

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»

## НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в качестве методических указаний для студентов, обучающихся по основным образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 22.03.02 Metallургия, 28.03.02 Нанотехнологии и специальности 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей

Составители: *Е.А. Носова, А.А. Кузина,  
В.И. Трегуб, А.В. Кириллова*

САМАРА  
Издательство Самарского университета  
2018

УДК 620(075)  
ББК 30.3я7

Составители: *Е. А. Носова, А. А. Кузина,  
В. И. Трегуб, А. В. Кириллова*

Рецензент канд. техн. наук, доц. А. Н. П л о т н и к о в

**Неметаллические материалы:** метод. указания / сост.: *Е.А. Носова, А.А. Кузина, В.И. Трегуб [и др.]*. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2018. – 64 с.

Представлены указания к выполнению лабораторно-практических работ и индивидуальных заданий по классификации и исследованию пластмасс, резин и лакокрасочных материалов. Приведены сведения из теории, описаны принципы устройства оборудования и приборов, требования к оформлению отчета.

Предназначены для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 22.03.02 Металлургия, 28.03.02 Наноинженерия, 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей.

Подготовлено на кафедре «Технология металлов и авиационное материаловедение».

УДК 620(075)  
ББК 30.3я7

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	4
1. Классификация пластмасс.....	5
2. Технология формования пластмасс.....	23
3. Механические испытания полимерных композиционных материалов.....	35
4. Определение свойств резины.....	45
5. Определение физико-механических свойств лакокрасочных материалов и покрытий.....	56

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Данные методические указания созданы на основе методических указаний «Металлография» 1992 года авторов Н.П. Морозова, В.С. Уваровой, Ю.К. Фавстова, В.Д. Юшина, А.А. Мельникова.

Со времени предыдущего издания методических указаний по данному циклу лабораторно-практических работ прошло более 20 лет. За этот период от тиража остались только единичные экземпляры, но самое главное, к нашему глубокому сожалению, ушли из жизни Н.П. Морозов, Ю.К. Фавстов и В.Д. Юшин, принявшие деятельное участие в разработке методических указаний 1992 года «Металлография».

Е.А. Носова и А.А. Кузина выражают глубокую благодарность и признательность Г.З. Буновой и В.С. Уваровой за помощь, оказанную при подготовке данных методических указаний.

При подготовке указаний к переизданию Е.А. Носова и А.А. Кузина вместе с методической частью старались сохранить и их главное достоинство – элементы научного исследования, что способствует формированию творческих навыков студента и самостоятельного подхода к решению инженерных задач.

# 1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПЛАСТМАСС

*Цель работы:* овладение теоретическими знаниями и практическое изучение основ классификации пластмасс (состава, свойств и применения наиболее распространенных в авиационной промышленности материалов).

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

### *Основные понятия*

Неметаллические материалы широко применяются в авиационной и ракетной технике, машиностроении, химической, радиотехнической и электротехнической промышленности.

Применение неметаллических конструкционных материалов – эффективный путь снижения металлоёмкости и массы конструкций, повышения надёжности и долговечности изделий.

Неметаллические материалы – это смолы, пластмассы, композиционные и керамические материалы, резины, клеи, каучуки, лаки. Все их объединяет одно общее свойство: это сложные природные или синтетические композиции, состоящие из макромолекул, в которых элементарные звенья (мономеры) соединены между собой ковалентными связями.

Такие высокомолекулярные материалы называются полимерами. Они прочны, эластичны, коррозионно-стойки, имеют низкий удельный вес, обладают тепло- и звукоизоляцией. Поэтому могут заменить в определенных случаях дорогие металлические материалы.

Пластическими массами являются материалы, основу которых составляет высокомолекулярные соединения – полимеры.

Пластмассы являются самостоятельными конструкционными материалами и заменителями цветных металлов.

Некоторые пластмассы состоят из одного полимера (капрон, полиэтилен, полистрол, фторопласт, поливинилхлорид и др.), свойства которого и являются свойствами пластмассы. Другие пластмассы относятся к композиционным материалам (гетипакс, текстолит, стеклопластики, асбопластики и др.), они кроме полимера содержат: наполнитель, пластификатор, отвердитель, катализатор, краситель, стабилизатор и др.

Каждый компонент в пластмассе выполняет определенную роль:

1) полимер определяет технологические и основные физико-механические свойства пластмассы;

2) наполнитель (бумага, древесная мука, хлопчатобумажная ткань, стеклоткань, стекловолокно, асботкань, графит и др.) увеличивает теплостойкость и механическую прочность, уменьшает усадку и стоимость пластмассы (содержание наполнителя от 30 до 70% вес.);

3) пластификатор увеличивает пластичность, морозостойкость, гибкость пластмассы, облегчает ее переработку в изделие;

4) отвердитель переводит полимер из вязкотекучего состояния с линейным строением в твердое с сетчатым строением;

5) катализатор ускоряет твердение пластмассы;

6) стабилизатор уменьшает деструкцию полимера (деструкция – это дробление макромолекул полимера под действием света, тепла, кислорода, облучения и т.д.);

7) краситель придает пластмассе нужный цвет;

8) смазывающее вещество повышает текучесть пластмассы при заполнении ею пресс-формы, предотвращает налипание пластмассы на поверхность пресс-формы.

Основой любой пластмассы являются полимеры – вещества, обладающие очень большим размером молекул, построенных из одинаковых повторяющихся звеньев, соединенных в гигантские макромолекулы с молекулярным весом в десятки – сотни – тысяч единиц.

По геометрической структуре макромолекулы бывают линейные, разветвленные и пространственные (сетчатые).

В зависимости от степени пространственной упорядоченности молекул полимеры могут быть в аморфном, кристаллическом и частично закристаллизованном состоянии.

Аморфные полимеры с помощью нагрева переводятся из твердого (стеклообразного) состояния в высокоэластичное и далее в вязкотекучее состояние. Если полимер в обычных условиях находится в высокоэластичном состоянии (т.е. его температура стеклования находится в области отрицательных температур), то его называют эластомером. Полимеры, находящиеся при обычной температуре в стеклообразном или значительно закристаллизованном состоянии, являются жесткими материалами и называются пластиками.

Основное значение вязкотекучего состояния полимера – это возможность переработки пластмассы в изделия.

## ***Способы классификации и виды пластмасс***

Существуют несколько способов классификации пластмасс: по строению полимера, способу получения полимера, отношению полимера к нагреву, составу пластмассы, типу наполнителя и другие. Каждая классификация удобна в определенной области работы с пластмассами.

Наиболее практическое значение в области технологии переработки пластмасс в изделия имеет их деление по отношению к нагреву, по роду наполнителя и значения.

По отношению к нагреву пластмассы делятся на термопластические, термореактивные и термостабильные.

К термопластическим относятся пластмассы, которые после многократного нагрева (до температур, не превышающих температуру деполимеризации) не изменяют существенно своих свойств. При повышенных температурах эти пластмассы переходят в высокоэластичное и далее в вязкотекучее состояние.

### ***Термопластические пластмассы***

Термопластические пластмассы (термопласты) характеризуются высокой эластичностью и упругостью, химической стойкостью, высокими диэлектрическими свойствами. Для них также характерны невысокая температура размягчения и резкое изменение свойств с изменением температуры. Из термопластических пластмасс изготавливают тонкие пленки и волокна. Они легко склеиваются, свариваются. Термопласты перерабатываются в изделия преимущественно методом литья под давлением, поэтому их часто называют литьевыми массами.

Свойства пластмасс в значительной степени зависят от их полярности. Если в молекуле полимера имеются полярные связи, не уравновешивающие друг друга, то молекулы называются полярными.

### ***Неполярные пластмассы***

Неполярные полимеры имеют структуру молекулы, у которой боковые части мономеров расположены симметрично относительно

центральной оси. На рис. 1 схематично представлена структура полиэтилена, полипропилена и полистирола.

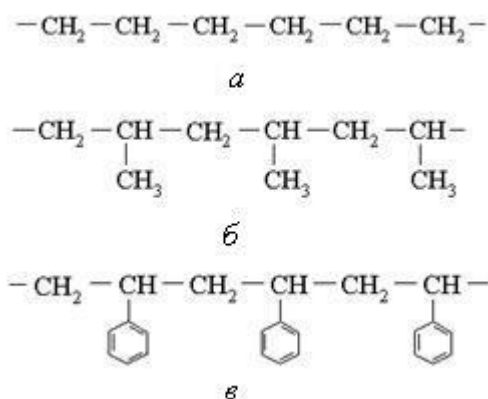


Рис. 1. Структура макромолекул:  
*a* – полиэтилена; *б* – полипропилена; *в* – полистирола

Полиэтилен представляет собой материал, обладающий высокой стойкостью к агрессивным средам, прекрасными диэлектрическими свойствами, хорошими литьевыми качествами и низким удельным весом.

Полиэтилен выпускается в виде белых или сероватых полупрозрачных мелких гранул или таблеток. Для изготовления труб применяют также черный полиэтилен, в который добавляют 2% сажи. Полиэтилен относится к наиболее легким полимерным материалам, его удельный вес всего 0,92 – 0,95 г/см<sup>3</sup>. Прочность на растяжение зависит от степени полимеризации и кристалличности и составляет 1,5 – 4,5 кг/мм<sup>2</sup>. Полиэтилен сохраняет отличную гибкость при низких температурах (до -70°С), но теплостойкость его невысока (80 – 100°С). Полиэтилен является одним из лучших высокочастотных эластических диэлектриков. Полиэтилен применяется для изготовления труб, различных химически стойких емкостей, отдельных деталей, для изоляции кабелей и др. Большие количества полиэтилена перерабатываются в тонкие пленки, обладающие прозрачностью, влагонепроницаемостью, способностью пропускать ультрафиолетовые лучи.

Полиэтилен стоек к воздействию раствора щелочей, солей и кислот, но разрушается в присутствии окислителей.



Полистирол – прозрачный бесцветный твердый полимер, легко окрашиваемый в любые цвета. При обычной температуре полистирол тверд и имеет гладкую блестящую поверхность. Полистирол легок, его удельный вес  $1,05 \text{ г/см}^3$ . Его температура размягчения невысока, около  $80^\circ\text{C}$ . Он наиболее стоек к радиоактивному облучению по сравнению с другими термопластами.

Недостатком полистирола является его хрупкость. Применяется он, главным образом, для изготовления небольших деталей радиоаппаратуры и приборостроения. При сочетании полистирола с каучуком получают так называемый ударопрочный полистирол, имеющий повышенную стойкость к ударным нагрузкам. Ударопрочный полистирол выпускается как в виде мелких гранул, так и в виде листовых материалов толщиной от 1,5 до 5 мм разнообразной расцветки. Из ударопрочного полистирола изготавливаются детали внутренней отделки самолета, окантовочные рамки телевизоров, корпуса радиоэлектронной аппаратуры, телефонные аппараты, корпуса приборов и др. Полистирол хорошо растворяется в бензоле, что используется при его склейке. Большие количества полистирола перерабатываются в различные виды пенопластов (марок ПС и ПСБ).

Фторопласт–4 является материалом с исключительно высокой химической стойкостью, термической устойчивостью и высокими диэлектрическими характеристиками. Свои свойства фторопласт–4 сохраняет в интервале температур  $(-200 + 250)^\circ\text{C}$ . Внешне фторопласт–4 – белый мягкий, тяжелый материал (удельный вес  $2,1 - 2,3 \text{ г/см}^3$ ), имеющий очень гладкую скользкую поверхность. Фторопласт–4 обладает высокой стойкостью к атмосферным давлениям, он не горит, не окисляется, стоек к действию любых агрессивных сред, в том числе сверхконцентрированной азотной кислоты, перекиси водорода. Некоторое воздействие на него оказывает лишь расплавленный металлический натрий. Широко применяется как уплотнительный материал. Фторопласт–4 имеет хорошие антифрикционные свойства (коэффициент трения 0,04). Но использование его в узлах трения ограничивается повышенной хладотекучестью: так, под нагрузкой свыше 3 МПа материал начинает деформироваться при комнатной температуре.

Фторопласт–4 широко используется также в высокочастотной аппаратуре при наиболее тяжелых условиях эксплуатации. Пленки из фторопласта применяются для изоляции в радиотехнической промышленности.

## Полярные термопласты

Структура макромолекулы полярных термопластов отличается от неполярных отсутствием симметрии мономера относительно центральной цепочки. На рисунке 2 схематично представлены макромолекулы органического стекла (полиметилметакрилата), поливинилхлорида и винипласта.

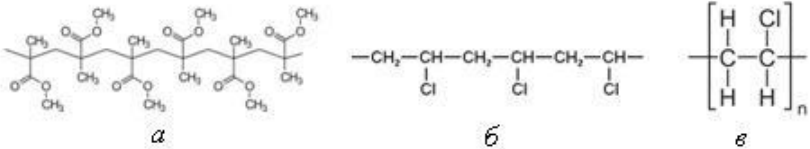


Рис. 2. Структура макромолекул:  
а – органического стекла; б – поливинилхлорида; в – винипласта (в)

Органическое стекло – светопрозрачный твердый термопластичный материал. Отличается высокой упругостью, низким удельным весом ( $1,18 \text{ г/см}^3$ ), легкой деформируемостью.

Органическое стекло применяется для остекления самолетов и вертолетов, изготовления гермошлемов, в приборостроении. Оно стойко к действию разбавленных кислот и щелочей, хорошо растворяется в дихлорэтане, уксусной кислоте, ацетоне, бензоле. Раствор в дихлорэтане используют для склейки органического стекла.

Наиболее часто органическое стекло выпускается в виде листов толщиной от 1,0 до 12 мм.

Температура размягчения органического стекла зависит от его марки и находится в пределах от  $95$  до  $180^\circ\text{C}$ .

Поливинилхлорид – является типичным полярным полимером. Благодаря различным сочетанием с пластификаторами, красителями и разнообразным технологическим приемам переработки он дает как жесть (винипласт), так и гибкие материалы (пластикат, пленки, изоляция проводов, липкая изоляционная лента, текстовинит и др.). Материалы на основе поливинилхлорида термопластичны, легко перерабатываются в изделия, отличаются хорошей химической стойкостью, поверхностной твердостью, пониженной горючестью (из-за присутствия атомов хлора самозатухают при устранении источника огня). Они хорошо окрашиваются в различные цвета. Для них характерна невысокая температура размягчения ( $70^\circ\text{C}$ ).

Винипласт – жесткий листовой конструкционный материал от светлого до темного коричневого цвета. Высокая химическая стойкость винипласта и хорошие электроизоляционные свойства обеспечивают широкое применение для изготовления футеровки гальванических ванн, корпусов приборов, деталей аккумуляторов, панелей, корпусов химических насосов. Винипласт обладает высокой механической прочностью, упругостью, хорошей поверхностной твердостью. Прочность на растяжение 40 – 60 МПа, удельная ударная вязкость 100 – 120 кг·см/см<sup>2</sup>. Предельная температура использования винипласта 70°С. Винипласт хорошо сваривается. Разновидности светлого винипласта с декоративным рисунком («тундра», «сетка») используются для внутренней отделки пассажирских самолетов.

Полиамиды – это группа полимеров (капрон, нейлон, этан), получаемых из органических кислот и аминов. Они обладают высокой механической прочностью, упругостью, стойкостью к истиранию и хорошими литьевыми качествами. Полиамиды обладают низким коэффициентом трения (0,05) и длительно работают на истирание, что позволяет использовать их для производства шестерен, втулок, вкладышей, подшипников и т.п. Промышленность выпускает полиамиды в виде полупрозрачных гранул или мелких плоских кусочков от белого, светло-кремового и до коричневого цвета. Они используются для изготовления литьем под давлением различных деталей конструкционного назначения с жесткими размерами допусков, работающих в интервале (-60 +120)°С. Полиамиды можно применять взамен цветных металлов. Подавляющее большинство вырабатываемых полиамидных полимеров идет на изготовление высокопрочных синтетических волокон, планок.

Термореактивными называют группу пластмасс, полимер в которых при первом нагреве переходит сначала в вязкотекучее состояние и затем необратимо твердеет, преобразуя линейные молекулы в сетчатые. При повторном нагреве термореактивная пластмасса не размягчается.

В зависимости от назначения различают пластмассы конструкционные, фрикционные, антифрикционные, химически стойкие, электроизоляционные, тепло- и звукоизоляционные, прозрачные и др.

По роду наполнителя применяемые в промышленности пластмассы подразделяются на 5 классов:

1) с листовым наполнителем: (с хлопчатобумажной тканью), гетинакс (наполнитель – бумага), стеклотекстолит (наполнитель – стеклоткань) и др.;

2) с волокнистым наполнителем: стекловолокнит (наполнитель – стекловолокно), асбоволокнит (нити асбеста), текстолокнит (хлопчатобумажные волокна) и др.;

3) с порошковым наполнителем: пресс – порошки различных марок, наполнителями могут быть кокс, древесная мука, кварц, каолин и др.;

4) без наполнителя: полиэтилен, поливинилхлорид, фторопласты, полистирол и др.;

5) с газообразным наполнителем: пенопласты, поропласты.

К термостабильным пластмассам относят фторопласты. Их отличительной особенностью является незначительное изменение прочности при повышении температуры вплоть до температуры начала деполимеризации.

### *Термореактивные пластмассы*

Термореактивные пластмассы (реактопласты) – являются сложными по составу композиционными материалами, применяемые в авиационной промышленности и ракетной технике.

По сравнению с термопластами, реактопласты отличаются лучшей несущей способностью, теплостойкостью, прочностью, жесткостью в рабочем интервале температур.

Рабочий интервал температур реактопластов определяется термической устойчивостью полимеров (с фенольно-формальдегидной, эпоксидной, кремнийорганической и другими смолами) и наполнителей (порошковых, волокнистых и слоистых). Наполнители могут быть естественными и минеральными. Они определяют механические и диэлектрические свойства, жаростойкость, водо- и химическую стойкость, снижают горючесть и стоимость изделий.

Термореактивные пластмассы характеризуется повышенной теплостойкостью, отсутствием хладотекучести под нагрузкой, нерастворимостью, малым изменением физико-механических свойств в температурном интервале их эксплуатации. Получают их при сочетании термореактивных полимеров, образующих после отверждения пространственную молекулярную структуру и

различных наполнителей. Введение наполнителей способствует повышению прочности, снижению усадки. Если применяются минеральные наполнители (стекловолокно, асбоволокно, асботкани и др.), то значительно повышается теплостойкость пластмасс.

В зависимости от типа связующего и наполнителей реактопласты делятся на:

1. Фенопласты – карболиты (смола фенольно-формальдегидная – ФФС).
2. Аминопласты (смола мочевино-формальдегидная).

### ***Фенопласты – карболиты***

Свойства фенопластов связаны с типом наполнителей. Различают наполнители:

- а) естественные – древесная мука;
- б) минеральные – кварцевая мука, асбестовый порошок (повышает теплостойкость фенопластов).

По назначению существуют фенопласты:

- а) общетехнического назначения, наполнитель – древесная мука (марка А);
- б) электроизоляционные, влаго- и химически-стойкие, наполнители – древесная мука и минеральный порошок (марки В, Е);
- в) жаростойкие (наполнитель – минеральные порошки: асбестовый, кварцевый, введение которых приводит к росту теплостойкости до 150°С;
- г) с высокими фрикционными свойствами (наполнитель – минеральный асбестовый порошок).

Маркировка фенопластов – буквенно-цифровая. В начале марки ставится буква К – карболит. Затем ставятся цифры (через дефис). Первые цифры – означают номер связующей смолы, вторые цифры – тип наполнителя: 2 – древесная мука; 3 – слюдяная мука; 4 – плавленый шпат; 5 – молотый кварц; 6 – асбест.

### ***Марки карболитов***

1. Общетехнического назначения (детали не силового назначения: выключатели, вилки, патроны).

- К-17-2: цвет – черный; вид смолы – 17; вид наполнителя – 2 (древесная мука);  $\sigma_b=36$  МПа;  $\rho=1,4$  г/см<sup>3</sup>; теплостойкость 125°С.

- К-17-36: рабочая температура 110°C;  $\rho=1,4 \text{ г/см}^3$ ; применяется для изготовления корпусов электроприборов, панелей, рукояток и разъёмов.

2. Электроизоляционные, влаго- и химически-стойкие.

- К 21-22: цвет – коричневый; наполнитель – древесная мука, теплостойкость до 120°C;  $\sigma_v=30 - 50 \text{ МПа}$ ;  $\rho=1,3-1,4 \text{ г/см}^3$ .

- К-214-52, К-211-34, К-114-35: наполнитель – минеральный порошок;  $\sigma_v$  до 50 МПа;  $\rho=1,8-1,95 \text{ г/см}^3$ ; рабочая температура до 150°C детали магнето- и радиоаппаратуры.

3. Жаростойкие – с теплостойкостью до 175°C.

- К 18-56, К 18-22: наполнитель – микроасбест,  $\rho=1,75 \text{ г/см}^3$ ;  $\sigma_v=30 \text{ МПа}$ .

4. С высокими фрикционными свойствами.

ФК 24А – минеральный порошок;  $\rho=2,4 \text{ г/см}^3$ ;  $\sigma_v=23 \text{ МПа}$ .

Так как фенольно-формальдегидная смола может быть в химически разных состояниях (резит, резол, резитол), то цвет карболитов изменяется от черного до коричневого.

### ***Аминопласты***

Представляют собой сочетание хорошо окрашиваемых бесцветных мочевино-формальдегидной или меламино – формальдегидных смол с естественным наполнителем – сульфитная целлюлоза. Их прочность ниже, чем у карболитов, они могут растрескиваться при эксплуатации изделий. Поэтому из них изготавливают не силовые изделия яркой окраски (цвет желтый, белый, зеленый, красный): кнопки, вилки, электротехнического назначения, рукоятки, крышки электроразъёмов. Данный материал обладает хорошими диэлектрическими свойствами, светостойки, с теплостойкостью в 100°C. Применение: детали приборов зажигания, выключатели авиационных и других двигателей, бытовые изделия – посуда, тара.

### ***Реактопласты с волокнистым наполнителем***

Отличаются высоким сопротивлением ударным нагрузкам и меньшей хрупкостью по сравнению с порошковыми реактопластами. Ударная вязкость зависит от типа волокна (естественного или минерального). Удельная ударная вязкость хлопчатобумажного

волокна равна  $10 \text{ кДж/м}^2$ , асбоволокна – (21 - 60), а у стекловолокна – ещё больше. Теплостойкость хлопчатобумажного наполнителя до  $130^\circ\text{C}$ , асбонаполнителя и стекловолокна до  $200 - 250^\circ\text{C}$ .

### *Разновидности волокнистых реактопластов*

Волокнит состоит из фенольно-формальдегидной смолы (ФФС) и хлопчатобумажных очесов или длинного хлопка. В него для большей прочности может добавляться тальк. Детали общетехнического назначения получают горячим прессованием. Волокниты устойчивы к ударным нагрузкам,  $\rho=1450 \text{ кг/м}^3$ ;  $\sigma_{\text{в}}=30-50 \text{ МПа}$ ;  $\sigma_{\text{сж.}}=120 \text{ МПа}$ ;  $a_{\text{н}}=10 \text{ кДж/м}^2$ ; температура длительной работы  $110^\circ\text{C}$ . Но гигроскопичен. Электроизоляционные и физико-механические свойства ухудшаются при температуре  $(70 - 90)^\circ\text{C}$ . Применение: шкивы, маховики, втулки, электроизоляторы.

Стекловолокониты отличаются более высокими механическими свойствами, теплостойкостью и хорошими диэлектрическими свойствами. Из всех волокнистых материалов находят самое большое применение в промышленности, в том числе и авиационной. Из них изготавливают высоконагруженные изделия типа тел вращения, сферические ёмкости, оболочки, цилиндрические корпуса, трубопроводы, лопатки компрессора, перегородки, плиты, опоры. Наиболее прочные материалы – на основе эпоксидных смол. В авиационной промышленности применяют стекловолокониты марок:

1) АГ-4: рабочая температура повышена до  $250^\circ\text{C}$ , высоконагруженные изделия конструкционного и электротехнического назначения (изготавливают горячим прессованием);

2) АГ-4В: состоит из фенольно-формальдегидной смолы (ФФС) и короткого рубленого стекловолокна;  $\rho = 1,7-1,8 \text{ г/см}^3$ ;  $\sigma_{\text{в}}=80 \text{ МПа}$ ;  $\sigma_{\text{сж.}}=130 \text{ МПа}$ ;  $a_{\text{н}}=25 \text{ кДж/м}^2$ ;

3) АГ-4С: состоит из фенольно-формальдегидной смолы (ФФС) и длинные однонаправленные стекловолокна;  $\rho = 1,7-1,9 \text{ г/см}^3$ ;  $\sigma_{\text{в}}$  повышено до  $20 - 40 \text{ МПа}$ ;  $a_{\text{н}}=100 \text{ кДж/м}^2$ ; устойчив к ударным нагрузкам. Связующая смола в данных материалах может быть эпоксидной, полиэфирмалеиновой (придают монолитность и равномерность в распределении нагрузок).

Асбоволокониты на основе фенольно-формальдегидной смолы (ФФС) и асбестового волокна, рабочая температура –  $(200 - 300)^\circ\text{C}$ .

Применяют для изготовления деталей высокой фрикционной способности (большой коэффициент трения (0,3 - 0,4,)) без смазки) – накладки, колодки, муфты, тормозные устройства, химическая аппаратура, монтажные электрощётки, лопатки роторных насосов, фрикционные ведущие диски, тепловая защита ракет. Недостаток – низкая теплопроводность. Кроме того, пресс – материал марки К6 используют для изготовления электроизоляционных деталей: коллекторы, контакты, панели, работающие в воздушной среде при высоких температурах. Другие марки: КФЗ, ФК24А (с добавками), 6-КХ1,5 и др.

### *Слоистые реактопласты*

Получают горячим прессованием уложенного правильными слоями листового наполнителя, пропитанного ФФС, полиэфирной, эпоксидной смолами (её до 50%). Их физико-механические свойства определяются наполнителем, а не связующим. Это самые прочные и универсальные по применению композиционные конструкционные пластмассы. Если смолы взято менее 50% – пластик будет менее прочен.

По виду наполнителя слоистые реактопласты делятся на:

1. Текстолит, наполнитель – хлопчато-бумажная ткань, дающая однородность свойств.
2. Стеклотекстолит, ткани состоят из стеклянных волокон с максимальной прочностью.
3. Асботекстолит, асботкань.
4. Гетинакс, состоит из листов сульфатной пропиточной бумаги, пропитанных ФФС, крезоло - ФФС, ксилоло - ФФС. Смолы до (40 – 60)%. Состав гетинаксов сильно влияет на их свойства.
5. Древесно-слоистые (ДСП), наполнитель – древесный шпон. Для древесного шпона различается предел прочности вдоль и поперек волокна.

Текстолит. Используют для производства средненагруженных трущихся деталей – шестерни бесшумные, зубчатые колеса, детали подшипников, плиты, ролики при рабочей температуре (80 – 130)°С. Детали силовые: текстолит стоек к вибронагрузкам и истиранию,  $\sigma_v = 50 - 120$  МПа, теплостойкость до 125°С. Изделия сложной формы получают горячим прессованием. Различают:



а) текстолит конструкционный марок ПТК, ПТ, ПТМ. Применяется в авиастроении,  $\rho=1350 \text{ кг/м}^3$ ;  $\sigma_{\text{в}}=200 - 250 \text{ МПа}$ ;  $a_{\text{н}}$  до  $35 \text{ кДж/м}^2$ ; теплостойкость  $(125 - 130)^\circ\text{C}$ ;

б) электротехнический марок А, БТ, ВЧ для электроизоляционных изделий с высокой прочностью: изолирующих роликов, трубок, монтажных деталей, стержней, пазовых и изолирующих клиньев, в генераторах, прокладочные материалы, изолирующие детали работают на воздухе или в трансформаторном масле при температуре  $(60 - 70)^\circ\text{C}$ . Текстолиты подвергают всем видам механической обработки.

Стеклотекстолиты состоят из эпоксидной, эфирной, фенольно-формальдегидной, кремний-органической смол (в количестве 30 – 35%) и стеклоткани. Свойства:  $\rho=1,6 - 1,85 \text{ г/см}^3$ ;  $\sigma_{\text{в}}=200 - 450 \text{ МПа}$ . Они работают длительно до температуры  $250^\circ\text{C}$  и кратковременно (десятки секунд) до  $3000^\circ\text{C}$ .

У текстолитов высокие показатели  $\sigma_{\text{в}}/\rho$ , влаго- и коррозионная стойкость, теплостойкость, диэлектрические свойства, радиопрозрачность, но низкая теплопроводность. Стеклотекстолиты поглощают вибрацию и устойчивы при переменных нагрузках.

Из текстолитов изготавливают сложные тяжело нагруженные детали послойной выкладкой в специальных формах (по шаблону), работающие до  $350^\circ\text{C}$ . Они широко применяются как в машиностроении (корпуса судов, автомобилей и др. конструкций), так и в авиастроении (обтекатели, антенны самолётов, теплозащита, кресла, защитные шлемы). Принцип работы теплозащитных материалов заключается в том, что при высоких температурах в поверхностных слоях полимер разрушается, образуя тугоплавкий кокс, который защищает более глубокие слои.

В машиностроении из стеклотекстолитов изготавливают кузова легковых автомобилей, автобусов, кабин грузовых автомобилей, лодок, катеров, авто- и железнодорожные цистерны, емкости и аппаратура в химической промышленности.

Марки армированных стеклотекстолитов:

1. Стеклопластик листовой конструкционный – марка КАСТ. Он подвергается всем видам механической обработки, склеивается, клёпке, рабочая температура до  $200^\circ\text{C}$ . Состав: модифицированная ФФС.

2. Стеклотекстолит марки КАСТ-В имеет свойства:  $\rho = 1,85\text{-}2 \text{ г/см}^3$ ;  $\sigma_{\text{в}} = 300 \text{ МПа}$ ;  $a_{\text{н}} = 60 \text{ кДж/м}^2$ .

3. Стеклотекстолит марки СТМ работает при температурах (-50 +130)°С. Отличается хорошими механическими свойствами, упругостью, пластичностью. Из СТМ изготавливают сложные детали реактивных двигателей.

4. В состав текстолитов марок СТК, СТК-9Ф, СК9А входит кремнийорганическая смола, увеличивающая теплостойкость.

5. Для электроизоляционных материалов (в приборах, агрегатах) используется листовой электротехнический стеклотекстолит.

Асботекстолит состоит из асботкани и 43% фенольно-формальдегидной смолы; рабочая температура длительной работы - (250 – 300)°С и до 3000°С и выше – кратковременной работы;  $\rho = 1,7 - 1,8 \text{ г/см}^3$ ;  $\sigma_{\text{в}} = 50 - 80 \text{ МПа}$ .

Детали изготавливают горячим прессованием. Они устойчивы к режим колебаниям температуры, влажности. Асботекстолит бензо- и теплостоек до температуры 250°С, имеет большой коэффициент трения и хорошие электроизоляционные свойства.

Пластик применяется для лопаток бензонасосов, фрикционных дисков сцепления, тормозных колодок, теплозащитных и теплоизоляционных материалов.

Гетинаксы получают горячим прессованием (температура 150°С), уложенных правильными слоями листов бумаги, пропитанных ФФС, фенольной или полиэфирной смолой (смолы 40 – 60%).

Физико-механические свойства гетинаксов определяет наполнитель, а не связующее. Он противостоит жирам, минеральным маслам, чуть менее – кислотам.

Из гетинаксов изготавливают детали, заготовки, трубы и листы.

Разновидности слоистого гетинакса:

1. Конструкционный материал для низковольтных устройств (рубильники, щиты), для радио- и телеустановок. Листы и плиты толщиной 0,5 - 50 мм, стержни – Ø25 мм.

2. Декоративный гетинакс получают, если при горячем прессовании пропитка производится мочевиноформальдегидной смолой, а сверху напрессовывается специально впитывающая бумага с многокрасочным рисунком (под дуб, карельскую березу, орех, малахит, мрамор, слоновую кость).

Материал используется для внутренней отделки автобусов, салонов самолетов, вагонов, магазинов, кафе, дверей, производственных помещений.

3. Электротехнический гетинакс (электроизоляционный марок А и В (Ав, Бв, Гв, Дв) – листовой штамповкой изготавливают трубки и цилиндры, каркасы для катушек).

4. Гетинакс с высокими механическими свойствами марок Б и Г.

5. Гетинакс для высоковольтных устройств (переключатели, трансформаторы, масляные выключатели), температура трансформаторного масла равна (-60...+70°C).

Фольгированные пластмассы специального назначения представляют собой слоистый пластик (гетинакс, стекловолокнит), облицованный с одной стороны или 2-х сторон медной фольгой толщиной 35 – 50 микрон. Для лучшего сцепления с пластиком с одной стороны медную фольгу оксидируют (обрабатывают в щелочном растворе), а затем склеивают фольгу с пластиком клеем БФ4 в процессе прессования. Такой пластик применяют для изготовления плат с печатным монтажом, кодовых переключателей, печатные якоря электродвигателей и т.д. Марка ГФ-1П:  $\rho=1,5 - 1,85$  г/см<sup>3</sup>;  $\sigma_b=115$  МПа;  $S=1,5 - 3$  мм; рабочая температура (-60...+100°C).

Древесно-слоистые реактопласты (ДСП). Пакеты из тонкого высушенного березового шпона ( $S=0,2 - 3$  мм) пропитывают ФФС или кризолно - ФФС и прессуют на гидравлических прессах при температуре 150°C (горячее прессование). Дельта-древесина уплотняется, склеивается в виде листов или плит (толщина плиты до 10 – 15 мм).

ДСП водостойки, теплостойки (рабочая температура 140°C), имеет  $\sigma_b = 60 - 80$  МПа и малый коэффициент трения. Удельный вес шпона 1,4 г/см<sup>3</sup>. ДСП хорошо сопротивляется ударным и вибронагрузкам, отличается высоким  $\sigma_b/\rho$ ; стоек к кислотам, солям, маслам, заменяет текстолит и цветные металлы. ДСП дешевле бронз в 10 – 13 раз, чугуна – в 2 – 7 раз, баббитов – в 20 – 60 раз.

В настоящее время ДСП армируют металлическими листами или проволочными стальными сетками (растет предел прочности).

ДСП, как конструкционный материал, применяют в автомобильной, сельскохозяйственной, электротехнической промышленности, в мебельном производстве, судостроении, авиации.

Из ДСП изготавливают подшипники (судостроение), детали авиационных конструкций (без заклепок), бесшумные зубчатые колеса, втулки, детали текстильных машин и лодок, электротехнические детали, ползуны, шестерни, выключатели. Вкладыши подшипников из ДСП применяют в прокатных станах

металлургической промышленности, в металлорежущих станках, гидронасосах, бумагоделательных машинах, судовых механизмах, дробилках – марки ДСП-Б, ДСП-В, ДСП-Г.

### ***Физико-механические и технологические свойства пластмасс***

От технологических свойств – таблетированности, текучести, скорости отверждения, усадки, температуры стеклования, температуры перехода в вязкотекучее состояние и др. – зависит перерабатываемость пластмасс в изделия.

К физико-механическим свойствам относятся твердость, пластичность, прочность, плотность, теплостойкость, устойчивость к действию реагентов, удельная ударная вязкость, относительное удлинение при разрыве и др.

Пластмассы, армированные стекловолокном или металлической стружкой, имеют прочность, близкую к прочности стали, обладая при этом специфическими свойствами.

Недостатками большинства пластмасс, ограничивающими область их применения, являются низкие теплостойкость и теплопроводность.

Механические свойства пластмасс зависят от прочности химических связей в макромолекулах, числа поперечных химических связей между молекулами, от длины и упорядоченности расположения макромолекул, от температуры, а также от скорости наложения нагрузки и продолжительности ее действия. Большое влияние на механические свойства пластмасс оказывает вид наполнителя и его ориентация в матрице (полимера).

Пластмассы в высокоэластичном состоянии под нагрузкой могут обратимо деформироваться на большие степени деформации. Возможность таких деформаций объясняется вращением отдельных частей молекулы вокруг простых связей, которое обуславливает клубкообразную пространственную форму молекулы. Если внешней силой изменить форму клубка, то после удаления силы он вернется к прежней форме.

Деформация аморфного полимера складывается из следующих составных частей:

- 1) упругой деформации, связанной с изменением межатомных и межмолекулярных расстояний;
- 2) высокоэластичной деформации, связанной с изменением формы клубка молекул;

3) пластической деформации, определяемой необратимым относительным перемещением звеньев макромолекул.

Все три механизма деформации реализуются одновременно при растяжении эластомеров. При деформации твердых тел реализуются только упругая и пластическая деформации.

При развитии деформации эластомера изменяется его структура, причем это изменение оказывается различным при разных температурах и скоростях деформации, что иногда приводит к наличию максимума на температурных зависимостях прочности и удельной ударной вязкости ряда пластмасс.

Так как изменение пространственной структуры эластомеров в процессе деформации зависит от температуры и скорости деформации, испытания полимерных материалов должны производиться при определенных температурах (18-20°C) и скорости деформации. Это необходимо для сравнимости механических свойств различных пластмасс. Отмеченная особенность пластмасс должна иметься в виду и при использовании результатов испытаний материала, например при расчете деталей на прочность. При этом следует стремиться к тому, чтобы условия испытания пластмассы были возможно более близкими к условиям работы детали из нее.

### ***Контрольный минимум знаний***

1. Способы классификации полимеров.
2. Свойства термореактивных пресс-материалов.
3. Отличия полярных и неполярных пластиков.
4. Наполненные и ненаполненные пластмассы.
5. Основные отличия термореактивных и термопластичных материалов.
6. Свойства полимеров.

## **ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ**

### ***Задачи работы***

1. Ознакомиться с видами пластмасс и их классификационными признаками.
2. Классифицировать пластмассы, выданные преподавателем.
3. Подготовить письменный отчет о проделанной работе.

### ***Материальное оснащение***

1. Методическая разработка (инструкция).
2. Планшеты образцов.
3. Комплекты образцов (5 – 7 образцов в комплекте), предназначенных для идентификации.
4. Натуральные заготовки и изделия из пластмасс авиационного назначения.

### ***Содержание отчета***

1. Основные понятия о способах классификации пластмасс.
2. Характеристика основных свойств образцов предложенного комплекта.

### ***Порядок выполнения работы***

1. Ознакомиться с теорией.
2. Получить у преподавателя комплект образцов изделий в количестве 5 – 7 штук из пластмасс.
3. Студент изучает их внешний вид, относит к той или иной группе пластмасс в соответствии с принятой классификацией.
4. Необходимо определить их примерный состав, способ изготовления, область применения и условия эксплуатации.

### ***Список рекомендуемой литературы***

1. *Материаловедение / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин [и др.]. М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 648 с.*
2. *Власов С.В., Кулезнева В.Н. Основы технологии переработки пластмасс : учебник для вузов. М.: Изд-во Мир, 2006. 600 с.*
3. *Каллистер У.Д. (мл.), Ретвич Д.Дж. Материаловедение : от технологии к применению (металлы, керамика, полимеры) : справочное издание. СПб. : Изд-во Научные основы и технологии, 2011. 895 с.*

## 2. ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМОВАНИЯ ПЛАСТМАСС

*Цель работы:* овладение теоретическими знаниями и практическое изучение основ и методов формования пластмасс.

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

#### *Методы получения полимеров*

Полимеры бывают природными и синтетическими (иногда выделяют еще группу искусственных полимеров).

Природные полимеры – это натуральный каучук, целлюлоза, различные белковые вещества и природные смолы (канифоль, янтарь, шеллак, битум и др.).

Искусственные полимеры получают из природных высокомолекулярных соединений путем разнообразных химических превращений (разнообразные эфиры, целлюлоза).

Синтетические полимеры получают из низкомолекулярных соединений путем реакций полимеризации и поликонденсации. Примером может служить синтетический каучук, синтетические смолы, органическое стекло, эпоксидная смола и другие.

Полимеризация – это соединение мономерных молекул в цепи – макромолекул. Название полимера в этом случае складывается из приставки поли- (много) и названия полимеризуемого вещества (полиэтилен, полистирол, полиметилметакрилат и т. д.).

Иногда полимеризацию с целью получения нового материала ведут одновременно из двух мономеров. В этом случае продукт называется сополимером.

Поликонденсация заключается в соединении низкомолекулярных веществ в высокомолекулярные с выделением побочных низкомолекулярных веществ. Например, фенол и формалин в присутствии катализатора образуют фенолоформальдегидную смолу и воду. Вода при этом удаляется.

Название полимера, полученного поликонденсационным путем, складывается из названий исходных веществ с добавлением слова «смола».

Процессами полимеризации и поликонденсации управляют посредством катализаторов, инициаторов (веществ, способствующих

началу реакции), изменяя температуру, давление, концентрацию исходных веществ и др.

В зависимости от технологии получения различают три типа полиэтилена: полиэтилен высокого (ПЭВД), среднего (ПЭСД) и низкого (ПЭНД) давления.

Полиэтилен – это продукт полимеризации этилена – газа, выделяемого из попутных нефтяных газов или из продуктов переработки нефти.

Некоторые условия получения полиэтилена:

- 1) ПЭВД:  $T \approx 200^\circ\text{C}$ ,  $P = 1500 - 3000$  атм., катализатор  $0,1\% \text{ O}_2$ ;
- 2) ПЭСД:  $T \approx 150 - 190^\circ\text{C}$ ,  $P = 30 - 60$  атм., катализатор  $\text{Cr}_2\text{O}_5$ ,  $\text{SiO}_2$ ;
- 3) ПЭНД:  $T \approx 80 - 100^\circ\text{C}$ ,  $P = 1 - 5$  атм., в газе до  $1\%$  паров  $\text{TiCl}_4$ .
- 4) ПЭВД разрушается при напряжении  $12 - 16$  МПа, имеет относительное удлинение при разрыве до  $500\%$ , ПЭНД имеет  $\sigma_{\text{в}} = 22 - 35$  МПа, а  $\delta$  до  $200\%$ .

Основой производства пластмасс – норпластов является организация полимеризации непосредственно на поверхности частиц наполнителя, что обеспечивает экономию сырья и получения пластмассы с повышенными механическими свойствами и хорошей обрабатываемостью.

### *Основные способы переработки пластмасс в изделия*

Способ переработки пластмассы в изделия определяется физическим состоянием пластмассы, поведением ее под действием нагрева, конфигурацией изделия, массой производства и др.

Выделяются следующие группы методов переработки пластмасс:

1. Переработка в вязкотекучем состоянии (прессование, литье под давлением, выдавливание и др.).

2. Переработка в высокоэластичном состоянии (пневмоформовка, вакуум-формовка, штамповка и др.).

3. Получение деталей из жидких полимеров (контактная формовка, центробежная формовка, вихревое напыление, намотка и др.).

4. Переработка в твердом состоянии (обработка резанием, разделительные операции, штамповка и др.).

5. Изготовление деталей неразъемным соединением (сварка, склеивание).

6. Другие способы переработки (формирование и спекание фторопластов, напыление и др.).



## *Прессование пластмасс*

Одним из основных методов изготовления изделий из термореактивных пластмасс является прессование. Этот процесс осуществляется в металлических формах на гидравлических прессах. Технология изготовления изделий из пластических масс зависит от того, принадлежит ли исходный материал к группе термопластических или термореактивных пластмасс.

К термопластическим относят такие пластмассы, которые при нагреве становятся пластичными, а при охлаждении затвердевают. Такие пластмассы при повторном нагревании каждый раз переходят в пластическое состояние. Основой таких пластмасс являются термопластические полимеры, например: полиметилметакрилат, полистирол, полиэтилен и другие, имеющие линейное строение молекул. При нагревании эти полимеры не претерпевают никаких химических превращений.

К термореактивным относят такие пластмассы, которые при нагреве переходят в твердое, термопластичное состояние. При повторном нагреве такие пластмассы не переходят в пластическое состояние и не размягчаются. Основу таких пластмасс составляют термореактивные полимерные смолы: фенольно-формальдегидная, эпоксидная, полиэфирная и др. При нагреве эти смолы претерпевают химические превращения, образуя пространственную структуру.

### *Состав исходных материалов*

Для изготовления изделий на основе термореактивных смол используют пресс-материалы, состоящие из наполнителя, пропитанного связующим веществом (смолой). В качестве связующего наиболее широкое применение входит фенольно-формальдегидная смола в стадии резол (когда смола имеет линейную структуру и способна плавиться). Эти пресс-материалы получают по сухому, лаковому или эмульсионному методу на химических заводах. Поставляют их в виде готовых пресс-порошков и пропитанных смолой заготовок из бумаги или ткани.

Известные разновидности пресс-материалов для получения термореактивных пластмасс представлены в таблице 1.

Изготовление изделий из пресс-материалов основано на способности массы размягчаться при нагревании и под давлением заполнять полость пресс-формы и в дальнейшем затвердевать.

Перед прессованием пресс-порошок (пресс-материал) помещают в нагретую до 100 – 120°C и смазанную разделительным составом пресс-форму. Для получения изделия из пресс-материала необходимо обеспечить режим прессования.

Таблица 1. Пресс-материалы для получения термореактивных пластмасс

Вид пластмассы	Пресс-материал	Наполнители	Связующее (смола)
Порошковые	Фенопласты	Древесная мука	Фенольно-формальдегидная смола
	Аминопласты	Сульфитная целлюлоза	Меламино-формальдегидная
Волокнистые	Волокнит	Хлопковое волокно	Фенольно-формальдегидная смола
	Стекловолокнит (АГ-4)	Стекловолоконное	Фенольно-формальдегидная смола, модифицированная полисилоксановая смола
Слоистые	Гетинакс	Бумага	Фенольно-формальдегидная (резол)
	Текстолит	Хлопчатобумажная ткань	Фенольно-формальдегидная (резол)
	Стеклотекстолит	Стекловолоконная ткань	Бутварно-фенольная, полиэфирная, эпоксидная и др.
	Асботекстолит	Асбестовая ткань	Фенольно-формальдегидная смола
	Дельта-древесина	Древесный шпон	Фенольно-формальдегидная смола

Режим прессования определяется тремя факторами: удельным давлением на горизонтальную проекцию прессуемой детали, температурой нагрева пресс-порошка, выдержкой формуемого изделия (детали). Эти факторы выбирают в зависимости от вида пресс-материала (табл. 2).

Таблица 2. Режимы прессования

Пресс-материал	Предварительный нагрев, °С	Прессование		
		Уд. давление, МПа	Температура, °С	Выдержка, мин., на мм толщины
Пресс-порошок К-21-22	100	25 – 30	155±5	2
Пресс-порошок К-18-2		25 – 35	155±15	1 – 2
Аминопласты		25 – 35	140±15	1 – 2
Стекловолокнит (АГ-4)		40 – 45	165±10	1 – 2

Как видно из табл. 2, время выдержки зависит еще и от толщины формуемой детали (изделия).

Температуру во время прессования контролируют при помощи термопары или термометра. Время выдержки определяют по часам. Удельное давление непосредственному контролю не поддается, его поэтому пересчитывают на манометрическое с учетом площади плунжера пресса, а контролируют давление плунжера по манометру. Пересчет ведется по следующей формуле:

$$P_{ман} = \frac{P_{уд} \times F_{дет}}{F_{плун}}$$

где  $P_{ман}$  – манометрическое давление пресса, МПа;

$P_{уд}$  – максимальное удельное давление (см. табл. 2), МПа;

$F_{дет}$  – площадь горизонтальной проекции прессуемой детали, м<sup>2</sup>;

$F_{плун}$  – площадь плунжера пресса (см. табл. 3), м<sup>2</sup>.

Таблица 3. Площадь плунжера пресса

Номер пресса	Площадь плунжера пресса, ×10 <sup>-4</sup> м <sup>2</sup>
1	106
2	106
3	106
4	38,5

## **Оборудование для прессования**

Для изготовления детали методом одноосного прессования необходимо иметь гидравлический пресс и металлическую форму.

Пресс-формы по конструкции делятся на открытые, закрытые и закрытые с перетеканием. Всякая пресс-форма состоит из следующих основных частей: матрицы, пуансона и выталкивателя.

### ***Технология прессования изделий из терморактивных пресс-материалов***

Пресс-форму в собранном виде предварительно нагревают до температуры, указанной в табл. 2. Нагретую пресс-форму разбирают, рабочие поверхности матрицы и пуансона смазывают разделительным составом (например, парафином) для того, чтобы пресс-порошок не залипал в форме, а затем в матрицу засыпают предварительно взвешенный пресс-порошок в количестве, необходимым для получения качественного изделия (табл. 4).

Таблица 4. Параметры прессования пресс - материалов

Пресс-материал	Навеска, г	Время выдержки, мин.
Аминопласт	5,5	20
Карболит К-18-2	8,5	20
Карболит К-21-22	8	15

Пресс-форму закрывают пуансоном и помещают между плунжерами пресса с гидравлическим приводом, поднимают температуру и давление до необходимых величин (рассчитанных и выбранных по таблицам). Изделия выдерживают под давлением в течение выбранного времени, после чего пресс-форму разбирают и изделия в горячем виде из нее извлекают.

В случае образования на кромках изделия облоя последний удаляют напильником.

### ***Формование органического стекла***

Стекло органическое листовое (СОЛ) представляет собой упругий, твердый, светопрозрачный листовой материал, применяемый для

остекления летательных аппаратов, приборов, скафандров. Изделия из органического стекла используют в интервале температур от  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $80^{\circ}\text{C}$ .

Стекла марки СОЛ изготавливают путем блочной полимеризации метилметакрилата с добавкой пластификатора в специальных формах из минерального стекла. Полимеризация ведется несколькими способами. При блочном методе тщательно перемешанную смесь метилметокрилата, инициатора и пластификатора заливают в форму из силикатного полированного стекла. Так получают литьевое оргстекло. Для изготовления экструзивного оргстекла полиметилметакрилат в гранулированном виде загружают в аппарат, где нагревают до вязко-жидкого состояния, а затем вдавливают через экструзионную головку на зеркальные каландры. От величины зазора между каландрами зависит толщина листов.

Оргстекло бывает прозрачным, матовым, цветным и с односторонним рифлением. Есть марки пропускающие и не пропускающие ультрафиолетовые лучи. Выпускается в виде листов, блоков, трубок или прутьев.

Для органического стекла характерна высокая атмосферостойкость, легкость переработки в детали сложной кривизны, простота механической обработки.

Оргстекло в 2,5 раза легче и при этом в 10 раз прочнее обычного стекла, а при разбивании оно не образует острых осколков. Достоинством оргстекла являются высокие звукоизоляционные свойства и великолепные оптические свойства. По сравнению с обычным стеклом оргстекло легко обрабатывается, хорошо клеивается, сваривается, полируется, гравировается. Его можно не только изгибать по радиусу, но и формовать.

К недостаткам СОЛ относятся: невысокая поверхностная твердость, невысокое сопротивление динамическим нагрузкам, склонность к образованию на поверхности микротрещин.

Органическое стекло, как и все термопластичные материалы, обладает малой теплопроводностью и, одновременно с этим, значительным коэффициентом линейного расширения. При резкой смене температуры отдельные слои, в силу малой теплопроводности, приобретают различную температуру. Это вызывает появление внутренних напряжений в органическом стекле и приводит к образованию мелких трещин на поверхности называемому «серебрением». Высокие внутренние напряжения возникают и при

знакопеременных нагрузках, при жестком креплении в металлической оправе, при неправильном режиме механической обработки.

Для предупреждения появления «серебра» рекомендуют также снимать возникающие после изготовления изделия напряжения термообработкой и проводить сборку с металлическими деталями, пользуясь эластичными прокладками.

Требования повышенной теплостойкости привели к разработке новых марок органических стекол СТ-1, СТ-2-55 и др., способных длительно работать при температурах 120 - 150°C.

Наряду с органическими стеклами для остекления летательных аппаратов применяют многослойные стекла «триплексы». Они могут состоять как из органического, так и минерального стекла, склеенных прозрачными синтетическими пленками.

Повысить ударную вязкость и стойкость к «серебрению» СОЛ можно ориентацией молекулярных цепей путем вытяжки в пластическом состоянии при медленном нагреве заготовки при 80°C, при этом избегать прямого контакта с «холодным» металлом и использовать эластичные прокладки.

С повышением температуры органическое стекло приобретает эластичность. Стекло, нагретое немногим выше 80°C, деформируется под нагрузкой, а нагретое до 110 – 150°C приобретает высокую пластичность, что позволяет формировать из него изделия различной формы. При нагреве выше 170°C вследствие испарения пластификатора наблюдается газообразование, что приводит к появлению в стекле пузырей.

Для получения изделий из органического стекла формированием требуется давление не более 0,2 – 0,5 МПа.

В зависимости от размеров, конфигурации изделий и толщины органического стекла применяют следующие методы формирования:

1. Простое формирование изделий одинаковой кривизны, осуществляемое гибкой на болванке.

2. Сложное формирование деталей двойной кривизны, осуществляемое в штампах.

3. Формирование деталей свободной вытяжкой вакуумным или пневматическим методом.

Температура нагрева заготовки СОЛ перед формированием выбирается в зависимости от метода формирования по табл. 5. Сложная форма изделия требует более высокой температуры нагрева.

Время выдержки заготовок при заданной температуре зависит от толщины органического стекла и выбирается по табл. 6.

Таблица 5. Методы формования

Вид формования	Метод формования	Температура нагрева заготовки, °С
Гибка	Простое. На открытой болванке.	110 – 115
Формование	В закрытом штампе.	115 – 120
Формование	Свободной вытяжкой (сжатым воздухом).	125 – 130

Таблица 6. Время выдержки заготовок из органического стекла

Толщина СОЛ, мм	4 - 5	6 - 8	10 - 12	12 - 14
Время нагрева, мин.	20 - 25	30 - 40	50 - 60	60 - 80

### *Подготовка заготовки из СОЛ*

Нагретая до необходимой температуры заготовка вынимается из термостата и в течение нескольких секунд (5 – 10) охлаждается на воздухе для закалки наружных слоев. Работа производится в чистых мягких перчатках. В случае простой гибки заготовка укладывается на поверхность болванки и разглаживается на ней рукавицами. При сложном формировании заготовка помещается в матрицу штампа и прижимается пуансоном.

Для сохранения светопрозрачности изделия из СОЛ и целостности поверхности применяют деревянные или пластмассовые штампы, обтянутые замшей или байкой. Отформованное изделие охлаждается под давлением до температуры 30 – 40°С и затем вынимается из штампа. Точность контура отформованной детали проверяется по шаблону.

### *Формирование органического стекла при помощи сжатого воздуха*

Формированием органического стекла при помощи сжатого воздуха можно получать изделия, имеющие форму полусферы. Заготовку из органического стекла, нагретую до 120 - 130°С,

закрепляют на фланце цилиндра установки, обеспечивая необходимую герметичность нагретым кольцом и резиновой прокладкой. Затем в цилиндр подают сжатый воздух под давлением 0,2 – 0,5 МПа. Подачу воздуха осуществляют плавно. Под действием давления заготовка вытягивается и принимает сферическую форму заданного размера. По достижении заданной высоты подача сжатого воздуха прекращается. После формовки полученное изделие охлаждается под давлением до температуры 30 - 40°С и снимается в обратной последовательности, указанной выше.

Форма полученного изделия зависит от контура выреза в вытяжном кольце матрицы и от высоты установки ограничителя.

### *Контрольный минимум знаний*

1. Свойства термореактивных пресс-материалов и основное отличие от термопластичных материалов.
2. Как рассчитать манометрическое давления прессования?
3. От каких параметров зависит давление прессования?
4. Мероприятия, осуществляемые с целью получения изделий прессованием без облоя.
5. Для чего производится смазка пресс-формы.
6. Свойства органического стекла.
7. Причины появления «серебрения».
8. Методы формирования органического стекла.
9. Мероприятия, осуществляемые с целью получения изделий высокого качества.
10. Для чего необходимо выбирать время выдержки и температуру нагрева заготовки? От какого параметра зависят выбранные величины температуры и времени?
11. Как осуществляют процесс ориентации молекул в органическом листовом стекле?

## **ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ**

### *Задачи работы*

1. Рассчитать режим прессования карболита.
2. Ознакомиться с устройством пресс-формы.



3. Подготовить пресс-порошок карболит, пресс-форму и осуществить процесс формования по расчетному режиму.
4. Подготовить письменный отчет о проделанной работе.
5. Выбрать режим нагрева заготовки из СОЛ, температуру нагрева и время выдержки.
6. Отформовать деталь из СОЛ полусферической формы с помощью сжатого воздуха.
7. Представить в письменном виде отчет о проделанной работе.

### ***Материальное оснащение***

1. Методическая разработка (инструкция).
2. Гидравлический пресс.
3. Пресс-форма.
4. Образцы пресс-порошков.
5. Штангенциркуль.
6. Аналитические весы.
7. Образцы из органического стекла.
8. Сушильный шкаф.
9. Установка для формования органического стекла сжатым воздухом.

### ***Содержание отчета***

1. Основные понятия о способах классификации пластмасс.
2. Характеристика основных свойств образцов предложенного комплекта.
3. Состав и способ изготовления пластмасс.
4. Области применения и условия эксплуатации.

### ***Порядок выполнения работы***

1. Ознакомиться с теорией.
2. Рассчитать режим прессования пресс-порошка карболита.
3. Ознакомиться с устройством пресс-формы.
4. Подготовить пресс-порошок карболит, пресс-форму и осуществить процесс формования по расчетному режиму.
5. Выбрать режим нагрева заготовки из СОЛ, температуру нагрева и время выдержки.

6. Отформовать деталь из СОЛ полусферической формы с помощью сжатого воздуха.

*Список рекомендуемой литературы*

1. *Материаловедение / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин [и др.]*. М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 648 с.
2. *Власов С.В., Кулезнева В.Н.* Основы технологии переработки пластмасс : учебник для вузов. М.: Изд-во Мир, 2006. 600 с.
3. *Каллистер У.Д. (мл.), Ретвич Д.Дж.* *Материаловедение : от технологии к применению (металлы, керамика, полимеры) : справочное издание.* СПб. : Изд-во Научные основы и технологии, 2011. 895 с.

### **3. МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Цель работы:* овладение теоретическими знаниями и практическое изучение статического испытания на растяжение полимерных композиционных материалов.

#### **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ**

##### *Основные сведения*

Под композиционным материалом понимают материал с неоднородными физическими свойствами, гетерогенный материал (т.е. материал, состоящий из множества структурных элементов). Механика композиционных материалов (КМ) рассматривает поведение различных материалов и процессы, приводящие к потере ими эксплуатационных свойств.

Композиционные материалы могут быть как естественного, так и искусственного происхождения. К естественным КМ относят древесину, горные породы и минералы, к искусственным – различные виды полимеров и пластмасс (стеклопластики, асбобластики, углепластики, текстолиты, гетинакс, армированная резина и др.), материалы на основе древесины, металлические и металлополимерные композиции, сварные соединения.

Общим для всех КМ является сочетание в них разнородных компонентов, один из которых пластичен (связующее, матрица), а другой обладает высокой прочностью и жесткостью (наполнитель, арматура). Сама композиция при этом имеет свойства, которых не имеют отдельные составляющие, а разнообразие свойств композитов можно понять по признакам их классификации.

Современное определение КМ предполагает выполнение следующих условий:

1. Композиция должна представлять собой сочетание хотя бы двух разнородных материалов с четкой границей между фазами, один из которых пластичен (связующее, матрица), а другой обладает высокой прочностью и жесткостью (наполнитель, арматура).

2. Компоненты композиции образуют ее своим объемным сочетанием.

3. Композиция должна обладать свойствами, которых нет ни у одного из ее компонентов в отдельности.

Существующие КМ по микроструктуре можно разделить на дисперсно-упрочненные, упрочненные частицами, армированные волокнами и наноккомпозиты. Все эти материалы представляют собой матрицу, которая служит для улучшения того или иного свойства. В основе классификации четырех видов КМ лежат особенности их структуры. Так как все полимерные композиционные материалы (ПКМ) состоят из полимерной матрицы и содержат наполнитель, то можно провести классификацию по агрегатному состоянию и геометрической форме наполнителя. Согласно этой классификации, наполнители в полимерной матрице могут находиться в твердом, жидком и газообразном состояниях, и как особый вид состояния наполнителя можно выделить полимерное состояние. Геометрическая форма наполнителя оказывает огромное влияние на свойства ПКМ. Поэтому, используя наполнитель различной формы, или изменяя форму наполнителя путем модифицирования условий получения, можно в широких пределах регулировать многие свойства ПКМ. Твердые наполнители вводят в полимер для самых различных целей. В большом числе случаев эти наполнители вводят для повышения прочности полимеров. Такое действие наполнителей на полимеры обычно называют усилением. Дисперсными наполнителями усиливают в основном эластомеры, и получают при этом резины.

Кроме того, большое количество композиций содержит дисперсный наполнитель для придания полимерам самых разнообразных специальных (специфических) свойств. Сюда можно отнести придание полимерам нужного цвета, повышение липкости к металлам и другим веществам, придание электропроводности, улучшение теплопроводности, защита от ультрафиолетового излучения, снижение или повышение коэффициента трения, снижение горючести и регулирование многих других свойств полимеров.

В данной работе представлены три КПКМ: текстолит, стеклотекстолит, гетинакс. Рассмотрим каждый из этих материалов.

## *Текстолит: свойства и область применения*

Текстолит представляет собой слоистый материал, который получен в результате горячего прессования хлопчатобумажных тканей. Последние, в свою очередь, пропитаны термореактивным связующим веществом на основе фенолформальдегидной смолы. В некоторых случаях также используют полиэфирные, фенолоформальдегидные, эпоксидные, полиамидные, фурановые, кремнийорганические смолы или термопласты. В любом случае, свои ключевые характеристики текстолит получил именно в результате использования в процессе изготовления х/б тканей. Благодаря им данный материал обладает высокой прочностью при сжатии, повышенной ударной вязкостью, отлично подвергается механической обработке сверлением, резанием, штамповкой. Благодаря своим свойствам текстолит марки ПТК применяется в машиностроении для изготовления прокладочных шайб, вкладышей и подшипников, шкивов и бесшумных шестерен. Неметаллические зубчатые колеса являются более эластичными и виброустойчивыми по сравнению с аналогичными изделиями из стали при одних и тех же условиях эксплуатации. Текстолитовые шестерни длительно работают в распределительных механизмах авиационных и автомобильных двигателей, в редукторах, в коробках скоростей некоторых станков. Изготавливают различные типы шестерен: цилиндрические прямозубые, цилиндрические косозубые и конические. Зубчатые колеса вырезают из плит текстолита обычными методами, применяемыми в производстве металлических зубчатых колес. Преимуществами неметаллических подшипников является сравнительная легкость изготовления, низкий коэффициент трения, малая истираемость. Применение их взамен металлических, в том числе бронзовых, и баббитовых позволяет в несколько раз увеличить срок службы и значительно уменьшить износ валов машин. При коэффициенте трения около 0,003-0,006 (со смазкой) текстолитовые подшипники служат в 10-15 раз дольше бронзовых. Недостатком текстолитовых подшипников в данном случае является низкая теплопроводность материала, затрудняющая отвод теплоты трения. Обрабатывают текстолит на токарных, сверлильных, фрезерных станках. Изделия в отличие от металлических не требуют окраски. Отдельные части материала могут быть склеены различными клеями.

### ***Стеклотекстолит: свойства и область применения***

Стеклотекстолит является одним из видов текстолита и изготавливается с помощью прессования специальных тканей, пропитанных для улучшения качественных характеристик материала особыми смолами.

Среди основных свойств стеклотекстолита можно выделить следующие характеристики: высокая прочность, позволяющая использовать данный материал даже в условиях больших нагрузок; гибкость, дающая возможность создавать из стеклотекстолита конструкции разных форм и видов; возможность механической обработки, данный материал можно шлифовать, сверлить, штамповать и т. д.; кроме того, он обладает электроизоляционными свойствами, поэтому его весьма часто используют как изолятор; водостойчив; имеет высокий уровень стойкости по отношению к воздействию различных агрессивных сред; не токсичен; обладает небольшим весом, что делает установку созданных из него деталей достаточно быстрым и легким процессом. Из данного материала изготавливают корпуса лодок, катеров и других морских судов. Весьма часто из него делают рекламные стойки и прочие конструкции подобного рода. Кроме того, его применяют в машиностроении, например, при создании прочных кузовых элементов. Широкое применение стеклотекстолит получил и в строительстве: потолки, коридоры и сделанные из него панели устанавливают во многих современных зданиях. Помимо этого, из данного материала производят надежные трубопроводы, имеющие как прекрасный внешний вид, так и долгий срок эксплуатации.

### ***Гетинакс: свойства и область применения***

Гетинакс — слоистый прессованный материал, который получается путем горячего прессования бумаги, пропитанной терморезистивной смолой. Гетинакс изготавливается из сульфатно-целлюлозной бумаги. При изготовлении гетинакса бумага пропитывается раствором смолы определенной концентрации и сушится при 100, 140°C на пропиточных машинах со скоростью 10, 60 м/мин. После выхода из сушильных камер бумага нарезается на листы, сортируется и укладывается в пачки в зависимости от требуемой толщины готовых листов. Затем пачки закладываются в

многоэтажные гидравлические прессы, на которых при 150, 160°C и под давлением 6, 10 МПа прессуются. Время выдержки принимается из расчета 2,5 мин на 1 мм толщины прессуемого листа, изготавливаемого на основе фенольных смол, и 7, 10 мин на 1 мм для гетинакса на основе эпоксидных смол. После выдержки при высокой температуре листы гетинакса охлаждаются без снятия давления до комнатной температуры, затем снимают давление, пачки вынимают из прессы, обрезают и упаковывают.

Область применения гетинакса электроизоляция различных деталей теле- и радиоаппаратуры, облицовка различных поверхностей для декоративных целей. Основным преимуществом гетинакса перед такими электроизоляционными материалами, как текстолит и стеклотекстолит, является легкость его механической обработки. Однако свойства материала сильно взаимосвязаны с условиями окружающей среды. Так, при изменении температуры и влажности воздуха его электроизоляционные свойства могут значительно снизиться. Во избежание этого, гетинакс лакируют специальными средствами. Еще один минус этого материала – достаточно низкая огнеупорность.

### *Определение механических свойств*

Механические свойства композитов с полимерной матрицей определяют согласно ГОСТ 32656- Композиты полимерные. Методы испытаний. Испытания на растяжение. В Международной классификации стандартов этот норматив соответствует стандартам ISO 527-4:1997, MOD и ISO 527-5:2009, MOD.

Метод состоит в кратковременном испытании образцов из композиционного материала на растяжение с постоянной скоростью деформирования, при котором определяют:

- предел прочности при растяжении  $\sigma_b$  – отношение максимальной нагрузки  $F_{max}$  предшествующей разрушению образца, к начальной площади его поперечного сечения, МПа;

- предел пропорциональности  $\sigma_{пл}$  – отношение нагрузки, при которой происходит отклонение от линейной зависимости между напряжением и деформацией, к площади начального поперечного сечения образца, МПа;

- относительное удлинение  $\delta$  при разрушении – отношение приращения длины мерной базы в момент разрушения к начальной длине мерной базы, %;

- модуль упругости  $E$  – отношение напряжения к соответствующей относительной деформации при нагружении материала в пределах начального линейного участка диаграммы деформирования, МПа.

Испытания проводят на разрывных и универсальных испытательных машинах, обеспечивающих растяжение образца с заданной постоянной скоростью перемещения активного захвата и измерение нагрузки с погрешностью не более 1 % от измеряемой величины. Для испытаний композиционных материалов с неоднородной арматурой применяют образцы в виде лопатки, форма и размеры которых приведены рис. 3.

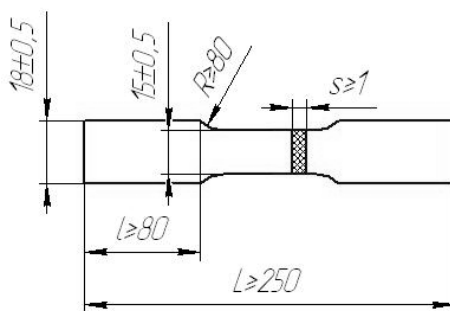


Рис. 3. Образец для испытаний

### **Проведение испытаний**

Перед испытанием измеряют толщину и ширину рабочей части образца в трех местах: по краям и в середине. Среднее значение толщины и ширины образца записывают в протокол испытаний и по ним, с точностью до трех значащих цифр, определяют площадь поперечного сечения образца. Испытания при нормальной температуре проводят в помещении или закрытом объеме при температуре и относительной влажности окружающего воздуха или другой среды, указанных в технических условиях на испытываемый материал.



Образец в захватах испытательной машины устанавливают так, чтобы их продольные оси совпали с прямой, соединяющей точки крепления захватов в испытательной машине. Для определения предела прочности при растяжении, относительного удлинения при разрушении предела пропорциональности образец равномерно нагружают с заданной скоростью вплоть до его разрушения и записывают наибольшую нагрузку  $F_{max}$ , которую выдержал образец.

Предел прочности при растяжении ( $\sigma_b$ ) определяют по формуле:

$$\sigma_b = \frac{F_{max}}{b \times h},$$

где  $F_{max}$  – максимальная нагрузка, предшествующая разрушению образца, Н;

$b$  – ширина образца, мм;

$h$  – толщина образца, мм.

Для определения относительного удлинения при разрушении и предела пропорциональности образец нагружают и записывают изменение продольной деформации в зависимости от нагрузки.

Предел пропорциональности при растяжении ( $\sigma_{пц}$ ) определяют по формуле:

$$\sigma_{пц} = \frac{F_{пц}}{b \times h},$$

где  $F_{пц}$  – нагрузка, соответствующая пределу пропорциональности, Н.

Относительное удлинение при разрушении ( $\delta$ ) определяют по формуле:

$$\delta = \frac{\Delta l}{l} \times 100\%,$$

где  $\Delta l$  – абсолютное удлинение расчетной длины образца при разрушении, мм;

$l$  – начальная расчетная длина образца, мм.

Модуль упругости при растяжении ( $E$ ) определяют по формуле:

$$E = \frac{\Delta F}{b \times h} \times \frac{l}{\Delta l},$$

где  $\Delta F$  – приращение нагрузки, Н;

$\Delta l$  – приращение расчетной длины образца при изменении нагрузки на  $\Delta F$ , мм.

Результаты расчетов сводятся в табл. 7.

Таблица 7. Экспериментальные данные

Материал	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{пл}$ , МПа	$\delta$ , %	E, МПа
Текстолит				
Стеклотекстолит				
Гетинакс				

### ***Контролируемый минимум знаний***

1. Что такое композиционный полимерный материал. Какова его природа?
2. Какие условия определяют образование композиционного материала?
3. Классификация КППМ?
4. Что такое текстолит, его свойства и область применения?
5. Что такое стеклотекстолит, его свойства и область применения?
6. Что такое гетинакс, его свойства и область применения?
7. Какие прочностные и пластические характеристики определяются при испытаниях на растяжение?

## **ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ**

### ***Задачи работы***

1. Закрепление знаний по теории статических испытаний на растяжение полимерных композиционных материалов.
2. Освоение методики исследования механических свойств неметаллических материалов на примере текстолита, стеклотекстолита и гетинакса.
3. Установление влияния состава полимерных композиционных материалов на их свойства.

### ***Материальное оснащение***

1. Методическая разработка (инструкция).
2. Образцы полимерных композиционных материалов.
3. Разрывная машина усилием 1 т.
4. Штангенциркуль.

### ***Содержание отчета***

1. Основные понятия о полимерных композиционных материалах.
2. Описание метода статического испытания на растяжение исследуемых материалов.
3. Результаты экспериментальной части работы представить в виде таблицы.
4. Анализ результатов и их объяснение.

### ***Порядок выполнения работы***

1. Ознакомиться с теорией, изложить основные положения в отчете.
2. Изучить внешний вид и строение испытуемых полимерных композиционных материалов.
3. Ознакомиться с устройством испытательной разрывной машины.
4. Подготовить образцы к испытанию: измерить начальную расчетную длину, размер поперечного сечения и начальной площади.
5. Провести испытания с фиксацией разрушающего усилия и величины абсолютного удлинения.
6. Выполнить расчеты по определению предела прочности, предела пропорциональности, относительного удлинения и модуля упругости.
7. Подготовить письменный отчет о выполненной лабораторной работе с анализом и объяснением полученных результатов.

### **Список рекомендуемой литературы**

1. *Материаловедение / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин [и др.]. М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 648 с.*
2. *Власов С.В., Кулезнева В.Н. Основы технологии переработки пластмасс : учебник для вузов. М.: Изд-во Мир, 2006. 600 с.*
3. *Каллистер У.Д. (мл.), Ретвич Д.Дж. Материаловедение : от технологии к применению (металлы, керамика, полимеры) : справочное издание. СПб. : Изд-во Научные основы и технологии, 2011. 895 с.*

## 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ РЕЗИНЫ

*Цель работы:* изучение состава резины и зависимости ее свойств от вида каучука, сущность процесса старения и влияния его на физико-механические свойства резины.

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

#### *Основные понятия*

Резинами называются эластичные многокомпонентные материалы на основе каучука. Эластичность резин, т.е. способность к очень большим (500 - 800%) обратимым деформациям, является наиболее ценным их свойством. Резины имеют очень низкий модуль упругости ( $E = 1 - 10$  МПа) и легко деформируются под действием относительно небольших напряжений; их коэффициент Пуассона близок к 0,5.

Благодаря этому резиновые материалы получили широкое применение в авиационной промышленности для изготовления авиапневматиков, амортизирующих деталей, топливных баков, шлангов, противообледенителей, а также как прокладочный, уплотнительный (для герметизации разъемных соединений) и электроизоляционный материал.

Каучук – основа резиновой смеси. Содержание его достигает до 95%. Является полимером линейной структуры, который при определенных условиях может быть переведен в высокоэластичный редкосетчатый материал. Этот переход можно сравнить с отверждением термореактивных полимеров, т. к. здесь также происходит необратимое изменение структуры молекулы. Такое изменение происходит в резине под воздействием одного из компонентов смеси, называемых вулканизатором, чаще всего им является сера. Процесс изменения структуры каучука в резиновой смеси называется вулканизацией и, как правило, происходит при воздействии повышенной температуры. Смесь, в которой еще не прошел процесс вулканизации, называют сырой резиной, а смесь после окончания вулканизации – резиной или вулканизатом. В резиновую смесь кроме каучука и вулканизатора вводят следующие компоненты, имеющие свое назначение: наполнители, мягчители, противостарители, красители, ускорители и ряд других.

Свойства резины, ее бензомаслостойкость, теплостойкость зависят в основном от вида каучука, введенного в состав смеси. Резины изготавливают на основе натуральных и синтетических каучуков с температурами стеклования ниже 0°C. Основной операцией превращения каучука в резину является вулканизация, когда линейные молекулы термопластичного каучука соединяются поперечными химическими связями. Молекулярная структура резины представляет собой объемную сетку, способную к высокоэластичным деформациям благодаря невысокой плотности поперечных связей. По сравнению с каучуком резина прочнее, не склонна к необратимым деформациям под нагрузкой и не растворяется, а лишь набухает в тех растворителях, в которых растворим каучук.

У резин общего назначения интервал рабочих температур составляет (-50...+150)°C. При нагреве выше 150°C резина быстро разрушается, а при охлаждении ниже -50°C теряет эластичность. Для более низких и более высоких температур разработаны специальные резины – морозостойкие и теплостойкие соответственно.

В зависимости от сопротивления старению резины подразделяют на три группы: стойкие, умеренно-стойкие и нестойкие.

Стойкими являются резины на основе этиленпропиленовых, кремнийорганических и фторкаучуков, а также хорсульфированного полиэтилена. Они нечувствительны к озону ни при его равновесной концентрации в воздухе, равной  $(2 - 4) \cdot 10^{-6} \%$ , ни при увеличении этой концентрации до 0,1 - 1,0 %. Эффект старения становится заметным у них лишь через годы.

К умеренно стойким относятся резины на основе хлоропренового и бутилового каучуков и тиоколов. В этих материалах трещины начинают развиваться после нескольких месяцев выдержки.

Нестойкими являются резины общего назначения, которые производят в массовом количестве. Это натуральная резина и резины на основе изопреновых, бутадиенстирольных, бутадиен-нитрильных и ряда других каучуков. Трещины возникают у них после непродолжительного растяжения, изгиба или кручения. Повышение концентрации озона в воздухе до  $10^{-2} - 10^{-4} \%$  влечет растрескивание поверхности этих материалов при 20 - 25°C уже через 1 ч выдержки. Поверхностные трещины способствуют в дальнейшем разрушению и понижают износостойкость резин.

Резины в силу податливости при механическом воздействии устойчивы против многих видов абразивного изнашивания. В то же время они изнашиваются «скатыванием». При трении микронеровности резины деформируются, сворачиваются в скатку и отрываются от поверхности. Скорость изнашивания резин резко увеличивается при нагреве выше 150°C. Изнашивание развивается под действием касательных напряжений, надрывающих поверхностный слой и тем интенсивнее, чем больше коэффициент трения. Микротрещины, возникшие из-за старения, увеличивают износ.

Как полимерный материал, резина характеризуется газо- и водонепроницаемостью, химической стойкостью (за исключением сильных окислителей). Резины незначительно поглощают воду (натуральная резина - до 2 %). Исключительно важное значение имеет стойкость резин к маслу и моторному топливу. Резины общего назначения, включая натуральную резину, нестойки к этим веществам, набухают в них и быстро теряют прочность. Специальные резины – бутадиен-нитрильные, полиуретановые, полисульфидные, хлоропреновые, а также резины на основе фторкаучуков – являются маслостойкими. Резина на основе бутилового каучука превосходит прочие по газонепроницаемости, ее основное применение – камеры автомобильных шин.

В рабочем интервале температур механические свойства резин изменяются: эластичность резин уменьшается при приближении к температурам выше 100°C из-за термического разрушения и старения. При кратковременном нагреве до 120°C (чтобы исключить старение) прочность всех без исключения резин уменьшается вдвое. Теплостойкими являются резины на основе этиленпропиленовых, кремнийорганических и фторкаучуков (до 300 - 400°C вместо 150°C для обычных резин). Резина является диэлектриком.

Свойства резины изменяются в зависимости от выбора компонентов, соотношения между ними и условия вулканизации. В состав резины входят: каучук, 8 - 30 % пластификатора для подготовки сырой резины к формованию, наполнитель в виде тонкодисперсного порошка, вулканизатор для соединения молекул каучука поперечными связями, антиоксидант для замедления старения, ускоритель вулканизации, краситель и другие составляющие.

Наполнители подразделяют на активные (сажа, оксид кремния) и инертные (мел, тальк и др.). Активные наполнители в виде специально подготовленного высокодисперсного порошка взаимодействуют с молекулами каучука и повышают прочность резины. Инертные наполнители удешевляют резину, не повышая ее прочности. В сырую резину вводят регенерат (8 - 30 %) – мелкоизмельченные отходы и старые резиновые изделия, что тоже ее удешевляет. Чем больше содержание активного наполнителя и вулканизатора, тем выше прочность, модуль упругости и потери на гистерезис. Чем больше содержание пластификатора, тем слабее межмолекулярное взаимодействие, ниже прочность и меньше потери на гистерезис.

Технология изготовления резиновых изделий включает пластикацию каучука вместе с пластификаторами, смешивание компонентов и получение сырой резины, формирование, сборку и вулканизацию изделий. Пластикация представляет собой многократное деформирование сырой резины. В результате пластикации смесь нагревается, средняя молекулярная масса уменьшается вдвое из-за механической деструкции и получается податливый вязкий материал, который легко смешать с другими составляющими, а затем из сырой резины сформировать изделие. Вулканизацию проводят при 140 - 180°C в пресс-формах или автоклавах. Выдержку делают максимально короткой для уменьшения термического разрушения резины (с этой целью применяют ускорители вулканизации). Вулканизатором обычно является сера, ее добавляют в количестве 5 - 6 %, сохраняя эластичность резины. При концентрации серы 30 - 50 % частота поперечных связей так велика, что эластичность полностью исключается; полученный после вулканизации твердый материал называют эбонитом.

В зависимости от ее происхождения различают натуральный и синтетический каучуки.

Натуральный каучук получается из тропических растений. В значительных количествах (до 40%) каучук содержится в тропическом дереве гевея. Удельный вес натурального каучука – 0,9 г/см<sup>3</sup>. Эластичность каучука зависит от температуры. Так, при температуре ниже +4°C он твердеет, а при более низких становится хрупким. При +70°C размягчается, теряет эластичность, становится пластично-текучим, а при 200°C и выше – плавится. Натуральный каучук весьма дорог, а его применение ограничено рядом технических



соображений. Поэтому производство резины основано на каучуках, полученных искусственным – синтетическим путем.

Синтетический каучук. Процесс получения синтетических каучуков связан обычно с реакцией полимеризации (бутадиеновые, нитрильные и стирольные каучуки) или с реакцией поликонденсации (тиокольные и полисилексановые каучуки). В результате сополимеризации бутадиена с акрилонитралом получают нитрильные каучуки, а полимеризацией бутадиена со стиролом – стирольные каучуки. Синтетический каучук по химическому строению, химическим и физико-механическим свойствам близок к природному каучуку.

По своему назначению каучуки делятся на каучуки общего назначения (бутадиеновый, изопреновый, натуральный) и специальные: теплостойкие (кремнийорганические, до 250°C; фторкаучук и полиуретановый, до 150°C), бензо- и маслостойкие (тиоколовый, хлоропреновый, фторкаучук), химически стойкие (фторкаучук, хлоропреновый).

Механические свойства резин определяют при испытаниях на растяжение. Для резин характерно  $\sigma_b = 10 - 60$  МПа и очень большое относительное удлинение в момент разрыва образцов – до 900 - 1000% (табл. 8). Трещины в резинах распространяются медленно, сопротивление раздиру изменяется от 20 до 150 кН/м.

Упрочнение резин при растяжении обусловлено выпрямлением молекул каучука, ограничением возможности дальнейшей высокоэластичной деформации, а также их кристаллизацией. Кристаллизация в резинах нежелательна, так как из-за нее уменьшается эластичность. После снятия нагрузки кристаллы «плавятся», и эластичность восстанавливается через некоторое время. Наиболее склонны к кристаллизации резины на основе натурального каучука, близкого к нему изопренового, а также хлоропренового каучуков. После разрыва образца имели остаточное относительное удлинение 20 - 30%, т.е. менее 5% максимального удлинения перед разрывом. Это остаточное удлинение в основном является необратимой деформацией из-за разрывов поперечных связей и проскальзывания макромолекул, чем меньше остаточное удлинение, тем выше качество резины.

Таблица 8. Механические свойства резин

Название резины (по каучуку)	$\sigma_b$ , МПа		$\delta$ , %	Сопротивление раздиру, кН/м
	Без наполнителя	С наполнителем		
Натуральная	20 - 30	15 - 35	300 - 1000	
Изопреновая	20 - 30	15 - 35	300 - 800	20 - 150
Бутадиеновая	2 - 8	10 - 25	300 - 800	20 - 70
Бутадиен-стирольная	2 - 6	10 - 30	250 - 800	15 - 70
Бутиловая	3 - 20	8 - 23	200 - 800	20 - 80
Хлоропреновая	10 - 30	10 - 30	100 - 800	20 - 80
Этилен-пропиленовая	2 - 7	10 - 25	100 - 800	20 - 60
Полиуретановая	20 - 50	20 - 60	200 - 800	30 - 130
Полисульфидная		5 - 9	300 - 450	-
Фторкаучуковая	3 - 7	10 - 25	100 - 450	15 - 60
Кремний- органическая	1	4 - 12	100 - 800	10 - 45

### *Атмосферное старение и защита резин*

Проблема увеличения долговечности резиновых изделий непосредственно связана с повышением сопротивления резни различным видам старения. Одним из наиболее распространенных и разрушительных видов старения является атмосферное старение резин, которому подвержены практически все изделия, контактирующие при эксплуатации или хранении с воздухом.

Атмосферное старение представляет собой комплекс физических и химических превращений резин, протекающих под воздействием атмосферного озона и кислорода, солнечной радиации и тепла.

### *Изменение физико-механических свойств резин*

В атмосферных условиях так же, как и при тепловом старении, резины постепенно теряют свои эластические свойства независимо от того, находятся ли они в напряженном или ненапряженном состоянии. Быстро (через 1 – 2 года) наступает заметное изменение свойств у

резин из бутадиен-нитрильного, бутадиенстирльного каучуков и из наирита. Изменение физико-механических свойств резин в условиях атмосферного старения обусловлено, главным образом, процессом теплового старения, протекающим под действием тепла и атмосферного кислорода. В соответствии с этим эффективное снижение скорости изменения физико-механических свойств резин при атмосферном старении также, как и при тепловом старении, может быть достигнуто с помощью противостарителей.

Изменение физико-механических свойств резин в атмосферных условиях может оказывать влияние на долговечность резиновых изделий в случае их длительного пребывания на воздухе в ненапряженном состоянии или при достаточно малых напряжениях. Существенен этот процесс также для деформированных резин, хорошо защищенных от действия озона или изготовленных из озоностойких каучуков, длительно эксплуатирующихся на воздухе.

### *Проведение испытаний*

#### *Определение набухаемости (бензостойкости) резин*

Три образца из резин на основе различных каучуков взвешивают и помещают в сосуд с бензином на 30 минут. По истечении этого времени образцы вынимают из бензина и кладут на кусочки фильтровальной бумаги, не промокая, а выдерживая на воздухе по 1 минуте вверх каждой стороной образца. После этой выдержки производят вторичное взвешивание. Данные записывают в табл. 9.

Набухаемость определяется по следующей формуле:

$$\Delta\gamma = \frac{\gamma_1 - \gamma_0}{\gamma_0} \times 100\%,$$

где  $\gamma_1$  – вес после набухания, г;

$\gamma_0$  – вес до набухания, г.

В выводе необходимо отразить общее заключение о сравнительной бензостойкости всех трех образцов.

Таблица 9. Бензостойкость резин

Образец, тип каучука	Вес до набухания ( $\gamma_0$ ), г	Вес после набухания ( $\gamma_1$ ), г	Весовая набухаемость ( $\Delta\gamma$ ), %

### **Определение коэффициента старения резины**

Для определения коэффициента старения резины следует получить у лаборанта два образца стандартных размеров, один – из нормальной резины, другой – из резины той же марки, но состаренной, т.е. подвергнутой условному стандартному старению: выдержка образцов в термостате с циркулирующим воздухом при 70°С в течение 144 часов. Разметить образцы перед испытанием согласно форме, утвержденной техническими условиями. Длину рабочего участка (25 мм) отметить, отложив от центра образца в обе стороны по 12,5 мм, места зажимов губок динамометра – по 30 мм от торцов образца и измерить с помощью толщинометра его толщину. Закрепить образец в разрывной машине и провести с помощью динамометра его разрыв, зафиксировав при этом силу  $P$ , вызвавшую разрыв, длину рабочего участка образца (абсолютное удлинение в мм) и относительное удлинение в % в момент разрыва. Эти данные фиксируются по вертикальной шкале на машине. Все данные записывают в табл. 10.

Предел прочности образцов при растяжении определяется по формуле:

$$\sigma_s = \frac{P_k}{b_0 \times h_0},$$

где  $P_k$  – разрушающая нагрузка, МПа;

$b_0$  – ширина рабочей части, мм;

$h_0$  – толщина рабочей части, мм.

Относительное удлинение в момент разрыва определяется по формуле:

$$\delta = \frac{l_{kz}}{l_0} \times 100\%,$$

где  $l_{kz}$  – абсолютное удлинение (с машины), мм;

$l_0$  – начальная длина рабочей части, мм.

Относительное остаточное удлинение после разрыва определяется по формуле:

$$\delta_{ост.} = \frac{l_k - l_0}{l_0} \times 100\%,$$

где  $l_k$  – длина рабочей части после разрыва, мм.

Произведение упругости определяется по формуле:

$$z = \frac{\sigma_s \times \delta}{100}.$$

Коэффициент старения данной марки определяется по формуле:

$$K = \frac{z'}{z},$$

где  $z'$  – произведение упругости состаренного образца;

$z$  – произведение упругости несостаренного образца.

Все расчеты ведутся для двух образцов, штрихом помечаются данные для состаренного образца.

Таблица 10. Сводные данные

Наименование / обозначение / размерность	Образцы	
	состаренный	несостаренный
Ширина рабочей части, $b_0$ , мм		
Толщина рабочей части, $h_0$ , мм		
Площадь сечения рабочей части, $S_0$ , мм <sup>2</sup>		
Начальная длина рабочей части, $l_0$ , мм		
Абсолютное удлинение (с разрывной машины), $l_{кз}$ , мм		
Длина рабочей части после разрыва, $l_k$ , мм		
Разрушающая нагрузка (с машины), $P_k$ , МПа		
Относительное удлинение в момент разрыва (с машины), $\delta$ , %		
Относительное остаточное удлинение после разрыва, $\delta_{ост.}$ , %		
Прочность при разрыве, $\sigma_s$ , МПа		
Произведение упругости, $z$		
Коэффициент старения, $K$		

## ***Контролируемый минимум знаний***

1. Свойства резины.
2. Классификация резины (в зависимости от происхождения).
3. Классификация резины (в зависимости от сопротивления старению).
4. Старение резины.
5. Технология изготовления резиновых изделий.
6. Упрочнение резины.

## **ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ**

### ***Задачи работы***

1. Закрепление знаний по теории статических испытаний на растяжение резины.
2. Освоение методики исследования механических свойств неметаллических материалов на примере резины состаренной и несостаренной.
3. Определение коэффициента старения резины заданной марки.

### ***Материальное оснащение***

1. Методическая разработка (инструкция).
2. Образцы резины – нормальной и состаренной.
3. Разрывная машина.
4. Штангенциркуль.
5. Толщиномер.

### ***Содержание отчета***

1. Основные понятия о резиновых материалах.
2. Описание методики определения бензостойкости резины.
3. Описание методики определения коэффициента старения резины.
4. Результаты экспериментальной части работы представить в виде таблицы.
5. Анализ результатов и их объяснение.

### ***Порядок выполнения работы***

1. Ознакомиться с теорией, изложить основные положения в отчете.
2. Изучить внешний вид и строение испытуемых резиновых материалов.
3. Ознакомиться с устройством испытательной разрывной машины.
4. Подготовить образцы к испытанию: замерить начальную расчетную длину, размер поперечного сечения и начальной площади.
5. Провести испытания с фиксацией разрушающего усилия и величины абсолютного удлинения.
6. Выполнить расчеты по определению относительного удлинения в момент разрыва, относительного остаточного удлинения после разрыва, прочности при разрыве, произведения упругости и коэффициента старения.
7. Подготовить письменный отчет о выполненной лабораторной работе с анализом и объяснением полученных результатов.

### ***Список рекомендуемой литературы***

1. *Материаловедение / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин [и др.]. М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 648 с.*
2. *Материаловедение и технология металлов / Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюнин [и др.]. М. : Высшая школа, 2000. 638с.*
3. *Технология конструкционных материалов / А.М. Дальский, В.С. Гаврилюк, Л.Н. Бухаркин [и др.]. М. : Машиностроение, 1999. 352 с.*

## 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ

*Цель работы:* ознакомление с лакокрасочными материалами и способами испытания их физико-механических свойств.

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

#### *Основные понятия*

Лакокрасочные материалы – вязкие жидкости, способные после нанесения их тонким слоем на поверхность изделий высыхать с образованием пленки, прочно сцепляющейся с покрываемой поверхностью. Полученные пленки называют лакокрасочным покрытием. Лакокрасочные материалы различают по виду, составу и назначению.

По виду лакокрасочные материалы делят на лаки, краски, порошковые краски, эмали, грунтовки и шпатлевки.

Лак – раствор пленкообразующих веществ в органических растворителях или в воде, образующих после высыхания твердую прозрачную однородную пленку.

Краска – суспензия пигмента или смеси пигментов с наполнителями в олифе, масле, эмульсии, латексе, образующая после высыхания прозрачную однородную пленку.

Порошковая краска – сухая композиция пленкообразующего вещества с пигментами и наполнителями, образующая после сплавления, охлаждения и отверждения твердую непрозрачную пленку.

Эмаль – суспензия пигмента или смеси пигментов с наполнителями в лаке, образующая после высыхания непрозрачную твердую пленку с различным блеском и фактурой поверхности.

Грунтовки – композиции пленкообразующего вещества и пигмента. Применяются для создания надежного сцепления покрытия с окрашиваемой поверхностью, защиты металла от коррозии.

Шпатлевка – густая, вязкая масса, состоящая из смеси пигментов с наполнителями в связующем веществе, предназначена для заполнения неровностей и сглаживания окрашиваемой поверхности.

Основой лакокрасочного материала является пленкообразующее вещество, которое определяет защитные свойства, термостойкость



пленки, ее обратимость, характер сушки. В качестве пленкообразующих веществ используются различные полимерные соединения, полученные на основе:

- 1) растительных масел;
- 2) синтетических и природных смол;
- 3) эфиров целлюлозы (нитроцеллюлозы).

В зависимости от химического состава различают лакокрасочные материалы:

- 1) АС – алкидно-акриловые;
- 2) БТ – битумные;
- 3) ГФ – грифталевые;
- 4) МА – масляные;
- 5) НЦ – нитроцеллюлозные;
- 6) ФЛ – фенольные;
- 7) ШЛ – шеллачные;
- 8) ЯН – янтарные и др.

По назначению лакокрасочные материалы классифицируются на следующие группы:

- 1) атмосферостойкие;
- 2) ограниченно – атмосферостойкие;
- 3) консервационные;
- 4) водостойкие;
- 5) специальные (светящиеся, терморегулирующие и т.п.);
- 6) маслобензостойкие;
- 7) химически стойкие;
- 8) термостойкие;
- 9) электроизоляционные.

В обозначения основных лакокрасочных материалов входят: вид материала (эмаль, лак, краска, грунтовка и шпатлевка), пленкообразующее вещество (БТ, ГФ, НЦ и т.д.), номер группы преимущественного назначения, присвоенный материалу порядковый номер, цвет и пр.

Сцепляемость пленки с покрываемой поверхностью изделия зависит от адгезии лакокрасочного материала. Пленки могут быть обратимыми после высыхания и необратимыми. К обратимым пленкам относятся те, в которых в процессе высыхания пленкообразующее не меняет своего молекулярного строения – остается пластичным. К таким относятся лакокрасочные материалы на основе термопластичных смол и эфиров целлюлозы. Те пленки, в

которых происходит перестройка молекулы пленкообразующего вещества в термостабильное состояние, называются необратимыми. К ним относятся материалы на основе растительных масел и термореактивных смол.

### *Основные свойства лакокрасочных материалов*

Время высыхания. Высыханием называется физико-химический процесс, при котором жидкий лакокрасочный материал, нанесенный тонким слоем на поверхность, превращается в пленку. Различают две основные стадии высыхания: высыхание «от пыли» и высыхание практическое.

Высыхание «от пыли» характеризуется временем, по истечении которого поверхность пленки остается мягкой, но пыль к ней уже не прилипает. Высыхание «от пыли» определяется путем легкого броска кусочка ваты с последующим удалением ее с поверхности пленки сдуванием: волокна ваты при этом не должны прилипнуть и оставаться на пленке. Практическое высыхание характеризуется временем, по истечении которого образуется пленка достаточно твердая, позволяющая производить дальнейшую обработку деталей. Практическое высыхание устанавливается моментом, когда к пленке не пристаю волокна от ваты, наложенного на испытываемую поверхность под давлением 200 г/см<sup>2</sup>.

Сухой остаток. Сухим остатком называется то, что остается в пленке лакокрасочного покрытия после высыхания. Сухой остаток выражается в процентах к весу жидкого материала. Знание веса сухого остатка позволяет определить привес, получаемый в результате окраски поверхности. Сухой остаток определяется по формуле:

$$K = \frac{q_2 - q_0}{q_1 - q_0} \times 100\%,$$

где K – сухой остаток, %;

$q_1$  – вес свежепокрашенной пластинки, г;

$q_0$  – вес стеклянной (чистой) пластинки, г;

$q_2$  – вес покрашенной (высушенной) пластинки, г.

Укрывистость или кроющая способность эмали – свойство делать невидимым цвет закрашиваемой поверхности при нанесении ее

равномерным слоем. Укрывистость определяется с помощью приспособления, имеющего вид шахматной доски с белыми и черными квадратами, покрытой сверху стеклом, и выражается количеством эмали в граммах на 1 м<sup>2</sup> поверхности. Укрывистость колеблется от 20 до 200 г/м<sup>2</sup> и определяется по формуле:

$$V = \frac{q_1 - q_0}{s} \times 10^4,$$

где  $q_1$  – вес свежескрашенной пластинки, г;

$q_0$  – вес стеклянной (чистой) пластинки, г;

$s$  – площадь стеклянной пластинки, см<sup>2</sup>.

Вязкость или внутреннее трение – свойство жидкости оказывать сопротивление перемещению ее частиц под давлением действующей на них силы. Вязкость определяется при помощи специального прибора – вискозиметра.

Твердость пленки. Обычно лакокрасочные пленки в начале своего формирования бывают более или менее мягкими, но со временем отвердевают. Быстрое отвердевание пленки характеризует высокие технологические качества покрытия. Твердость пленки лакокрасочных покрытий определяется при помощи маятникового прибора.

Эластичность пленки определяется изгибанием пластины с нанесенной пленкой лакокрасочного материала.

### ***Проведение испытания***

Лакокрасочный материал заливают в цилиндрический сосуд вискозиметра до указанного уровня. Затем вынимают стержень вискозиметра и одновременно засекают по секундомеру начало испытания. Вязкость лакокрасочного материала выражается условно временем истечения в секундах 100 мл испытуемого материала при температуре +20°С через калиброванное отверстие вискозиметра.

Испытуемый лакокрасочный материал наносят на стеклянную пластинку и высушивают. Пластинку ставят на платформу прибора пленкой вверх и на ней осторожно устанавливают шарики маятника (примерно в середине пластинки). Стрелку отводят до 7° и отпускают, давая маятнику свободно качаться. Когда стрелка маятника подойдет к 5° на шкале, пускают секундомер. При достижении амплитуды качения маятника 2° секундомер

останавливают. Время затухания амплитуды качения маятника от  $5^\circ$  до  $2^\circ$  служит мерой твердости. Проводят испытания на пленке и на чистом стекле. Твердость подсчитывается по формуле:

$$X = \frac{t_1}{t_2},$$

где  $X$  – число твердости;

$t_1$  – время затухания колебаний маятника (точки опоры на поверхности покрытий), с;

$t_2$  – время затухания колебаний маятника (точки опоры лежат на стекле), с.

Тонкая жестяная или дюралюминиевая пластинка с нанесенной пленкой лакокрасочного материала изгибается пленкой вверх на  $100^\circ$  вокруг стержней шкалы эластичности, имеющих различные диаметры – 1, 3, 5, 10, 15 и 20 мм. Эластичность характеризуется наименьшим диаметром стержня в мм, на котором происходит растрескивание пленки.

Прочность сцепления (адгезию) лакокрасочного покрытия с основанием определяют методом решетчатого надреза, для чего в лакокрасочном покрытии прорезают до основания лезвием безопасной бритвы пять параллельных линий на расстоянии 1 мм одна от другой и столько же надрезов делают перпендикулярно первым. Сцепляемость считается хорошей, если при прорезании лакокрасочной пленки она не крошится и не отстает от основания.

Определение прочности на удар лакокрасочных покрытий проводят на приборе У1 – А. Прибор представляет собой цилиндр, в котором свободно перемещается груз весом в 1 кг. На оси падения груза расположен боек с запрессованным стальным шариком диаметром 5 мм. В станине на одной оси с грузом запрессована наковальня, имеющая отверстие диаметром 15 мм. Металлическую пластинку, покрытую краской и высушенную, располагают на наковальне, груз вместе с фиксирующим устройством поднимают по полуму цилиндру и с помощью стопорного винта устанавливают на заданной высоте. Нажимом на кнопку освобождают груз, который свободно падает на боек. Боек передает удар на пластинку и состояние пленки осматривают в лупу с 4 – 5 кратным увеличением. При отсутствии трещин высоту подъема груза увеличивают при каждом поднятии на 2 – 10 см. Прочность пленки на удар выражается

максимальной высотой в сантиметрах, с которой падает груз весом в 1 кг, не вызывая механических разрушений пленки.

### ***Контролируемый минимум знаний***

1. Что такое лакокрасочные материалы?
2. По каким признакам классифицируют лакокрасочные материалы?
3. Классификация лакокрасочных материалов по виду.
4. Классификация лакокрасочных материалов по химическому составу.
5. Классификация лакокрасочных материалов по назначению.
6. Дать пример обозначения лакокрасочных материалов.
7. Дать понятие основных физических свойств лакокрасочных материалов.
8. Дать понятие о механических свойствах лакокрасочных покрытий.

## **ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ**

### ***Задачи работы***

1. Овладение теоретическими знаниями по классификации и обозначению лакокрасочных материалов.
2. Практическое изучение основных физико-механических свойств лакокрасочных покрытий.

### ***Материальное оснащение***

1. Методическая разработка.
2. Шкала эластичности.
3. Вискозиметр.
4. Весы.
5. Эмаль.
6. Секундомер.
7. Стеклянные пластинки.
8. Шахматные графареты.

## ***Содержание отчета***

1. Расчет времени высыхания.
2. Расчет сухого остатка лакокрасочного покрытия.
3. Расчет укрывистости эмали / краски.
4. Определение вязкости эмали / краски.
5. Определение эластичности покрытия.
6. Определение прочности на удар лакокрасочного покрытия.

## ***Порядок выполнения работы***

1. Ознакомление с теорией и краткое изложение основных ее положений в отчете.

2. По требованию преподавателя выборочно провести определение времени высыхания; вязкости эмали / краски; укрывистости, эластичности и прочности на удар покрытия.

## ***Список рекомендуемой литературы***

1. Материаловедение / *Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин* [и др.]. М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 648 с.

2. Материаловедение и технология металлов / *Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюнин* [и др.]. М. : Высшая школа, 2000. 638.

Методические материалы

## **НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ**

*Методические указания*

Составители: ***Носова Екатерина Александровна,  
Кузина Антонина Александровна,  
Трегуб Валерий Иванович,  
Кириллова Анна Викторовна***

Редактор М.С. Сараева  
Компьютерная верстка А.В. Ярославцевой

Подписано в печать 16.05.2018. Формат 60×84 1/16.  
Бумага офсетная. Печ. л. 4,0.  
Тираж 25 экз. Заказ .

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»  
443086, САМАРА, МОСКОВСКОЕ ШОССЕ, 34.

---

Изд-во Самарского университета.  
443086, Самара, Московское шоссе, 34.

