

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Ильшат Ринатович Мухаметзянов

Должность: директор

Дата подписания: 13.07.2023 14:34:25

Уникальный идентификатор документа:

aba80b84033c9ef196388e9ea0434f90a83a40954ba270e84bcb664f02d1d8d0

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Казанский национальный исследовательский  
технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»  
Чистопольский филиал «Восток»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ  
по дисциплине**

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

Индекс по учебному плану: **Б1.О.22**

Направление подготовки: **12.03.01 Приборостроение**

Квалификация: **Бакалавр**

Профиль подготовки: **Приборостроение**

Вид профессиональной деятельности: **проектно-конструкторская,  
производственно-технологическая**

Рекомендовано УМК ЧФ КНИТУ-КАИ

Чистополь  
2023г.

## **Лабораторная работа № 1. Исследование структуры металлических материалов при помощи микроскопа.**

Цель работы: Ознакомиться с методикой проведения микроструктурного анализа с использованием металлографического микроскопа.

### **Сущность и назначение микроструктурного анализа**

В металловедении используют различные методы для изучения кристаллического строения металлов и сплавов. Эти методы разделяются на два вида: методы для изучения внутреннего строения металлов и методы для изучения внешних форм кристаллов.

Внутреннее строение кристаллов, т.е. взаимное расположение атомов в кристаллической решетке, изучают с помощью рентгеноструктурного анализа, Внешние формы и размеры кристаллов изучают с помощью макро - и микроструктурного анализа.

Совокупность и взаимное расположение кристаллов (зерен) в металлах и сплавах, называется структурой.

В связи с тем, что металлы непрозрачны, форму кристаллов (зерен), их размеры и взаимное расположение можно изучать на изломах или специально приготовленных образцах, называемых шлифами.

Макроструктурный анализ применяют для изучения и контроля строения сплавов невооруженным глазом или с помощью лупы с тридцатикратным увеличением на изломах и на шлифах.

С помощью микроструктурного анализа дается оценка металла в состоянии поставки, выявляется присутствие вредных и легкоплавких включений, проверяется качество различных методов термической и химико-термической обработки, устанавливается связь между структурой и показателями прочности, пластичности и износостойкости металлов и сплавов и т. д.

Микроструктурный анализ выполняется в следующей последовательности: приготовление шлифов, выявление структуры травлением шлифов, изучение структуры под микроскопом.

Оптическая схема вертикального микроскопа приведена на рис. 1.

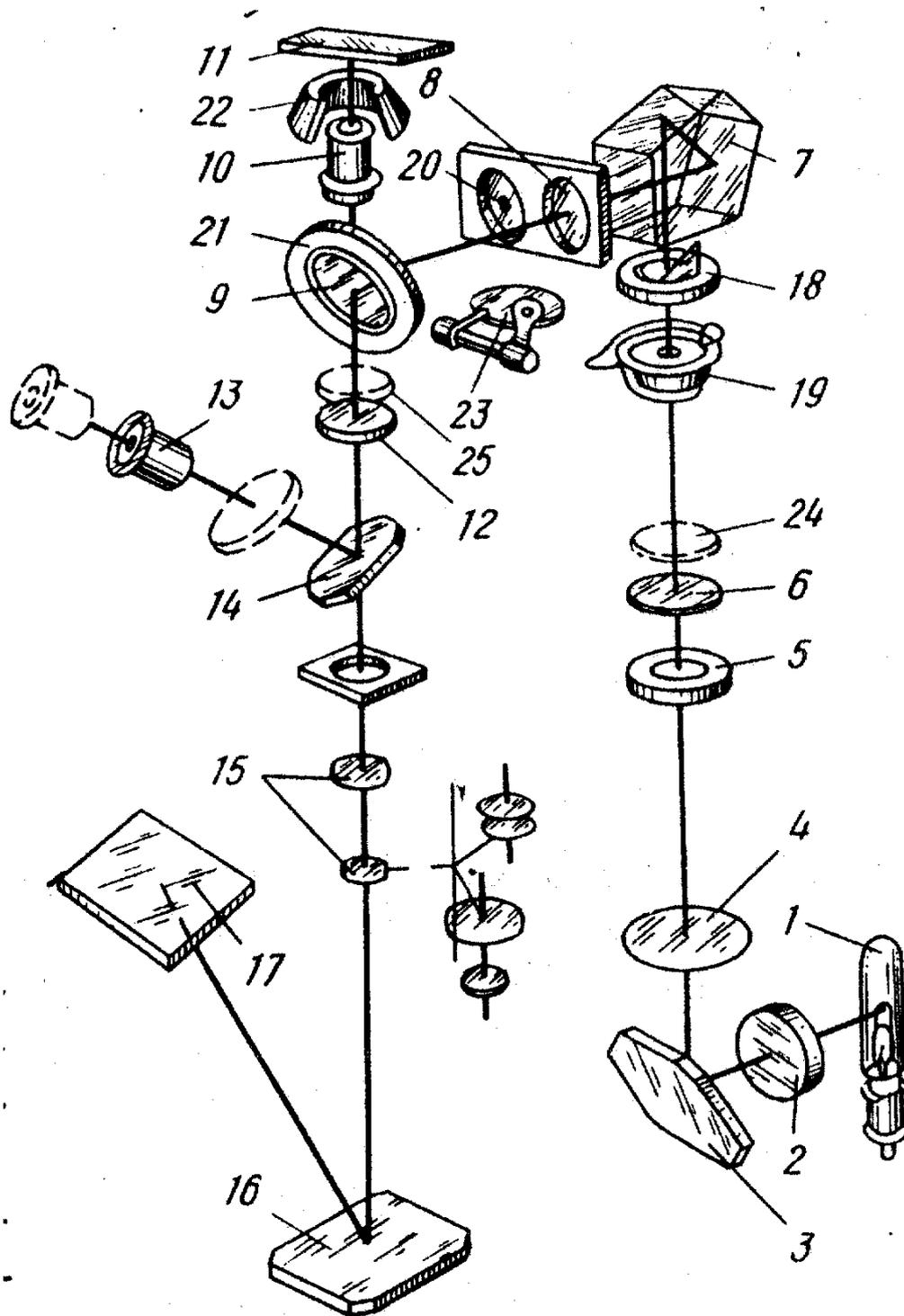


Рис. 1. Оптическая схема металлографического микроскопа

Нить лампы 1 коллектором 2 проектируется в плоскость апертурной диафрагмы 5. Системой, состоящей из линз 6 и 10, призмы 9 и отражательной пластины 11, апертурная диафрагма изображается в плоскости опорного торца для объективов.

Отражательная пластинка 11 направляет в объектив лучи, которые, отразившись от объекта, вновь проходят через объектив, выходят из него параллельным пучком, проходят отражательную пластинку и попадают на ахроматическую линзу 14.

Таким образом, объектив служит не только для получения изображения, но и является частью осветительной системы. Выходящие из объектива параллельные лучи при помощи линзы 14 образуют изображение объекта в фокальной плоскости окуляра. При визуальном наблюдении в ход лучей вводится зеркало 18, которое отклоняет лучи в сторону окуляра 19.

При фотографировании зеркало 18 выключается и лучи направляются непосредственно к фотоокуляру 15. За фотоокуляром 15 находится зеркало 16, которое направляет лучи на фотографическую пластинку.

Полевая диафрагма 8 служит для ограничения участка наблюдаемого объекта.

При рассмотрении поверхности шлифа под микроскопом световые лучи от выступов и впадин отражаются различно. Поэтому в поле зрения микроскопа можно видеть размер, форму и взаимное расположение отдельных зерен.

При проведении микроструктурного анализа следует учитывать, что под микроскопом изучается разрез определенного участка металла, поэтому видимые под микроскопом плоские зерна имеют в действительности объемную форму, а сетка вокруг кристаллов в плоскости шлифа, если таковая существует и видна, в действительности является сечением оболочки.

#### **Методика проведения работы**

1. Металлографический микроскоп настраивается на требуемое увеличение.
2. На предметный столик металлографического микроскопа устанавливаются последовательно микрошлифы из коллекции.
3. Изучается микроструктура каждого шлифа.

#### **Вопросы для контроля.**

1. Кристаллические и аморфные материалы.
2. Кристаллическое строение. Основные типы кристаллических решёток.
3. Анизотропия кристалла и изотропия кристаллических тел.
4. Идеальное строение металла. Отклонение в строении реальных (технических) металлах и влияние на их свойства.
5. Дефекты кристаллического строения. Влияние на превращения и свойства.

### **Лабораторная работа № 2. Бесстружковый метод качественного анализа металлов и сплавов**

Метод бесстружкового анализа служит для качественного и полуколичественного определения химических элементов в различных сплавах. Бесстружковый метод нашел применение в заводских лабораториях, прежде всего для маркировки (определения марки) отдельных металлов; и разнообразных сплавов. Для проведения анализа обычным методом объект подвергали сверлению. Полученную стружку растворяли в кислотах или в щелочах и этот раствор исследовали. При такой обработке деталь становилась непригодной для дальнейшего применения. Бесстружковый капельный метод позволяет обходиться без взятия стружки и выполнять многие реакции капельным методом: на фильтровальной бумаге, получая цветные пятна. Техника бесстружкового качественного анализа заключается в следующем. На очищенную наждачной бумагой поверхность исследуемого образца помещают необходимое число капель растворителя (соляная или азотная кислота, царская водка, щелочь, бромная вода). Через определенное время полученный раствор либо снимают с поверхности полоской фильтровальной бумаги либо переносят его с помощью

капиллярной пипетки в микропробирку. Искомый элемент определяется каким-либо специфическим реактивом.

В данной работе описаны упрощенные методы определения марки сплава по содержанию основного металла. Эти сплавы можно разделить на пять типов:

1. сплавы на алюминиевой основе;
2. сплавы на магниевой основе;
3. сплавы на медной основе;
4. сплавы на свинцовой и оловянной основе;
5. сплавы на железной основе.

Для определения типа металла или марки сплава с целью их сортировки производят аналитические реакции, характерные для основного компонента.

Анализ сплавов. Получив у преподавателя образец сплава, определить его марку, руководствуясь следующими реакциями

**1. Алюминиевые сплавы.** На очищенную наждачной бумагой поверхность образца помещают 1-2 капли 25%-ного раствора NaOH. Если через 2-3 минуты замечается вскипание жидкости с обильным выделением пузырьков газа, то образец относится к алюминиевым сплавам. При этом происходит реакция:

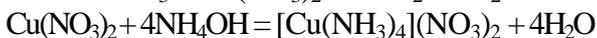


**2. Реакция отличия силуминов от дюралюминия.** На очищенную наждачной бумагой поверхность алюминиевого сплава поместить 1-2 капли 15%-ного раствора щелочи. По истечении пяти минут снять жидкость фильтровальной бумагой и на оставшееся на поверхности металла темное пятно нанести 1-2 капли концентрированной HNO<sub>3</sub> (плотность 1,4). Через пять минут вновь снять каплю фильтровальной бумагой. В случае силуминов остается серое пятно элементарного кремния. Дюралюминий как сплав, не содержащий кремния, этой реакции не дает.

**3. Магниевые сплавы.** На очищенную наждачной бумагой поверхность образца нанести две капли 3%-ного раствора Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>. В случае магниевого сплава через 2-3 минуты появляется желто-бурый осадок основной соли железа. Другие сплавы не реагируют с этим реактивом

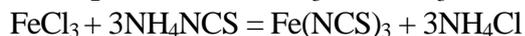
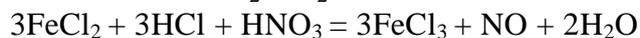
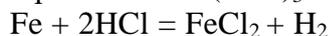


**4. Медные сплавы.** На очищенную наждачной бумагой поверхность образца помещают одну каплю концентрированной азотной кислоты (плотность 1,4). Через одну минуту на ту же каплю наносят 2-3 капли гидроксида аммония NH<sub>4</sub>OH. Появление синего окрашивания вследствие образования комплексного соединения [Cu(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>](NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> указывает на медный сплав



**5. Отличие латуни от бронзы.** Латуни и бронзы представляют собой сплавы на медной основе, отличающиеся содержанием второго главного компонента: в латунях содержится цинк, а в бронзах — олово. На очищенную наждачной бумагой поверхность образца нанести одну каплю концентрированной HNO<sub>3</sub> (плотность 1,4). Через 1-2 минуты жидкость перенести капиллярной пипеткой в микропробирку и разбавить пятью каплями воды. Добавить 2-3 капли раствора K<sub>2</sub>[Hg(NCS)<sub>4</sub>]. В случае латуни появляется осадок черно-фиолетового цвета. Бронза дает осадок зеленого цвета.

**6. Железо, чугун и сталь.** На очищенную наждачной бумагой поверхность образца нанести 1-2 капли раствора роданида аммония NH<sub>4</sub>NCS в соляной кислоте, содержащей немного HNO<sub>3</sub>. Появляется устойчивое темно-красное окрашивание вследствие образования Fe(NCS)<sub>3</sub>



Более детальное определение марки металла или сплава производится с помощью различных специальных реактивов и реакций.

Открытие некоторых легирующих элементов в сталях.

**7. Определение марганца.** На очищенную поверхность образца стали нанести одну каплю  $\text{HNO}_3$  (плотность 1,2). Через 5-6 минут снять каплю фильтровальной бумагой и на образовавшееся пятно нанести каплю аммиачного раствора серебра. Образование черного пятна от выделившегося металлического серебра и двуокси марганца укажет на присутствие марганца.

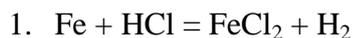
**8. Определение никеля.** На очищенную поверхность стали нанести каплю азотной кислоты (плотность 1,2), через одну минуту снять каплю фильтровальной бумагой и нанести на влажное пятно каплю реактива Чугаева (аммиачный раствор диметилглиоксима). В присутствии никеля пятно окрашивается в розово-красный цвет.

**Вопросы для контроля**

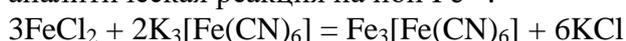
1. Сплавы.
2. Основные понятия и термины: сплав, компонент, фаза, структура, равновесное и неравновесное состояния.
3. Классификация сплавов.
4. Зависимость структуры сплава от положения компонентов в периодической системе Д.И. Менделеева.
5. Диаграммы состояния двойных сплавов (основные типы). Закономерности Н.С. Курнакова.
6. Диаграммы состояния сплавов. Правило отрезков.

**Лабораторная работа № 3. Химическая стойкость металлов в водных растворах**

Ход работы: зачистите небольшой участок металла наждачной бумагой и на очищенную поверхность подействуйте 1 каплей реагента. Через 1 минуту снимите эту каплю фильтровальной бумагой. Для обнаружения продуктов реакции на фильтровальной бумаге проделайте аналитическую реакцию.



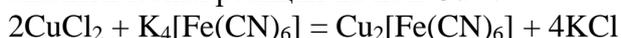
аналитическая реакция на ион  $\text{Fe}^{2+}$ :



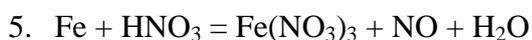
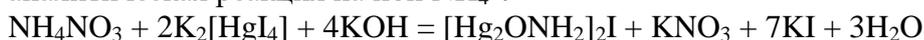
аналитический реагент на ион  $\text{Al}^{3+}$  - ализарин



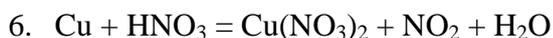
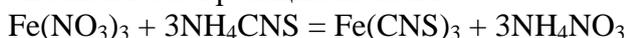
аналитическая реакция на ион  $\text{Cu}^{2+}$ :



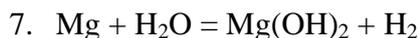
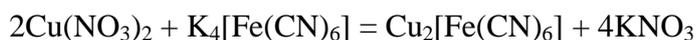
аналитическая реакция на ион  $\text{NH}_4^+$ :



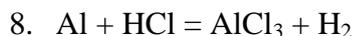
аналитическая реакция на ион  $\text{Fe}^{3+}$ :



аналитическая реакция на ион  $\text{Cu}^{2+}$ :



аналитическая реакция на щелочь с фенолфталеином



аналитический реагент на ион  $\text{Al}^{3+}$  - ализарин

Сделайте вывод об устойчивости металлов в соответствующих средах.

### Тема 3. Металлические материалы

#### Лабораторная работа № 4. Коррозия металлов и защита от коррозии.

##### 1. Химическая коррозия стали.

Стальную пластинку тщательно очистить наждачной бумагой. Зажав один конец пластинки держателем, другой поместить над пламенем горелки. Нагревать пластинку до появления цветов побежалости, т.е. до образования тончайших окисных пленок. Эти пленки ввиду неодинаковой толщины вызывают различную интерференцию света и поэтому окрашены в разные цвета. Вынуть пластинку из пламени и для охлаждения оставить на 15- 20 мин. Далее по всей длине пластины, начиная от края, примерно на равном расстоянии, нанести пипеткой 3 капли 0,01н. раствора сульфата меди. По скорости выделения меди оценить защитные свойства полученной пленки. Написать уравнение реакции.

##### 2. Контактная коррозия.

- В стакан налейте 0,01н раствор соляной кислоты, опустите туда цинковый стержень и наблюдайте выделение водорода. Затем опустите медный стержень и прикоснитесь им цинкового стержня. Где выделяется водород? Объясните наблюдаемые явления и напишите схему коррозионного процесса.

- В стакан налейте дистиллированной воды, добавьте немного раствора серной кислоты и раствора красной кровяной соли  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ . Перемешайте и разделите полученный раствор на 3 пробирки. Одновременно поместите: в одну пробирку – свернутый кусочек железной проволоки, в другую – такой же кусочек проволоки, обмотав им предварительно кусочек меди, а в третью – кусочек цинка, обмотанный такой же железной проволокой. В качестве железной проволоки очень удобно использовать стальные канцелярские скрепки, закрепляя в них кусочек меди или цинка. Сравнить скорости коррозии железа по интенсивности синей окраски, даваемой ионами железа (II) с красной кровяной солью:



Объяснить различную скорость коррозии во всех трех случаях.

##### 3. Коррозия в нейтральной среде.

В два стакана налейте на  $\frac{1}{2}$  объема 3%-ный раствор поваренной соли –  $\text{NaCl}$  и добавьте 2-3 мл фенолфталеина. Затем возьмите два железных гвоздя, оберните вокруг одного из них медную проволоку, и опустите в стаканы. Через 10 –15 минут обратите внимание на окраску растворов. Объясните наблюдаемые явления и напишите схему коррозионного процесса.

#### Вопросы для контроля.

1. Коррозия. Классификация коррозии
2. Химическая и электрохимическая коррозия
3. Способы защиты металлов от коррозии

- Коррозионно-стойкие стали.
- Хромистые стали. Хромоникелевые стали. Структура, свойства, применение.

**Лабораторная работа № 5. Нанесение медного покрытия на текстолитовую пластину.**

Условия электролиза:

Электролит –  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  – 150 г/л;  $\text{H}_2\text{SO}_4$  – 50мл;  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  – 50мл.

pH= 3,0 – 3,5.

Анод – медная пластина, катод – текстолитовая пластина.

К:  $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e} = \text{Cu}$

А:  $\text{Cu} - 2\text{e} = \text{Cu}^{2+}$

Температура (С) –

Поверхность образца S,  $\text{дм}^2$  –

Плотность тока, J = 5 А/ $\text{дм}^2$

Сила тока в цепи, А (I = J·S) –

Продолжительность процесса - 30 мин.

Порядок работы:

- Очистить анод наждачной бумагой, обезжирить и закрепить на анодной штанге.
- Очистить катод наждачной бумагой, измерить площадь катода ( $\text{дм}^2$ ), обезжирить, взвесить на аналитических весах (обезжиренные части руками не трогать) и опустить в раствор для декапировки (активизации поверхности катода) на 1-2 мин, после этого закрепить на катодной штанге.
- Поместить электроды в стакан с электролитом.
- Установить рассчитанную силу тока и начать электролиз.
- По прошествии заданного времени выключите прибор, извлеките электроды, промойте водой, просушите фильтровальной бумагой.
- Взвесить катод и определить экспериментальное значение массы осажденной меди. Результаты опыта занесите в таблицу:

Масса катода, г		Масса покрытия, г	
до электролиза, $m_1$	после электролиза, $m_2$	опытная $m = m_2 - m_1$	теоретическая $m_{теор} = \frac{M \times I \times t}{n \times F}$

Определите выход по току  $\frac{m_{эксп}}{m_{теор}} \times 100\%$  и ошибку опыта  $\frac{m_{теор} - m_{эксп}}{m_{теор}} \times 100\%$

**Вопросы для контроля**

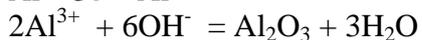
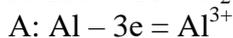
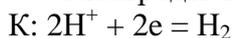
- Электролиз.
- Электроды, процессы, протекающие на электродах.
- Отличие электролиза расплавов от электролиза растворов.
- Применение электролиза.

**Лабораторная работа № 6 . Анодирование алюминия**

Приборы и оборудование:

Источник тока

Электроды: Анод – алюминиевая пластина, катод – свинцовая пластина.



Электролит – 20%  $\text{H}_2\text{SO}_4$

Раствор для подготовки поверхности алюминия –  $\text{NaOH}$  (конц)

Раствор для проверки анодирования –  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$

Температура (С) –

Поверхность образца  $S$ ,  $\text{дм}^2$  –

Плотность тока,  $J = 5 \text{ А/дм}^2$

Сила тока в цепи,  $A$  ( $I = J \cdot S$ ) –

Продолжительность процесса - 30 мин.

Порядок работы:

1. Очистить катод наждачной бумагой, обезжирить и закрепить на катодной штанге.
2. Очистить анод наждачной бумагой, измерить площадь анода, обезжирить и опустить в раствор для подготовки (активизации поверхности анода) на 1-2 мин, после этого закрепить на анодной штанге.
3. Поместить электроды в стакан с электролитом.
4. Установить рассчитанную силу тока и начать электролитический процесс.
5. По прошествии заданного времени выключите прибор, извлеките электроды, промойте водой.
6. Провести наполнение образовавшейся оксидной пленки в горячей воде ( $T$  90-95  $^{\circ}\text{C}$ , время 10 мин).
7. Оценить защитные свойства наполненной оксидной пленки. Для этого нанести каплю пробы на полученную оксидную пленку и засечь время до перехода окраски с оранжевой на зеленую.
8. Оцените свойства полученной оксидной пленки. Для сравнения: время перехода окраски при  $T$  18-21  $^{\circ}\text{C}$  не должно быть меньше 5 минут, а при  $T$  22-25  $^{\circ}\text{C}$  не меньше 3,5 минут.

#### Тема 4. Неметаллические материалы

##### Лабораторная работа № 7. Изучение свойств полимеров.

Идентификация полимера – это установление тождества анализируемого полимерного образца с известным высокомолекулярным соединением по достаточному числу признаков. В отличие от идентификации низкомолекулярных органических веществ, установление природы полимеров осложнено специфическими особенностями последних. Эта специфика проявляется в свойствах полимерных материалов (высокая вязкость растворов, склонность к набуханию, наличие высокоэластического состояния, нерастворимость трехмерных полимеров и т.д.) и затрудняет их анализ традиционными для органических соединений методами.

В настоящее время для анализа полимерных материалов широко распространены инструментальные методы. Вместе с тем, разработанные в 50-60-х годах химические методы не потеряли своей актуальности и по сей день. Химические методы, отличающиеся простотой и не требующие дорогостоящего и сложного оборудования, используют на первом этапе идентификации и в значительной мере облегчают задачу последующего исследования инструментальными методами.

Ход работы заключается в последовательном выполнении операций (проб), в ходе каждой из которых накапливается определенная информация о принадлежности полимера к конкретному классу. Предлагаемые методики идентификации распространяются только

на гомополимеры и композиции на их основе с небольшим количеством неорганических добавок (до 5%).

1. Внешний вид и физические свойства. Предварительные суждения о классе полимера можно вынести при первоначальном осмотре образца. При этом отмечается:

✓ Внешний вид (прозрачный, мутный, непрозрачный и т.д.). Цвет образца не является достоверной характеристикой принадлежности полимера к определенному классу, поскольку красители, пигменты и добавки могут изменить природную окраску полимера.

✓ Форма, размеры образца.

✓ Физическое состояние (твердый, полужесткий, эластичный, воскообразный и т.д.)

✓ Материалы в виде пленки испытывают на разрыв. Для этого кусочек пленки размером 15x50 мм слегка разрезают ножницами и тянут за концы разреза в противоположные стороны, пытаясь разорвать пленку. По характеру разрыва судят о принадлежности полимера.

2. Идентификация по растворимости. Этот метод идентификации заключается в проверке способности полимера растворяться в различных растворителях. В качестве растворителей используют: воду, ацетон, толуол, диоксан, четыреххлористый углерод.

Испытания проводить в вытяжном шкафу! Первоначально подготавливают несколько пробирок (по числу растворителей) с притертыми пробками, в каждую из которых помещают образцы полимера и добавляют по 5 мл растворителя. Пробирку время от времени встряхивают и в течение 1-2 часов периодически рассматривают смесь. При этом тщательно отмечают:

✓ набухает ли вещество

✓ растворимо ли вещество частично

✓ становится ли раствор вязким

✓ происходит ли изменение окраски раствора

✓ становится ли раствор мутным.

Полученные данные сравнивают с данными таблицы 1

3. Идентификация по плотности. Параллельно с проведением испытаний на растворимость можно сузить область поисков дополнительными испытаниями, основанными на разнице в плотности двух жидкостей.

В один из двух подготовленных стаканов наливают 70 мл дистиллированной воды, в другой – раствор тиосульфата натрия. Образец размером  $2 \times 10 \times 10$  мм, помещают вначале в стакан с водой и наблюдают за поведением образца. В зависимости от плотности образец либо погрузится на дно стакана, либо будет плавать на поверхности воды. Если образец погрузился на дно, то его извлекают из стакана с водой и помещают в стакан с тиосульфатом натрия. В этом случае на дно опустится образец полимера, плотность которого больше  $1,15 \text{ г/см}^3$ , в противном случае он останется плавать на поверхности раствора. Полученные данные сопоставляют с данными таблицы 1.

4. Идентификация по поведению пламени и характеру горения.

Испытания проводить в вытяжном шкафу!

Образец полимера вносят в среднюю часть бесцветного пламени спиртовки. Если он воспламеняется и горит, выводят образец из пламени на 5-6 см и продолжают наблюдение. При этом отмечают:

✓ характер и скорость воспламенения

✓ характер горения (горит, не горит, затухает вне пламени и т.д.)

✓ цвет и форма пламени

✓ наличие дыма, копоти, запаха, зольного остатка.

Наблюдения сопоставляют с данными таблицы 2.

Таблица 1. Растворимость полимеров

полимер	Плотность , г/см <sup>3</sup>	растворитель					
		вода	аце тон	диок сан	толу ол	хлоро форм	тетра хлор метан
полистирол	1,05	р	р	р	р	чр	р
полипропилен	0,90	р	р	р	р	р	нр
полиэтилен	0,93	р	р	р	р	р	нр
полиметилметакрилат	1,19	р	р	р	р	р	нр
полиэтилентетрафталат	2,22	р	р	р	р	р	нр

Примечание: р- растворим, нр – нерастворим, чр – частично растворим.

Таблица 2. Термические свойства полимеров.

полимер	воспламеняемость	поведение в пламени	хар –ка пламени	характер горения
полистирол	быстрая	горит после удаления из пламени	оранжево- желтое, светящееся	вспыхивает, много копоти
полипропилен	умеренная	горит после удаления из пламени	голубое, с желтой каймой	немного копоти, расплав капает, немного белого дыма
полиэтилен	умеренная	горит после удаления из пламени	голубое, с желтой каймой	немного копоти, расплав капает
Полиметил метакрилат	быстрая	горит после удаления из пламени	синее	горит с потрескиванием, немного копоти
Полиэтилен тетрафталат	медленная	горит после удаления из пламени	желтое, светящееся	немного копоти, зольный остаток

### Лабораторная работа № 8. Определение плотности цепей сетки по данным набухания

Растворение высокомолекулярных веществ (ВМВ) принято рассматривать как процесс, аналогичный смешению двух жидкостей, в котором имеет значение как энергетическое взаимодействие между молекулами растворяемого вещества и растворителя, так и действие фактора, обуславливающего равномерное распределение молекул растворенного вещества в растворе.

Первой стадией растворения ВМВ, в отличие от низкомолекулярных веществ, является *набухание*. При набухании полимер поглощает низкомолекулярный растворитель, значительно увеличиваясь в весе и объеме. Объем ВМВ при набухании может увеличиваться до 1 000 – 1 500%.

Причиной набухания является большая разница в скоростях диффузии молекул полимера в растворитель и молекул растворителя в высокомолекулярное вещество. Так как молекулы растворителя более подвижны, то сначала происходит, главным образом, их диффузия в полимер. Это сопровождается увеличением объема последнего, и когда связь между макромолекулами будет ослаблена, они также начинают диффундировать в растворитель, и образуется однородный раствор.

Набухание далеко не всегда кончается растворением. Очень часто после достижения известной степени набухания процесс прекращается. Причина такого явления заключается в том, что ВМВ и растворитель способны смешиваться ограниченно. В результате такого ограниченного набухания в системе образуются две фазы - насыщенный раствор полимера в растворителе (собственно раствор) и насыщенный раствор растворителя в полимере (гель, студень). Примером ограниченного набухания является набухание при комнатной температуре поливинилхлорида в ацетоне, желатины и целлюлозы в воде. Ограниченное набухание при изменении условий опыта часто переходит в неограниченное. Так, например, желатин и агар-агар, набухающие ограничено в холодной воде, в теплой воде набухают неограниченно. В настоящее время пока еще не установлены количественные

закономерности между природой растворителя и его способностью растворять высокомолекулярные вещества. Обычно ограничиваются качественным эмпирическим правилом: *подобное растворяется в подобном*.

Количественной характеристикой набухания полимера является *степень набухания*  $\alpha$ . Ее можно определить гравиметрическим способом: взвешивают образец до и после набухания и рассчитывают по формуле:

$$\alpha_m = (m - m_0) / m_0 \quad (1),$$

где  $m_0$  и  $m$  - навеска полимера до и после набухания.

Степень набухания можно также определить объемным способом, измеряя объем образца до и после набухания:

$$\alpha_v = (V - V_0) / V_0 \quad (2),$$

где  $V$  - объем набухшего образца,  $V_0$  - объем исходного образца.

О *влиянии природы растворителя* на степень набухания можно судить по следующим данным, полученным для полистирола в органических жидкостях ( $\alpha$  выражено в процентах): хлороформ - 1100, толуол - 1000, циклогексан - 100, гексан - 20, *n*-гексильовый спирт - 4.

*Влияние поперечных связей* в макромолекуле на способность к набуханию хорошо иллюстрирует пример с каучуком. Невулканизированный, т.е. не содержащий поперечных связей, каучук неограниченно набухает в углеводородах, образуя растворы. Вулканизированный каучук - резина, содержит поперечные сульфидные связи и набухает ограничено. Эбонит, представляющий собой каучук с очень «густой» пространственной сеткой, набухает значительно меньше. Степень набухания слабо вулканизированного каучука составляет 800-1000, а эбонита не более 150%.

**Цель работы:** определение степени набухания резины и каучука органических растворителях.

**Ход работы:** Образцы каучука и резины, размером приблизительно 1×1 см, взвешивают на аналитических весах, определяют величину  $m_0$  (массу образца полимера до набухания) и  $V_0$  (объем образца полимера до набухания). Образцы помещают в бюкс с растворителем и оставляют до следующего занятия в вытяжном шкафу (не забудьте подписать ваши бюксы). Через определенное время образцы вынимают и определяют величины  $m$  (массу образца полимера после набухания) и  $V$  (объем образца полимера после набухания). По уравнениям 1 и 2 определяют степень набухания.