фильтр из пипетки капают каплю растворителя и включают секундомер. Затем поворотом зажима и спицы устанавливают фильтр в вертикальное положение между смотровыми стеклами 2 и по секундомеру отмечают момент полного испарения пятна растворителя, наблюдая через смотровое окно. После этого пипетку промывают, сушат и заполняют другим растворителем. Время испарения второго и последующих растворителей определяется так же, как и первого.

При этом обязательным условием опыта является одинаковый объем капель, выпускаемых из пипетки и наносимых на фильтр, а также одно и то же расстояние от кончика пипетки до беззольного фильтра. Испытание проводится при температуре  $20 \pm 2$  °С.

Относительную летучесть любого растворителя  $X$  (с) вычисляют по формуле

$$X = \tau_1/\tau_2,$$

где  $\tau_1$  – продолжительность испарения растворителя, с;

$\tau_2$  – продолжительность испарения диэтилового эфира, с.

**Задание:** Свести результаты измерений в таблицу и провести анализ полученных данных.

**Требования к отчету:**

1. Заготовку отчета оформить заранее, осветив ней теоретические положения и цель работы.

2. Привести краткую методику работы, формулы и требуемые результаты расчетов. Дать оценку относительной летучести исследованных растворителей.

## Лабораторная работа 2

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СТЕКЛЯННОЙ ТАРЫ

#### 1. Теоретические положения

Стеклоянная тара – один из самых надежных видов упаковки для разнообразных пищевых продуктов, лекарственных препаратов, парфюмерных веществ и т.д.

Снижение качества и порча пищевых продуктов, расфасованных в стеклянной таре, могут быть **связаны со** следующими факторами:

- химической стойкостью стекла;
- состоянием поверхности стеклоизделий, находящейся в контакте с пищевыми продуктами;
- сроками и условиями хранения стеклянной тары до расфасовки пищевых продуктов;
- сроками хранения пищевых продуктов.

Химическая стойкость стекол является ключевым фактором при выборе тары.

Химическая устойчивость – способность стекла противостоять разрушающему действию агрессивных сред – воды, кислот, щелочей, растворов солей, влаги и газов атмосферы. Стекло, по сравнению с другими материалами, *отличается высокой химической стойкостью*, которая зависит от его химического состава, природы действующего реагента и условий, при которых реагент действует на стекло.

По характеру действия на стекло реагенты можно разделить на две группы.

К первой группе относятся вещества, которые изменяют, растворяют или разрушают силикаты в составе стекла. Такими веществами являются вода, атмосферная влага, растворы кислот (кроме плавиковой и фосфорной), нейтральные или кислые растворы солей (с рН = 7 и ниже).

Ко второй группе относятся вещества, которые действуют не только на находящиеся в стекле силикаты, но и на избыточный кремнезем. К этой группе относятся растворы щелочей, карбонатов и других компонентов (с рН среды выше 7), плавиковая и фосфорная кислоты.

Слабое взаимодействие химических реагентов (кроме плавиковой кислоты HF) со стеклом объясняется наличием на его поверхности защитной кремнезёмной плёнки (плёнки из диоксида кремния SiO<sub>2</sub>). Природа химической стойкости и сущность процессов, происходящих при разрушении стекла, заключаются в следующем.

Силикаты, находящиеся на поверхности стекла, вступают во взаимодействие с водой или влагой воздуха, гидролизуются и образуют щёлочь и гель кремниевой кислоты:

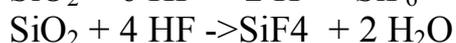
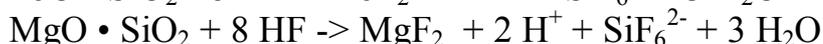
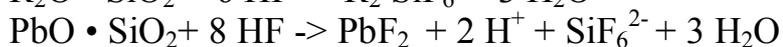
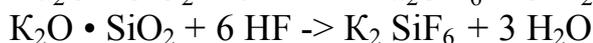
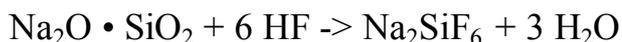


где R – ионы металлов (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>).

Щёлочь вымывается с поверхности стекла, а гель кремниевой кислоты остаётся и образует защитную плёнку. Кремниевая кислота замедляет процесс дальнейшего разрушения стекла. От толщины слоя защитной плёнки и его плотности зависит скорость диффузии через этот слой молекул воды. Процесс разрушения стекла резко замедляется при толщине защитной кремнеземистой плёнки более 50 нм.

Разрушение стекла возможно не только при его прямом смачивании, но и при неудовлетворительных условиях упаковки, хранения и транспортировки. Условия, при которых конденсируется влага на поверхности стекла, являются неблагоприятными и стекло разрушается. При длительном воздействии щелочных растворов на поверхность стёкол (например, когда стекло, упакованное в ящики, проложено сырой стружкой) щёлочи сначала растворяют защитную кремнеземную плёнку, а затем вступают во взаимодействие с самим стеклом. Сначала на поверхности появляются белые пятна, а затем и более глубокие повреждения. Образующийся налёт продуктов растворения отслаивается в виде чешуек.

В отличие от других реагентов, плавиковая кислота HF реагирует с поверхностной кремнезёмной плёнкой, вследствие чего происходит дальнейшее обнажение поверхности стекла, и процесс его растворения под действием плавиковой кислоты продолжается. Плавиковая кислота (HF), вступая в реакцию со стеклом, образует газообразный фторид кремния, а также фториды и кремнефториды металлов. Эти вещества в основном малорастворимы и очень быстро покрывают плотным слоем поверхность стекла:



Химическая стойкость силикатных стёкол в большей степени зависит от химического состава, в основном от содержания в стекле кремнезёма и щелочных оксидов. Введение в шихту кремнезёма значительно повышает, а щелочных оксидов понижает химическую стойкость. Калиево-натриевые стёкла более стойкие, чем чисто натриевые или чисто калиевые. Оксиды щелочно-земельных металлов, алюминия, бора, цинка повышают химическую стойкость стекла, а оксиды свинца – понижают её.

К действию кислот устойчивы очень кислые стёкла с низким содержанием щелочных и умеренным содержанием щелочноземельных оксидов. Особенно стойки стёкла, содержащие  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$  и  $ZrO_2$ .

Устойчивость силикатных стёкол по отношению к щелочам, особенно концентрированным, не высока. Повышают щелочеустойчивость стёкол оксиды алюминия и циркония, а снижают её оксиды щелочных металлов,  $BaO$ ,  $MgO$ ,  $PbO$  и  $TiO_2$ .

Разрушение стекла химическими реагентами значительно усиливается при повышении температуры. С ростом температуры на  $1^\circ$  процесс ускоряется на 15–30 % и тем сильнее, чем выше начальная температура. Вода особенно активна при температуре выше  $100^\circ C$ , при более высоких температурах разрушение значительно усиливается. Устойчивыми к перегретой воде или щелочным растворам оказываются лишь *цирконийсодержащие* стёкла.

Испытания технических стёкол на химическую устойчивость осуществляют при температуре кипения воды. Стёкла, изделия из которых предназначены для стерилизации или работы под давлением, испытывают в автоклавах при температуре  $120^\circ C$ .

С увеличением удельной поверхности изделий химическая устойчивость стекла резко понижается: тонкие стеклянные нити или стеклянный порошок разрушаются реагентами во много раз быстрее, чем массивное стекло. Химстойкость зависит от состояния поверхности и является более высокой у изделий с огнеполированной поверхностью, чем у механически обработанных стёкол того же состава.

Закалённые стёкла разрушаются в 1,2–2 раза сильнее, чем хорошо отожжённые. Исключение составляет группа щелочно-боросиликатных стёкол с высоким содержанием  $B_2O_3$ , превышающим содержание щелочных оксидов. Устойчивость этих стёкол уменьшается при отжиге и возрастает при закаливании.

В зависимости от водостойкости стёкла делят на пять гидролитических классов: I – неизменяемые водой; II – устойчивые; III – твёрдые аппаратные; IV – мягкие аппаратные; V – неудовлетворительные. Большинство тарных стёкол принадлежат к самому большому – III гидролитическому классу (табл. 2).

Химическая устойчивость поверхности стеклянных изделий может быть повышена в сотни и даже в тысячи раз путем специальной термохимической обработки их поверхности кислыми газами ( $CO_2$  или  $SO_2$ ) или

слабыми растворами кислот. При этом оптические свойства стекла и его внешний вид практически не изменяются.

Таблица 2

## Гидролитическая классификация стекол

Гидролитический класс стекла	Количество 0,01 н НС1, израсходованной на титрование, мл	Количество выщелоченного оксида натрия Na <sub>2</sub> O, мл
I	0–0,32	0–0,11
II	0,32–0,65	0,11–0,2
III	0,65–2,8	0,2–0,87
IV	2,8–6,5	0,87–2
V	6,5 и более выше	2 и выше

Химическую стойкость определяют количеством кислоты (НС1), пошедшей на титрование раствора, которым было обработано испытуемое стекло: чем больше израсходовано кислоты, тем меньше химическая стойкость стекла. В зависимости от количества кислоты, мл, расходуемой на титрование навески стекла 5 г, определяют гидролитический класс стекла.

## 2. Выполнение работы

**Цель работы:** определить химическую устойчивость различной стеклянной тары.

**Этап 1. Определение среды раствора тарных стёкол**

**Оборудование:** ступка с пестиком.

**Реактивы:** кусочки различного тарного стекла; дистиллированная вода H<sub>2</sub>O; фенолфталеин (индикатор).

**Ход работы:** Растереть в ступке по отдельности несколько кусочков различного тарного стекла. Около 1 г каждого полученного порошка перенести в пробирки, добавить 2–3 мл дистиллированной воды и 1–2 капли индикатора фенолфталеина.

Записать наблюдения. Проследить за окраской водного слоя в течение 30–60 мин. Объяснить изменение окраски индикатора фенолфталеина. Сформулировать вывод о среде растворов различных тарных стёкол.

**Этап 2. Определение химической устойчивости и гидролитического класса тарных стёкол в различных средах.**

**Оборудование:** конические колбы на 100 мл; электрическая плитка; водяная баня, установка для титрования.

**Реактивы:** навеска порошка различного тарного стекла (5 г); свежеприготовленная дистиллированная вода (на титрование 50 мл этой воды должно расходоваться не более 0,4 мл 0,01 н раствора НС1); 0,01 н раствор НС1; раствор индикатора метилового красного; буферный раствор (рН = 5,2).

**Ход работы:** Приготовить раствор сравнения; для этого в коническую колбу поместить 50 мл буферного раствора и добавить в него две капли метилового красного. Зафиксировать цвет раствора сравнения.

5 г порошка различного тарного стекла поместить в коническую колбу, добавить 50 мл нейтральной дистиллированной воды, закрыть пробкой и выдержать при температуре  $98\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,2$  в течение 50 мин.

После этого жидкость охладить, добавить две капли раствора индикатора метилового красного и титровать 0,01 н раствором соляной кислоты HCl, доводя раствор до окраски раствора сравнения (буферного раствора).

Отметить расход соляной кислоты, по табл. 2 определить гидролитический класс тарных стёкол. Свести результаты в таблицу и сделать вывод о химической устойчивости тары из разных видов стекол.

**Требования к отчету:**

1. Заготовку отчета оформить заранее, осветив ней теоретические положения и цель работы.

2. Привести краткую методику работы, формулы и требуемые результаты расчетов. Сделать вывод о гидролитическом классе стекол.

### Лабораторная работа 3

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ БРУСКОВ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ ИЗГИБЕ

##### 1. Теоретические положения

**Прочностью** называется способность тела противостоять разрушению под действием внешних сил. В зависимости от природы внешних сил различают электрическую, механическую и др. виды прочности тел.

*Явление сцепления, притяжения между частицами вещества* (атомами, молекулами, ионами) *внутри этого вещества*, составляющего одну фазу, и приводящее к объединению частиц в единое тело, называется **когезией**.

Причиной когезии в линейных и разветвленных полимерах являются силы межмолекулярного взаимодействия внутри вещества.

В сетчатых полимерах когезию обеспечивают силы межмолекулярного взаимодействия и поперечные химические связи.

В отличие от когезии *явление сцепления* (слипания, приклеивания, прилипания), *которое возникает на поверхности соприкосновения разнородных конденсированных тел или однородных тел в разных фазах*, приведенных в контакт, называется **адгезией**.

*Когезия* наряду с химическими связями в цепях макромолекул *обеспечивает прочность внутри слоя полимера*.

*Разрушение*, происходящее *по слою полимера*, т.е. нарушение сплошности тела, называется **когезионным**.

Адгезия обеспечивает прочность на поверхности соприкосновения тел (фаз).

Разрушение сплошности изделия по поверхности контакта тел (фаз), называется **адгезионным** разрушением.

На прочность изделий из полимерных материалов влияют:

а) структура полимера (собственные внутренние характеристики полимера): химическое строение полимера, тип надмолекулярной структуры, наличие и состав композиций, наличие и тип наполнителей, пластификаторов и др.;

б) технологические режимы получения полимера (вид и условия полимеризации, давление, тип катализатора, соотношение компонентов смеси, природа и количество инициаторов, ингибиторов, растворителя, регулятора и т.д.);

в) технологические режимы переработки полимера в изделия (температура, скорость охлаждения, метод изготовления: экструзия, прессование, вытяжка, кручение, литье под давлением, вакуум-формование и др.);

г) конструкция изделия, размеры, сложность конфигурации изделия и др.;

д) внешние условия (температура, характер, скорость, частота и длительность нагружения).

Адгезионная прочность существенно зависит от условий склейки: температуры, давления, качества склеиваемых поверхностей.

Количественно прочность можно характеризовать несколькими способами: по напряжению разрушения  $\sigma_p$ , по времени эксплуатации до наступления разрушения  $\tau$ , по числу циклов до разрушения  $N$ , по величине деформации в момент разрушения  $\epsilon_p$  и др.

Напряжение, при котором в данных условиях происходит разрушение образца, называется **разрушающим напряжением** или **пределом прочности** или просто **прочностью при растяжении, прочностью при изгибе** и т.д.  $\sigma_p$ .

Максимальная деформация, которая развивается в образце к моменту разделения его на части, называется **максимальной относительной деформацией**  $\epsilon_p$ .

Разрушающее напряжение и величину деформации можно определять в разных условиях деформирования: при одноосном растяжении или сжатии образца, при изгибе, при сколе и др.

В условиях одноосного растяжения величину  $\sigma_p$  называют **прочностью при растяжении**, а  $\epsilon_p$  называется **относительным растяжением при разрыве**.

**Прочность при растяжении**  $\sigma_p$  находят по формуле:

$$\sigma_p = \frac{P_p}{S_0},$$

где  $P_p$  – разрушающее усилие,

$S_0$  – площадь поперечного сечения образца до начала испытаний.

Относительное растяжение при разрыве  $\varepsilon_p$  определяют как

$$\varepsilon_p = \frac{\Delta l_p}{l_0} 100\% = \frac{l_p - l_0}{l_0} 100\%.$$

где  $l_0$  – рабочая (расчетная) длина образца, мм;

$l_p$  – длина образца в момент разрыва, мм;

$\Delta l_p$  – изменение расчетной длины образца в момент разрыва, мм.

Данные испытания проводят на разрывных машинах, используя разные приспособления и зажимы для установки и закрепления образцов.

**Прочность при изгибе  $\sigma_u$**  находят по формуле:

$$\sigma_u = \frac{M_u}{W},$$

где  $M_u$  – изгибающий момент, Н•мм;

$W$  – момент сопротивления сечения образца, мм<sup>3</sup>.

Как уже отмечалось, значения  $\sigma$  и  $\varepsilon$  зависят от вида деформации, скорости деформирования, и температуры.

## 2. Выполнение работы

**Цель работы:** определить прочность при статическом изгибе брусков, изготовленных из разных пород древесины.

Деформационно-прочностные свойства материалов при статическом изгибе определяются двумя методами:

- двухопорным изгибом, когда образец располагается на двух опорах и нагружен усилием, действующим по оси симметрии опор (рис. 3);
- консольным изгибом, когда нагрузка приложена к свободному концу защемленного образца.

При определении прочности брусков при двухопорном изгибе соотношение длины и толщины образцов должно составлять  $L \geq 20 h$ , а ширина  $b = 10 \div 25$  мм.

Стандартный образец-брусочек (рис. 3) должен иметь следующие размеры:

$$Lbh = \geq 80 \cdot (10,00 \pm 0,50) \cdot (4 \pm 0,20) \text{ см}$$

**Оборудование, инструмент:** разрывная машина 2166 Р-5, штангенциркуль с точностью до 0,05 мм.

**Материалы:** образцы-брусочки из древесины.

При двухопорном изгибе образец устанавливают на опоры разрывной машины широкой стороной  $b$  (рис. 3).

Если образец подвергался механической обработке с одной стороны, то его кладут на опоры той стороной, которая не подвергалась механической обработке.

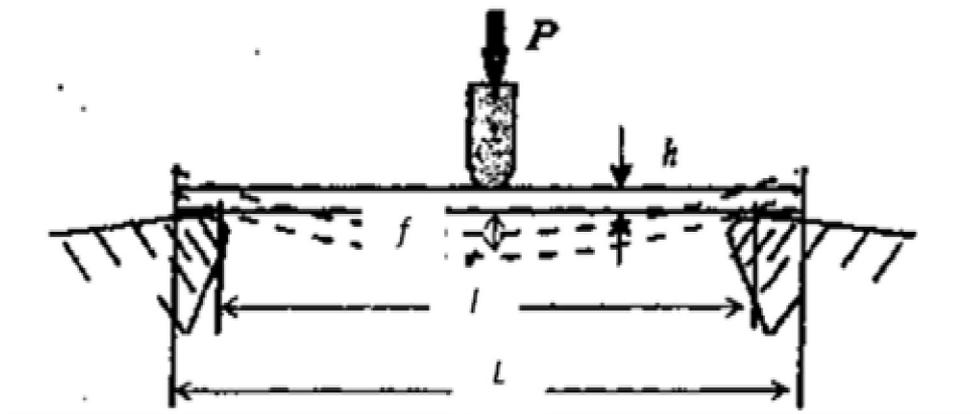


Рис. 3. Схема испытаний на двухопорный изгиб:  
*f* – прогиб образца в середине между опорами в момент разрушения

Расстояние между опорами  $l = (15-17) h$ .

Скорость относительного перемещения нагружающего наконечника  $V$  (мм/мин) вычисляют по формуле

$$V = \frac{v_r l^2}{6h},$$

где  $l$  – расстояние между опорами, мм;

$v_r$  – скорость деформации, равная 0,01 мм/мин.

Для стандартного образца при  $l = 60$  мм скорость относительного перемещения  $V = 1,5$  мм/мин.

На пульте управления машины устанавливают скорость перемещения наконечника, нулевую отметку индикатора измерения нагрузки, базу измерения деформации в миллиметрах.

Прочность (изгибающее напряжение) при статическом изгибе  $\sigma_u$  (МПа) вычисляют по формуле

$$\sigma_u = \frac{M_u}{W},$$

где  $M_u$  – изгибающий момент, Н•мм;

$W$  – момент сопротивления сечения образца, мм<sup>3</sup>.

Изгибающий момент  $M_u$  (Н•мм) вычисляют по формуле:

$$M_u = \frac{Pl}{4}.$$

Момент сопротивления сечения образца  $W$  (мм<sup>3</sup>) вычисляют по формуле:

$$W = \frac{bh^2}{6}.$$

Отсюда прочность при статическом изгибе равна  $\sigma_u = \frac{3Pl}{2bh^2}$

С учетом стрелы прогиба образца  $f$  в момент разрушения

$$\sigma_u = \frac{3Pl}{2bh^2} \left[ 1 + 4 \left( \frac{f}{l} \right)^2 \right].$$

За результат испытания принимают среднее арифметическое двух определений, вычисляемое до третьей значащей цифры.

Полученные данные по прочности при изгибе нескольких пород древесины необходимо привести к нормализованной влажности 12% по формуле:

$$\sigma_{и}^{12} = \sigma_{и} [1 + \alpha(W - 12)],$$

где  $\sigma_{и}^{12}$  – прочность при статическом изгибе при влажности 12 %;

$\sigma_{и}$  – прочность при статическом изгибе при влажности в условиях испытаний;

$W$  – влажность древесины в момент испытаний, %;

$\alpha$  – поправочный коэффициент на влажность, показывающий на сколько меняется показатель прочности при изменении влажности на 1 %. Для всех пород он равен **0,04**.

Полученные результаты сравнивают с литературными данными по прочности на изгиб разных пород древесины (табл. 3).

Таблица 3

Прочность древесины разных пород при статическом изгибе

Порода	Предел прочности, МПа, при влажности, %		Порода	Предел прочности, МПа, при влажности, %	
	12	30 и более		12	30 и более
Лиственница	109	61	Орех грецкий	108	60
Сосна	85	49	Береза	110	65
Ель	79	43	Бук	104	63
Кедр	69	36	Дуб	103	66
Пихта сибирская	68	40	Вяз	92	58
Акация белая	148	96	Липа	86	53
Граб	128	74	Ольха	79	48
Ясень	118	73	Осина	77	45
Клен	115	66	Тополь	68	40
Груша	106	62			

**Требования к отчету:**

1. Заготовку отчета оформить заранее, осветив в ней теоретические положения и цель работы.

2. Привести краткую методику работы, формулы и результаты расчетов. Сравнить полученные данные с литературными и сделать выводы о влиянии влажности на прочность при изгибе.

### Лабораторная работа 4

## ОЦЕНКА АДГЕЗИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ЛИПКИХ ЛЕНТ

### 1. Теоретическое обоснование работы

**Адгезия** (от лат. *adhaesio* – прилипание) в физике – сцепление поверхностей разнородных твердых и/или жидких тел. Адгезия обусловлена межмолекулярным взаимодействием (ван-дер-ваальсовым, полярным, иногда – образованием химических связей или взаимной диффузией) в поверхностном слое и характеризуется удельной работой или силой, необходимой для разделения поверхностей. Действие тех же межмолекулярных сил внутри одной фазы называют когезией. Разделение контактирующих фаз по поверхности раздела называют «адгезионным» расслаиванием или разрушением, а разделение по одной из фаз – «когезионным». В некоторых случаях адгезия может оказаться больше, чем когезия, и тогда при попытке разрушения адгезионного контакта происходит когезионный разрыв, т. е. образование новой поверхности в объеме менее прочного материала.

Адгезия пленок и покрытий – явление, которое возникает при контакте твердых поверхностей с пленками, находящимися на этих поверхностях.

Как правило, структура пленки или покрытия формируется в результате соприкосновения с твердой поверхностью. Пленки, сформированные до контакта с твердым телом, приобретают в результате адгезии новые свойства. Например, исходные могут быть очень хрупкими, но при контакте с твердой поверхностью это отрицательное свойство пленок исчезает за счет адгезии. Пленки могут приобретать и другие положительные качества при переходе из исходного состояния в состояние покрытия.

Клеевые материалы, прилипающие к твердой поверхности, называют адгезивом, а саму поверхность, на которую они наносятся – субстратом или подложкой. Пленки обычно наносят на какую-либо твердую поверхность для того, чтобы в одном случае изолировать субстрат от внешней среды или наклеить этикетку с соответствующей информацией о субстрате или его содержимом, если это тара. Это делается для предупреждения коррозии, придания поверхности каких-либо специальных свойств (смазочных, декоративных и др.)

Адгезия пленок количественно определяется при помощи методов, основанных на отрыве пленок. Установлено, что ***внешнее усилие, обуславливающее отрыв пленок, всегда больше суммы только адгезионных сил,***

потому что при отрыве усилие тратится на преодоление адгезии и на другие побочные процессы. Это означает, что истинную адгезию пленок измерить точно не представляется возможным. Кроме того, величина истинной адгезии не поддается и теоретическому точному расчету.

В лабораторной практике адгезия пленок и покрытий оценивается путем измерения силы, необходимой для отрыва пленок от субстрата. К измеряемым параметрам внешних воздействий относят силу отрыва  $F_{отр}$  и работу отрыва  $A_{отр}$ . В большинстве случаев отрыв пленки является постепенным актом разрушения адгезионного контакта и происходит путем перемещения линейной границы отрыва вдоль поверхности субстрата. В таком варианте разрушения контакта материалов адгезия может характеризоваться произведением силы отрыва  $F_{отр}$  на расстояние перемещения границы отрыва пленки, т. е. работой отрыва пленки от поверхности  $A_{отр}$ . Чаще оценку адгезионной прочности проводят по величине работы отрыва  $A_{отр}$ .

При отрыве пленок на преодоление адгезии тратится лишь часть работы  $A_{Ад}$ , а остальная часть работы, причем весьма значительная, расходуется на побочные процессы. К числу таких процессов относится деформация пленок, так как пленка отрывается последовательно, то та часть пленки, которая уже отделилась от поверхности под действием растягивающей силы, изменяет свою форму и деформируется. На деформацию пленки затрачивается часть работы отрыва  $A_{Д}$ .

При адгезии пленок в зоне контакта может возникнуть двойной электрический слой. Отрыв пленок в этих условиях равноценен разведению разноименно заряженных поверхностей конденсатора. При определенной скорости отрыва пленки может произойти разряд двойного слоя ранее контактировавших поверхностей. На этот процесс расходуется часть работы отрыва, равная  $A_{Э}$ . Кроме того, некоторая часть энергии внешнего воздействия теряется на нагрев пленки, преодоление механического зацепления выступов шероховатых поверхностей и другие потери  $A_{П}$ . Наряду с этим, в пленке или субстрате при отрыве покрытия могут возникнуть внутренние структурные изменения, например, трещины и другие дефекты. Долю энергии, расходуемой на реализацию этих процессов обозначают как  $A_{ВН}$ . В общем виде адгезионная прочность пленок будет равна:

$$A_{отр} = A_{Ад} + A_{Д} + A_{Э} + A_{П} + A_{ВН}. \quad (1)$$

При описании адгезионной прочности в единицах силы, усилие, необходимое для отрыва единицы площади контакта –  $F_{отр}$  по аналогии с условием (1) следует записать:

$$F_{отр} = F_{Ад} + F_{Д} + F_{Э} + F_{П} + F_{ВН}. \quad (2)$$

В большинстве случаев реализуется условие:  $A_{отр} > A_{Ад}$  или  $F_{отр} > F_{Ад}$ .

Реальная адгезионная прочность существенно больше только одной равновесной адгезии и включает всю энергию, которая расходуется для нарушения адгезионной связи и на все побочные процессы.

Величина адгезионной прочности существенно зависит от размеров отрываемых пленок и от методов отрыва. Вследствие этого адгезионная прочность одной и той же пленки разной толщины имеет разные значения. Адгезионная прочность будет зависеть от ширины пленки, скорости ее отрыва, направления силы отрыва по отношению к поверхности субстрата и ряда других факторов.

Фактически, адгезия за счет молекулярных сил формируется в граничном слое, состоящем, как правило, не более чем из двух слоев молекул и имеющем толщину порядка 1 нм. Граничный слой может быть «слабым», т. е. уменьшать адгезионную прочность, и «сильным», т. е. усиливать адгезионную прочность.

Граничный слой обуславливает адгезионное взаимодействие за счет межмолекулярных сил и химического взаимодействия между адгезивом и субстратом; за счет примесей, находящихся в твердых телах; под действием взаимной растворимости компонентов, входящих в адгезив; в результате изменения смачивания поверхности субстрата расплавом адгезива при формировании пленок; как следствие диффузии, адсорбции и окислительных процессов.

Адгезия твердых тел с неровной поверхностью обычно невелика, так как они фактически соприкасаются только отдельными выступающими участками своих поверхностей. Адгезия жидкости и твердого тела и двух несмешивающихся жидкостей достигает предельно высокого значения вследствие полного контакта по всей площади соприкосновения. При покрытии твердого тела полимером в текучем состоянии – последний проникает в углубления и поры. После отверждения полимера возникает связь, иногда называемая механической адгезией. В этом случае для отрыва полимерной пленки необходимо преодолеть когезию в затвердевшем полимере. Для достижения предельной адгезии твердые тела соединяют в пластическом или эластичном состоянии под давлением, например, при склеивании резиновым клеем или при холодной сварке металлов.

Адгезия полимеров больше тогда, когда макромолекулы соприкасающихся тел сильно полярные или имеют достаточное число химически активных функциональных групп. Для улучшения адгезии в состав клея вводят активные добавки, молекулы которых одним концом прочно связываются с адгезивом, другим – с подложкой, образуя ориентированный адсорбционный слой.

**Определение адгезионной прочности методом отслаивания.** В отличие от методов одновременного отрыва пленок, в группе методов определения адгезионной прочности методом отслаивания отрыв пленок происходит путем последовательного нарушения контакта между соприкасающимися телами.

*Определение адгезионной прочности методом отслаивания* возможно в том случае, когда адгезив или (и) субстрат являются гибкими.

Различные варианты метода отслаивания показаны на рис. 4. Сила отрыва может быть приложена либо к адгезиву (рис. 4, а, в, г), либо к субстрату (рис. 4, б). При реализации метода отслаивания одно из контактирующих тел должно быть неподвижным. Чаще таким неподвижным телом является субстрат. Сила отрыва может быть направлена под некоторым углом к поверхности контакта двух тел (рис. 4, д). Зная угол  $\alpha$  между поверхностью субстрата и направлением силы отрыва, а также расстояние  $L$ , которое проходит пленка под действием силы отрыва, можно определить работу отрыва пленки.

Сила отрыва в начале процесса отрыва пленки от поверхности, как правило, должна быть больше, чем в процессе отрыва. В связи с этим различивают статическую (соответствующую началу отрыва пленки) и динамическую (в процессе отрыва пленки) силы отрыва. Значения сил отрыва зависят от скорости отрыва. С изменением скорости отрыва пленок меняется расход внешнего усилия на побочные процессы и величина адгезионной прочности. Поэтому, при определении адгезионной прочности методом отслаивания, следует указывать скорость отрыва пленок.

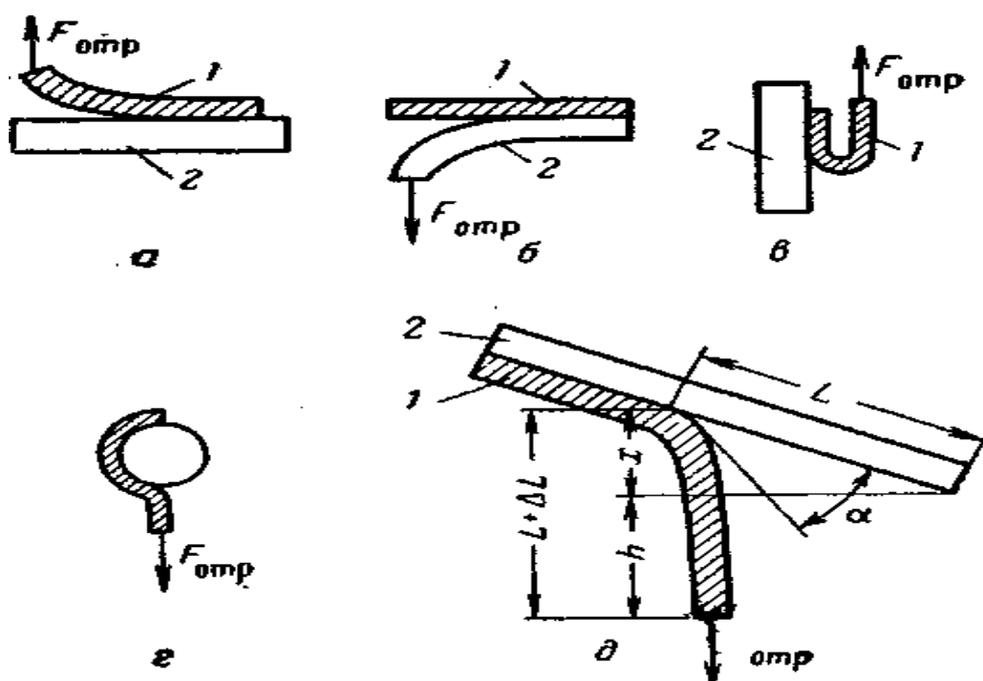


Рис. 4. Методы определения адгезионной прочности путем постепенного отрыва самоклеющихся этикеток (метод отслаивания):  
 а, б, в, г, д – варианты метода отслаивания; 1 – этикетка (липкая лента, скотч);  
 2 – поверхность полимерного изделия (субстрата)

Метод отслаивания при внешней силе отрыва, направленной под углом  $180^\circ$  (рис. 4, в), применяется для определения адгезионной прочности пленок к гибкой основе.

Существует и ряд других специальных методов определения адгезионной и когезионной прочности пленок, из которых можно назвать метод расщепления, среза, сдвига и кручения.

Для определения адгезионных характеристик методами отслаивания склеенных между собой гибких пленок в научных исследовательских целях следует пользоваться разрывной машиной, позволяющей не только фиксировать усилие отслаивания, но и задавать и поддерживать определенную скорость этого процесса.

Однако в условиях отсутствия специального оборудования и для проведения сравнительных испытаний по оценке адгезионной прочности соединений в учебных целях можно использовать другой, более простой способ. Этот способ заключается в определении скорости отслаивания липкой ленты типа «скотч» (имеющей липкий адгезионный слой) от гибких полимерных субстратов различной химической природы.

В этом случае можно провести сравнительную оценку степени адгезионного взаимодействия одинакового во всех случаях липкого слоя ленты с полимерными материалами различной химической природы. В этом случае степень такого взаимодействия при прочих равных условиях зависит только от поверхностных характеристик (поверхностной энергии) полимерных субстратов. При условии изменения поверхностных характеристик полимера, например, при его поверхностной модификации – метод отслаивания липкой ленты может косвенно отражать степень достигнутых изменений (уменьшение или увеличение поверхностной энергии).

Если скорость отслаивания липкой ленты возрастает, – значит, поверхностная энергия уменьшилась и, наоборот, уменьшение скорости ее отслаивания будет свидетельствовать об увеличении поверхностной энергии. Поскольку поверхностная энергия напрямую связана с полярностью полимера, скорость отслаивания липкой ленты от полимерных материалов должна коррелировать с их химической природой.

Адгезионные свойства липких лент зависят, прежде всего, от рецептуры вещества липкого слоя, присутствия в его составе специальных добавок – *клеикогенов* и других компонентов, усиливающих прочность их сцепления с различными поверхностями. Адгезив липкого слоя лент во всех случаях представляет собой постоянную полярную композицию, адгезионные характеристики которой обеспечивают достаточную прочность ее сцепления с другими поверхностями. Наоборот, разные полимеры обладают различными поверхностными свойствами и прочность сцепления липкого слоя будет зависеть от полимерной основы пленок (полипропилена, полиэтилена, лавсана, бумаги и др.), на которые будет нанесен липкий слой.

## 2. Выполнение работы

**Цель работы:** количественно оценить и сравнить между собой адгезионные свойства различных полимерных материалов.

**Оборудование, приборы, материалы для проведения работы:**

*Оборудование и приборы:* штатив для закрепления склеенных с липкой лентой пленочных полимерных образцов, секундомер, грузы массой 100 г, линейка металлическая измерительная длиной 300 мм с ценой деления 1 мм, нож канцелярский «Office point», пластина из органического стекла 200х300 мм, толщиной 5 мм.

*Материалы:* пленочные образцы различных полимеров длиной не менее 200 мм (ПЭ, ПП, ПВХ пластифицированный, полиимид, лавсан, фторопласт-4, фторопласт-26, бумага и др.), липкая лента типа «скотч» толщиной 14–20 мм, спирт этиловый синтетический, ректифицированный, вата для протирки образцов.

**Этапы работы:**

1. Подготовка ленточных образцов различных полимерных пленочных материалов для последующего наклеивания на них липкой ленты типа «скотч» (вырезание по размеру, обезжиривание).

2. Наклеивание липкой ленты типа «скотч» шириной 14–20 мм на поверхность образцов различных полимерных пленочных материалов.

3. Подготовка образцов к испытанию на расслаивание (обрезка излишков пленки по длине и ширине липкой ленты).

Испытание ленточных образцов на расслаивание под углом 180 градусов в режиме статической нагрузки.

Расчет скорости расслаивания и заполнение итоговой таблицы.

Анализ экспериментальных данных с учетом сведений о структуре и полярности исследуемых полимеров, написание отчета с выводами и рекомендациями.

**Ход работы:**

1. Разложите выбранные для исследований материалы шириной не менее чем ширина липкой ленты и длиной не менее 200 мм на горизонтальную поверхность рабочего стола, застеленного полиэтиленовой или иной пленкой, протрите их с одной стороны ватным тампоном, смоченным этиловым спиртом, и просушите на воздухе в течение 10 минут.

2. Аккуратно наклейте на обезжиренные полимерные образцы липкую ленту, сматывая ее с рулона на длину не менее 200 мм так, чтобы под слоем прозрачной липкой ленты не образовывалось больших воздушных пузырей. Прodelать эту операцию следует однократно, не отслаивая ленту несколько раз от полимерной пленки.

3. С помощью металлической линейки и канцелярского ножа отрежьте по ширине липкой ленты выступающие с боков по длине полимерные пленки так, чтобы получились склеенные с липкой лентой ленточные образцы длиной не менее 200 мм.

4. Нанесите на полученные образцы (с помощью шариковой ручки или другим способом) по их центру метки в виде поперечных полосок, расположенных на расстоянии 50 и 100 мм, обозначив таким образом «рабочий участок».

5. Расслоив с одного из концов ленточный образец на 30–40 мм, закрепите пленочный материал (субстрат) в штативе, а к липкой ленте прикрепите груз массой 100 г так, как это показано на рис. 5. После отпущения груза липкая лента начнет отслаиваться от полимерного образца с некоторой скоростью.

6. В момент, когда образец расслоится до первой поперечной метки рабочего участка, включите секундомер и зафиксируйте время, в течение которого образец будет расслаиваться на участке 100 мм. Занесите полученные данные в таблицу.

7. Последовательно проведите подобный эксперимент со всеми подготовленными образцами субстрата (подложки) и рассчитайте скорость отслаивания липкой ленты в мм/мин.

8. Проанализируйте полученные экспериментальные данные и найдите корреляцию между скоростью отслаивания липкой ленты, химической природой, полярностью и качеством поверхности полимерных пленочных материалов.

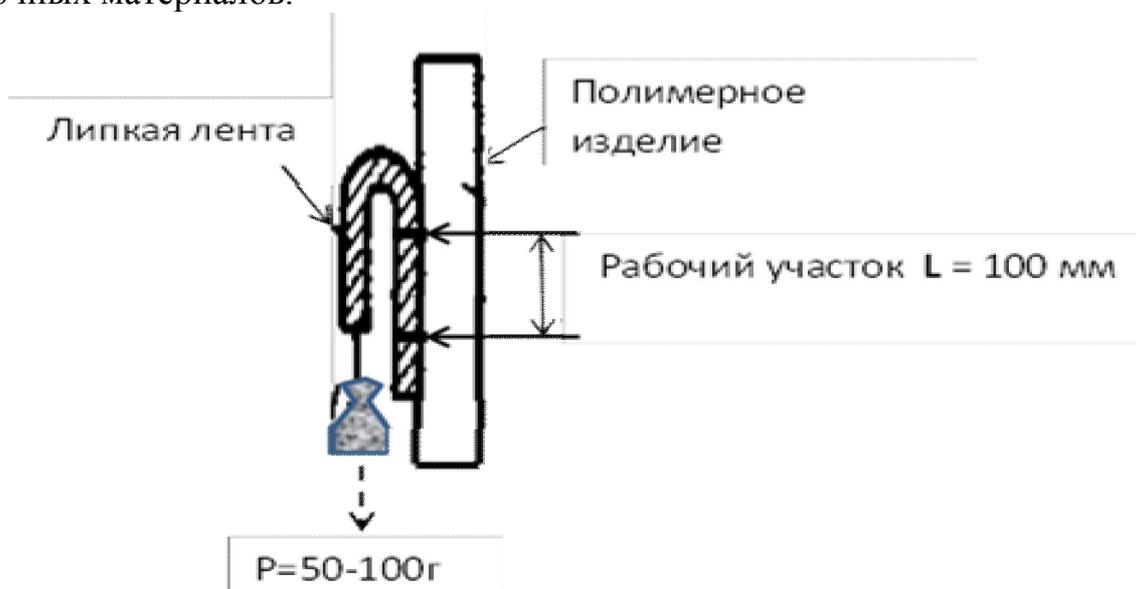


Рис. 5. Схема проведения испытаний ленточных образцов на расслаивание при постоянной нагрузке

Примите во внимание, что полярность полимеров можно оценить таким показателем, как параметр растворимости  $\delta$ . Параметр растворимости  $\delta$  отражает плотность энергии когезии (внутреннего сцепления) вещества  $\delta = \sqrt{\text{ПЭК}}$  и выражается в  $(\text{кал}/\text{см}^3)^{1/2}$ . Чем выше полярность полимера, тем больше величина параметра растворимости (табл. 4).

Сведите все полученные результаты в таблицу и сделайте выводы о влиянии химической природы, качества поверхности, толщины и других свойств подложки на адгезионную прочность склейки.

Таблица 4

## Параметры растворимости некоторых полимеров

№ п/п	Полимер	Параметр растворимости, $(\text{кал/см}^3)^{1/2}$ или $(\text{Дж/см}^3)^{1/2}$
1	Полиэтилен ПЭ	7,9 (16,15)
2	Поливинилхлорид ПВХ	9,5 – 9,7 (19,5–19,9)
3	Поливинилацетат ПВА	9,4 (19,3)
4	Полиэтилентерефталат ПЭТ	10,7 (21,9)
5	Ацетат целлюлозы	10,9 (22,4)
6	Нитрат целлюлозы	10,6 – 11,5 (21,7 – 23,6)
7	Полиамид 66 ПА-66	13,6 (27,9)
8	Целлюлоза	15,05 (32,0)

**Требования к отчету:**

1. Заготовку отчета оформить заранее, осветив ней теоретические положения и цель работы.

2. Привести краткую методику работы, схему проведения испытаний, результаты измерений времени расслаивания и анализ полученных данных.

**Лабораторная работа 5**

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ  
НА ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА  
ПОЛИЭТИЛЕНА ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

## 1. Теоретические положения

*Теоретические положения рассмотрены в курсе лекций: тема «Деформационно-прочностные свойства полимерных материалов».*

## 2. Выполнение работы

**Реактивы и материалы:** Образцы полиэтилена в форме лопаточек по ГОСТ 11262-80 толщиной 1–3 мм.

**Приборы и оборудование:** разрывная машина типа ИР-5006-5, штангенциркуль или микрометр; линейка; термощкаф с диапазоном регулируемых температур 0–100 °С; термометры ртутные с диапазоном измерения температуры 0–100 °С.

**Порядок выполнения работы:**

Для испытаний на растяжение эластичных термопластов, какими являются полиэтилен, пластифицированный поливинилхлорид и др., необходимо

применять лопаточки по ГОСТ 11262-80, форма которых изображена на рис. 6, а размеры приведены в табл. 5.

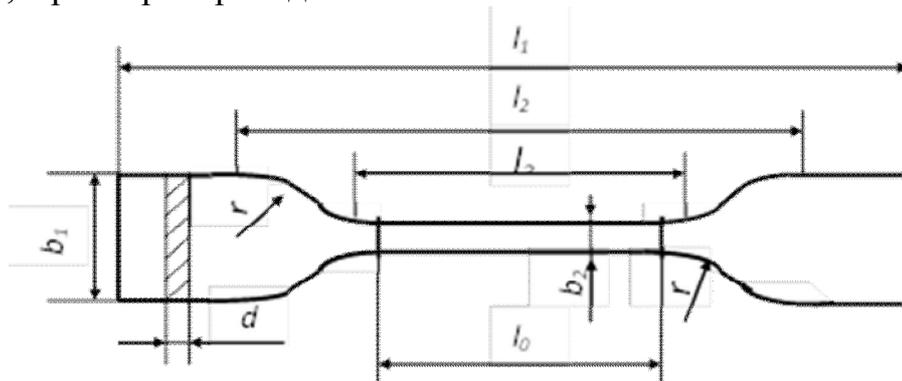


Рис. 6. Тип лопаточки из термопластов для испытаний на растяжение

Лопаточки вырубают с помощью штанцевого вырубного ножа и механического пресса. Максимально допустимая толщина лопаточек не должна превышать 3 мм. Расчетная длина  $l_0$ , равная 25 мм, автоматически фиксируется специальными зажимами разрывной машины.

Для выполнения данной лабораторной работы необходимо не менее 4 лопаточек, вырубленных вдоль или поперек оси ориентационной вытяжки полиэтилена. Образцы – лопаточки должны иметь ровную гладкую поверхность без вздутий, сколов, трещин, раковин и других видимых дефектов.

Все образцы испытывают на растяжение при скорости деформации (скорости движения подвижного зажима разрывной машины) – 50 или 100 мм/мин. Предел измерений по шкале усилия  $P$  разрывной машины от 0 до 500 Н.

Таблица 5

Размеры лопаточек по ГОСТ 11262-80

Параметр	Размер
Общая длина $l_1$ , мм, не менее	115
Расстояние между метками, определяющими положение кромок зажимов на образце $l_2$ , мм	$80 \pm 5$
Длина рабочей части $l_3$ , мм	$33 \pm 1$
Расчетная длина $l_0$ , мм	$25 \pm 1$
Ширина головки $b_1$ , мм	$25 \pm 1$
Ширина рабочей части $b_2$ , мм	$6 \pm 0,4$
Толщина $d$ (от 1 до 3 мм)	$2 \pm 0,2$
Большой радиус закругления $r$ , мм	$25 \pm 1$
Малый радиус закругления $r$ , мм	$14 \pm 0,5$

Зажимы машины обеспечивают надежное крепление образцов, не вызывая их разрушения в месте крепления. Разрывная машина снабжена

блоками автоматической регистрации усилия  $P$  (в Н) и относительной деформации  $\varepsilon$  (в %): текущих, в момент наступления «холодного» течения и в момент разрушения образца.

Погрешность при измерении усилия  $P$  и относительного удлинения  $\varepsilon$  не превышает 1 % от измеряемой величины.

**Предварительные операции до начала испытаний на растяжение:**

Лопаточки нумеруют на широкой части, предназначенной для закрепления в зажимах разрывной машины, наносят метки, отражающие рабочий участок  $l_0$ . Микрометром или штангенциркулем измеряют в трех местах толщину и ширину всех образцов лопаточек в пределах расчетной части  $l_0$ : в середине и на расстоянии 5 мм от краев расчетной длины  $l_0$ . Рассчитывают средние арифметические значения ширины  $b_2$ , толщины  $d$  и вычисляют начальную площадь поперечного сечения образцов  $A_0$ . Образцы, у которых минимальное и максимальные значения  $b_2$  и  $d$  различаются более чем на 0,2 мм, не испытываются.

Половину лопаточек термостатируют в термошкафу при температуре 45–50 °С в течение 40–60 мин до начала испытаний. Вторую половину лопаточек выдерживают при комнатной температуре. Фактические значения температуры определяют по показаниям термометров, установленных в помещении лаборатории и в термошкафу.

Испытания каждой лопаточки проводят согласно инструкции к разрывной машине до наступления разрушения образца. Закрепляют лопаточки в зажимах испытательной машины по меткам  $l_2$ , чтобы совпадали между собой продольные оси образца с направлением движения подвижного зажима.

Указатели на шкале усилия  $P$  устанавливают в положение 0 ручками грубой и точной настройки. Равномерно затягивают зажимы и нажимают кнопку «ПУСК» разрывной машины.

После разрушения образца нажимают красную кнопку «СТОП» и останавливают движение подвижного зажима разрывной машины.

На табло блока регистрации усилия (силомера) фиксируют две нагрузки  $P$ , действующие на образец:

- в момент появления «шейки» и наступления «холодного» течения  $P_T$ ;
- в момент разрушения образца  $P_R$ .

С другого табло снимают показания относительного удлинения  $\varepsilon$  в момент разрыва образца. В случае неисправности блока фиксации относительного удлинения длину образца после разрыва  $l_p$  измеряют линейкой.

Ослабляют зажимы разрывной машины и убирают испытанный образец. Если блок измерения относительной деформации выходит из строя, то вручную линейкой измеряют длину расчетной части лопаточек, достигнутую в момент разрушения образца  $l_p$ .

Нажимают кнопку «ПУСК» и сближают зажимы разрывной машины на расстояние, требуемое для закрепления и испытания следующего образца.

Аналогично проводят испытание остальных образцов, в том числе, термостатированных при повышенной температуре  $\sim 45-50^{\circ}\text{C}$ .

**Обработка результатов:**

По полученным результатам измерений рассчитывают следующие деформационно-прочностные характеристики:

Относительное удлинение при разрыве  $\varepsilon_p$  в %:

$$\varepsilon_p = \frac{\Delta l_p}{l_0} 100\% = \frac{l_p - l_0}{l_0} 100\%.$$

Предел текучести  $\sigma_T$ , МПа:  $\sigma_T = \frac{P_T}{A_0}.$

Прочность при разрыве  $\sigma_p$ , МПа:  $\sigma_p = \frac{P_p}{A_0},$

где  $l_0, l_p$  – расчетная длина образца начальная и в момент разрушения, мм;

$\Delta l_p$  – изменение расчетной длины образца в момент разрушения, мм;

$P_T$  – растягивающее усилие, действующее на образец в момент наступления «холодного течения», Н;

$P_p$  – растягивающее усилие, действующее на образец в момент разрушения, Н;

$A_0$  – площадь поперечного сечения испытываемых образцов,  $\text{мм}^2$

Результаты испытаний и расчетов для каждого из образцов вносят в табл. 6.

Таблица 6

Результаты определения деформационно-прочностных свойств лопаточек из полиэтилена

Температура, К	Площадь $A_0$ , $\text{мм}^2$	Начальная расчетная длина $l_0$ , мм	Усилие «холодного» течения $P_T$ , Н	Предел текучести $\sigma_T$ , МПа	Усилие разрушения $P_p$ , Н	Прочность при разрыве $\sigma_p$ , МПа	Относительное удлинение при разрушении $\varepsilon_p$ , %

По экспериментальным величинам предела текучести  $\sigma_T$  и прочности полиэтиленовых лопаток при разрыве  $\sigma_p$ , определенным при различных температурах, строят график зависимости  $\sigma_T$  и  $\sigma_p$  от температуры и делают выводы о её влиянии на прочность полиэтилена.

**Требования к отчету:**

1. Заготовку отчета оформить заранее, осветив ней теоретические положения и цель работы.
2. Привести краткую методику работы, формулы и требуемые результаты расчетов.
3. Дать полную характеристику испытуемого материала и лопаточек, их чертеж и размеры.
4. Схематично изобразить разрывную машину и описать основные блоки, входящие в её комплектацию.
5. Построить графики зависимости  $\sigma_p$  и  $\sigma_T = f(T)$ .
6. Сравнить полученные деформационно-прочностные свойства полиэтилена с литературными данными.

## Лабораторная работа 6

### ТЕРМОУСАДОЧНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ОРИЕНТИРОВАННОМ ПОЛИЭТИЛЕНЕ

#### 1. Теоретическое обоснование работы

##### **Термоусадочные пленки полиолефиновые**

Полиолефины в настоящее время являются одними из наиболее распространенных крупнотоннажных полимеров, выпускаемых в нашей стране, и относятся к классу термопластов универсального назначения. Наиболее важен для получения пленок среди них - полиэтилен низкой и высокой плотности.

Производство термоусадочной пленки из полиэтилена высокого давления в настоящее время представляет большой практический интерес и имеет хорошие перспективы роста объемов производства. Термоусадочная пленка из ПЭНП (ПЭВД) является прекрасным упаковочным материалом, допущена к контакту с пищевыми продуктами, широко используется для индивидуальной и групповой упаковки различных напитков, молочных продуктов, замороженной птицы, колбас и сыров, а также целого ряда других промышленных товаров народного потребления, лекарственных препаратов и многого другого.

Принцип, на котором основана упаковка продукции в термоусаживаемую пленку, иногда называют памятью полимера. Другими словами, пленка, которая была растянута (ориентирована) при переработке и затем охлаждена для фиксации полученного ориентированного состояния, при

повторном нагревании будет стремиться вернуться к своим прежним размерам в неориентированном состоянии.

Чаще всего термоусаживаемую пленку получают на экструзионно-выдувных линиях, путем продавливания расплава полимерного материала через круглощелевую (кольцевую) головку с последующим его раздувом.

Термоусадочные пленки на основе полиолефинов, при их низкой плотности, обладают высокой прочностью на разрыв и раздир (даже при температуре около 40 °С), обладают превосходными оптическими свойствами, стойкостью к маслам, жирам и растворителям. Они имеют широкий диапазон термоусадки, в частности, и при относительно низких температурах. Технические характеристики пленок стабильны при разных температурах и при соответствующей подготовке поверхности на ней возможно осуществлять печатание с применением типографских красок.

Благодаря высокой степени усаживаемости и низкой влагопроницаемости такие термоусадочные пленки удобны в применении и подходят для многих отраслей промышленности, включая упаковку пищевых продуктов.

В отличие от термоусадочной пленки ПВХ, при нагревании которой может появляться специфический запах, передающийся и продукту, полиолефиновая пленка не имеет запаха при термоусадке и хранении. Продукцию в полиолефиновой пленке можно хранить и при отрицательных температурах, чего не рекомендуется делать с продукцией, упакованной в пленку ПВХ. Температурный режим хранения у ПВХ находится в пределах от +5 °С до +20 °С, а у полиолефинов от – 50 °С до +30 °С.

Полиолефиновые пленки благодаря своей повышенной мягкости имеют более широкий диапазон применения. В отличие от ПВХ пленок, они позволяют упаковывать различные товары без их деформирования и изгиба и подходят для упаковки изделий из бумаги, канцелярских товаров, журналов, брошюр, салфеток и различных продуктов, находящихся на тонких подложках, или в контейнерах.

В то же время их высокая прочность позволяет использовать полиолефиновые пленки для замены таких упаковочных материалов, как гофротара, толстый полиэтилен высокого давления и т. п. при упаковке тяжелых, громоздких продуктов сложной конфигурации (бытовые товары, мебель), когда от упаковочного материала требуется особая прочность и износостойкость.

### **1.2. Свойства термоусаживаемых пленок**

В целом, молекулярная ориентация повышает прочностные характеристики любой полимерной пленки, улучшает ее прозрачность и гибкость. В некоторых случаях снижается газо- и влагопроницаемость. При этом снижается относительное удлинение и сужается диапазон технологических параметров сварки пленки. Температура, при которой пленка, например, из ПЭНП полностью подвергается усадке, составляет +117 °С. Напряжение усадки определяют как отношение усилия, которое действует на образец в

процессе усадки, к площади поперечного сечения самого образца. И усадка, и напряжение усадки зависят от температуры в узком диапазоне от 106 °С до 121 °С. При упаковке конкретных изделий нужно помнить, что если желательны большие силы усадки, то процесс проводят в нижнем диапазоне температур при потере большей части усадки. Если основное значение придается большой усадке, то используют повышенные температуры. При этом силы усадки будут не слишком значительны. Для измерения напряжения усадки полосу пленки длиной 100 мм и шириной 15 мм соединяют с динамометром, затем постепенно нагревают. Усилие усадки через усилитель фиксируется самописцем. Параллельно записываются температура и степень усадки.

В качестве термоусадочных пленок используют одно- и двухосноориентированные пленки, которые могут сокращаться при нагревании и при этом плотно обтягивать упакованные в них изделия. В инженерной практике к усадочным материалам принято относить полимерные пленки, обладающие способностью давать повышенную (до 50 % и более) усадку и используемые для упаковки различных изделий.

К преимуществам упаковки в термоусадочные пленки (по сравнению с традиционными пленочными упаковками) относятся: уменьшение объема упаковки за счет плотного обтягивания товара, относительно меньшая масса пленок. Упаковка в усаживающуюся пленку часто бывает дешевле и привлекательнее на вид, чем обычный ящик из картона. Этот вид упаковки дает определенные преимущества для розничной торговли – уменьшение количества упаковочного материала и площади в торговом зале, занимаемой товаром по мере его реализации. Упаковывание в термоусадочную пленку защищает товар от воздействия окружающей среды.

Возможные варианты упаковывания в термоусадочную пленку могут быть условно разделены на три основные группы: единичная, групповая и штабельная упаковка.

*Единичная упаковка* (ее называют штучной, или индивидуальной) – каждое отдельное изделие обертывается пленкой, которая после усадки плотно облегает изделие, повторяя его конфигурацию.

*Групповая упаковка* – предварительно комплектуется набор из нескольких однотипных или разнотипных изделий, которые, как и при единичной упаковке, обертываются пленкой, после усадки которой получается плотный пакет. Упаковывание может производиться только в пленку или с использованием предварительной укладки изделий на специальные подложки. Этот вид упаковки может применяться в качестве транспортной тары.

*Штабельная упаковка* – на жесткий поддон укладываются несколькими рядами изделия (мешки, коробки, книги, кирпичи, лотки с банками, бутылками и т. д.), которые сверху покрываются чехлом из термоусадочной пленки и подаются в туннельную печь. После усадки получается

компактный штабель, который можно легко перемещать подъемно-транспортными средствами. Штабельная упаковка представляет собой современный и перспективный вид транспортной упаковки товаров.

Термоусадочные пленки могут быть изготовлены из полиолефинов (ПЭВД, ПЭНД, ПП), сополимеров этилена с винилацетатом, ПВХ, полистирола (ПС), гидрохлорида каучука, полиамида. Физико-механические и эксплуатационные свойства пленок обусловлены химической природой применяемого полимера и степенью его предварительной ориентации.

Важными характеристиками термоусадочных пленок являются степень усадки (коэффициент усадки) и напряжение усадки. Степень усадки характеризуют отношением линейных размеров образца до и после усадки

и определяют по формуле 
$$K_{yc} = \frac{l_0 - l}{l_0} 100 \%,$$

где  $l_0$  и  $l$  – длина образца до и после усадки, соответственно.

Напряжение усадки  $G_{yc}$  – это напряжение, возникающее в ориентированном материале при нагревании до определенной температуры, определяется по следующей формуле:

$$G_{yc} = P/S,$$

где  $P$  – усилие, возникающее при усадке;

$S$  – площадь поперечного сечения образца после усадки.

Чем ниже температура усадки, тем больше времени требуется для усадки пленки. Если производить усадку при высоких температурах, то время усадки может быть незначительным. Прочность пленок после усадки несколько уменьшается, но остается достаточной, чтобы обеспечить целостность упаковки.

Для упаковывания единичных изделий небольшой массы, например, хлебобулочных изделий, тушек птиц, аэрозольных баллонов, сувенирных наборов – применяются пленки толщиной 20–50 мкм, для групповой упаковки выбирается пленка толщиной 50–100 мкм, для пакетирования на поддонах (штабельной упаковки) – пленка толщиной 100–250 мкм.

В табл. 7 приведены основные свойства некоторых термоусадочных пленок.

Таблица 7

Свойства некоторых термоусадочных пленок из термопластов

Полимер	Степень усадки, %	Напряжение усадки, МПа	Температура усадки при упаковывании, °С	Температура сварки, °С
ПЭНП	15–50	0,3–3,5	120–150	150–200
ПП	70–80	2,0–4,0	150–230	175–200
ПВХ	50–70	1,0–2,0	110–155	135–175
ПС	40–60	0,7–4,0	130–160	120–150

## 2. Выполнение работы

### ***Цель работы:***

Изучить явление усадки ориентированных пленок и получить зависимости величин деформаций усадки предельно ориентированных образцов полиэтиленовых пленок. Исследовать влияние условий термообработки на усадку ориентированных пленок.

### ***Этапы работы:***

Разрезать пленку из полиэтилена высокого давления (ПЭВД) толщиной 150–200 мкм на ленты, отметить на лентах рабочие участки и подвергнуть их предельной вытяжке на разрывной машине или вручную с примерной скоростью растяжения 25÷50 мм/мин.

Определить (по меткам) степень вытяжки лент и вырезать из них образцы ориентированного полиэтилена длиной  $100 \pm 1$  мм.

Подвергнуть образцы длиной 100 мм термообработке (поочередно) путем погружения в горячую воду, имеющую различную температуру, и определить зависимость степени усадки этих образцов от температуры.

Построить график зависимости, иллюстрирующий изменение степени термоусадки образцов предельно ориентированного полиэтилена от температуры.

### ***Оборудование, приборы, материалы для проведения работы:***

*Оборудование и приборы:* чайник бытовой электрический, стеклянный стакан емкостью до одного литра, металлическая измерительная линейка длиной не менее 50 см, толщиномер с ценой деления 0,01 мм, ртутный термометр на 150° С, пинцет, бритвенное лезвие, ножницы, прибор для замера усилия, возникающего в ориентированных полимерных образцах при их термоусадке, зажигалка газовая.

*Материалы:* пленка из полиэтилена высокого давления (ПЭВД) толщиной 150–200 мкм.

### ***Ход работы:***

Определение степени «холодной» вытяжки и последующей термоусадки образцов полиэтиленовой пленки в зависимости от температуры их обработки в горячей воде.

1. Используя бритвенное лезвие или специальное приспособление для нарезания ленточных полимерных образцов, вырежьте из полиэтиленовой (ПЭВД) пленки 5 штук лент размером 200x10 мм. Нанесите на ленты (по середине) с помощью фломастера метки в виде поперечных полос на расстоянии 10 см для обозначения их рабочей части.

2. Прочно удерживая концы лент с двух сторон руками или на разрывной машине, плавно деформируйте (растягивайте) их со скоростью примерно 25–50 мм/мин до момента, когда возникшая на растягиваемом образце «шейка» не распространится на весь образец.

3. Замерьте с помощью линейки длину растянутого образца (расстояние между метками) и рассчитайте степень его вытяжки (относительного удлинения).

4. Разрежьте ножницами вытянутые (ориентированные) ленты на короткие образцы длиной  $100 \pm 1$  мм. Общее количество таких образцов – 12 шт.

5. Последовательно, по два ориентированных образца поместите одновременно на 10 с в стакан с нагретой водой при температурах 40, 50, 60, 70, 80, и 90° С. Для этой цели при окунании образцов в воду можно воспользоваться пинцетом. Контроль температуры осуществляется ртутным термометром.

6. После термического воздействия на образцы ориентированного ПЭВД и возникшей усадки измерьте их длину. Рассчитайте среднее значение длины образцов после усадки по двум испытаниям в одинаковых условиях при каждой из шести температур, и занесите полученные экспериментальные данные в рабочую тетрадь.

Рассчитайте степень термоусадки предельно ориентированных образцов ПЭВД для всех температур по формуле (стр. 36) и постройте график зависимости  $K_{yc} = f(T)$ .

Проанализируйте полученный вами экспериментальный материал, осмыслите его, сделайте выводы по проделанной работе и оформите отчет, содержащий краткое описание всех этапов работы, фактически полученные данные и основные выводы по работе.

#### ***Требования к отчету:***

1. Заготовку отчета оформить заранее, осветив теоретические положения и цель работы.

2. Привести краткую методику работы, результаты измерений, построить график зависимости коэффициента усадки полиэтилена от температуры. Сравнить полученные результаты с литературными данными.

### **Лабораторная работа 7**

#### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ И СТЕПЕНИ ВЫСЫХАНИЯ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

***Цель работы:*** Оценить по семибалльной шкале степень высыхания лакокрасочного материала при комнатных условиях.

Метод основан на способности лакокрасочных покрытий в зависимости от степени отверждения удерживать на своей поверхности стеклянные шарики или бумагу при заданной нагрузке и заключается в определении времени, в течение которого жидкий лакокрасочный слой превращается в пленку с требуемой степенью высыхания.

Оценка степени высыхания производится по семибалльной шкале; характеристика степеней высыхания которой представлена ниже в табл. 8.

Таблица 8

## Оценка степени высыхания лакокрасочных материалов

Степень высыхания	Характеристика поверхности покрытия после испытания
1	Стеклянные шарики, свободно насыпанные на поверхность покрытия, полностью удаляются с нее мягкой волосяной кистью; при этом поверхность покрытия не повреждается
2	Бумага не прилипает к покрытию и не оставляет следа после снятия нагрузки 0,2 Н (~20 г)
3	То же, после снятия нагрузки 2,0 Н (~200 г)
4	Бумага не прилипает к покрытию после снятия нагрузки 20 Н (~2кг); при этом на покрытии виден след от нагрузки
5	Бумага не прилипает к покрытию и не оставляет следа после снятия нагрузки 20 Н (~2кг)
6	Бумага не прилипает к покрытию, но оставляет след от нагрузки 200 Н (~20 кг) после ее снятия
7	Бумага не прилипает к поверхности и не оставляет след после снятия нагрузки 200 Н (~20 кг)

**Материалы, приборы, оборудование:** Эмаль ПФ-1126 (или иной ЛКМ), сиккатив НФ, сольвент (или уайт-спирит), стеклянные шарики (типа МСБ-6) диаметром 100–350 мкм, волосяная кисточка, бумага типографская с гладкой поверхностью, пластинки из резины толщиной 4–5 мм и твердостью (по Шору А)  $35 \pm 5$  усл., транспортир, шкаф или камера для сушки образцов на воздухе. В шкафу поддерживается заданная температура, контролируемая термометром. На дне шкафа устанавливается емкость, содержащая воду, либо силикагель для обеспечения в шкафу относительной влажности воздуха  $65 \pm 5$  %. Влажность контролируется психрометром, а вентилятор обеспечивает равномерное распределение воздуха заданной температуры и влажности, разновесы для создания нагрузок от 20 г до 20 кг, секундомер с ценой деления 2 с.

**Ход работы**

**Подготовка к испытанию** – нанесение эмали на стеклянные пластины.

Стеклянные пластины размером 120×90×1,2 мм протирают тканью, смоченной ацетоном, и сухой чистой тканью.

В эмаль ПФ-1126 вводят сиккатив НФ в соотношении (по массе): на 100 ч. – 4 ч. сиккатива, перемешивают и добавляют сольвент до рабочей

вязкости эмали 15–26 с по вискозиметру ВЗ-4 (в количестве не более 30–40 % от массы эмали). Затем эмаль фильтруют через сито с сеткой № 0125 или через марлю. Подготовленную эмаль наносят на стеклянные пластинки краскораспылителем КРУ-1 в один слой.

Нарезают диски из бумаги диаметром 26 мм, а диски из резины – 22 мм.

Стеклянные микрошарики отвешивают в количестве 0,5 г в стеклянный стакан.

***Примечание:** вместо сиккатива можно взять инициатор – пероксид лаурила в количестве 0,3 % от массы эмали.*

#### ***Ход определения***

### **1. Определение продолжительности сушки до степени высыхания 1**

1. Окрашенные пластины помещают в горизонтальном положении в шкаф и включают секундомер. Пластины выдерживают до тех пор, пока при легком прикосновении пальцем к слою лакокрасочного материала не исчезнет липкость эмали.

2. После этого на горизонтально расположенную пластину из стеклянного стакана насыпают микрошарики с высоты 10–13 см таким образом, чтобы они образовали на поверхности пленки равномерный слой.

3. Через  $60 \pm 2$  с окрашенную пластину наклоняют под углом  $20^\circ$  и осторожно сметают микрошарики мягкой волосяной кистью. Если шарики легко удаляются и при осмотре невооруженным глазом не обнаруживается повреждений, покрытие достигло степени высыхания 1.

4. При помощи секундомера фиксируют время от момента нанесения покрытия до достижения степени высыхания 1. Определяют толщину покрытия индикаторным толщиномером типа ТЛКП.

Затем приступают к определению продолжительности следующих степеней высыхания, для чего пластину вновь располагают горизонтально покрытием вверх.

### **2. Определение продолжительности сушки до степеней высыхания 2–7**

1. На участок покрытия, отстоящий на 1–2 см от края пластины, накладывают бумажный, а на него – резиновый диск.

2. На середину последнего устанавливают гирю массой 20 г и выдерживают в течение  $60 \pm 2$  с.

3. Затем снимают гирю и резиновый диск, а пластину свободно бросают ребром на деревянную доску с высоты 2–3 см. Если при этом бумажный диск отпадает, покрытие достигло степени высыхания 2, и можно приступить к определению третьей степени высыхания, которое проводят аналогичным образом, но с применением гири массой 200 г.

4. При достижении степени высыхания 3 после удаления бумажного диска на покрытии не должно оставаться следа.

5. При определении степеней высыхания 4 следует использовать гирю массой 2 кг, а для определения степеней высыхания 5–7 следует использовать специальное рычажное приспособление.

6. Для определения степеней высыхания 4 и 5 пластину устанавливают покрытием вверх и помещают на нее бумажный, а сверху – резиновый диск. Осторожно опуская стержень 5 рычажного приспособления на диски, нагружают покрытие.

7. Через  $60 \pm 2$  с рычагом поднимают стойку, снимают резиновый диск с образца и проводят те же операции, что и при определении степени высыхания 2. Аналогично проводят испытания на определение высыхания до степеней 6 и 7, помещая на рычаг приспособления груз.

8. После достижения покрытием соответствующей степени отверждения фиксируют время, в течение которого покрытие достигло той или иной степени высыхания.

**Расчет.** За результат испытания принимают среднее арифметическое значение определений на трех параллельных пластинках. Степень высыхания считается достигнутой, если из трех параллельных определений два соответствуют характеристике данной степени высыхания.

Результаты испытаний записывают в рабочий журнал в виде табл. 9.

Таблица 9

№ п/п	Покрытие	Метод нанесения	Толщина покрытия, мкм	Режим формирования пленки		Степень высыхания	Средняя степень высыхания (из трех параллельных определений)
				температура, °С	продолжительность, мин		
1							
2							

Результаты определения степени высыхания лакокрасочных покрытий

**Требования к отчету:**

1. Заготовку отчета оформить заранее, осветив ней теоретические положения и цель работы.

2. Привести краткую методику работы, результаты измерений, проанализировать влияние толщины покрытий на степень их высыхания.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Рекомендуемая литература	7
2. Методики лабораторных работ	10
<i>Лабораторная работа «Определение летучести растворителей»</i>	10
<i>Лабораторная работа «Определение химической устойчивости стеклянной тары»</i>	13
<i>Лабораторная работа «Определение прочности деревянных брусков при статическом изгибе»</i>	17
<i>Лабораторная работа «Оценка адгезионных характеристик поверхности изделий из полимерных материалов с помощью липких лент»</i>	22
<i>Лабораторная работа «Изучение влияния температуры на деформационно-прочностные свойства полиэтилена при растяжении»</i>	29
<i>Лабораторная работа «Термоусадочные явления в ориентированном полиэтилене»</i>	33
<i>Лабораторная работа «Определение продолжительности и степени высыхания лакокрасочных материалов»</i>	38